

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 586 829**

51 Int. Cl.:

**F02C 6/16** (2006.01)

**F03B 1/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.12.2010 E 10805706 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.07.2016 EP 2516827**

54 Título: **Sistema de almacenamiento de energía de aire comprimido**

30 Prioridad:

**23.12.2009 GB 0922517**

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

**19.10.2016**

73 Titular/es:

**GLOBAL POWER AND ENERGY LIMITED  
(100.0%)  
The Rear of 38 High Street  
Bromsgrove, Worcestershire B61 8HQ, GB**

72 Inventor/es:

**BOWERS, PETER JAMES y  
PETERS, PHILLIP STEPHEN**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 586 829 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

Sistema de almacenamiento de energía de aire comprimido

5 La presente invención se refiere a un sistema de almacenamiento de energía de aire comprimido (CAES, por sus siglas en inglés), particularmente, pero no exclusivamente, que puede almacenar un exceso de energía obtenido a partir de una fuente renovable para proporcionarle electricidad adicional a la cuadrícula cuando sea necesario. La presente invención también se refiere a un sistema de almacenamiento de energía de aire comprimido y generador combinado.

10 La energía renovable tal como la generada por el viento, la luz solar o las mareas se reconoce como una fuente valiosa de electricidad. Sin embargo, existen problemas en la utilización de dichas fuentes, ya que el suministro puede ser intermitente y no necesariamente se corresponde con los momentos de demanda pico de electricidad. Por lo tanto, se sabe que la energía renovable puede almacenarse de alguna forma para que pueda ser utilizada cuando sea necesario.

15 Uno de los métodos conocidos de almacenamiento es una planta CAES adiabática que utiliza el exceso de potencia de la cuadrícula o energía renovable para hacer funcionar un motor eléctrico con el fin de impulsar un compresor. El aire comprimido se enfría y se utiliza para rellenar alguna forma de depósito, a menudo una caverna subterránea, a una presión de alrededor de 6000 a 7500 kPa (60 a 75 bar). En los momentos de demanda pico, el aire comprimido se retira de la caverna, se calienta y luego se suministra a una turbina de gas modificada. La energía del aire comprimido, junto con la suministrada por los procesos de combustión, impulsa la turbina, lo que produce electricidad a través de un generador eléctrico. Luego, la electricidad es suministrada a la cuadrícula.

20 Se conoce el procedimiento para extraer energía térmica del aire comprimido antes de que ingrese al depósito, y almacenarla en un depósito de energía térmica. Cuando la cuadrícula necesita energía, la energía térmica vuelve al aire comprimido antes de que sea utilizada para impulsar la turbina.

25 US4150547 describe una planta de energía de aire comprimido, donde el aire comprimido se puede almacenar bajo tierra. US2433896 describe el almacenamiento de fluido para generación de energía. DE2636417 muestra un sistema de aire comprimido para almacenar y utilizar la energía.

30 Los sistemas CAES conocidos no funcionan con eficacia óptima. Es conveniente que la turbina de expansión tenga un encendido rápido para que pueda reaccionar a los picos de demanda de electricidad. Esto se puede lograr más fácilmente mediante la rotación y precalentamiento de la turbina, que requiere una mayor entrada de energía, lo que afecta de manera adversa la eficacia. El depósito de energía térmica es central con respecto a la eficacia general de la planta CAES, y los almacenamientos de energía térmica existentes proporcionan niveles insatisfactorios de eficacia.

35 Se desea proporcionar un sistema CAES adiabático que tenga eficacia mejorada debido a un almacenamiento de energía térmica y precalentamiento de la turbina más eficaz. También se desea proporcionar un sistema CAES y generador combinado, ya que se puede lograr un aumento adicional de la eficacia al desarrollar electricidad a través de la energía cinética del agua presurizada por el aire comprimido, en lugar de directamente a partir del aire comprimido en sí mismo.

40 Según la presente invención, se proporciona un sistema de almacenamiento de energía de aire comprimido para suministrar fluido presurizado a la turbina para generar electricidad, que comprende al menos un compresor para comprimir el aire, un sistema de recuperación de energía térmica para recuperar el calor de compresión del aire, un depósito de energía térmica, un depósito de energía de aire comprimido, un sistema de introducción de energía térmica para reintroducir al menos una parte del calor en el aire corriente abajo del depósito de energía de aire comprimido y una vía de flujo de aire comprimido que conecta el al menos un compresor y el depósito de energía de aire comprimido, al menos un tanque de agua y una vía de flujo líquido que conecta el al menos un tanque de agua a una turbina, donde el aire comprimido está configurado para presurizar el agua y el agua presurizada está configurada para impulsar la turbina.

45 El sistema de almacenamiento de energía de aire comprimido puede comprender adicionalmente al menos una turbina, que preferiblemente sería una turbina Pelton o similar. Preferiblemente, el sistema de almacenamiento de energía de aire comprimido también incluye al menos un amortiguador de choque hidráulico asociado a la al menos una turbina.

50 La energía térmica del depósito de energía térmica puede suministrarse para precalentar la turbina. El depósito de energía térmica puede comprender un material de almacenamiento térmico sólido, preferiblemente depósitos de sales sedimentada o seca, o puede comprender un líquido, preferiblemente agua.

El al menos un compresor del sistema de almacenamiento de energía de aire comprimido puede ser un compresor alternativo.

55 El sistema comprende un sistema de recuperación de energía térmica para recuperar el calor de la compresión del

aire. El sistema de recuperación de energía térmica preferiblemente incluye un dispositivo de recuperación para extraer el exceso de calor directamente del cuerpo del compresor, un intercambiador de calor para recuperar calor del aire comprimido y/o una parte de la vía de flujo, dispuestos para que pasen a través del depósito de energía térmica. El intercambiador de calor puede ser un postenfriador ubicado corriente abajo del depósito de energía térmica.

Una parte de la energía térmica obtenida del sistema de recuperación de energía térmica puede suministrarse para precalentar la turbina, que puede configurarse para ser impulsada por el aire comprimido.

También se proporciona un método para operar un sistema de almacenamiento de energía de aire comprimido según la reivindicación 12.

En la etapa a), la energía térmica se puede recuperar directamente del cuerpo del compresor, preferiblemente mediante circulación de agua. Puede haber una etapa adicional de utilización selectiva de la energía térmica recuperada para precalentar la turbina.

A continuación se describirán realizaciones preferidas de la invención en relación con los dibujos adjuntos, en los que:

La Figura 1 ilustra un diagrama esquemático del sistema CAES, según una primera realización no abarcada por la invención reivindicada;

La Figura 2 muestra un diagrama de flujo de una fase de almacenamiento del proceso de CAES de la primera realización;

La Figura 3 muestra un diagrama de flujo de una fase de generación del proceso de CAES de la primera realización;

La Figura 4 ilustra un diagrama esquemático de un sistema CAES con generador, según una segunda realización abarcada por la invención reivindicada;

La Figura 5 muestra un diagrama de flujo de una fase de almacenamiento de un proceso de CAES según la realización de la figura 4; y

La Figura 6 muestra un diagrama de flujo de una fase de generación de un proceso de CAES según la realización de la figura 4.

Con referencia a la figura 1, el sistema de energía de aire comprimido 10 comprende un compresor de baja presión 12, un compresor de alta presión 14 en serie con el compresor de baja presión 12, una unidad de recuperación de calor 18, un depósito de energía térmica 20, un postenfriador 22, un depósito de energía de aire comprimido 24, una serie de válvulas reguladoras 29, 27 y al menos una turbina 26. Los compresores 12, 14, el depósito de energía térmica 20, el postenfriador 22, el depósito de energía de aire comprimido 24, las válvulas reguladoras 29, 27 y la al menos una turbina 26 están unidos en serie mediante una vía de flujo de aire comprimido 21. Los compresores 12 y 14 son accionados por un motor eléctrico (no se muestra) y son regulados por un controlador 11.

Existen una cantidad de compresores 12, 14 adecuados para esta aplicación, que incluyen compresores lubricados con aceite, sin aceite, compresores de paleta y compresores alternativos de alta presión. En esta realización, el compresor de baja presión 12 es un compresor axial mientras el compresor de alta presión 14 es un compresor radial. Los compresores adecuados son fabricados, p. ej., por MAN Turbo AG de Oberhausen, Alemania. Para una eficacia óptima, ambos compresores son preferiblemente capaces de trabajar a alta presión y altas temperaturas (alrededor de 7500 kPa (75 bar) y 650 °C). De forma ventajosa, deberían poder funcionar en un amplio intervalo operativo con alta eficacia y, de forma ventajosa, deberían ser compatibles con tiempo de encendido corto y encendidos frecuentes, y ser capaces de funcionar con gradientes de temperatura y presión significativos. Cada compresor comprende una válvula de alivio de presión 15 y una camisa de agua circundante 13 para la extracción de calor del cuerpo del compresor y en particular mediante la extracción de calor del aceite de lubricación de cada compresor 12, 14.

Un compresor de baja presión adicional (no se muestra) puede suministrarse en el sistema entre los compresores de baja presión 12 y alta presión 14 en el punto 31.

Una trampa de condensado 35 se ubica entre el compresor de alta presión 14 y el depósito de energía térmica 20. El agua retirada del aire en este punto se almacena en un depósito 37.

El depósito de energía térmica 20 comprende, en esta realización, depósitos de sal sedimentada y seca dentro de un recipiente presurizado. El recipiente evita de forma ventajosa que el material se derrame dentro de la turbina. Para un esquema a gran escala, tal como el de la primera realización, es conveniente una capacidad de almacenamiento térmico de 120-1200 MWh y velocidades de extracción de calor altas. El recipiente presurizado contiene un medio de almacenamiento sólido que en esta realización comprende depósitos de sal sedimentada y seca extraídos. El medio de almacenamiento sólido proporciona una gran área de superficie para la transferencia de

calor, mientras los depósitos de sal son generalmente económicos y, por lo tanto, un medio atractivo. Por lo tanto, el depósito de energía de esta realización proporciona una forma eficaz para retirar y almacenar el calor de compresión del aire comprimido.

5 En realizaciones adicionales, el almacenamiento de energía térmica alternativo se proporciona en forma de un depósito en estado sólido que contiene materiales higroscópicos, p. ej., los producidos por ZAE Bayern, "Zeolita" o materiales higroscópicos similares.

10 Un circuito de recuperación de calor 17 hace circular agua que es bombeada alrededor de las camisas de agua 13 y le suministra el agua calentada a la unidad de recuperación de calor 18. Una interfaz de enfriamiento 16 permite que el agua sea suministrada hacia dentro y fuera del circuito 17. La unidad de recuperación de calor 18 incorpora un intercambiador de calor y, en esta realización, un medio de almacenamiento de calor (p. ej., depósitos de sal sedimentada y seca dentro de un recipiente presurizado). Por lo tanto, el calor se puede almacenar y transferir de forma selectiva a un circuito de suministro de calor 19, que suministra calor desde la unidad de recuperación de calor 18 hacia la turbina 26.

15 El postenfriador 22 comprende un intercambiador de calor de aire/agua ubicado entre el depósito térmico y el depósito de energía de aire comprimido 24 en la vía de flujo de aire comprimido. Se hace pasar agua con una temperatura menor que el aire correspondiente a través de este, lo que provoca que el agua se caliente y que el aire se enfríe. El agua calentada es suministrada en el circuito de suministro de calor 19.

20 El depósito de energía de aire comprimido 24 comprende, en esta realización, una caverna subterránea 25, de alrededor de 145 m de altura y 900 m por debajo del nivel del suelo, creada por la extracción de sal. Los depósitos retirados en la creación de la caverna 25 pueden utilizarse en el depósito de energía térmica 20. Las cavernas de este tipo presentan los únicos medios de almacenamiento viables desde el punto de vista financiero cuando se considera un almacenamiento de gran volumen, que el solicitante tiene en cuenta para plantas que pueden generar alrededor de 15MW de potencia o más. De manera ventajosa, la caverna 25 tiene forma sustancialmente cilíndrica, lo que proporciona características óptimas de presión. Debe tenerse en cuenta un margen de tolerancia para aproximadamente 530 metros cúbicos por MWh de energía que se generará. En otras realizaciones también se pueden utilizar otras cavernas preexistentes. Para esquemas más pequeños, se pueden utilizar recipientes de almacenamiento fabricados.

30 La turbina 26 para el sistema CAES 10 idealmente debería permitir un encendido rápido, grandes aumentos de potencia y alta eficacia en un amplio intervalo de presiones de entrada. Es probable que las presiones de entrada varíen en un factor de dos, por lo tanto, son deseables las etapas de adaptación (comunes en las turbinas de gas). Una serie de válvulas 27 controlan la presión de entrada de la turbina. Preferiblemente, el aire se encontrará a 4100kPa (41 bar) y 565 °C en la entrada de la turbina. Las turbinas adecuadas incluyen las fabricadas por Alstom Power de Holborn, Londres, RU.

35 Con referencia a las figuras 2 y 3, en uso, un motor eléctrico impulsado por turbinas de viento u otra fuente de energía renovable (no se muestra) da energía a los motores eléctricos para impulsar a los compresores 12, 14. El aire del ambiente es enviado al compresor de baja presión 12, y una vez que se comprime con una primera presión, el aire pasa desde el compresor de baja presión 12 hacia el compresor de alta presión 14. La presión del aire comprimido después de la segunda etapa se encuentra preferiblemente en el orden de 8600kPa. Se bombea agua alrededor de las camisas de agua 13 con el fin de extraer el calor de los compresores 12, 14, preferiblemente a través del aceite de lubricación de los compresores, antes de hacerla circular hacia la unidad de recuperación de calor 18 a través de un primer conjunto de tuberías de recuperación de calor 17. Un segundo conjunto de tuberías de recuperación de calor 19 transfieren el calor desde la unidad de recuperación de calor 18 hacia la turbina 26.

45 En la trampa de condensado 37, se retira el condensado del aire presurizado 37. El aire presurizado se enfría al pasar por el depósito de energía térmica 20, y el calor extraído se almacena en el depósito de energía térmica. Se le puede suministrar calor adicional al depósito de energía térmica 20 a partir de una fuente de calor secundaria tal como electricidad residual, calor residual de un proceso industrial, calor de paneles solares, o calor químico residual. El aire presurizado pasa a través del postenfriador 22, donde se recupera calor adicional. Luego, el aire presurizado es transferido al depósito de energía de aire comprimido 24. El calor residual recuperado por el postenfriador 22 es transferido a la turbina 26 a través del circuito de suministro de calor 19. En esta etapa, se anticipa que la temperatura del aire comprimido se ha reducido a alrededor de 50 °C.

55 Durante los momentos de demanda pico de energía, cuando se requiere que el sistema 10 le suministre energía a la cuadrícula de potencia, se abre una válvula 29 corriente abajo del depósito de energía de aire comprimido 24 para permitir que el aire presurizado sea retirado del depósito de energía de aire comprimido 24. Luego, el aire se calienta al pasar a través del depósito de energía térmica. Esto garantiza que, cuando está expandido, el aire no enfríe la turbina 26 por debajo de su intervalo de temperatura operativa. El aire presurizado luego pasa a través de válvulas reguladoras 27 para permitir que el suministro de aire comprimido "aumente" y se utilice para impulsar la turbina 26. La turbina 26 impulsa a un generador eléctrico 28 para suministrar energía eléctrica según sea necesario.

El calor suministrado desde la unidad de recuperación de calor 18 y postenfriador 22 se usa para precalentar de

manera selectiva la turbina 26 de modo que se pueda lograr un encendido rápido de la turbina 26. Una vez que la turbina 26 está en funcionamiento, ya no es necesario el precalentamiento, ya que se mantiene en su intervalo de temperatura operativa por la cantidad de calor transferido al aire del depósito de energía térmica 20. Para lograr un encendido rápido, es necesario tanto el precalentamiento como la rotación de la turbina. La rotación continua de la turbina 26 se mantiene de este modo. Un controlador 33 regula el funcionamiento de la turbina 26 en respuesta a la demanda de energía prevaleciente.

Una segunda realización abarcada por la invención reivindicada se muestra en la figuras 4 a 6. A las características que son sustancialmente iguales a las de la realización anterior se les da los números de referencia correspondientes con el prefijo adicional "1". En comparación con la primera realización, esta realización es sustancialmente a menor escala. Sin embargo, se entenderá que puede aumentarse en otras realizaciones con una variedad de tamaños. La segunda realización se simplifica en la medida en que un se ilustra solamente un único compresor y turbina, mientras una planta real típicamente comprendería múltiples compresores y turbinas en serie y/o paralelo.

Con referencia a la Figura 4, la segunda realización de la presente invención comprende un sistema CAES y un generador 110 combinado que tiene un motor eléctrico 108, un compresor 112, un intercambiador de calor 115, un depósito de gas comprimido 124, un depósito de calor 130, cuatro tanques de agua 132a, 132b, 132c, 132d, un acumulador de presión 134, amortiguadores de choque 136, una turbina 138, un generador 128 y un banco de carga 144. El compresor 112, el depósito de calor 130 y el intercambiador de calor 115 forman un primer sistema unido por tuberías de agua 141 (líneas más gruesas) y alimentado a través de una válvula de alivio de presión y entrada 146. Se agrega calor de fuentes secundarias a través de las tuberías de agua 141. Un segundo sistema que comprende los tanques de agua 132a-d y la turbina 138 es alimentado a través de una válvula de alivio de presión y entrada 148 y unido por tuberías de agua 143 (líneas más gruesas). El agua circula a través del segundo sistema por medio de colectores de líquido 140), mientras el aire viaja a lo largo de una vía de flujo de aire comprimido 121 (líneas más finas). Los dos sistemas están unidos por una tubería de agua 145. Esta tubería 145 permite que el sistema funcione en el caso de que el intercambiador de calor 115 no funcione.

Al igual que en la realización anterior, el compresor 112 comprende una camisa de agua circundante 113 para la recuperación de calor del cuerpo del compresor 112 a través del aceite de lubricación del compresor 112.

El depósito de energía de aire comprimido 124 en esta realización es similar al depósito de energía de aire comprimido 24 de la realización anterior, que comprende una caverna subterránea 125 creada por la extracción de sal. En esta realización, el depósito de energía de aire comprimido 124 es de aprox. 25 m a 30.000 kPa.

Los cuatro tanques de agua 132a-d están dispuestos en una configuración rodeando el acumulador de presión 134, al cual están conectados. En esta realización, cada uno de los tanques de agua 132a-d comprende un cilindro de paredes dobles de 5 m de diámetro y 5 m de altura. La pared interna de cada tanque 132a-d está perforada y el cilindro interno contiene una estructura tipo panal para reducir la turbulencia. La cavidad externa permite que el aire pase rápidamente a través del agua contenida en el tanque 132a-d. Cada tanque 132a-d puede presurizarse de forma ventajosa hasta 15.000 kPa (150 bar). El acumulador de presión 134 comprende un tambor circular de aprox. 5 m de diámetro bajo presión gravitacional constante. Los colectores de líquido 140 conectan los tanques de agua al acumulador de presión 134 y el resto del sistema. El depósito de calor 130 comprende un tanque de aproximadamente el doble del tamaño de cada uno de los cuatro tanques de agua 132a-d. El depósito de calor 130 es un depósito de agua presurizado hasta 1400 kPa (14 bar) con una temperatura operativa de aproximadamente 400 °C. El depósito de calor 130 recibe calor del proceso de compresión y fuentes de calor secundarias, p. ej., electricidad residual, calor residual de un proceso industrial, calor de paneles solares o calor químico residual. En realizaciones alternativas, el depósito de calor puede ser un depósito en estado sólido que contiene materiales higroscópicos tales como los producidos por ZAE Bayern (p. ej., "Zeolita" o materiales higroscópicos similares).

Los amortiguadores de choque 136 están ubicados corriente arriba y corriente abajo de la turbina. En esta realización comprenden acumuladores hidroneumáticos diseñados para evitar los cambios significativos de presión.

La turbina 138 en esta modalidad es preferiblemente una turbina Pelton, tales como las fabricadas por Voith Hydro de Heidenheim, Alemania. Una disposición de válvula de desvío 150 permite que el agua presurizada evite la turbina y generador en caso de falla mecánica.

El banco de carga 144 regula la carga en la turbina durante el encendido.

Un inyector 1.52, en esta realización, se ubica corriente arriba de la turbina 138 y corriente abajo del amortiguador de choque 136. El inyector 152 recibe vapor, aire comprimido y agua presurizada y las inyecta en la turbina 138, lo que mejora la eficacia.

Con referencia a la figura 5, en uso, durante una fase de carga, el compresor 112 es impulsado por el motor eléctrico 108, accionado por electricidad de cuadrícula excedente o una fuente de energía renovable para almacenar energía. El calor se extrae del aire comprimido mediante el intercambiador de calor 115. Luego, el aire comprimido se almacena en el depósito de energía de aire comprimido 124. El calor se extrae del compresor 112 mediante su

aceite lubricante y el agua en la camisa del compresor 113, que luego se almacena en el depósito de calor 130 junto con el agua del intercambiador de calor 115. También se almacena el calor de las fuentes de calor secundarias. El agua ingresa al sistema por medio de las entradas de agua 146, 148, aunque típicamente el sistema funciona como un bucle cerrado con recirculación de agua.

5 Durante esta fase de carga, el calor recuperado también se puede utilizar para llenar los colectores 140 con agua presurizada calentada, el acumulador de presión 134 lleno hasta aproximadamente 2/3 con agua presurizada, y hasta dos tanques 132a - 132d con agua presurizada. Además, el aire comprimido puede burbujear a través de la parte externa de uno de los dos tanques llenos (tal como se muestra en la Figura 4, tanque 132c). Luego pasa en estado calentado hacia el tanque 132a para presurizarlo.

10 La Figura 4 muestra los cuatro tanques de agua 132a, 132b, 132c, 132d que contienen diversas cantidades de agua. El primer tanque 132a está lleno de agua, completamente presurizado y listo para descargarlo en el acumulador de presión 134. El cuarto tanque 132d está vacío y listo para recibir el agua que regresa de la tanque. El tercer tanque, 132c está lleno de agua y listo para presurizarlo mediante aire comprimido del depósito 124 y vapor del depósito de calor 130. El segundo tanque 132b se está ventilando en la atmósfera por medio de la ventilación de escape 142.  
15 Ahora el sistema 110 se encuentra en un estado completamente cargado y está listo para funcionar.

Con referencia a la Figura 6, cuando se necesita electricidad, se abre una válvula de salida y se expulsa agua desde el fondo del tanque 132a hacia el acumulador de presión 134 a través del colector 140. Los tanques de agua 132a, 132b, 132c, 132d se vacían, se llenan y presurizan a la vez para mantener una presión constante en el acumulador de presión 134, que es alimentado secuencialmente por los cuatro tanques de agua 132. El aire utilizado para presurizar los tanques de agua 132 es expulsado a través de una ventilación de aire de escape cuando ya no se necesita.  
20

El agua presurizada supercalentada es expulsada del acumulador de presión 134 hacia la turbina 138, lo que provoca que la turbina impulse y el generador 128 genere electricidad que puede suministrarse a la cuadrícula. Antes de llegar a la turbina 138 el agua fluye y pasa por un amortiguador de choque 136 de modo que no se cree un golpe de ariete. Durante el encendido, se toma electricidad de la cuadrícula o suministro local y se transfiere al banco de carga 144 con el fin de regular la carga en la turbina 138 de modo que no se exceda el intervalo operativo de la turbina. El agua que ha pasado a través de la turbina 138 regresa al colector 140 y, por lo tanto, se reincorpora al ciclo, ya sea al ingresar a un tanque vacío de los tanques 1.32a-132d (tal como se muestra en la Fig. 4 132d), o para rellenar el depósito de calor 130 si necesitar ser rellenado.  
25

30 Se entenderá que pueden realizarse muchos cambios dentro alcance de la presente invención. En realizaciones adicionales de esta invención, el CAES y generador combinado puede comprender una o más de dos etapas de compresión y se puede utilizar más de una turbina y más de un compresor, en serie o paralelo, o combinaciones de ambos. El calor extraído del compresor o compresores se puede almacenar antes de utilizarlo para calentar la turbina a demanda. El depósito de calor se puede calentar de forma eléctrica o mediante medios alternativos, algunos de los cuales se describieron anteriormente, para aumentar el calor que se puede extraer del aire y los compresores. En una segunda realización, esto puede venir del banco de carga. En la segunda realización, el sistema puede entrar en funcionamiento más temprano en la fase de carga, incluso si el colector, los tanques y el acumulador de presión no están llenos. El depósito de calor puede omitirse del sistema de la segunda realización, o el sistema puede funcionar sin utilizarlo (p. ej., si se le está realizando mantenimiento). La presión en el acumulador de presión puede proporcionarse mediante resortes. La turbina se puede precalentar desde el depósito de energía térmica. Se pueden utilizar fluidos alternativos tal como glicol en lugar de agua o en combinación con esta. El control de carga en la turbina 138 puede realizarse con el uso del depósito de calor 130 en lugar del banco de carga 144, de forma electrónica o por monitoreo, o mediante una combinación de estos métodos.  
35  
40

45 Los sistemas de la primer y segunda realización pueden ubicarse en las cercanías de industrias que generan calor o electricidad residual u otras alternativas, y/o aire comprimido con el fin de incorporarlos dentro del proceso CAES y ponerlos en uso. La unidad de recuperación de calor y el depósito de energía térmica de la primera realización pueden combinarse en una sola unidad.

50 En la segunda realización, el calor del compresor se puede utilizar para generar vapor a alta presión, mantenido como agua presurizada supercalentada a 20.000 kPa (200 bar) dentro de un cilindro aislado. Luego, este vapor se puede inyectar a través el inyector 152 dentro de la turbina para aumentar la presión de descarga hidráulica final. El vapor también se puede utilizar para crear presión negativa de modo que aumente la carga de presión a través de la turbina. Se puede utilizar la expansión del aire comprimido para enfriar uno de los tanques 132a-d que contienen vapor, lo que condensa el vapor supercalentado y crea una presión negativa.

Los tamaños de los sistemas pueden aumentarse o disminuirse, según sea necesario.

55

**REIVINDICACIONES**

1. Un sistema de almacenamiento de energía de aire comprimido para suministrar fluido presurizado a la turbina para generar electricidad, que comprende al menos un compresor para comprimir el aire, un sistema de recuperación de energía térmica para recuperar el calor de compresión del aire, un depósito de energía térmica (130), un depósito de energía de aire comprimido, un sistema de introducción de energía térmica para reintroducir calor en el aire corriente abajo del depósito de energía de aire comprimido y una vía de flujo de aire comprimido que conecta el al menos un compresor y el depósito de energía de aire comprimido, y que comprende además al menos un tanque de agua (132a-d) y una vía de flujo líquido (140) configurado para conectar el al menos un tanque de agua (132a-d) a una turbina, donde el aire comprimido está configurado para presurizar el agua y el agua presurizada está configurada para impulsar la turbina.
2. Un sistema de almacenamiento de energía de aire comprimido (110) según la reivindicación 1 que comprende además al menos una turbina (138).
3. Un sistema de almacenamiento de energía de aire comprimido (110) según la reivindicación 2 en donde la al menos una turbina (138) es una turbina Pelton o similar.
4. Un sistema de almacenamiento de energía de aire comprimido (110) según la reivindicación 2 o reivindicación 3 que comprende además al menos un amortiguador de choque hidráulico (136) asociado a la al menos una turbina (138).
5. Un sistema de almacenamiento de energía de aire comprimido (110) según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4 en donde se puede suministrar la energía térmica del depósito de energía térmica (130) para precalentar la turbina.
6. Un sistema de almacenamiento de energía de aire comprimido (110) según cualquiera de las reivindicaciones precedentes en donde el depósito de energía térmica (130) comprende un material de almacenamiento de calor sólido, preferiblemente en donde el depósito de energía térmica (130) comprende depósitos de sal sedimentada y seca.
7. Un sistema de almacenamiento de energía de aire comprimido (110) según cualquiera de las reivindicaciones precedentes en donde el al menos un compresor (112) es un compresor alternativo.
8. Un sistema de almacenamiento de energía de aire comprimido (110) según cualquiera de las reivindicaciones precedentes en donde el sistema de recuperación de energía térmica incluye un dispositivo de recuperación para extraer el exceso de calor directamente del cuerpo del compresor.
9. Un sistema de almacenamiento de energía de aire comprimido (110) según la reivindicación 8 en donde el sistema de recuperación de energía térmica comprende además un intercambiador de calor (115) para recuperar calor del aire comprimido.
10. Un sistema de almacenamiento de energía de aire comprimido (110) según la reivindicación 8 o reivindicación 9 en donde el sistema de recuperación de energía térmica (115) comprende una parte de la vía de flujo dispuesta para que pase a través del depósito de energía térmica (130).
11. Un sistema de almacenamiento de energía de aire comprimido (110) según la reivindicación 10 cuando depende de la reivindicación 9 en donde el intercambiador de calor (115) es un postenfriador ubicado corriente abajo del depósito de energía térmica (130).
12. Un método para operar un sistema de almacenamiento de energía de aire comprimido (110) según la reivindicación 1 que comprende las etapas de
- comprimir aire;
  - recuperar energía térmica directamente y/o indirectamente del aire comprimido;
  - obtener energía térmica de una fuente externa;
  - almacenar la energía térmica en un depósito de energía térmica (130);
  - almacenar el aire comprimido en un depósito de energía de aire comprimido (124); y
  - usar de manera selectiva la energía almacenada en el depósito de energía de aire comprimido (124) y el depósito de energía térmica (130) para impulsar una turbina (138) usando agua presurizada.
13. Un método para operar un sistema de almacenamiento de energía de aire comprimido (110) según la reivindicación 12 en donde en la etapa a) la energía térmica se recupera directamente del cuerpo del compresor (112).

14. Un método para operar un sistema de almacenamiento de energía de aire comprimido (110) según la reivindicación 13 en donde la energía térmica se recupera directamente del cuerpo del compresor (112) por medio de circulación de agua.

5 15. Un método para operar un sistema de almacenamiento de energía de aire comprimido (110) según la reivindicación 12 o reivindicación 13 que comprende una etapa adicional de utilización selectiva de la energía térmica recuperada para precalentar la turbina (138).

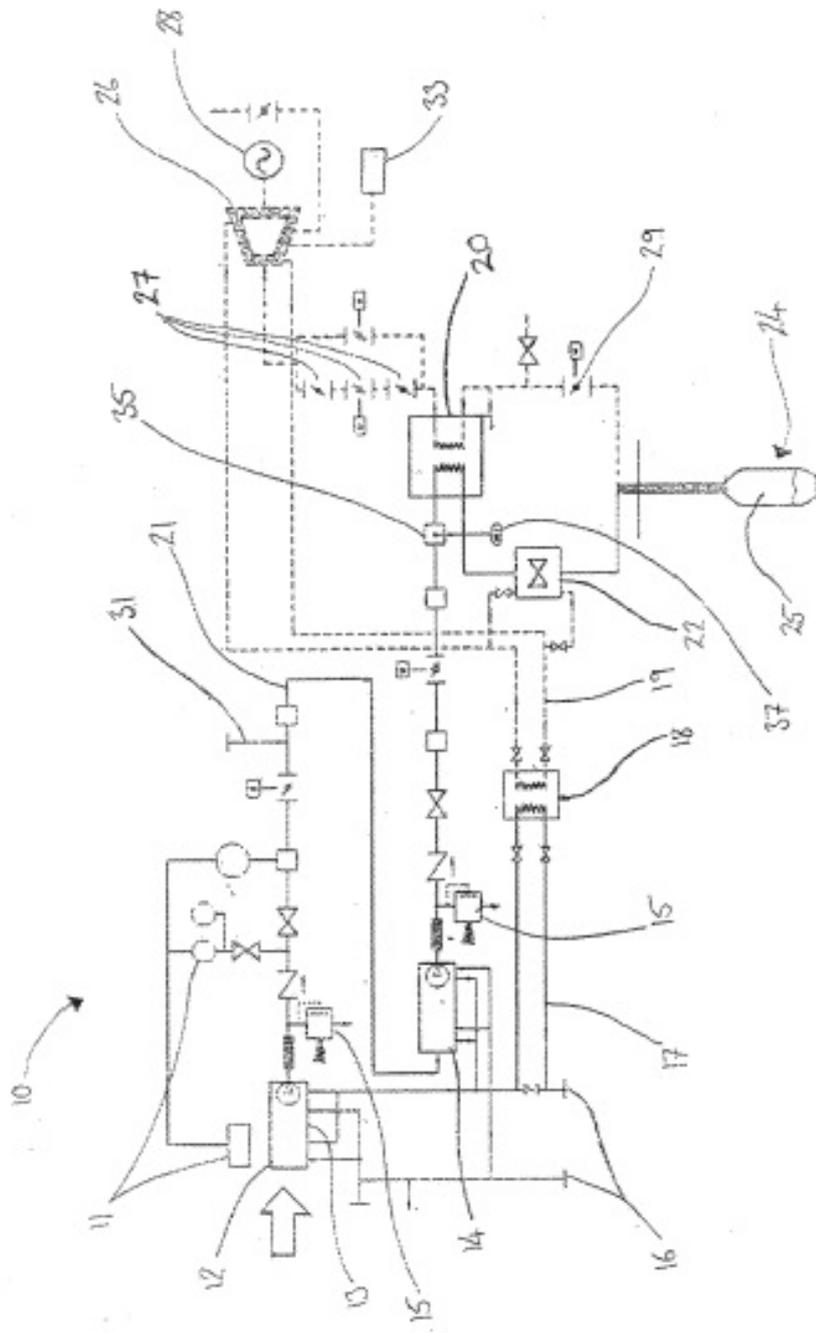


Fig. 1

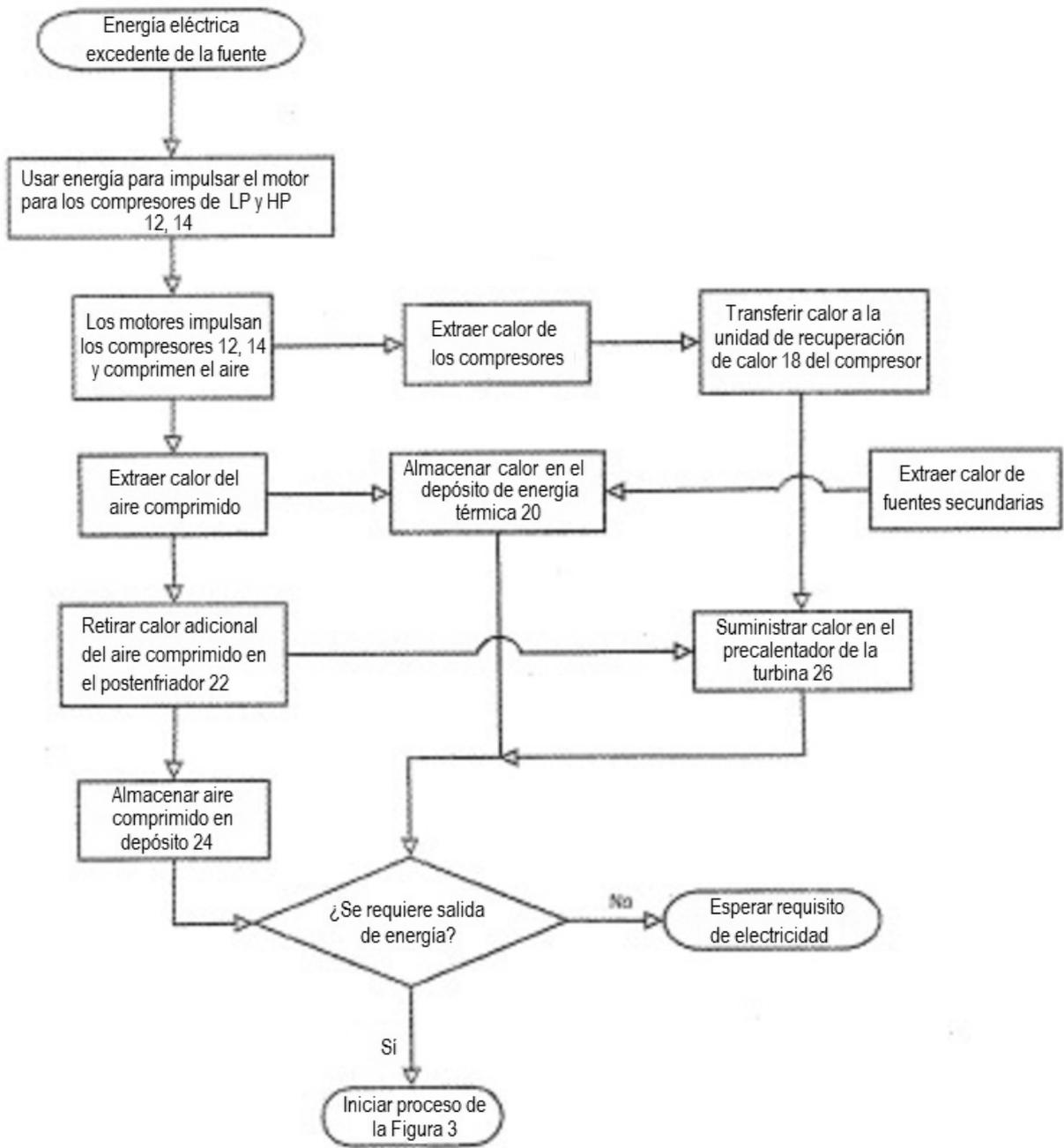


Fig. 2

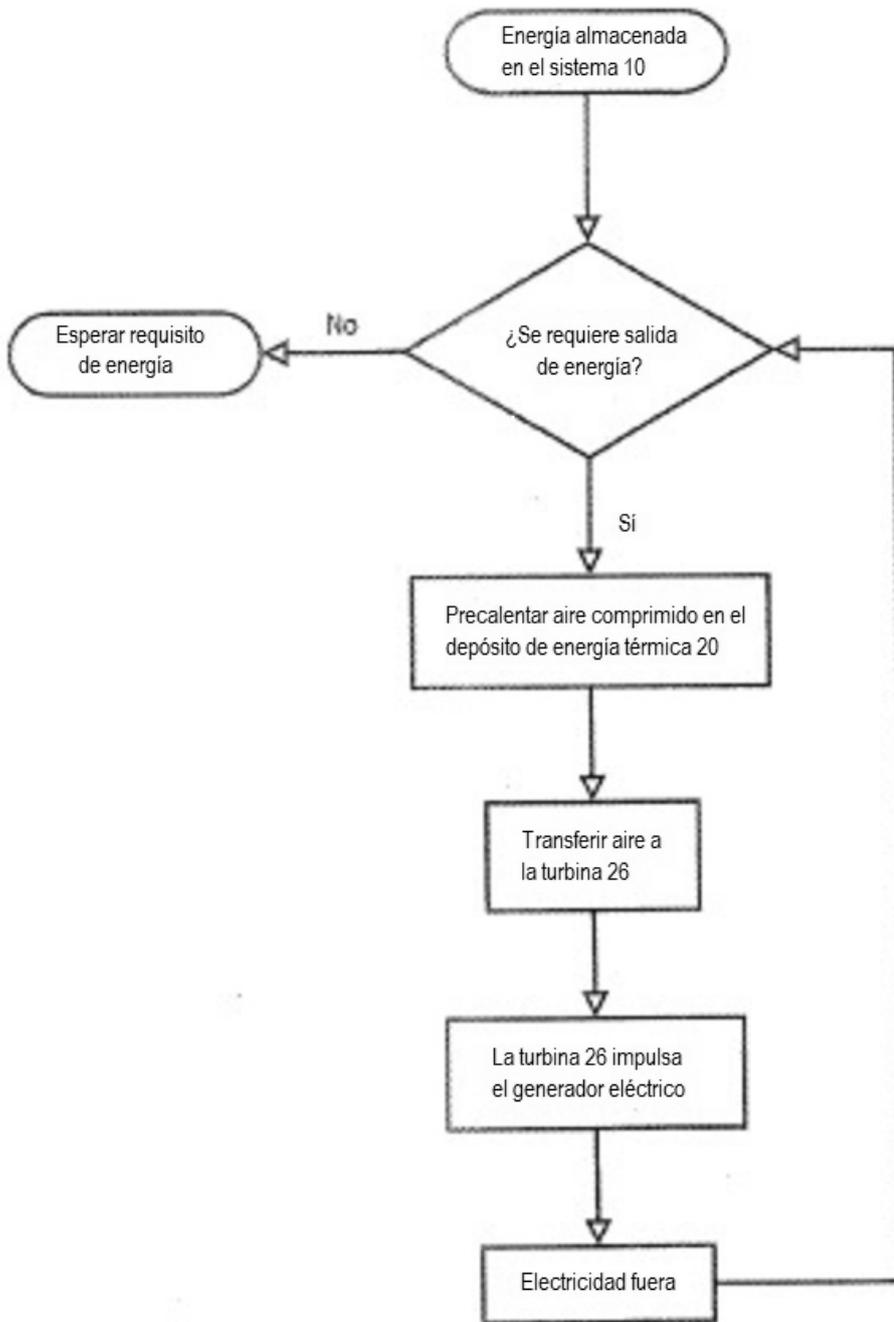


Fig. 3

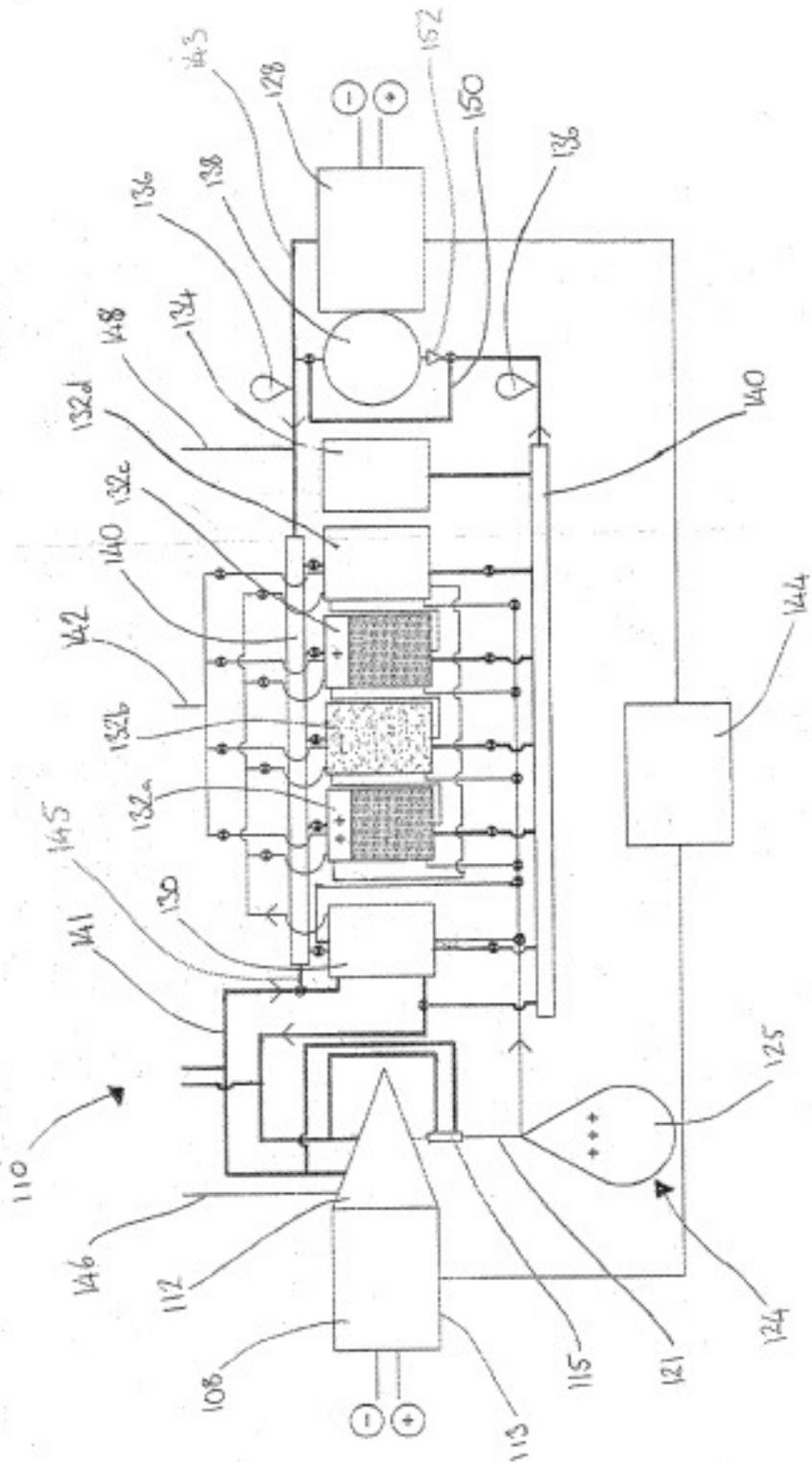


Fig. 4

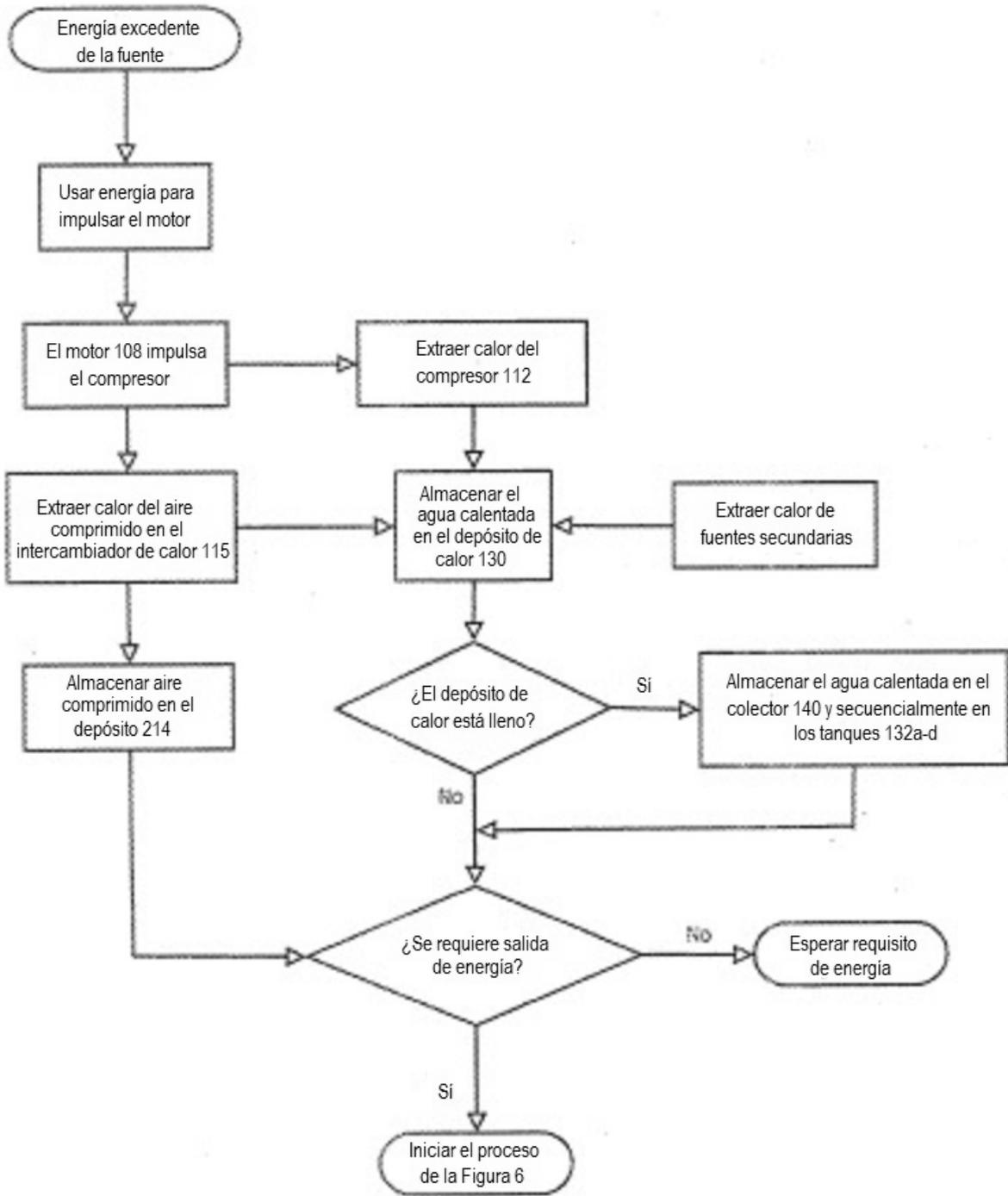


FIG 5

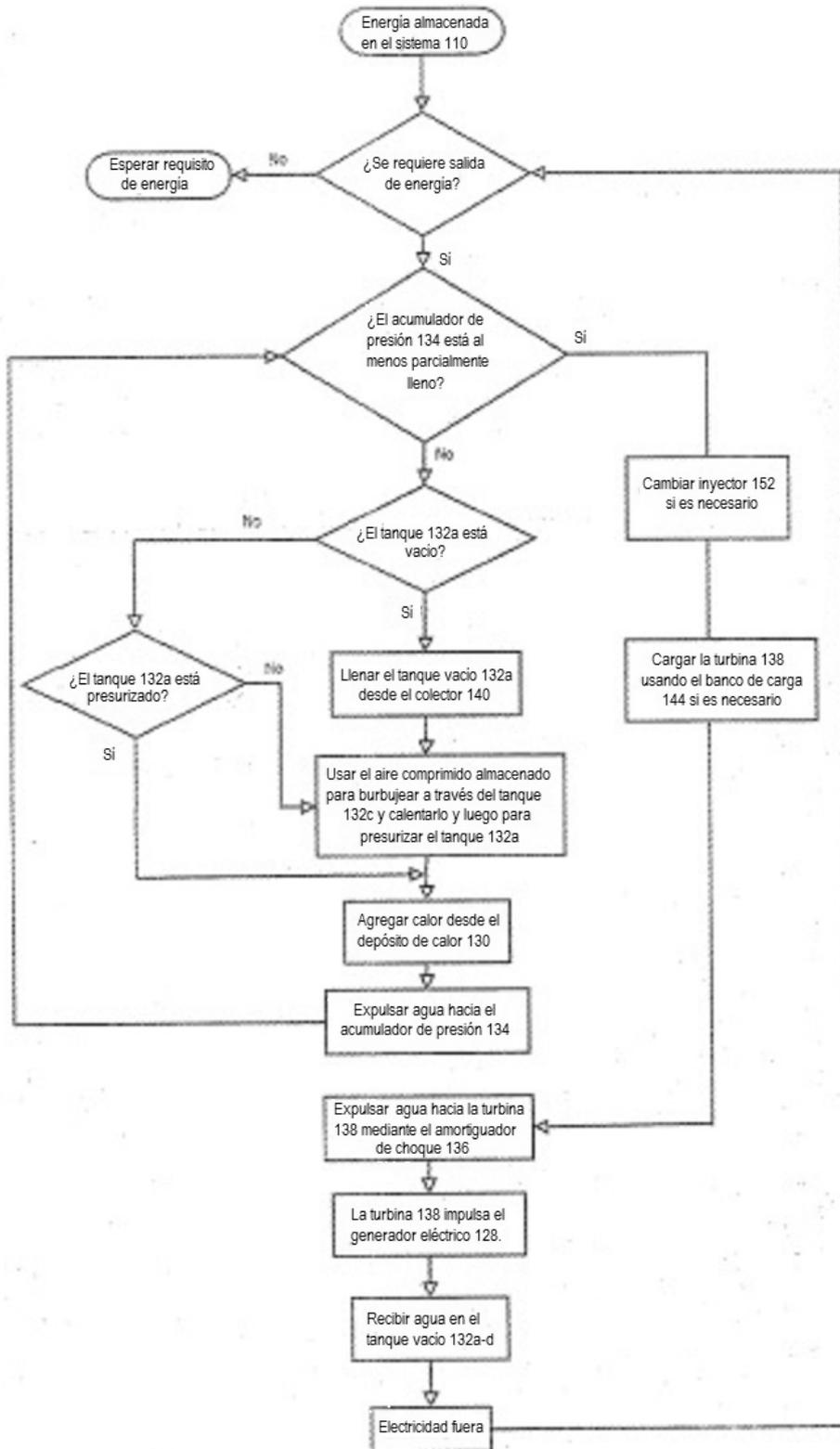


Fig. 6