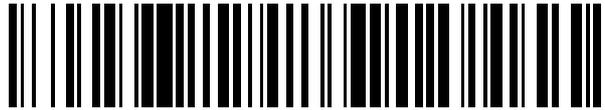


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 715 401**

51 Int. Cl.:

F01K 9/00 (2006.01)

F01K 25/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **04.02.2014 PCT/GB2014/050299**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **13.08.2015 WO15118282**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.02.2014 E 14703408 (6)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.10.2018 EP 3102797**

54 Título: **Aparato y método de recuperación de energía para su uso en un sistema de generación de energía**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
04.06.2019

73 Titular/es:

CORBISHLEY, JAMES (100.0%)
24 Haslemere Road
Fernhurst, West Sussex GU27 3EA, GB

72 Inventor/es:

CORBISHLEY, JAMES

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 715 401 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

Aparato y método de recuperación de energía para su uso en un sistema de generación de energía

5 Antecedentes

Se han investigado diversos métodos de almacenamiento de energía para ayudar a integrar métodos de generación intermitentes o invariantes en las redes de suministro de electricidad. En particular, la energía eólica puede requerir tecnologías sustanciales de respaldo y almacenamiento para facilitar el uso generalizado. Incluso con una proporción relativamente pequeña de energía eólica, se desperdiciará algo de capacidad cuando la demanda es baja, y hay períodos correspondientes de mayor demanda, pero suministro insuficiente donde debe usarse la generación de respaldo. La situación puede exacerbarse a medida que aumenta la proporción de energía eólica. El desajuste de la oferta y la demanda con el viento puede ocurrir tanto por temporada como en los ciclos diarios, lo que crea una oportunidad particular para los sistemas de almacenamiento con grandes tiempos de duración de la generación. Muchos sistemas de almacenamiento de energía de la red a gran escala han encontrado difícil competir con las turbinas de gas convencionales para nivelar la carga de las fuentes de energía variables, en parte debido a los altos costos de capital, la escasez de sitios potenciales, los largos tiempos de construcción y las pérdidas de energía debido a varias ineficiencias del sistema.

El almacenamiento de energía de aire comprimido se establece bien en la técnica anterior. Dichos sistemas usan aire que se ha comprimido y almacenado durante los períodos fuera de las horas picos para generar electricidad en las horas picos. El contenido de energía de una cantidad de aire comprimido se determina tanto por su presión como por su temperatura, cuya temperatura aumentará con la presión. Los métodos de almacenamiento adiabático intentan retener el calor de la compresión para la recuperación en la expansión para aumentar los niveles de eficiencia, mientras que los métodos diabáticos más simples no tienen ningún mecanismo para retener este calor. El almacenamiento de aire comprimido en grandes formaciones subterráneas, dentro de recipientes a presión y bajo presión hidrostática es de la técnica anterior. También se han investigado los métodos para aumentar la potencia de salida al precalentar el aire con una fuente de calor residual a una temperatura utilizable, o al eliminar, almacenar y luego devolver el calor de la compresión. Los tiempos de respuesta comparativamente rápidos posibles con el almacenamiento de energía de aire comprimido son particularmente relevantes a su capacidad para proporcionar una fuente de generación de respaldo para el viento.

Los métodos más comunes de generación eléctrica a partir de una fuente de energía térmica usan maquinaria turbo para extraer el trabajo mecánico, cuyo trabajo mecánico se usa para accionar un generador. Los ciclos de turbina más comunes son los ciclos de Brayton, Rankine y combinados. El fluido de trabajo de la turbina permanece en forma gaseosa durante todo el ciclo de Brayton, donde primero se comprime, luego se le proporciona una fuente de calor (normalmente combustión), y luego se expande a través de una turbina para recuperar la energía. El fluido de trabajo normalmente no se recircula dentro del ciclo de Brayton, aunque dichos ciclos cerrados aún encajarían dentro de la definición. En cambio, el ciclo de Rankine recircula continuamente su fluido de trabajo, que está presente en forma líquida y gaseosa en diferentes etapas en el ciclo. El fluido en forma gaseosa, que se ha expandido a través de la turbina para extraer el trabajo, se condensa nuevamente a líquido para crear un vacío y un flujo en la turbina. Luego, ese líquido condensado se extrae del condensador, se vuelve a presurizar y se introduce en una fuente de calor donde se vaporiza y se devuelve a la turbina en forma gaseosa. El fluido de trabajo que va a condensarse es típicamente vapor, y el fluido usado para condensar es típicamente aire o agua. Las presiones típicas dentro de un condensador de vapor son subatmosféricas alrededor de 0.05 bar (5000 Pa). La cantidad significativa de calor residual de la condensación se dispersa, ya que las temperaturas involucradas son demasiado bajas para ser factibles para la recuperación de energía adicional. Los niveles de eficiencia en términos de recuperación eléctrica son de hasta el 40 % para ambos ciclos. Los arreglos de ciclos combinados usan los ciclos de Brayton y Rankine, donde el ciclo de Rankine extrae el calor del escape del ciclo de Brayton para lograr niveles de eficiencia eléctrica total del 60 %.

Las turbinas de gas de combustión de hidrógeno también son de la técnica anterior. Estas turbinas pueden respirar aire y producir el NOx contaminante, o quemar gases de hidrógeno y oxígeno en relaciones estequiométricas, lo que produce sólo vapor. A manera de ejemplo, se ha descrito una turbina de gas de combustión de oxígeno e hidrógeno en recuperación en la patente de Estados Unidos Núm. WO97/31184 concedida a Westinghouse Electric Corporation, donde el calor residual del vapor se recupera en el combustible de hidrógeno y el oxígeno. Un método de almacenamiento de energía que usa una turbina de gas de combustión de oxígeno e hidrógeno con electrólisis de agua sumergida y combustible presurizado hidrostáticamente y almacenamiento de oxidante se describe en la patente francesa núm. FR2286891 concedida a Imbertche en 1976, cuyo sistema no especifica un método de recuperación del calor latente de vaporización del vapor.

La patente de Estados Unidos Núm. 3,459,953 también describe una planta de turbina de gas de combustión de hidrógeno que comprende un sistema de almacenamiento de energía.

Un sistema de potencia máxima de una turbina de gas que respira aire que usa un sistema de almacenamiento de aire comprimido se describe por Flynt en la patente de Estados Unidos Núm. 3,831,373 publicada en 1974. La turbina de gas descrita puede funcionar convencionalmente, o el compresor de esa turbina puede accionarse por electricidad fuera de las horas pico y usarse para comprimir el aire para su almacenamiento, y en las horas pico, el aire almacenado puede

5 liberarse a través de la cámara de combustión y la turbina en lugar del compresor para una mayor generación de salida. Debido a que la turbina de gas respira aire, sus componentes pueden usarse simultáneamente como parte del sistema de aire comprimido. El aire se almacena bajo presión hidrostática en este sistema. En una modalidad, el sistema incluye un método para usar el calor de la compresión producido durante el almacenamiento mediante el uso de un flujo de agua en un intercambiador de calor para producir vapor, cuyo vapor luego se expande a través de la turbina y la energía de rotación usada para complementar el compresor.

10 El método de uso del efecto de Venturi para el enfriamiento y el calentamiento se ha descrito en la patente de Estados Unidos US3,200,607 concedida a Williams en 1965 cuyo aparato de acondicionamiento de espacio puede operarse para proporcionar enfriamiento o calentamiento, y la patente de Estados Unidos US2,441,279 concedida a McCollum en 1942 cuyo sistema de Venturi puede usarse simultáneamente para enfriar componentes de aeronaves y el calor extraído puede usarse para el acondicionamiento de aire. El método de uso del efecto de Venturi dentro de un intercambiador de calor para intercambiar calor entre dos flujos de masa se describe además en la especificación de patente GB 1,419,490 de Cowans en 1971. Una descripción adicional de la transferencia de calor mediante el uso del efecto de Venturi se describe en la solicitud de patente de Estados Unidos US2009/0223650 presentada por Williams, que considera la posibilidad de usar el calor de un intercambiador de calor de Venturi para la generación de energía sin elaborar con respecto a ninguna metodología. Aunque ese documento describe la explotación de los cambios de fase termodinámicos mediante la bomba de calor de Bernoulli y observa el alto contenido de energía disponible debido a dicho cambio de fase, ese documento no describe ningún mecanismo o metodología para utilizar ese cambio de fase.

20 De acuerdo con la presente invención, se proporciona un sistema de generación de energía que comprende una central térmica que incluye:

- 25 (a) un medio vaporizador para vaporizar un primer fluido de trabajo, un medio de conductos para conducir dicho primer fluido de trabajo (vaporizado) a una turbina principal de generación de energía para extraer la energía desde el primer fluido de trabajo;
- (b) medios de conductos para llevar el primer fluido de trabajo que sale de la turbina principal de energía a un condensador de Venturi, el primer fluido de trabajo que pasa a través de los medios de intercambio de calor en el condensador de Venturi para transferir calor a un segundo fluido de trabajo;
- 30 (c) el condensador de Venturi, se proporciona con una entrada para recibir un segundo fluido de trabajo a presión elevada, una porción de entrada que conduce a uno o más tubos de Venturi, los tubos de Venturi que tienen al menos una porción de entrada convergente, al menos una porción recta restringida y al menos una porción de salida divergente, y medios de intercambio de calor que rodean la porción de salida;
- (d) una segunda turbina de energía para extraer energía del segundo fluido de trabajo que sale del uno o más tubos de Venturi;
- 35 (e) medios de conductos para devolver dicho primer fluido de trabajo a los medios de vaporización;
- (f) medios de bombeo para presurizar dicho primer fluido de trabajo y devolver dicho primer fluido de trabajo a los medios de vaporización;
- (g) medios de bombeo para bombear opcionalmente el segundo fluido de trabajo a una unidad de almacenamiento presurizada hidrostáticamente;
- 40 (h) medios de almacenamiento para almacenar dicho segundo fluido de trabajo en estado gaseoso bajo presión hidrostática;
- (i) medios de conductos para conducir el segundo fluido de trabajo desde dichos medios de almacenamiento hasta la entrada del condensador de Venturi;
- 45 (j) medios de control para controlar el funcionamiento del sistema.

50 Ventajosamente, el uso del condensador de Venturi que opera a una presión elevada permite una mayor eficiencia de operación y permite el enfriamiento más efectivo de un primer fluido de trabajo que sale de una turbina principal de generación de energía. El efecto de enfriamiento en el fluido que pasa a través del tubo de Venturi da como resultado una mayor diferencia de temperatura a través del intercambiador de calor en el condensador de Venturi que lo que de otra manera sería posible. Este enfriamiento más efectivo reduce la presión del fluido que sale del condensador y, de este modo, extrae con mayor eficacia el primer fluido de trabajo a través de la turbina principal de generación de energía. Adicionalmente, la energía transferida al segundo fluido de trabajo en el condensador es suficiente para permitir una extracción de energía valiosa y beneficiosa por parte de la turbina secundaria, lo que aumenta la eficiencia general del sistema.

55 De acuerdo con otro aspecto de la presente invención, se proporciona un método de recuperación de energía para una central térmica donde:

- 60 (a) un primer fluido de trabajo que suministra energía a una turbina principal de generación de energía pasa luego a través de un medio intercambiador de calor en un condensador de Venturi, con lo cual se extrae al menos parte de la energía restante, y al menos parte del primer fluido de trabajo se condensa a un estado líquido
- (b) un segundo fluido de trabajo ingresa a uno o más tubos de Venturi en un condensador de Venturi a presión elevada, el segundo fluido de trabajo que se enfría y disminuye la presión a medida que pasa a través de los tubos de Venturi;
- 65 (c) el segundo fluido de trabajo que absorbe la energía térmica del primer fluido de trabajo en un medio intercambiador de calor en el condensador de Venturi;

(d) el volumen reducido del primer fluido de trabajo que provoca una disminución de la presión aguas abajo de la turbina principal de generación de energía, lo que aumenta el flujo del primer fluido de trabajo a través de la turbina principal de generación de energía;

5 (e) el segundo fluido de trabajo después de ser calentado en el medio intercambiador de calor que pasa a través de una segunda turbina de generación de energía donde se extrae la energía.

10 Una modalidad particular del sistema podría basarse alrededor de una turbina de gas de combustión de oxígeno e hidrógeno de 500 MW de salida en una disposición de ciclo combinado, un sistema de electrólisis de agua para suministrar los gases para la combustión, y una energía de aire comprimido y un sistema de condensación de Venturi que extrae el calor de vaporización del ciclo de la turbina. Podría esperarse que la turbina de oxígeno e hidrógeno alcance una eficiencia de alrededor del 62 por ciento, lo que requiere una combustión de hidrógeno de alrededor de 804 MW para producir esa salida. Alrededor del 10 por ciento de la energía de combustión se perderá debido a la ineficiencia de los componentes, pero se perderán alrededor de 266 MW debido al calor latente de la vaporización del vapor, cuya energía normalmente no es recuperable debido a las bajas temperaturas involucradas. El requisito de combustible y oxidante de dicha turbina sería de alrededor de 5.6 kg/s de hidrógeno y 45.4 kg/s de oxígeno para producir 51 kg/s de vapor sobrecalentado.

20 La eficiencia de conversión en la producción de gases de hidrógeno y oxígeno para electrolizadores modernos es alta, alrededor del 90-95 % o más. Donde los gases necesitan comprimirse o licuarse para el almacenamiento, la energía química restante será de alrededor del 65-70 %. Con una alimentación de agua presurizada hidrostáticamente y un almacenamiento hidrostático, no es necesario comprimir los gases, ya que el diferencial de altura de presión proporciona fuerzas de compresión y transmisión de gas. Dicho sistema sería alimentado por gravedad y no necesitaría combustible ni bomba de oxidante. La energía térmica adicional se conservará al suministrar los gases a temperaturas ambiente en lugar de a temperaturas criogénicas, lo cual es especialmente relevante dada la muy alta capacidad calorífica específica del hidrógeno. Al asumir un nivel de eficiencia del electrolizador del 95 %, el requisito de energía para el electrolizador sería de 845 MW. Los electrolizadores de membrana de intercambio de protones son capaces de manejar cargas parciales sin comprometer la eficiencia y pueden alcanzar condiciones picos de operación rápidamente, lo que los hace convenientes para integrar fuentes de energía intermitentes y acomodar variaciones estocásticas.

30 Este sistema basado en la electrólisis y la turbina de hidrógeno y oxígeno se combinaría típicamente con un sistema de aire comprimido. Al operar por su cuenta, el sistema de almacenamiento de energía de aire comprimido podría devolver niveles de eficiencia eléctrica de ida y vuelta de alrededor del 60 al 70 por ciento para los sistemas isotérmicos donde se reutiliza el calor de la compresión, o el 55 por ciento donde se disipa el calor. Se usa un condensador de Venturi alimentado por presión hidrostática para eliminar y recuperar el calor de la energía de vaporización de manera más eficiente. Puede suponerse que el aire se suministrará al Venturi a aproximadamente entre 4 y 25° centígrados en dependencia de las condiciones ambientales. La temperatura en una mina de carbón profunda será significativamente más cálida que las temperaturas del lecho marino. Un condensador enfriado por aire sin el efecto de Venturi sólo podría condensarse debido a la modesta diferencia de temperatura entre el vapor que entra al condensador y la temperatura del aire usado para extraer el calor. El uso del efecto de Venturi para reducir la temperatura permite una eliminación y recuperación de energía más intensivas. Para una caída de temperatura observable, es necesario aumentar la velocidad por encima de Mach 0.3, de cualquier otra manera los efectos de compresión serán despreciables. A altas velocidades subsónicas de alrededor de Mach 0.8, es probable que la temperatura caiga a alrededor de -30 grados centígrados, y el flujo de masa de aire requerido para absorber el calor latente de vaporización de 266 MW sería entonces de alrededor de 4140 kg/s. Aunque el paso a través de la región transónica crea complicaciones, pueden lograrse flujos supersónicos de Venturi. Las velocidades de alrededor de Mach 2 reducirán la temperatura absoluta a alrededor del 40 % de la temperatura original, o -151 grados centígrados. El flujo de masa de aire requerido en dicha modalidad sería de alrededor de 1445 kg/s. Para despresurizaciones generales más grandes, puede ser preferible despresurizar en varias etapas y además recuperar energía durante las etapas intermedias para evitar problemas estructurales y la formación de hielo, y para configuraciones a mayor escala que involucran un flujo de masa de aire sustancial, es probable que se prefieran los flujos paralelos de efecto de Venturi para maximizar el área superficial, reducir los grosores de las paredes y optimizar el flujo.

50 El principio de Bernoulli se refiere a la equivalencia de presión estática y dinámica en el flujo de fluido. A medida que un fluido presurizado se libera y gana velocidad, parte de la presión estática o energía potencial de ese fluido se convierte en presión dinámica o energía cinética. La presión total, que es la suma de las presiones estáticas y dinámicas, permanece constante en ausencia de factores externos. Sin embargo, en el presente sistema, la energía térmica en el condensador de Venturi es un factor externo que hace que el volumen de aire se expanda. En la dirección aguas abajo hacia el motor neumático o turbina, esta expansión provoca un aumento en la presión dinámica y, por lo tanto, total, lo que permite una expansión más energética. En la dirección aguas arriba hacia la unidad de almacenamiento, esta expansión térmica está en contra de la dirección del flujo, por lo tanto, esta contrapresión se convierte a sí misma y también a parte de la velocidad del aire en presión estática. Como antes, el gas aguas arriba también tiene una mayor presión total, aunque a diferencia del flujo aguas abajo, la velocidad se reduciría en lugar de aumentar. Este efecto continúa hacia la unidad de almacenamiento hidrostática hasta donde la velocidad es cero. Ya que no hay presión dinámica en ese punto, la presión estática del aire aumenta momentáneamente por encima del nivel de presión hidrostática. Esta energía de presurización adicional combinada con la presurización hidrostática está disponible instantáneamente para conducir el gas a través de la tubería ascendente y Venturi.

65

El nivel de eficiencia eléctrica de la turbina de combustión de oxígeno e hidrógeno y la electrólisis descrita anteriormente será de alrededor del 60 por ciento de forma aislada sin recuperar el calor de la vaporización, y pueden esperarse niveles de eficiencia similares del subsistema de aire comprimido. Al combinar los dos sistemas, la turbina de combustión ya no necesita bombear cantidades significativas de agua a través de ese condensador para eliminar el calor, ya que el condensador de Venturi realiza ahora esa función. Además, alrededor del 90 por ciento del calor latente de la energía de vaporización de la turbina ahora es recuperable en el condensador de Venturi. Es probable que los niveles de eficiencia combinados de los sistemas que operan juntos se encuentren en la región del 80 por ciento o más.

En términos de densidad de energía, a presión atmosférica normal, el hidrógeno tiene una densidad de energía volumétrica de 3 kWh/metro cúbico, y la cantidad de hidrógeno producido por la electrólisis del agua sería aproximadamente el doble del volumen de oxígeno. A 500 metros, el volumen de ambos gases se reduce a menos del 2 por ciento del volumen de la superficie, lo que proporciona densidades de energía volumétrica de los gases de hidrógeno y oxígeno de 246 kWh por metro cúbico. Tales profundidades son comunes dentro de minas de carbón profundas existentes, muchas de las cuales están ahora en desuso. La cantidad de aire necesaria para absorber la energía de vaporización como una relación de los volúmenes de hidrógeno y oxígeno se estima en hasta 100 veces el volumen para el caso subsónico, y hasta 10 veces en el caso supersónico Mach 2. Incluso podrían aplicarse velocidades más altas, que potencialmente reducirían aún más los volúmenes de aire y los tamaños del condensador, y aumentarían adicionalmente los niveles de eficiencia. Estos volúmenes se comparan favorablemente con el almacenamiento por bombeo hidroeléctrico, donde cada metro cúbico de agua almacena alrededor de 1 - 1.5 kWh de energía, e incluso más favorablemente con el almacenamiento de aire comprimido. Debido a las muy diferentes densidades de energía involucradas, un sistema que desplaza los volúmenes de agua equivalentes de una planta de almacenamiento con bomba hidroeléctrica con una duración de generación de 6 horas, ahora podría ser capaz de alimentar la red de manera continua durante 4 días consecutivos o más con una potencia de salida instantánea comparable. Los costos marginales del aumento de la capacidad de energía, por ejemplo, al agregar 1 GWh adicional de almacenamiento, serían una pequeña fracción del almacenamiento por bombeo o el almacenamiento de energía de aire comprimido equivalente.

Breve descripción

La Figura 1 muestra una representación esquemática de un condensador de Venturi dentro de una central térmica con un flujo de gas almacenado presurizado hidrostáticamente;

la Figura 2 muestra un diagrama esquemático de un sistema de generación de turbina de gas y electrólisis de oxígeno e hidrógeno con combustible presurizado hidrostáticamente, oxígeno y almacenamiento de aire;

la Figura 3 muestra una configuración de ejemplo de un sistema de aire comprimido y electrólisis de oxígeno e hidrógeno dentro de una antigua mina de carbón;

la Figura 4 muestra un ejemplo de una configuración en la que el condensador de Venturi tiene dos tubos de Venturi que funcionan en un modo paralelo;

la Figura 5a muestra un ejemplo de una descompresión de múltiples etapas en la que el fluido de trabajo fluye a través de dos secciones de un tubo de Venturi, cada una de las cuales permite una descompresión parcial. La Figura 5b muestra un diagrama de la variación de temperatura y presión a lo largo del tubo de Venturi.

Descripción detallada

Las siguientes modalidades se muestran solamente a manera de ejemplo. Pueden preferirse disposiciones más complejas que serán modalidades adicionales de esta invención. A manera de ejemplo, dichas modalidades pueden incluir cualquier disposición de generación de turbina que incluye el mecanismo de condensación como se muestra, una pluralidad o el uso combinado de cualquiera de los componentes mostrados, o componentes adicionales que complementan los componentes y la metodología mostrada. Los ejemplos de componentes adicionales son los flujos de gas paralelos y las aletas en las secciones tubulares dentro del condensador de Venturi, el control eléctrico y el equipo auxiliar, y varias válvulas y toberas para controlar, ajustar o mantener el flujo de gas. El fluido de trabajo a condensarse es típicamente vapor, y el gas usado para condensar ese fluido de trabajo es típicamente aire, o flujos paralelos de aire y oxígeno puro, aunque pueden usarse otros fluidos de trabajo o gases cuando sea apropiado.

Con referencia a la Figura 1, se muestra un diagrama esquemático de un sistema en el que un condensador alimentado hidrostáticamente que usa el efecto de Venturi extrae energía de una turbina de una central térmica. Durante la extracción de energía, el vapor de escape u otro primer fluido de trabajo (1) ingresa a un condensador (6) en un estado ligeramente sobrecalentado o saturado, ya que gran parte de la energía útil ya se ha extraído durante la expansión a través de una primera turbina (2). Una proporción significativa de energía permanece en el primer fluido de trabajo (1) en esta etapa debido a su calor latente de vaporización que no puede recuperarse en la turbina. Parte o toda esta energía se extrae por un segundo fluido de trabajo en forma gaseosa (3) que se fuerza bajo presión hidrostática a través del condensador por al menos una disposición de tubería canalizada en la forma de un tubo de Venturi. Este segundo gas de fluido de trabajo pasa a través de una sección restringida del tubo de Venturi en o dentro del condensador. El tubo de Venturi comprende, de manera conocida, al menos una subsección convergente (4) y divergente (5) y una sección recta estrecha entre cada sección convergente y/o divergente. A medida que el segundo gas de fluido de trabajo pasa a través de (4), su presión

cae y se convierte en velocidad, cuyo efecto reduce su temperatura lo que permite una absorción de calor significativa desde el primer fluido de trabajo. Cuando el segundo fluido de trabajo extrae energía térmica del primer fluido de trabajo que escapa de la primera turbina (2), esto provoca un cambio de fase de gas a líquido y, consecuentemente, una reducción de volumen en ese fluido, lo que crea una presión más baja dentro del condensador (6) y, en consecuencia, alienta y mejora el flujo a través de la turbina (2). Cuando el segundo fluido de trabajo vuelve a presurizarse dentro de la sección divergente (5), el aumento de presión eleva su temperatura a un nivel elevado que es mayor que la temperatura en el condensador. Ventajosamente, esta sección se aísla térmicamente del condensador para evitar cualquier transmisión de calor durante esta etapa al primer fluido de trabajo. El gas canalizado puede entonces expandirse dentro de una segunda turbina (7), u otro medio adecuado de extracción de energía. El primer fluido de trabajo condensado que sale del condensador en (8) ahora se recircula en forma líquida a una bomba donde vuelve a presurizarse, luego pasa a una fuente de calor donde se vaporiza, y luego se usa para impulsar la primera turbina (2) para generar electricidad.

Cuando se opera en el modo de almacenamiento de energía, el compresor (10) comprime un gas y lo transmite a una unidad o contenedor (9) presurizado hidrostáticamente, típicamente mediante el uso de electricidad de baja demanda o fuera de las horas pico en el compresor (10). En algunas modalidades, el compresor (10) podría ser el mismo, o parte del mismo componente, que la segunda turbina (7). También sería posible recuperar la energía térmica debido al calor de la compresión en esta etapa, posiblemente mediante el uso de ese calor como una fuente de energía para ayudar al compresor a fin de aumentar los niveles de eficiencia general. La presión hidrostática mantiene el gas a una presión constante durante la descarga, lo que permite que la energía de condensación se almacene para su uso posterior dentro del condensador de Venturi, lo que evita un drenaje de energía durante la generación para aumentar la salida máxima disponible.

En otra modalidad alternativa, el condensador de Venturi puede proporcionarse ventajosamente con una pluralidad de tubos de Venturi dispuestos para funcionar en paralelo. La entrada a los tubos puede disponerse para recibir el segundo fluido de trabajo desde la unidad de almacenamiento hidrostática (9). Una ventaja de la pluralidad de tubos de Venturi es que los medios de intercambio de calor pueden disponerse para transferir calor de manera más eficiente entre los primer y segundo fluidos de trabajo debido a la proximidad más cercana de los fluidos de trabajo. Adicionalmente, el flujo de gas en el tubo de Venturi puede mantenerse en o más cerca del flujo lineal ideal, lo que mantiene la eficacia y eficiencia del sistema.

En otra modalidad alternativa, el condensador de Venturi puede comprender uno o una pluralidad de tubos de Venturi donde al menos uno de estos tubos de Venturi incluye más de una secciones convergentes y rectas dispuestas en serie para permitir que la despresurización ocurra en etapas, y donde la energía térmica se absorbe por el segundo fluido de trabajo en la etapa o etapas intermedias cuando el segundo fluido de trabajo se despresuriza parcialmente, así como también cuando ese fluido se despresuriza completamente en la etapa final de despresurización. Una ventaja de la descompresión en etapas sobre una descompresión equivalente en una sola etapa es que se reducen los extremos de baja temperatura a los que se expondría el primer fluido de trabajo, cuyos extremos de temperatura pueden haber provocado complicaciones estructurales y la formación de hielo.

Con referencia a la Figura 2, se muestra un diagrama esquemático de un sistema en el que un condensador de Venturi se alimenta con un gas presurizado hidrostáticamente que se usa para extraer energía de un sistema de electrólisis de agua y generación de turbina de oxígeno e hidrógeno. Un depósito de agua (11a) alimenta un suministro de agua (11) usado por un sistema de electrólisis (12) para producir gas de hidrógeno y oxígeno que es el gas almacenado bajo presión en los medios de almacenamiento bajo el agua (13) y (14) y cuyo suministro de agua se suministra bajo presión hidrostática. El suministro de agua mostrado se toma del vapor de escape del ensamble generador de turbina (17), aunque también podría ser de una fuente externa, posiblemente del agua circundante. El depósito de agua (11a) se proporciona para acomodar los diferentes volúmenes de fluido del suministro de agua del electrolizador. El sistema de electrólisis (12) se suministra con una fuente externa de electricidad, típicamente electricidad de baja demanda o fuera de las horas pico, y se usa para producir gases de hidrógeno y oxígeno que pueden elevarse a través de las tuberías hacia las unidades de almacenamiento (13) y (14). El aire también se comprime durante una fase de almacenamiento mediante un compresor (15) y se transmite a través de tuberías separadas a la unidad de almacenamiento de aire (16). Cada unidad de almacenamiento somete su gas a una presión hidrostática relativamente constante. Además, se muestra un método posible para recuperar el calor de la compresión y reutilizar esa energía para aumentar la eficiencia. El método mostrado comprende un ciclo de extracción de calor de Rankine, cuyo ciclo de Rankine vaporiza el suministro de agua mediante el uso del calor de compresión disponible y luego transfiere el vapor a parte de la turbina de expansión (17) para generar electricidad, cuya electricidad se suministra al motor eléctrico para ayudar a accionar el compresor. Luego, el vapor se condensa de nuevo en agua y se bombea de vuelta al vaporizador. Las unidades de almacenamiento mostradas aquí en este ejemplo son membranas flexibles contenidas dentro de estructuras externas de balasto rígido. Bajo demanda, los gases de hidrógeno y oxígeno se liberan desde los medios de almacenamiento 13 y 14 bajo presión hidrostática y se transmiten al generador de turbina de hidrógeno y oxígeno (17) donde se queman en una cámara de combustión (17a) para generar electricidad. El aire, desde la unidad de almacenamiento (16) se transmite a través de al menos un conducto separado (16a) a un condensador (18). El condensador (18) proporciona condensación y recuperación de calor a través del efecto de Venturi antes de expandirse a través del motor neumático o turbina (19). El motor neumático o turbina recibió la salida de uno o más tubos de Venturi, la salida de los tubos de Venturi que tiene energía suficiente para impulsar un motor neumático o turbina (19) que se acopla a un segundo generador (19a). El segundo generador (19a) proporciona

una salida a un suministro de energía externa. Alternativamente, cualquier potencia producida puede usarse para proporcionar energía para operar el sistema.

5 El gas de oxígeno en esta modalidad también se transmite a través del condensador (18). El oxígeno se alimenta a la porción de entrada de uno o más tubos de Venturi y, a medida que pasa a través del tubo de Venturi, se enfría, se expande y vuelve a presurizarse al salir de la parte del tubo de Venturi del condensador (18). Al salir del condensador, el oxígeno se alimenta a la cámara de combustión (17a). Una ventaja de suministrar gas de oxígeno a temperatura elevada es que eleva el calor de la combustión y aumenta la potencia de salida de la turbina de gas de oxígeno e hidrógeno.

10 El conjunto generador de turbina (17) incluye una cámara de combustión (17a) que recibe oxígeno desde el condensador de Venturi (18). Líneas separadas suministran oxígeno desde un elevador de oxígeno (40) al condensador (18) y luego a la cámara de combustión (17a). Un elevador de hidrógeno (42) suministra por separado gas de hidrógeno a la cámara de combustión. Una unidad de compresor (44) comprime el vapor, una porción del cual se ha recirculado luego de su expansión en las turbinas (46, 48), cuyo vapor recirculado se suministra a la cámara de combustión.

15 La salida de la cámara de combustión se usa para impulsar uno o más conjuntos de turbinas (46, 48) para extraer energía y generar electricidad en el generador (52). Una turbina de baja presión (50) recibe alguna salida de la turbina (46, 48) que está en forma gaseosa. El resto de la salida no suministrada a la turbina de baja presión (50) se recircula, donde pasa a través de un medio intercambiador de calor (54) en el que se extrae el calor, y luego se comprime (44) y se suministra a la cámara de combustión. El calor extraído se transfiere al flujo usado para impulsar la turbina de baja presión (50). La salida de la turbina de baja presión (50) pasa al condensador de Venturi (18), que funciona de manera similar a la descrita anteriormente.

20 Esta disposición particular puede describirse como una forma de ciclo combinado, donde la combustión, expansión y recirculación, y la compresión de una porción de vapor forman parte de un ciclo cerrado de Brayton, y la extracción de calor del ciclo de Brayton se agota en una segunda porción de vapor, la expansión de esa segunda porción de vapor en una turbina, y la condensación, el bombeo a presión y la recirculación de esa segunda porción de condensado de vapor forman parte de un ciclo de Rankine de fondo.

25 Con referencia a la Figura 3, se muestra un sistema ubicado dentro de una mina de carbón profundo adaptada. Se han convertido dos ejes verticales. El eje (20) contiene un medio de acceso al sistema de electrólisis (22) ubicado en la parte inferior del eje por debajo y además el suministro de energía. El eje (21) se inunda para proporcionar una presurización hidrostática de las unidades de almacenamiento, y contiene tuberías para los gases y una columna separada de suministro de agua para el sistema de electrólisis. Esta disposición es sólo a manera de ejemplo.

30 Aunque el electrolizador mostrado no está sumergido, su suministro de agua se presuriza hidrostáticamente, cuya presurización puede transferirse directamente a los gases producidos a través de la electrólisis. El sistema de electrólisis (22) puede alojarse dentro de una parte de una galería de minas (23) que no se inunda y es accesible a través del eje (20). La sección de separación (24) separa la sección inundada de la sección no inundada y contiene las tuberías para transmitir los gases de hidrógeno y oxígeno y el suministro de agua. La sección (25) es una sección inundada sometida a presión hidrostática por la columna de agua en (21), y contiene las unidades de almacenamiento que se muestran como membranas flexibles (26) que contienen hidrógeno gaseoso, oxígeno y aire dentro de diferentes espacios en la mina. Cualquier número de unidades discretas podrían usarse para cada uno de los gases, aunque aquí sólo se muestran tres. Los gases se suministran de manera diversa a una disposición de turbina de gas de combustión de hidrógeno y oxígeno (27) que funciona junto con un sistema de generación de energía del tipo mostrado en la Figura 1 y descrito anteriormente, un sistema de aire comprimido (28) y un condensador de Venturi (29). Las variaciones en el nivel de agua del fluido de presurización hidrostática que pueden resultar de diferentes niveles de almacenamiento de gas, pueden acomodarse por el depósito (30) que mantiene la presión hidrostática en un nivel relativamente constante.

35 Como se describió anteriormente, las líneas de hidrógeno y oxígeno se elevan por separado desde las unidades de almacenamiento presurizadas hidrostáticamente respectivas (26). El funcionamiento del sistema es similar al descrito para la Figura 2 anteriormente.

40 La Figura 4 muestra un ejemplo de una disposición paralela de tubos de Venturi en un condensador de Venturi. En este ejemplo, sólo se muestran dos tubos por simplicidad y claridad, pero podrían desplegarse cualquier número adecuado. Los factores que afectan el número de tubos incluyen el volumen del fluido que pasa a través de los tubos, la diferencia de temperatura entre el fluido en la región de entrada (4) y la región de salida divergente (5). Un factor adicional a considerar se refiere a la eficiencia de los intercambiadores de calor (no mostrados) que rodean la porción divergente del tubo de Venturi.

45 La entrada para los tubos se conecta a un conducto común (4a) que alimenta el fluido de trabajo a todos los tubos. Cada tubo se proporciona con su propia porción convergente (4), porción divergente (5) y una porción central.

50 La salida de los tubos converge en (5a). La salida del condensador de Venturi sale a través de un conducto de salida común para ingresar a una turbina de energía secundaria (7).

5 La Figura 5a muestra un método de operación diferente en el que hay una reducción de presión en múltiples etapas en la presión, que se conoce como una disposición de tipo en serie. Una porción de entrada (50) muestra la región de entrada en general. Una primera porción de entrada (52) proporciona una primera etapa de reducción de presión. El fluido entrante disminuirá en presión y acelerará a medida que pasa a lo largo del tubo a una segunda región convergente (54). En esta región, la presión del fluido se reduce y acelera aún más antes de pasar a través de una región central (56) en la que alcanza su velocidad máxima. Luego, el fluido ingresa en la zona divergente (58) donde la velocidad disminuye y la presión aumenta. Los medios intercambiadores de calor (no mostrados) rodean la porción divergente (58) y el calor se transfiere de un primer fluido de trabajo al segundo fluido de trabajo que pasa a través del tubo de Venturi.

10 La Figura 5b muestra un gráfico de las variaciones de temperatura y presión a lo largo del tubo.

15 En la disposición en serie, la etapa intermedia podría comprender ventajosamente múltiples tubos paralelos para que la sección recta mantenga las características de flujo laminar del fluido de trabajo. Una ventaja adicional es que podría permitir un grosor de pared reducido (y, por lo tanto, facilitar la transferencia de calor), y además aumentar el área de contacto entre los primer y segundo fluidos (de nuevo para facilitar la transferencia de calor). En otra modalidad, con el fin de preservar una forma simétrica, podrían usarse 2 flujos, cada uno de ellos que fluye en direcciones opuestas.

20 Puede preverse que, en ciertas circunstancias, sería ventajoso tener ambos aspectos de múltiples etapas y una disposición paralela para los tubos de Venturi en un condensador de Venturi.

Reivindicaciones

1. Un método de recuperación de energía para una central térmica donde:
 - (a) un primer fluido de trabajo (1) que suministra energía a una turbina principal de generación de energía (2) pasa luego a través de un medio intercambiador de calor en un condensador de Venturi (6), con lo cual se extrae al menos parte de la energía restante, y al menos parte del primer fluido de trabajo se condensa a un estado líquido;
 - (b) un segundo fluido de trabajo (3) ingresa a uno o más tubos de Venturi en un condensador de Venturi a presión elevada, el segundo fluido de trabajo que se enfría y disminuye la presión a medida que pasa a través de los tubos de Venturi, el segundo fluido de trabajo que absorbe la energía térmica del primer fluido de trabajo en un medio intercambiador de calor en el condensador de Venturi;
 - (c) el volumen reducido del primer fluido de trabajo que provoca una disminución de la presión aguas abajo de la turbina principal de generación de energía, lo que aumenta el flujo del primer fluido de trabajo a través de la turbina principal de generación de energía;
 - (d) el segundo fluido de trabajo después de absorber la energía térmica en el medio intercambiador de calor que pasa a través de una segunda turbina de generación de energía (7) donde se extrae la energía.
2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, donde el segundo fluido de trabajo que se canaliza a través del condensador de tubos de Venturi durante los períodos de mayor demanda de electricidad para proporcionar la condensación y recuperación de energía, se ha comprimido mediante el uso de energía de menor demanda o fuera de las horas pico para comprimirlo para el almacenamiento bajo presión hidrostática para su liberación bajo demanda.
3. Un método de recuperación de energía como se reivindicó en la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que los gases de hidrógeno y oxígeno se producen mediante un método de electrólisis con agua, los gases se almacenan bajo presión hidrostática, se introducen y se queman en una turbina de gas, la combustión que produce un primer fluido de trabajo que se condensa mediante el uso de un condensador de Venturi.
4. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, donde las unidades de almacenamiento se ubican dentro de una mina profunda adaptada o parte de una mina profunda adaptada y donde la presión hidrostática se deriva de un pozo de extracción.
5. Un sistema de generación de energía que comprende una central térmica que incluye:
 - (a) un medio vaporizador para vaporizar un primer fluido de trabajo, un medio de conductos para conducir dicho primer fluido de trabajo (vaporizado) a una turbina principal de generación de energía (2) para extraer la energía desde el primer fluido de trabajo;
 - (b) medios de conductos para llevar el primer fluido de trabajo que sale de la turbina principal de energía a un condensador de Venturi (6), el primer fluido de trabajo que pasa a través de los medios de intercambio de calor en el condensador de Venturi para transferir calor a un segundo fluido de trabajo
 - (c) el condensador de Venturi, se proporciona con una entrada para recibir un segundo fluido de trabajo (3) a presión elevada, una porción de entrada que conduce a uno o más tubos de Venturi, los tubos de Venturi que tienen una porción de entrada convergente, una porción recta restringida y una porción de salida divergente, medios de intercambiado de calor que rodean la porción de salida,
 - (d) una segunda turbina de energía (7) para extraer energía del segundo fluido de trabajo que sale del uno o más tubos de Venturi;
 - (e) medios de conductos para devolver dicho primer fluido de trabajo a los medios de vaporización
 - (f) medios de bombeo para presurizar y devolver dicho primer fluido de trabajo a los medios de vaporización
 - (g) medios de bombeo (10) para bombear opcionalmente el segundo fluido de trabajo a una unidad de almacenamiento presurizada hidrostáticamente.
 - (h) medios de almacenamiento (9) para almacenar dicho segundo fluido de trabajo en estado gaseoso bajo presión hidrostática
 - (i) medios de conductos para conducir el segundo fluido de trabajo desde dichos medios de almacenamiento hasta la entrada del condensador de Venturi
 - (j) medios de control para controlar el funcionamiento del sistema
6. Un sistema de generación de energía de acuerdo con la reivindicación 5, que incluye además un sistema de electrólisis para electrolizar agua para producir gases de hidrógeno y oxígeno.
7. Un sistema de generación de energía de acuerdo con la reivindicación 5 o 6, en el que dicho segundo fluido de trabajo incluye oxígeno producido por el sistema de electrólisis y liberado desde los medios de almacenamiento para almacenar dicho gas de oxígeno bajo presión.
8. Un sistema de generación de energía de acuerdo con la reivindicación 5, en el que el condensador de Venturi tiene una pluralidad de tubos de Venturi dispuestos para funcionar en paralelo.

9. Un sistema de generación de energía de acuerdo con la reivindicación 5, en el que el condensador de Venturi tiene una pluralidad de tubos de Venturi dispuestos para funcionar en serie.
- 5 10. Un sistema de generación de energía de acuerdo con las reivindicaciones 8 o 9, en el que el condensador de Venturi incluye medios intercambiadores de calor dispuestos para interactuar con el uno o más tubos de Venturi para transferir calor desde el primer fluido de trabajo hacia el segundo fluido de trabajo.

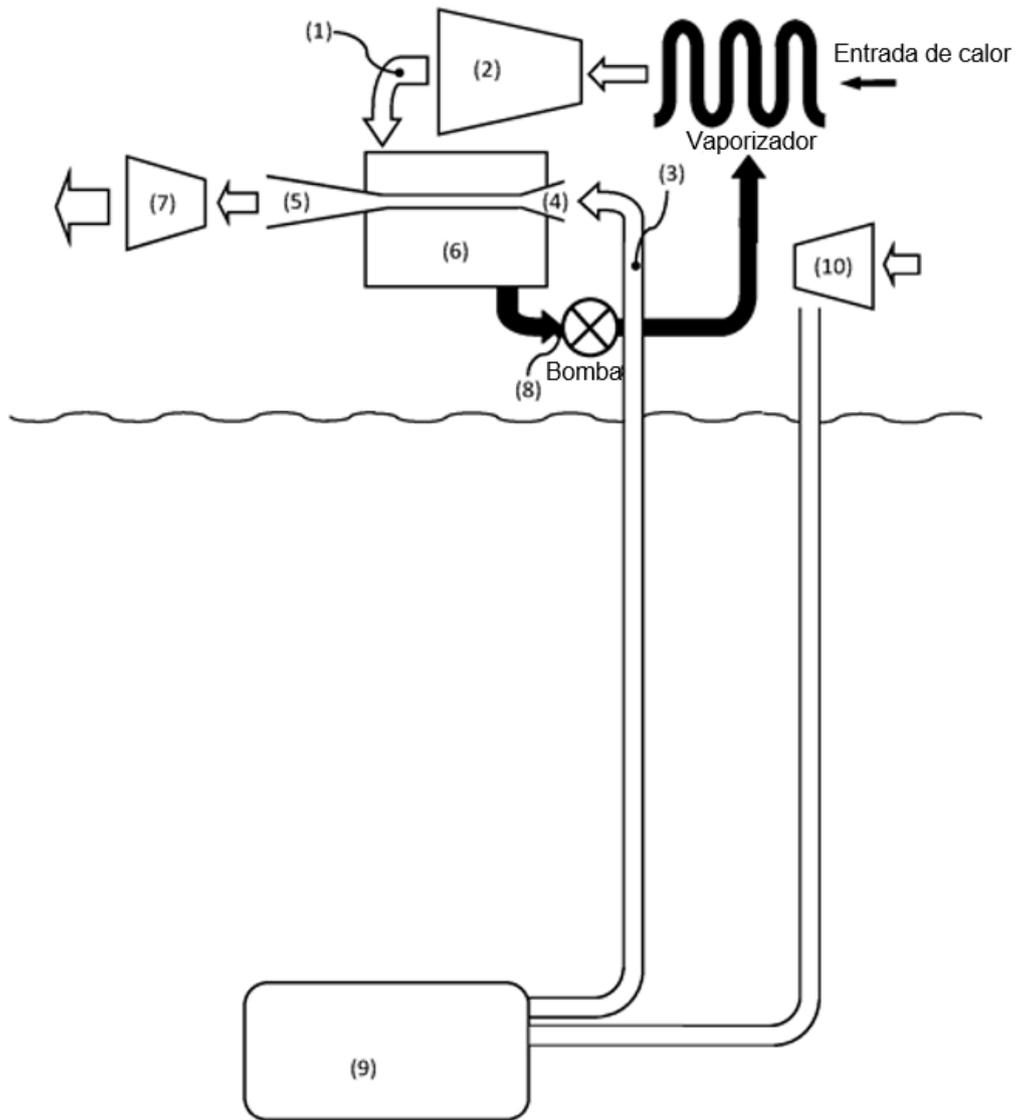


Figura 1

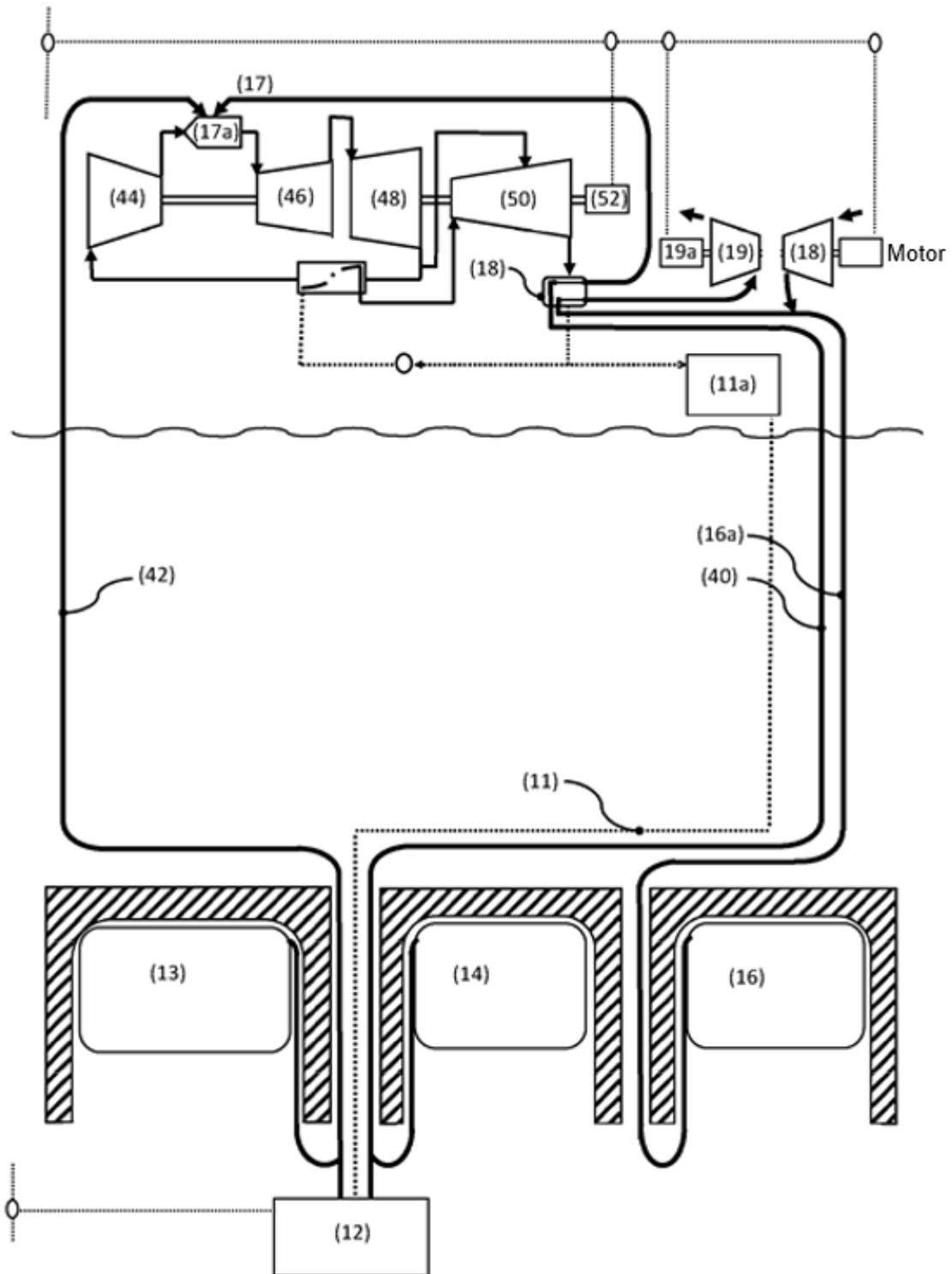


Figura 2

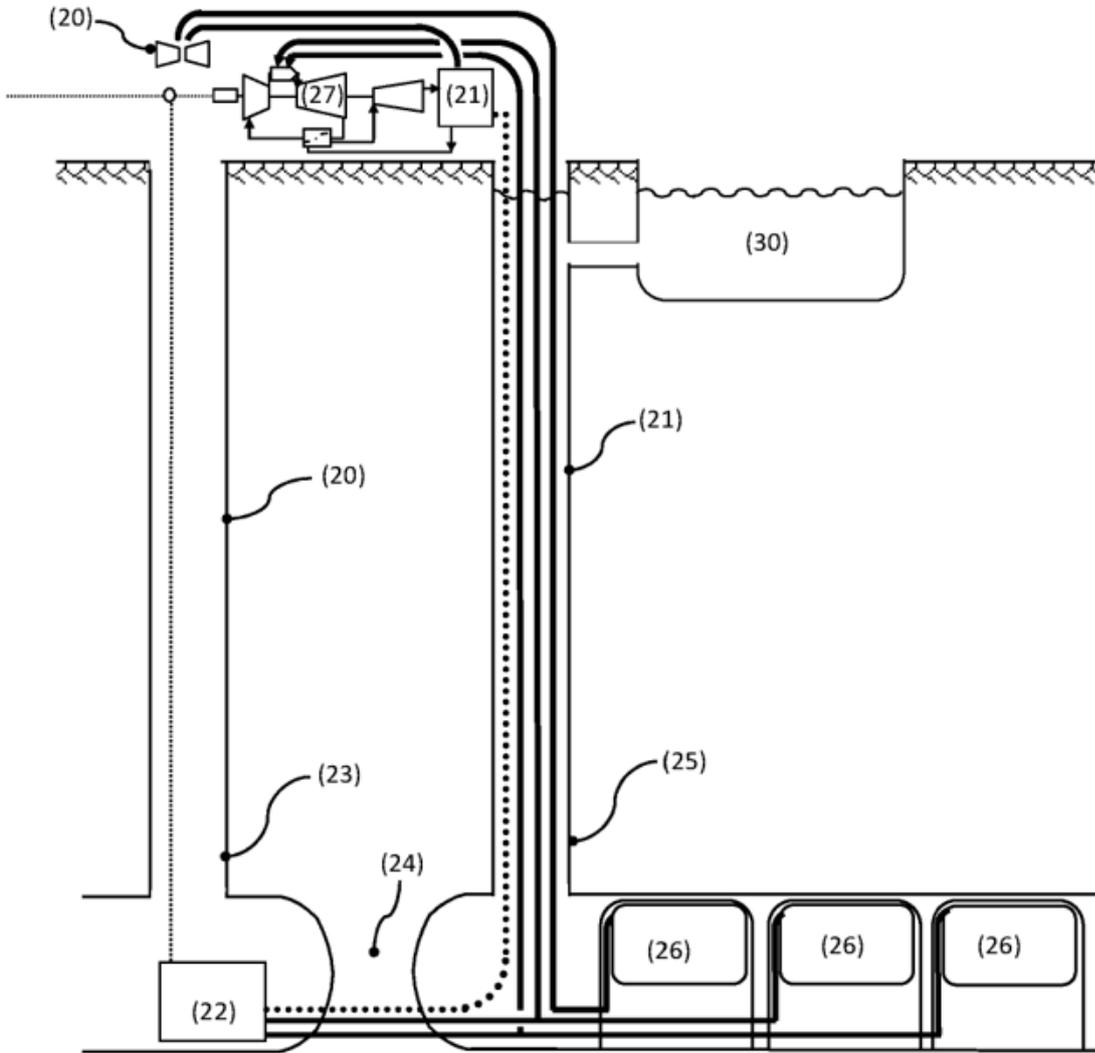


Figura 3

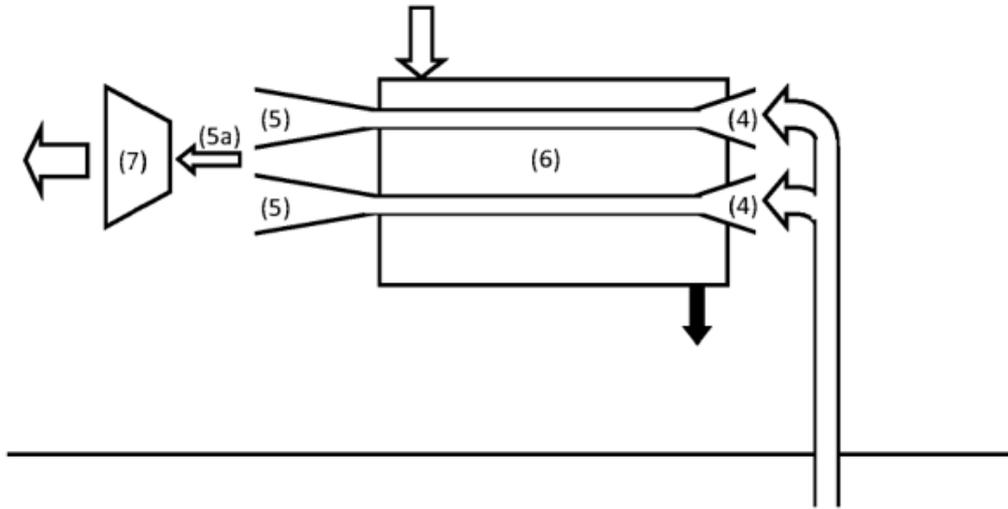


Figura 4

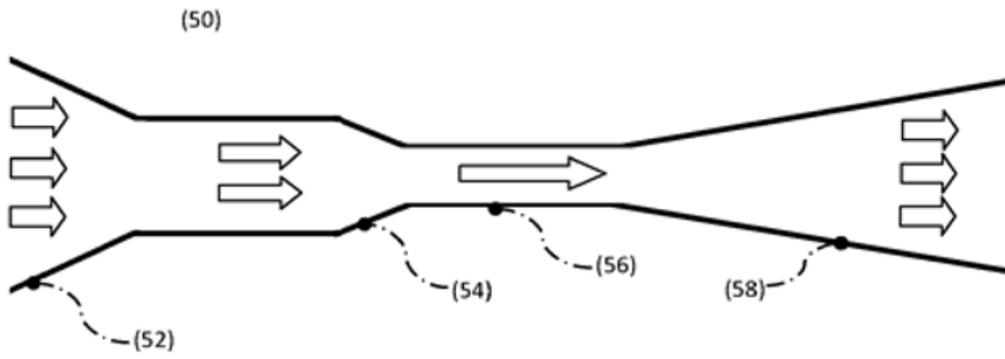


Figura 5a

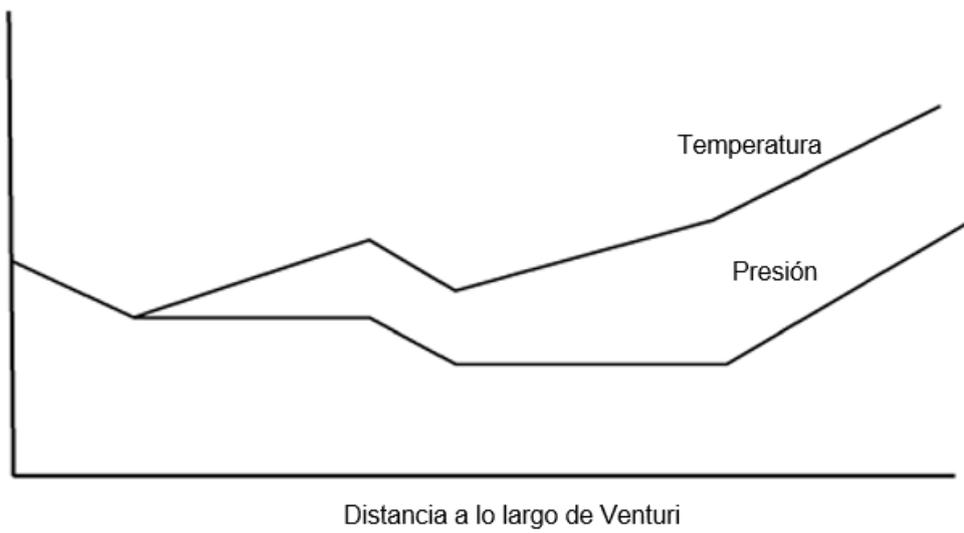


Figura 5b