

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 551 853**

51 Int. Cl.:

**F02C 6/18** (2006.01)

**F02C 6/16** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.10.2010 E 10188622 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.09.2015 EP 2378100**

54 Título: **Sistema y procedimiento de uso de un sistema de almacenamiento de aire comprimido con una turbina de gas**

30 Prioridad:

**27.10.2009 US 606761**

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

**24.11.2015**

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC COMPANY (100.0%)  
1 River Road  
Schenectady, NY 12345, US**

72 Inventor/es:

**FINKENRATH, MATTHIAS;  
NAIDU, BALACHANDAR;  
BOOTH, CHARLES MICHAEL;  
FERGUSON, GARLAND y  
FREUND, SEBASTIAN W.**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 551 853 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 y procedimiento de uso de un sistema de almacenamiento de aire comprimido con una turbina de gas

**Antecedentes de la invención**

5 Realizaciones de la invención se refieren en general a sistemas de almacenamiento de aire comprimido y, más particularmente, a un sistema y a un procedimiento de uso de un sistema de almacenamiento de aire comprimido con una turbina de gas.

Tipos de sistemas de almacenamiento de energía de aire comprimido incluyen sistemas diabáticos de almacenamiento de energía de aire comprimido (CAES diabáticos) y sistemas adiabáticos de almacenamiento de energía de aire comprimido (ACAES). Tales sistemas incluyen típicamente un tren de compresión que tiene uno o  
10 más compresores que operan durante una etapa de compresión para comprimir aire de admisión a 80 bares o más, donde la energía almacenada está disponible para accionar más tarde una turbina para generar electricidad. Normalmente, el aire comprimido puede almacenarse en varios tipos de medios subterráneos, que incluyen, pero no se limitan a, formaciones rocosas porosas, campos de gas natural/petróleo vacíos y cavernas de sal o formaciones rocosas. Alternativamente, el aire comprimido se puede almacenar en sistemas por encima del suelo, tales como,  
15 por ejemplo, tuberías de alta presión similares a las usadas para el transporte de gas natural. Sin embargo, los sistemas por encima del suelo tienden a ser caros y por lo general no tienen una capacidad de almacenamiento comparable a una caverna subterránea - a pesar de que pueden ser atractivos en cuanto a que pueden estar situados en áreas donde las formaciones subterráneas no están disponibles.

Un sistema CAES diabático típicamente pierde un calor de compresión del aire a un entorno ambiente, mientras que  
20 un sistema adiabático almacena el calor de compresión para su uso posterior. Durante la operación de la etapa de compresión, el aire comprimido típicamente sale del compresor que tiene una temperatura elevada de, por ejemplo, entre 550°C y 650°C, que es debido en gran parte al calor de la compresión del aire. La cantidad de energía contenida en el mismo es una función de al menos su diferencia de temperatura con el ambiente, su presión (es decir, una masa total de aire), y su capacidad de calor. Por lo tanto, en un sistema CAES diabático, aunque el calor de  
25 la compresión puede estar en gran parte presente al entrar en la caverna, su valor energético y su disponibilidad se ven disminuidas, ya que se mezcla con el aire de la caverna y cuando se enfría aún más a los alrededores o a la temperatura ambiente durante el almacenamiento - dando lugar a una baja eficiencia general.

Los sistemas ACAES, por otro lado, mejoran la eficiencia del sistema mediante la captura y el almacenamiento del calor de compresión para su uso posterior. En tal sistema, una unidad de almacenamiento de energía térmica (TES) se coloca entre el compresor y la caverna. Típicamente, un TES incluye un medio para el almacenamiento de calor,  
30 y el aire caliente de la etapa de compresión pasa a través del mismo, transfiriendo su calor de la compresión al medio en el proceso. Algunos sistemas incluyen aire que sale del TES en o cerca de la temperatura ambiente, por lo tanto, el TES es capaz de almacenar calor que es debido a la compresión, en comparación con un sistema adiabático. Como tal, el aire puede entrar en la caverna en o cerca de temperatura ambiente, pero a alta presión, y poca energía se pierde debido a cualquier diferencia de temperatura entre el aire comprimido y la temperatura ambiente. Con el fin de almacenar grandes cantidades de energía a partir del calor de compresión, el medio del TES  
35 incluye típicamente un material de alta capacidad de calor. Por ejemplo, un TES puede incluir hormigón, piedra, un fluido tal como aceite, una sal fundida, o de un material de cambio de fase. La energía almacenada en el TES está entonces disponible para calentar el aire a alta presión almacenado, ya que se extrae del mismo durante un ciclo de generación de energía. Por lo tanto, los sistemas ACAES proporcionan una mayor eficiencia respecto a los sistemas diabáticos, algunos sistemas alcanzando un 75% de eficiencia de la primera ley o mayor.  
40

Sin embargo, la eficiencia total del sistema no es necesariamente el parámetro de orientación para determinar si se debe construir u operar un sistema de almacenamiento de energía de aire comprimido. La eficiencia del sistema es una consideración importante, pero hay otros factores también a tener en cuenta. Por ejemplo, los sistemas de  
45 almacenamiento de aire comprimido normalmente obtienen energía de la red eléctrica durante, por ejemplo, horas relativamente menos caras, fuera de horas punta, o de baja demanda, como por la noche. Alternativamente, la operación de almacenamiento de energía puede derivar energía de fuentes renovables, como la eólica, que pueden proporcionar energía intermitente que puede ser durante horas menos deseables de la tarde o de la noche de baja demanda. El aire comprimido está entonces disponible más adelante para accionar una o más turbinas para producir energía eléctrica durante una etapa de generación de energía, que puede ser durante necesidades pico de energía. Como tal, los sistemas de almacenamiento de energía de aire comprimido permiten a los proveedores de electricidad almacenar energía relativamente a bajo coste, que pueden entonces producirse durante los períodos de máxima demanda, que pueden ser vendidos como un premio. Y, otro factor a considerar en la posibilidad de construir un sistema de almacenamiento de energía de aire comprimido es el gasto de capital. Debido a un aumento  
55 de la capacidad de sobrecarga de energía proporcionada por un sistema de almacenamiento de aire comprimido de este tipo, esa capacidad puede obviar la necesidad de construir la capacidad de generación de energía adicional y costosa convencional, tal como plantas eléctricas de gas natural o de carbón.

Por lo tanto, la decisión de construir un sistema de almacenamiento de energía de aire comprimido está influenciada por muchos factores, que incluyen pero no se limitan a los costes de operación del sistema, la disponibilidad de

fuentes de energía renovables, la capacidad total de energía en un mercado determinado y las oscilaciones de precios entre períodos de baja demanda y alta demanda, y la eficiencia del sistema de almacenamiento de energía de aire comprimido. Sin embargo, la construcción de tales sistemas de almacenamiento de energía de aire comprimido independientes típicamente incluye un gasto de capital inicial que no puede ser justificado, a pesar de la capacidad de recoger y almacenar energía de bajo coste y vender la energía almacenada en momentos de máxima demanda. Así, en algunos mercados donde hay una necesidad de capacidad de subida de tensión, donde hay capacidad nocturna extra, o cuando las fuentes de energía renovables están disponibles, los productores de energía, sin embargo, pueden optar a no construir un sistema de este tipo debido a que los costes iniciales de construcción son demasiado altos.

Las turbinas de gas incluyen típicamente uno o más compresores de aire acoplados entre sí y configurados para la salida de aire comprimido a una cámara de combustión. La cámara de combustión está típicamente alimentada por gas natural y se quema gas natural en el mismo mediante el aire comprimido del uno o más compresores de aire. Una primera turbina es accionada por los productos de escape de la cámara de combustión, y la primera turbina está típicamente acoplada mecánicamente a los uno o más compresores para proporcionar energía mecánica a la misma. Los productos de escape salen de la primera turbina y acciona una segunda turbina, o turbina de energía, que está típicamente acoplada a un generador para producir electricidad. Como tal, la cámara de combustión proporciona alimentación a la primera turbina, alimentando al uno o más compresores, y la cámara de combustión también proporciona energía a la segunda turbina o turbina de energía para generar energía eléctrica desde la misma.

Sin embargo, estos sistemas no pueden generalmente beneficiarse o consumir recursos energéticos renovables y no suelen tener una capacidad de almacenamiento de energía, aparte de su fuente de alimentación principal de gas natural. Por lo tanto, para satisfacer el total de la demanda de capacidad de energía de un área o mercado determinado, y por el alto coste de la construcción de un sistema de almacenamiento de energía de aire comprimido mencionado anteriormente, los proveedores de energía pueden elegir construir sistemas de energía que se basan sólo en sistemas accionados por gas natural. Esta elección se opone a los proveedores de energía a partir de la obtención del beneficio de almacenamiento de energía y de la obtención de los beneficios de los sistemas de energía renovable, tal como la energía eólica. Como tal, en los mercados donde las fuentes de energía renovables pueden estar fácilmente disponibles, o donde la energía nocturna puede ser significativamente menos costosa de producir que la energía pico, los proveedores de energía, sin embargo, pueden elegir evitar un coste inicial de construcción y construir sólo un sistema de turbina de gas natural para la generación de energía eléctrica. Por lo tanto, debido al alto coste inicial de construcción, los proveedores de energía pueden estar fallando para aprovecharse de una fuente renovable que está fácilmente disponible.

Por lo tanto, sería deseable diseñar un aparato y desarrollar un procedimiento de construcción que reduzca un coste inicial de construcción del sistema, que supere los inconvenientes mencionados anteriormente.

### 35 **Breve descripción de la invención**

Las realizaciones de la invención proporcionan un sistema y un procedimiento de uso de un sistema de almacenamiento de energía de aire comprimido con una turbina de gas.

De acuerdo con un aspecto de la invención, un sistema de generación de energía incluye un primer compresor configurado para comprimir el aire a una primera presión a través de una primera energía de rotación, un segundo compresor configurado para comprimir el aire a una segunda presión a través de una segunda energía de rotación, en el que la segunda presión es mayor que la primera presión, una cámara de combustión configurada para recibir el aire comprimido desde el segundo compresor y quemar un líquido inflamable con el mismo para producir una corriente de escape, y una primera turbina. La primera turbina está configurada para recibir la corriente de escape de la cámara de combustión, generar la segunda energía de rotación a partir de la corriente de escape, emitir la segunda energía de rotación al segundo compresor, y emitir la corriente de escape. El sistema incluye una turbina de energía configurada para recibir la corriente de escape de la primera turbina, y generar una tercera energía de rotación de la misma. El sistema incluye un dispositivo de acoplamiento configurado para acoplar el primer compresor a una segunda turbina y para desacoplar el primer compresor de la segunda turbina, un generador eléctrico acoplado a una salida de la turbina de energía y configurado para emitir una primera energía eléctrica de la tercera energía de rotación, y un controlador configurado para hacer que el dispositivo de acoplamiento desacople mecánicamente la segunda turbina del primer compresor en un primer modo de operación, y hacer que una válvula se abra para dirigir el aire comprimido desde una caverna de almacenamiento de aire a una entrada del segundo compresor durante el primer modo de operación.

De acuerdo con otro aspecto de la invención, un procedimiento de operar un sistema de generación de energía, el procedimiento incluye la combustión de una de una primera corriente de aire y una segunda corriente de aire con combustible en una cámara de combustión para generar productos de escape, el acoplamiento de un primer compresor a una segunda turbina, y mientras el primer compresor está acoplado a la segunda turbina, girar el primer compresor y la segunda turbina utilizan energía a partir de los productos de escape, proporcionar la primera corriente de aire que se comprime en el primer compresor a una entrada del segundo compresor, presurizar la primera corriente de aire en el segundo compresor, y generar electricidad a partir de los productos de escape que se

5 generan por la combustión utilizando la primera corriente de aire. El procedimiento incluye desacoplar el primer compresor de la segunda turbina, y mientras que el primer compresor se desacopla de la segunda turbina, extraer una segunda corriente de aire desde una caverna de almacenamiento de aire, proporcionar la segunda corriente de aire a la entrada del segundo compresor, presurizar la segunda corriente de aire en el segundo compresor, y generar electricidad a partir de productos de escape que se generan a partir de la combustión utilizando la segunda corriente de aire.

10 De acuerdo con una realización de la invención, un controlador está configurado para hacer que un dispositivo de acoplamiento acople mecánicamente un primer compresor a una segunda turbina, y mientras el primer compresor y la segunda turbina están acoplados, dirigir una primera corriente de aire desde una salida del primer compresor a una entrada del segundo compresor, dirigir la primera corriente de aire desde el segundo compresor a una cámara de combustión para generar una corriente de escape, y dirigir la corriente de escape a una turbina de energía para generar electricidad de la misma. El controlador está configurado para hacer que el dispositivo de acoplamiento desacople mecánicamente el primer compresor de la segunda turbina, y mientras el primer compresor y la segunda turbina están desacoplados, dirigir una corriente de aire desde la segunda salida del primer compresor a un volumen de almacenamiento de aire.

15 De acuerdo con otra realización de la invención, un procedimiento para modificar una turbina de gas incluye la instalación de un mecanismo de embrague entre un compresor de baja presión de la turbina de gas y una turbina giratoria de la turbina de gas para permitir que el compresor de baja presión opere con energía desde un motor para proporcionar aire a presión a una caverna de almacenamiento de aire.

20 Varias otras características y ventajas se harán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada y de los dibujos.

#### **Breve descripción de los dibujos**

Los dibujos ilustran realizaciones preferidas actualmente contempladas para llevar a cabo la invención.

En los dibujos:

25 La figura 1 ilustra un sistema de turbina de gas natural para la generación de energía eléctrica.

La figura 2 ilustra un sistema de turbina de gas natural de acuerdo con realizaciones de la invención.

La figura 3 ilustra un sistema de turbina de gas natural de acuerdo con realizaciones de la invención.

La figura 4 ilustra un sistema de turbina de gas natural de acuerdo con realizaciones de la invención.

#### **Descripción detallada**

30 De acuerdo con realizaciones de la invención, se proporcionan un sistema y un procedimiento de operación del sistema que almacena energía a partir de un primer compresor en una caverna y dirige el aire comprimido desde el primer compresor a un segundo compresor en un sistema de turbina de gas natural para la producción de energía eléctrica. El sistema y el procedimiento de operación del sistema incluyen además la modificación de una turbina de gas natural disparada para permitir el uso de un compresor en la turbina para comprimir el aire alternativamente para alimentar la turbina y para su almacenamiento en una caverna de aire.

35 La figura 1 ilustra los componentes de una turbina 100 de gas natural típica que puede incorporar realizaciones de la invención, o que pueden modificarse de acuerdo con realizaciones de la invención. La turbina 100 de gas incluye un primer motor/generador 102 acoplado a un primer compresor 104, un segundo compresor 106, una primera turbina 108, una segunda turbina 110, y una turbina de energía 112. El primer motor/generador 102 está acoplado al primer compresor 104 a través de un árbol 114, y puede desacoplarse del primer compresor 104, tal como se entiende en la técnica. En primer compresor 104 está acoplado a la segunda turbina 110 a través de un árbol 116, y el segundo compresor 106 está acoplado a la primera turbina 108 a través de un árbol 118. Un intercambiador de calor 120 está acoplado al primer compresor 104 a través de una línea 122 y al segundo compresor 106 a través de una línea 124 y está configurado para recibir aire comprimido desde el primer compresor 104. El intercambiador de calor 120 está configurado para enfriar el aire comprimido del primer compresor 104 a través de, por ejemplo, un refrigerante líquido (no mostrado) que pasa a través del mismo. Una cámara de combustión 126 se posiciona para recibir aire de entrada desde una línea de entrada 128 y el combustible de una línea 130 de combustible. La turbina 100 de gas incluye una línea de entrada 132 de aire y una línea de transferencia 134 que incluye las líneas 122, 124 para pasar el aire del primer compresor 104 al segundo compresor 106. La turbina de gas 100 también incluye una primera línea 136 de transferencia de escape acoplada entre la cámara de combustión 126 y la primera turbina 108, una segunda línea 138 de transferencia de escape acoplada entre la primera turbina 108 y la segunda turbina 110, una línea de transferencia 140 acoplada entre la segunda turbina 110 y la turbina de energía 112, y una línea de escape 142 acoplada a la turbina de energía 112. Un motor/generador 144 está acoplado a un árbol de salida 146 de la segunda turbina 110. Un controlador 148 está acoplado a la turbina 100 de gas a través de una pluralidad de líneas de control 150 y está configurado para operar y controlar la turbina 100 de gas como se entiende en la técnica. La

primera turbina 108 está acoplada al segundo compresor 106 a través del árbol 118 para proporcionar la energía de rotación al mismo y la segunda turbina 110 está acoplada al primer compresor 104 a través del árbol 116 para proporcionar energía de rotación al mismo, tal como se entiende en la técnica.

5 En operación, el primer motor/generador 102 hace que el primer compresor 104 gire a través del árbol 114 y comprima el aire que pasa a través de la misma línea 132 de entrada de aire. El aire comprimido se transfiere desde la misma al segundo compresor 106 a través de la línea de transferencia 134 donde el aire se comprime aún más después de ser enfriado en el intercambiador de calor 120. El aire comprimido también pasa a través de la línea de entrada 128 a la cámara de combustión 126, que mezcla el aire comprimido aún más en la misma con el combustible que se pasa a la misma a través de la línea de combustible 130. Después de la combustión en la  
10 cámara de combustión 126, los productos de escape se emiten a la misma y pasan a la primera turbina 108 a través de la línea 136 de transferencia de escape, y luego a la segunda turbina 110 a través de la línea de transferencia 138. Como tal, la primera turbina 108 se hace girar, pasando así la energía de rotación al segundo compresor 106 a través del árbol 118, y la segunda turbina 110 se hace girar, pasando así a la energía de rotación del primer compresor 104 a través de árbol común 116. Como tal, el primero motor/generador 102 puede desacoplarse del primer compresor 104, a través de un embrague u otro dispositivo (no mostrado) como se conoce en la técnica, y la energía de rotación podrá posteriormente proporcionarse al primer compresor 104 y al segundo compresor 106 a través de, respectivamente, la segunda turbina 110 y la primera turbina 108 para mantener la operación de la turbina de gas 100. Los productos de escape salen de la primera turbina 108 a través de la segunda línea 138 de transferencia de escape, pasan a la turbina de energía 112 a través de la línea de transferencia 140, y salen al medio ambiente a través de línea de escape 142. La turbina de energía 112, al recibir los productos de escape desde la línea de transferencia 140, se hace girar y la energía de rotación al motor/generador 144 a través de árbol de salida 146. Como se ha indicado, el control de la turbina de gas 100 puede verse afectado por el controlador 148. Y aunque dos compresores 104, 106 y dos turbinas 108, 110 se ilustran en la turbina de gas 100 de la figura 1, debe reconocerse que pueden incluirse compresores adicionales en serie, cada uno aumentando la compresión del aire en etapas, y turbinas adicionales en serie, según las realizaciones de la invención.

La figura 2 ilustra un sistema 200 que tiene componentes de una turbina de gas que proporcionan una función que es similar a los componentes del sistema 100 ilustrado en la figura 1. El sistema 200 incluye la capacidad de proporcionar almacenamiento de aire comprimido, de acuerdo con una realización de la invención, e incluye un primer compresor 202 configurado para recibir una entrada de aire 204 y presurizar el aire de entrada 204 a una  
30 primera presión. Un segundo compresor 206 está configurado para presurizar el aire que pasa a través de una entrada de aire 208 a una segunda presión que es mayor que la primera presión. El primer compresor 202 está acoplado a y puede desacoplarse de una fuente de alimentación eléctrica 210, que puede ser una red de energía eléctrica u otra fuente de energía, tal como un suministro de energía renovable o intermitente, tal como una turbina eólica.

35 Además de los componentes descritos anteriormente, el sistema 200 incluye un embrague 212 colocado entre un árbol 214 del primer compresor 202 y un árbol 216. El sistema 200 incluye una primera válvula 218, una segunda válvula 220, una tercera válvula 222, y un compartimiento de almacenamiento de aire o caverna 224. Un intercambiador de calor 226 está acoplado entre el primer compresor 202 y el segundo compresor 206. Una línea 228 de entrada de la caverna de aire y una línea 230 de salida de la caverna de aire están en condiciones de pasar respectivamente aire desde el primer compresor 202 y al segundo compresor 206. En un ejemplo, la caverna de aire 224 incluye una caverna de solución de sal de mina artificial de aproximadamente 19,6 millones de pies cúbicos (0,55 millones de metros cúbicos) y opera entre 680 psi y 1280 psi, y es capaz de proporcionar energía para una duración de tiempo continuo de 26 horas. Por debajo de 680 psi, en este ejemplo, la caverna se considera agotada y necesita una mayor carga. Sin embargo, un experto en la técnica reconocerá que otros sistemas también pueden derivar un uso beneficioso de una caverna que tiene aire que está a una presión inferior a 680 psi. En otro ejemplo, la caverna de aire 224 incluye un sistema por encima del suelo tal como, por ejemplo, una tubería de alta presión que es capaz de transportar gas natural, sino que se utiliza, en esta realización, para almacenar aire a alta presión.

El sistema 200 incluye una cámara de combustión 232 colocada para recibir aire a presión a través de una entrada 234 de la cámara de combustión del segundo compresor 206. La cámara de combustión 232 incluye una línea 236 de entrada de combustible para proporcionar combustible, tal como gas natural, a la cámara de combustión 232. El sistema 200 incluye una primera turbina 238 acoplada al segundo compresor 206 a través de un árbol 240, y una segunda turbina 242 acoplable al primer compresor 202 a través del árbol 216 y a través del embrague 212. La cámara de combustión 232 está configurada para recibir el aire comprimido del segundo compresor 206 a través de la línea 234. Una turbina de energía 244 está acoplada a un primer generador/motor 246. La primera turbina 238 incluye una línea de entrada o medio de transporte 248 que está configurado para pasar los productos de escape de la cámara de combustión 232 a la primera turbina 238. El sistema 200 también incluye una línea de entrada o medio de transporte 250 que está configurado para pasar los productos de escape de la primera turbina 238 a la segunda turbina 242, y los productos de escape se emiten o escapan desde la segunda turbina 242 a la turbina de energía 244 en una línea de escape 252. Los productos de escape salen de la turbina de energía 244 a través de una línea de escape 254. La primera turbina 238 está acoplada al segundo compresor 206 para proporcionar energía de rotación a la misma durante la operación del sistema 200, tal como se entiende en la técnica.

- El sistema 200 tiene un controlador 256 acoplado al mismo a través de una pluralidad de líneas de control 258 configuradas para operar los componentes del sistema, tal como los descritos anteriormente asociados con el sistema 200 para controlar la operación de los mismos. Así, el sistema 200 es capaz de dirigir selectivamente aire comprimido desde el compresor 202 a la primera caverna de aire 224, desde el primer compresor 202 al segundo compresor 206, o desde la caverna de aire 224 al segundo compresor 206 a través de unas válvulas 218-222, de acuerdo con realizaciones de la invención. La operación de las válvulas 218-222 también se realiza en conjunción con el embrague 212, y dicha operación se controla mediante el controlador 256. Como tal, en operación, el sistema 200 puede estar configurado para operar en un modo de carga o un modo de descarga de la caverna de aire 224, o el sistema 200 puede estar configurado para derivar la caverna de aire 224 por completo.
- De acuerdo con un modo de carga de la operación, el sistema 200 puede operar para cargar o presurizar la caverna de aire 224. De acuerdo con este modo, el controlador 256 provoca primero que la válvula 218 se abra y permite el paso de aire a su través, y el controlador 256 hace que las válvulas 220 y 222 se cierren. Además, en este modo de operación, el controlador 256 hace que el embrague 212 se abra, de tal manera que el primer compresor 202 se desacopla mecánicamente de la segunda turbina 242. La potencia puede ser atraída por el primer compresor 202 de la fuente de energía eléctrica 210 para cargar o presionar a la caverna de aire 224 a través del aire de la entrada de aire 204. Como tal, con el embrague 212 abierto, la primera válvula 218 abierta, y las válvulas 220, 222 cerradas, el sistema 200 es capaz de cargar la caverna de aire 224 desde la red de energía eléctrica durante los períodos de exceso de corriente eléctrica que pueden producirse durante las horas de la tarde o la noche, para ejemplo, o desde una fuente de energía renovable.
- De acuerdo con un modo de descarga de operación, el controlador 256 del sistema 200 hace que el embrague 212 se abra, de tal manera que el primer compresor 202 se desacopla mecánicamente de la segunda turbina 242. De acuerdo con este modo, el controlador 256 hace que las válvulas 218 y 220 se cierren, y hace que la válvula 222 se abra. El aire comprimido se descarga o extrae de la caverna de aire 224, se comprime mediante el segundo compresor 206, y se pasa a la cámara de combustión 232 por la entrada 234 de la cámara de combustión. El aire comprimido que pasa a través de la entrada 234 de la cámara de combustión puede combinarse con el combustible de la línea 236 de entrada de combustible para su combustión en la cámara de combustión 232, y los productos de escape pueden pasar desde la cámara de combustión 232 a primera turbina 238 a través de la entrada o de la línea de transporte 248. Los productos de escape a continuación pasan a través de la entrada o línea de transporte 250 a la segunda turbina 242 y salen a través de la línea de escape 252 a la turbina de energía 244. En este modo de operación, como la segunda turbina 242 se desacopla del primer compresor 202, la segunda turbina 242 gira libremente y los productos de escape pasan desde la misma. Sin embargo, en realizaciones de la invención, la segunda turbina 242 puede estar acoplada a, por ejemplo, la turbina de energía 244 para aumentar la energía del primer generador/motor 246, o la segunda turbina 242 puede estar acoplada a la fuente de energía eléctrica 210, de manera que la fuente de energía eléctrica 210 puede hacer que opere como un generador para generar energía eléctrica del mismo. Los productos de escape, al pasar por la turbina de energía 244, provocan una operación del mismo, que se transmite como la potencia del primer generador/motor 246. Como tal, la energía almacenada en la caverna de aire 224 está disponible para operar el sistema 200. De acuerdo con ello, la energía que está disponible durante, por ejemplo, las horas de la tarde o desde fuentes intermitentes o renovables, se puede almacenar en la caverna de aire 224 y retirarse más tarde durante la operación de la cámara de combustión 232 para en última instancia accionar la turbina 244 y generar energía eléctrica a través de primer generador/motor 246. Por lo tanto, una energía relativamente menos costosa puede ser utilizada para almacenar la energía para su uso posterior para generar energía eléctrica durante los períodos la alta demanda, cuando se han alcanzado los límites de capacidad, o durante períodos en los que puede cargarse un extra de energía eléctrica.
- De acuerdo con todavía otro modo de operación, el aire a presión desde la caverna de aire 224 se puede utilizar para aumentar la producción de energía. En este modo de operación, el aire puede presurizarse en el primer compresor 202 y se suministra al segundo compresor 206, mientras que el aire a presión desde la caverna de aire 224 se está retirando simultáneamente y se suministra al segundo compresor 206. Para este modo, el controlador 256 hace que la primera válvula 218 se cierre, hace que las válvulas 220, 222 se abran, y hace que el embrague 212 se cierre - por lo tanto, se acopla mecánicamente el primer compresor 202 al segundo compresor 206. Esta operación puede ser deseable cuando, por ejemplo, la caverna de aire 224 está parcialmente agotada de presión de aire, pero aún conserva la presión de aire adecuada para proporcionar aire presurizado al segundo compresor 206. Por lo tanto, el aire puede ser dirigido al segundo compresor 206 desde la caverna de aire 224 y desde el primer compresor 202 para proporcionar una operación continua y sostenida, y dicha operación puede continuar hasta que la caverna de aire 224 se agota parcial o totalmente. Cuando la caverna de aire 224 está parcial o totalmente agotada o cuando la presión de aire en la caverna de aire 224 está por debajo de la presión del aire suministrado al primer compresor 202, la tercera válvula 222 puede cerrarse mediante el controlador 256, y la operación del sistema 200 puede proceder teniendo aire proporcionado por el primer compresor 202 solamente.
- Por lo tanto, el sistema 200 puede hacerse que opere en una serie de modos que pueden tomar ventaja de las fuentes de alimentación intermitentes o pueden tomar ventaja de la energía eléctrica de bajo coste que puede estar disponible fuera de horas que se almacenan para su uso posterior durante, por ejemplo, la demanda de energía máxima. El sistema 200 puede asimismo aprovechar la energía almacenada en la caverna de aire 224 para aumentar la producción de energía, aumentar la eficiencia del sistema, o para mejorar las capacidades de salida de energía pico del mismo. Una realización de la invención incluye la modificación de una turbina de gas existente,

como la turbina de gas 100 ilustrada en la figura 1, para incluir la funcionalidad descrita.

La figura 3 ilustra una turbina de gas con sistema de almacenamiento de aire 300 según una realización de la invención. El sistema 300 incluye la operación de acuerdo con los modos descritos con respecto al sistema 200 como se ilustra en la figura 2. El sistema 300 incluye componentes adicionales, y también la funcionalidad adicional del sistema, como se describirá.

El sistema 300 incluye un primer compresor 302 configurado para recibir una entrada de aire 304 y presurizar el aire de entrada 304 a una primera presión. Un segundo compresor 306 está configurado para presurizar el aire que pasa a través de una entrada de aire 308 a una segunda presión que es mayor que la primera presión. El primer compresor 302 está acoplado a una fuente de alimentación eléctrica 310 que puede ser una red de energía eléctrica u otra fuente de energía, tal como un suministro de energía renovable o intermitente, tal como una turbina eólica. El sistema 300 incluye un embrague 312. El sistema 300 incluye una primera válvula 314, una segunda válvula 316, una tercera válvula 318, y una caverna de aire 320. En un ejemplo, la caverna de aire 320 incluye una caverna artificial de solución de sal minada de aproximadamente 19,6 millones de pies cúbicos (0,55 metros cúbicos) y opera entre 680 psi y 1280 psi, y es capaz de proporcionar energía para una duración de tiempo continuo de 26 horas. En otro ejemplo, la caverna de aire 320 incluye un sistema por encima del suelo, tal como, por ejemplo, una tubería de alta presión que se utiliza para el transporte de gas natural. Una línea 322 de transporte o entrada de la caverna de aire y una línea 324 de transporte o salida de la caverna aire están en condiciones de pasar respectivamente aire desde el primer compresor 302 y al segundo compresor 306.

El sistema 300 incluye una cámara de combustión 326 colocada para recibir aire a presión a través de una entrada 328 de la cámara de combustión del segundo compresor 306. La cámara de combustión 326 incluye una línea 330 de entrada de combustible para proporcionar combustible, tal como gas natural, a la cámara de combustión 326. El sistema 300 incluye una primera turbina 332 acoplada al segundo compresor 306 a través de un árbol 334, una segunda turbina 336 acoplable al primer compresor 302 a través del embrague 312, y una turbina de energía 338 acoplada a un primer generador/motor 340. La cámara de combustión 326 incluye una línea de transporte 342 para transmitir los productos de escape o de combustión desde la cámara de combustión 326 a la primera turbina 332. La segunda turbina 336 incluye una línea 344 de entrada o de transporte que está configurada para pasar los productos de escape desde la primera turbina 332 a la segunda turbina 336. El sistema 300 también incluye una línea 346 de entrada o transporte que está configurada para pasar los productos de escape desde la segunda turbina 336 a la turbina de energía 338, y los productos de escape se emiten y se escapan desde la turbina de energía 338 en una línea de escape 348. La primera turbina 332 está acoplada al segundo compresor 306 para proporcionar energía de rotación a la misma durante la operación, como se entiende en la técnica, y el primer compresor 302 es acoplable a y desacoplable de la segunda turbina 336 a través del embrague 312.

El sistema 300 incluye un tercer compresor 350 acoplado a un árbol 352 y una tercera turbina 354 acoplada a un árbol 356 para expandir el aire desde la caverna de aire 320 a una presión, tal como de 3-5 bares, que está a un nivel de presión de entrada deseado, en este ejemplo, para la operación del segundo compresor 306. Los árboles 352, 356 son acoplables entre sí a través de un embrague 358 para permitir la generación de energía a través de la tercera turbina 354, que está acoplada a un motor/generador 360 a través del tercer compresor 350. Como tal, el sistema 300 incluye modos de operación que incluyen la compresión de más aire que pasa desde el primer compresor 302 antes de entrar en la caverna de aire 320. De acuerdo con ello, el compresor 350, que en una realización es alimentado por el primer motor/generador 360 y controlado mediante un controlador 362, comprime el aire que pasa a través del mismo a una presión adicional aumentada, tal como 60-80 bares o más, para permitir la capacidad de almacenamiento adicional de la caverna de aire 320. Como tal, como el primer compresor 302 es típicamente un compresor de baja presión que puede hacer salir aire a 3-5 bares, como un ejemplo, el tercer compresor 350 proporciona una capacidad adicional para mejorar aún más el almacenamiento del sistema debido a la capacidad de presión adicional proporcionada por el tercer compresor 350. Además, el embrague 358 puede utilizarse para acoplar la tercera turbina 354 al tercer compresor 350 para que la energía derivada de caverna de aire 320, al pasar a través de la tercera turbina 354, se puede utilizar para el árbol de accionamiento 352, produciendo así energía eléctrica a través del primer motor/generador 360.

Un intercambiador de calor 364 opcional está colocado próximamente al primer compresor 302 y está configurado para recibir el aire comprimido del mismo, y un refrigerador 366 posterior opcional está colocado próximamente al segundo compresor 306 y está configurado para pasar aire comprimido al mismo. El intercambiador de calor 364 opcional y el refrigerador 366 posterior opcional están colocados, respectivamente, para enfriar el aire comprimido que pasa a través del mismo y proporcionar una capacidad de control de temperatura adicional para limitar la temperatura, mejorar la eficiencia, y similares, tal como se entiende en la técnica. El sistema 300 también incluye un par opcional de filtros 368 de tratamiento previo y un refrigerador 370 posterior opcional colocado para un mayor control y acondicionamiento de la temperatura del aire y de la calidad de las partículas cuando el aire comprimido pasa hacia y desde la caverna de aire 320.

El sistema 300 incluye, opcionalmente, un sistema 372 de almacenamiento de energía térmica (TES) que pasa a su través aire hacia y desde la caverna de aire 320. En realizaciones de la invención, el TES 372 incluye un medio 374 para el almacenamiento de calor, tal como hormigón, piedra, un fluido tal como aceite, una sal fundida, o un material de cambio de fase, como ejemplos. El aire caliente de la compresión pasa a través del medio 374, transfiriendo de

este modo el calor desde su calor de compresión a un medio 374 en el proceso. Como tal y como se entiende en la técnica, el TES 372 proporciona una capacidad para mejorar la eficiencia global del sistema 300 mediante la extracción y el almacenamiento de energía térmica del aire que pasa a la caverna de aire 320 y mediante la liberación de la energía térmica en el aire que pasa desde la caverna de aire 320. El sistema 300 incluye opcionalmente uno o más intercambiadores de calor 376 acoplados a la línea de escape 348 y acoplados a la línea 324 de salida de la caverna de aire para permitir una cierta recuperación del calor residual de la línea de escape 348 para calentar más el aire que pasa a través de la línea 324 de salida de la caverna de aire, de tal manera que se puede incrementar la eficiencia global del sistema 300. Los intercambiadores de calor 376 se acoplan a la línea de escape 348 a través de una línea 378 de transporte de escape. Por lo tanto, los intercambiadores de calor 376 proporcionan una capacidad adicional para recuperar el calor residual de los productos de escape que salen de la segunda turbina 338. En una realización, una cámara de combustión 380 se incluye para aumentar o calentar más el paso desde la caverna de aire 320.

El sistema 300 incluye un controlador 362 acoplado al mismo a través de una pluralidad de líneas de control 382 configuradas para operar los componentes del sistema, tal como los descritos anteriormente, con respecto al sistema 300 para controlar la operación de los mismos. Así, el sistema 300 está configurado para dirigir selectivamente el aire comprimido desde el compresor 302 a la primera caverna de aire 320, desde el primer compresor 302 al segundo compresor 306, o desde la caverna de aire 320 al segundo compresor 306 a través de las válvulas 314-318 de acuerdo con realizaciones de la invención. La operación de las válvulas 314-318 también se realiza en conjunción con el embrague 312, y dicha operación se controla mediante el controlador 362. Como tal, en operación, el sistema 300 puede estar configurado para operar en un modo de carga o descarga de un modo de caverna de aire 320, o el sistema 300 puede estar configurado para derivar la caverna de aire 320 por completo. Un experto en la técnica reconocerá que, aunque ilustrado con respecto al sistema 300 de la figura 3, componentes opcionales, tales como los componentes 350, 354, y 364-376 se pueden utilizar en otras realizaciones de la invención como se describe en las figuras 1 y 2 anteriores, y la figura 4 a continuación.

La figura 4 ilustra un sistema 400 que incluye una turbina de gas y componentes adicionales de acuerdo con realizaciones de la invención. El sistema 400 incluye un primer compresor 402 configurado para recibir un aire de entrada 404 y presurizar el aire de entrada 404 a una primera presión, y un segundo compresor 406 configurado para presurizar el aire que pasa a través de una entrada de aire 408 a una segunda presión que es mayor que la primera presión. El primer compresor 402 está acoplado a una fuente de alimentación eléctrica 410 que puede ser una red de energía eléctrica, o puede ser otra fuente de energía, tal como de una fuente de energía renovable o intermitente, tal como una turbina eólica.

El sistema 400 incluye un embrague 412 acoplado al primer compresor 402. El sistema 400 incluye una primera válvula 414, una segunda válvula 416, una tercera válvula 418, y una caverna de aire 420. En un ejemplo, la caverna de aire 420 incluye una caverna artificial de solución de sal minada de aproximadamente 19,6 millones de pies cúbicos (0,55 metros cúbicos) y opera a entre 680 psi y 1280 psi, y es capaz de proporcionar energía para una duración de tiempo continuo de 26 horas. En otro ejemplo, la caverna de aire 420 incluye un sistema por encima del suelo tal como, por ejemplo, una línea de alta presión que se utiliza para el transporte de gas natural. Una línea 422 de entrada de la caverna de aire está colocada para pasar el aire desde el primer compresor 402 al mismo.

El sistema 400 incluye una cámara de combustión 424 colocada para recibir aire a presión a través de una entrada 426 de la cámara de combustión del segundo compresor 406. La cámara de combustión 424 incluye una línea 428 de entrada de combustible para proporcionar combustible, tal como gas natural, a la cámara de combustión 424. El sistema 400 incluye una primera turbina 430 acoplada al segundo compresor 406, una segunda turbina 432 acoplable al primer compresor 402 a través del embrague 412, y una turbina de energía 434 acoplada a un primer generador/motor 436. La primera turbina 430 está configurada para recibir productos de escape desde la cámara de combustión 424 y la segunda turbina 432 incluye una línea de entrada o transporte 438 que está configurada para pasar los productos de escape desde la primera turbina 430 a la segunda turbina 432. El sistema 400 también incluye una línea de entrada o transporte 440 que está configurada para pasar los productos de escape desde la segunda turbina 432 a la turbina de energía 434, y otra línea de entrada o transporte 442 configurada para pasar aire a presión desde la caverna de aire 420 a la turbina de energía 434. Los productos de escape que se emiten o se extraen del mismo en una línea de escape 444. La primera turbina 430 está acoplada al segundo compresor 406 para proporcionar energía de rotación a la misma, como se entiende en la técnica.

El sistema 400 incluye un tercer compresor 446 y una tercera turbina 448 acoplados entre sí a través de un embrague 450. Un motor/generador 452 está acoplado al tercer compresor 446. Un intercambiador de calor 454 opcional está situada próximo al primer compresor 402 y está configurado para recibir el aire comprimido del mismo, y un refrigerador 456 posterior opcional está colocado próximo al segundo compresor 406 y está configurado para pasar aire comprimido al mismo. El intercambiador de calor 454 opcional y el refrigerador 456 posterior opcional están colocados, respectivamente, para enfriar el aire comprimido que pasa a través del mismo y proporcionar una capacidad de control de temperatura adicional para limitar la temperatura, mejorar la eficiencia, y similares, tal como se entiende en la técnica.

El sistema 400 incluye, opcionalmente, un sistema almacenamiento de energía térmica (TES) 458 que pasa a su través aire hacia y desde la caverna de aire 420. En realizaciones de la invención, el TES 458 incluye un medio para

5 el almacenamiento de calor, tal como hormigón, piedra, un fluido tal como aceite, una sal fundida, y un material de cambio de fase, como ejemplos. El aire caliente de la compresión se hace pasar a través del mismo, transfiriendo de este modo su calor de la compresión al medio en el proceso. Tal y como se entiende en la técnica, el TES 458 proporciona una capacidad para mejorar la eficiencia global del sistema 400, en su capacidad de extraer y almacenar energía a medida que pasa respectivamente hacia y desde la caverna de aire 420.

10 El sistema 400 incluye un controlador 460 acoplado al mismo a través de una pluralidad de líneas de control 462 configuradas para operar los componentes del sistema, tales como los descritos anteriormente asociados con el sistema 400 para controlar la operación de los mismos. El sistema 400 está configurado para dirigir selectivamente el aire comprimido desde el primer compresor 402 a la caverna de aire 420, desde el primer compresor 402 al segundo compresor 406, o desde la caverna de aire 420 a la segunda turbina 434, a través de válvulas 414 a 418, de acuerdo con realizaciones de la invención. La operación de las válvulas 414 a 418 es también en conjunción con el embrague 412, y dicha operación se controla mediante el controlador 460. Como tal, en operación, el sistema 400 puede estar configurado para operar en un modo de carga o descarga de un modo de caverna de aire 420, o el sistema 400 puede estar configurado para derivar la caverna de aire 420 por completo.

15 Las turbinas de gas que aceptan el aire de entrada en o cerca de las temperaturas ambiente elevadas tendrá un impacto negativo en la producción total, ya que la densidad del aire de combustión que entra en la cámara de combustión después de la compresión será menor que la densidad del aire de combustión cuando la temperatura ambiente es inferior. Las temperaturas del aire de entrada óptimas típicamente varían de turbina de gas a turbina de gas y, para turbinas de gas individuales, las temperaturas del aire de entrada óptimas pueden estar influenciadas por factores tales como la altitud del sitio. Para un sitio determinado, sin embargo, las temperaturas ambientales superiores a la temperatura del aire de entrada óptimo suelen generar un potencial de producción menor. Por ejemplo, las temperaturas ambientales del orden de 100 grados Fahrenheit (37,7°C) pueden conducir a una reducción de energía de salida del 10% o más. De acuerdo con ello, un elemento del TES incluye proporcionar tales características de medición y de control de temperatura para proporcionar una temperatura para el aire que entra en la turbina de gas, de manera que se consigue la máxima salida, de acuerdo con realizaciones de la invención. En los días calurosos, por lo tanto, dicha capacidad de control de la temperatura puede incluir una ampliación de aire para reducir o ajustar su temperatura, lo que permite que la turbina de gas maximice el potencial de la energía de salida como si tuviera beneficio de un refrigerador de aire de entrada, pero sin las pérdidas de energía parasitarias concomitantes asociadas con la operación de dicho refrigerador.

20 25 30 Una contribución técnica para el procedimiento y el aparato descritos es que se proporciona para un sistema de almacenamiento de aire comprimido implementado por ordenador y, más particularmente, a un sistema y procedimiento de uso de un sistema de almacenamiento de aire comprimido con una turbina de gas.

35 Por lo tanto, de acuerdo con una realización de la invención, un sistema de generación de energía incluye un primer compresor configurado para comprimir el aire a una primera presión a través de una primera energía de rotación, un segundo compresor configurado para comprimir el aire a una segunda presión a través de una segunda energía de rotación, donde la segunda presión es mayor que la primera presión, una cámara de combustión configurada para recibir el aire comprimido desde el segundo compresor y quemar un líquido inflamable con el mismo para producir una corriente de escape, y una primera turbina. La primera turbina está configurada para recibir la corriente de escape de la cámara de combustión, generar la segunda energía de rotación a partir de la corriente de escape, la salida de la segunda energía de rotación al segundo compresor, y la salida de la corriente de escape. El sistema incluye una turbina de energía configurada para recibir la corriente de escape desde la primera turbina, y generar una tercera energía de rotación desde la misma. El sistema incluye un dispositivo de acoplamiento configurado para acoplar el primer compresor a una segunda turbina y para desacoplar el primer compresor de la segunda turbina, un generador eléctrico acoplado a una salida de la turbina de energía y configurado para emitir una primera energía eléctrica dese la tercera energía de rotación, y un controlador configurado para hacer que el dispositivo de acoplamiento desacople mecánicamente la segunda turbina del primer compresor en un primer modo de operación, y hacer que el dispositivo de acoplamiento dirija el aire comprimido desde una caverna de almacenamiento de aire a una entrada del segundo compresor durante el primer modo de operación.

40 45 50 De acuerdo con otra realización de la invención, un procedimiento de operación de un sistema de generación de energía, el procedimiento incluye la combustión de una primera corriente de aire y una segunda corriente de aire con combustible en una cámara de combustión para generar productos de escape, el acoplamiento de un primer compresor a una segunda turbina, y mientras que el primer compresor está acoplado a la segunda turbina, girar el primer compresor y la segunda turbina utilizando la energía a partir de los productos de escape, proporcionando la primera corriente de aire que se comprime en el primer compresor a una entrada del segundo compresor, presurizando la primera corriente de aire en el segundo compresor, y generando electricidad a partir de los productos de escape que se generan mediante combustión utilizando la primera corriente de aire. El procedimiento incluye desacoplar el primer compresor del segundo compresor, y mientras el primer compresor se desacopla del segundo compresor, se extrae una segunda corriente de aire desde una caverna de almacenamiento de aire, proporcionando la segunda corriente de aire a la entrada del segundo compresor, presurizar la segunda corriente de aire en el segundo compresor, y generar electricidad a partir de los productos de escape que se generan mediante combustión utilizando la segunda corriente de aire.

- De acuerdo con todavía otra realización de la invención, un controlador está configurado para hacer que un dispositivo de acoplamiento acople mecánicamente un primer compresor a una segunda turbina, y mientras el primer compresor y la segunda turbina están acoplados, dirigir una primera corriente de aire desde una salida del primer compresor a una entrada del segundo compresor, dirigir la primera corriente de aire desde el segundo compresor a una cámara de combustión para generar una corriente de escape, y dirigir la corriente de escape a una turbina de energía para generar electricidad desde el mismo. El controlador está configurado para hacer que el dispositivo de acoplamiento desacople mecánicamente el primer compresor de la segunda turbina, y mientras el primer compresor y la segunda turbina están desacoplados, dirigir una segunda corriente de aire desde la salida del primer compresor a un volumen de almacenamiento de aire.
- De acuerdo con otra realización de la invención, un procedimiento para modificar una turbina de gas incluye la instalación de un mecanismo de embrague entre un compresor de baja presión de la turbina de gas y una turbina giratoria de la turbina de gas para permitir que el compresor de baja presión opere con energía de un motor para proporcionar aire a presión a una caverna de almacenamiento de aire.
- Esta descripción escrita utiliza ejemplos para divulgar la invención, incluyendo el mejor modo, y también para permitir que cualquier persona experta en la técnica ponga en práctica la invención, incluyendo hacer y usar los dispositivos o sistemas y la realización de cualquiera de los procedimientos incorporados. El alcance patentable de la invención se define mediante las reivindicaciones, y puede incluir otros ejemplos que se producen por parte de los expertos en la técnica. Estos otros ejemplos se pretenden que estén dentro del alcance de las reivindicaciones si tienen elementos estructurales que no difieren del lenguaje literal de las reivindicaciones, o si incluyen elementos estructurales equivalentes con diferencias no sustanciales de los lenguajes literales de las reivindicaciones.

**REIVINDICACIONES**

1. Un sistema de generación de energía (200), que comprende:

un primer compresor (202) configurado para comprimir aire a una primera presión a través de una primera energía de rotación;

5 un segundo compresor (206) configurado para comprimir aire a una segunda presión a través de una segunda energía de rotación, en el que la segunda presión es mayor que la primera presión;

una cámara de combustión (232) configurada para recibir el aire comprimido desde el segundo compresor (206) y quemar un fluido inflamable en la misma para producir una corriente de escape;

una primera turbina (238) configurada para:

10 recibir la corriente de escape desde la cámara de combustión (238);

generar la segunda energía de rotación a partir de la corriente de escape;

emitir la segunda energía de rotación al segundo compresor (206); y

emitir la corriente de escape;

una turbina de energía (244) configurada para:

15 recibir la corriente de escape desde la primera turbina (238); y

generar una tercera energía de rotación de la misma;

un dispositivo de acoplamiento (212) configurado para acoplar el primer compresor (202) a una segunda turbina (242) y para desacoplar el primer compresor (202) de la segunda turbina (242);

20 un generador eléctrico (246) acoplado a una salida de la turbina de energía (244) y configurado para emitir una primera energía eléctrica desde la tercera energía de rotación; y

un controlador (256) configurado para:

hacer que el dispositivo de acoplamiento (212) desacople mecánicamente la segunda turbina (242) del primer compresor (202) en un primer modo de operación; y

25 hacer que una válvula (222) se abra para dirigir el aire comprimido desde una caverna de almacenamiento de aire (224) a una entrada (208) del segundo compresor (206) durante el primer modo de operación.

2. El sistema (200) de la reivindicación 1, que comprende además un intercambiador de calor (376) configurado para extraer calor de la corriente de escape para calentar el aire comprimido procedente de la caverna de almacenamiento de aire (320), en el que la turbina de energía (338) está configurada para emitir la corriente de escape al intercambiador de calor (376).

30

3. El sistema (200) de la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que el controlador (256) está configurado además para:

35 hacer que el dispositivo de acoplamiento (212) acople mecánicamente la segunda turbina (242) al primer compresor (202) en un segundo modo de operación para proporcionar la primera energía de rotación al primer compresor (202) desde la segunda turbina (242); y

hacer que una válvula (222) se abra para dirigir el aire comprimido desde el primer compresor (202) a una entrada del segundo compresor (206) durante el segundo modo de operación.

4. El sistema (200) de cualquier reivindicación anterior, en el que el dispositivo de acoplamiento (212) es un primer embrague acoplado entre el primer compresor (202) y la segunda turbina (242), en el que el embrague está controlado por el controlador (256) para, respectivamente, acoplar y desacoplar mecánicamente la segunda turbina (242) a y de el primer compresor (202).

40

5. El sistema (200) de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además un primer motor (210) acoplado mecánicamente al primer compresor (202); y

en el que, cuando la segunda turbina (242) se desacopla mecánicamente del primer compresor (202), el controlador (256) está configurado para:

45

proporcionar la primera energía de rotación al primer compresor (202) a través del primer motor (210) para comprimir el aire a la primera presión; y

dirigir el aire comprimido desde el primer compresor (202) al interior de la caverna de almacenamiento de aire (224).

5 6. El sistema (200) de la reivindicación 5, que comprende además:

un segundo motor (360); y

un tercer compresor (350) acoplado al segundo motor (360), estando el tercer compresor (350) configurado para:

extraer energía desde el segundo motor (360);

10 recibir el aire comprimido desde el primer compresor (302);

comprimir adicionalmente el aire comprimido a una tercera presión que es mayor que la primera presión; y

enviar el aire aún más comprimido a la caverna de almacenamiento de aire (320).

15 7. El sistema (200) de la reivindicación 6, que comprende además un intercambiador de calor (364) situado entre el primer compresor (302) y el tercer compresor (350), estando el intercambiador de calor (364) configurado para extraer el calor del aire comprimido que pasa desde el primer compresor (302).

8. El sistema (200) de la reivindicación 6 o la reivindicación 7, que comprende además una tercera turbina (354) configurada para:

recibir el aire comprimido adicionalmente de la caverna de almacenamiento de aire (320);

20 expandir el aire recibido y generar energía de rotación del mismo; y

pasar el aire expandido a la entrada del segundo compresor (306).

25 9. El sistema (200) de la reivindicación 8, que comprende además un segundo embrague (358) colocado entre el tercer compresor (350) y la tercera turbina (354) para acoplar mecánicamente el tercer compresor (350) a la tercera turbina (354), tal que cuando la energía de rotación se genera en la tercera turbina (354), la energía de rotación se transmite al segundo motor (360) a través del tercer compresor (350), de tal manera que el segundo motor (360) genere energía eléctrica por el mismo.

30 10. El sistema (200) de la reivindicación 8 o la reivindicación 9, que comprende además una unidad (374) de almacenamiento de energía térmica (TES) colocada para recibir el aire comprimido adicionalmente desde el tercer compresor (350) antes de que el aire comprimido adicionalmente sea enviado a la caverna de almacenamiento de aire (320), en el que el TES (374) está configurado para extraer y almacenar un calor de compresión del aire comprimido adicionalmente, y en el que el aire comprimido que sale de la caverna de almacenamiento de aire (320) se hace pasar a través del TES (374) para recibir el calor almacenado de la compresión del mismo.

35 11. El sistema (200) de la reivindicación 10, en el que el controlador (362) está configurado para medir una temperatura del aire comprimido que sale del TES (374) y ajustar una temperatura del mismo antes de la entrada de aire al segundo compresor (306).

12. Un procedimiento de operación de un sistema de generación de energía, comprendiendo el procedimiento:

quemar una de una primera corriente de aire y una segunda corriente de aire con combustible en una cámara de combustión para generar productos de escape;

40 acoplar un primer compresor a una segunda turbina, y mientras que el primer compresor está acoplado a la segunda turbina:

girar el primer compresor y la segunda turbina usando energía de los productos de escape;

proporcionar la primera corriente de aire que se comprime en el primer compresor a una entrada del segundo compresor;

presurizar la primera corriente de aire en el segundo compresor; y

45 generar electricidad usando los productos de escape que se generan a partir de la combustión utilizando la primera corriente de aire; y

desacoplar el primer compresor de la segunda turbina, y mientras que el primer compresor se desacopla de la segunda turbina:

extraer una segunda corriente de aire de una caverna de almacenamiento de aire;

proporcionar la segunda corriente de aire a la entrada del segundo compresor;

5 presurizar la segunda corriente de aire en el segundo compresor; y

generar electricidad de los productos de escape que se generan mediante la combustión utilizando la segunda corriente de aire.

13. El procedimiento de la reivindicación 12, en el que las etapas de generar energía eléctrica usando productos de escape a partir de la primera corriente de aire o de la segunda corriente de aire incluyen:

10 pasar una de la primera corriente de aire y la segunda corriente de aire desde el segundo compresor a la cámara de combustión;

quemar un fluido inflamable en la cámara de combustión utilizando al menos la corriente de aire pasada y el fluido inflamable para generar los productos de escape;

generar energía de turbina en una turbina de energía a partir de los productos de escape; y

15 generar energía eléctrica en un generador que está acoplado a la turbina de energía.

14. El procedimiento de la reivindicación 12 o la reivindicación 13, en el que, cuando el primer compresor se desacopla de la segunda turbina, el procedimiento comprende además:

girar el primer compresor utilizando la energía de un motor eléctrico para generar una tercera corriente de aire; y

20 pasar la tercera corriente de aire a la caverna de almacenamiento de aire.

15. El procedimiento de la reivindicación 14, que comprende además girar un tercer compresor y pasar la tercera corriente de aire a su través antes de pasar la tercera corriente de aire a la caverna de almacenamiento de aire.

FIG. 1

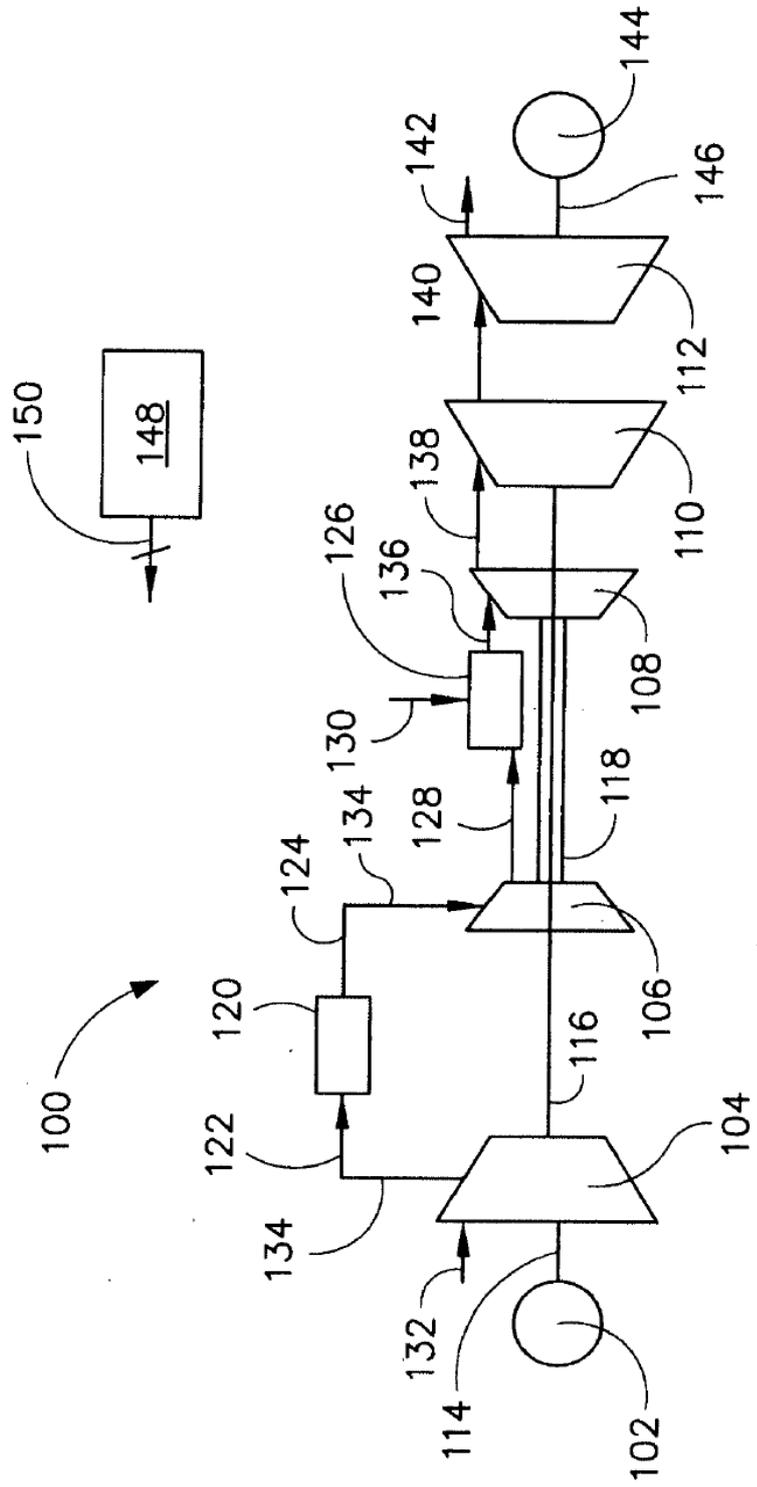


FIG. 2

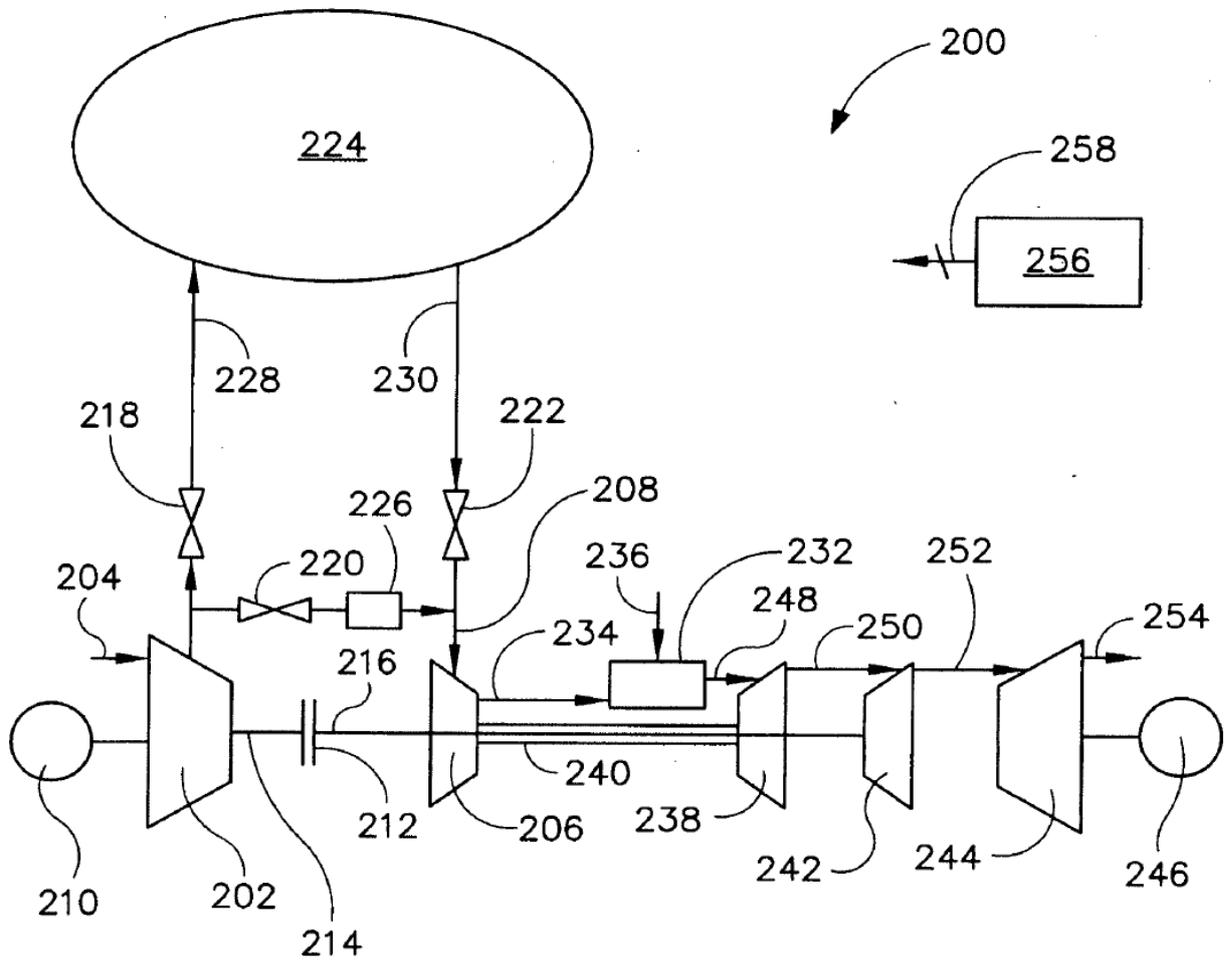


FIG. 3

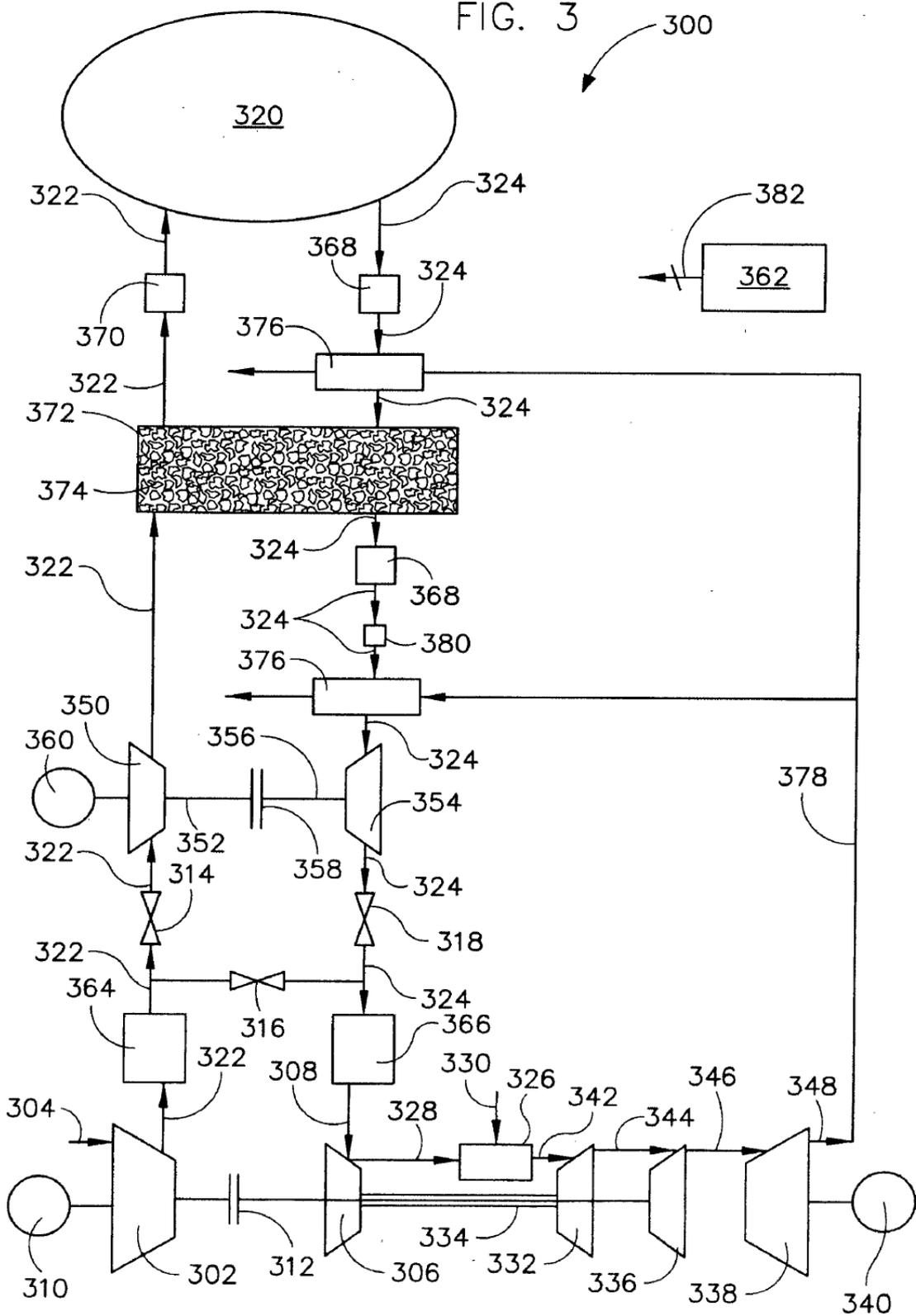


FIG. 4

