

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 751 131**

51 Int. Cl.:

F28F 21/04 (2006.01)

F02C 6/16 (2006.01)

F28D 17/00 (2006.01)

F28D 20/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.07.2017 E 17180719 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.09.2019 EP 3270088**

54 Título: **Contenedor para un sistema de almacenamiento y recuperación de calor que incluye al menos dos módulos de hormigón**

30 Prioridad:

15.07.2016 FR 1656803

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

30.03.2020

73 Titular/es:

**IFP ENERGIES NOUVELLES (100.0%)
1 & 4 avenue de Bois-Préau
92500 Rueil-Malmaison, FR**

72 Inventor/es:

**DELEAU, FABRICE;
BANCEL, THIERRY y
POURTIER, ALICE**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 751 131 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

Contenedor para un sistema de almacenamiento y recuperación de calor que incluye al menos dos módulos de hormigón

5

Campo de la invención

La presente invención se refiere al campo del almacenamiento de calor, particularmente contenedores de almacenamiento de calor de gran volumen, como se usan para el almacenamiento de energía de aire comprimido (CAES del inglés "Compressed Air Energy Storage"), en particular para el almacenamiento de energía de aire comprimido de tipo AACAES (del inglés "Advanced Adiabatic Compressed Air Energy Storage") en el que se proporciona el almacenamiento del calor generador de manera independiente.

10

Contexto general

15

La mayoría de las fuentes de energía primaria, como el gas, el petróleo, el carbón, se pueden almacenar fácilmente y, por lo tanto, permiten la generación de electricidad a pedido, a diferencia de la generación de energía a partir de fuentes de energías renovables como la eólica o la solar. Para proporcionar electricidad a pedido, producida por este tipo de energía renovable, es necesario almacenar electricidad. Sin embargo, es muy difícil almacenar electricidad en grandes cantidades. No obstante, es posible convertir la electricidad en las llamadas energías intermedias y almacenarla en forma de energía potencial, cinética, química o térmica.

20

La electricidad se puede almacenar, por ejemplo, como aire comprimido. Esto se realiza en los sistemas CAES en los que una energía, típicamente electricidad, que se desea utilizar en otro momento, se almacena como aire comprimido. Para el almacenamiento, la energía eléctrica impulsa los compresores de aire, y para el desalmacenamiento, el aire comprimido impulsa las turbinas que están conectadas a un generador eléctrico. El aire comprimido se almacena típicamente en una cavidad subterránea, una formación de roca porosa, un tanque de gas o petróleo agotado, o cualquier otro tanque de aire comprimido, que puede ser un recipiente a presión. La eficiencia de esta solución no es óptima porque una parte de la energía del aire comprimido está en forma de calor que no se utiliza: el calor producido durante la compresión del aire se rechaza. Por otro lado, el aire almacenado se calienta para lograr la relajación del aire, lo que nuevamente penaliza la eficiencia energética del sistema.

25

30

Actualmente existen varias variantes para este sistema CAES. Se pueden citar en concreto los sistemas y procedimientos siguientes:

35

- ACAES (del inglés "Adiabatic Compressed Air Energy Storage") en el que el aire se almacena a alta temperatura debido a la compresión. Sin embargo, este tipo de sistema requiere un sistema de almacenamiento específico, voluminoso y costoso (almacenamiento adiabático).
- AACAES (del inglés, "Advanced Adiabatic Compressed Air Energy Storage") en el que el aire se almacena a temperatura ambiente, y el calor debido a la compresión también se almacena por separado en un sistema de almacenamiento de calor TES (del inglés, "Thermal Energy Storage"). El calor almacenado en el sistema TES se usa para calentar el aire antes de su expansión.

40

Según algunos diseños propuestos de AACAES, el calor se almacena usando fluido de transferencia de calor que permite almacenar el calor de la compresión del aire y devolverlo al aire antes de su expansión por medio de intercambiadores de calor. Por ejemplo, la solicitud de patente EP 2447501 describe un sistema AACAES en el que el aceite, utilizado como fluido de transferencia de calor circula en circuito cerrado para intercambiar el calor con el aire.

45

Según otros diseños de AACAES previstos, el calor se almacena por medio de sólidos estáticos contenidos en uno o más contenedores. Por ejemplo, el calor se almacena en un material en forma de partículas de lecho fijo dispuestas en uno o más recipientes, y atravesado por el aire que se debe enfriar. Este calor se devuelve al aire frío que pasa a través del lecho fijo en la dirección opuesta durante una fase de descarga (descompresión del aire).

50

La presente invención se refiere a un contenedor de este último tipo, adaptado para recibir un material de almacenamiento de calor en forma de partículas de lecho fijo.

55

El contenedor se usa ventajosamente para almacenar energía en forma de aire comprimido del tipo AACAES, pero no se limita a esta aplicación. Por lo tanto, el contenedor puede ser adecuado para cualquier aplicación que use un sistema de almacenamiento y recuperación de calor que requiera una gran capacidad de almacenamiento de calor, y que puede requerir una resistencia a altas temperaturas y presiones. A modo de ejemplo, se pueden mencionar otros campos de aplicación, como el almacenamiento de energía en forma de aire comprimido, como en el campo de la metalurgia, por ejemplo, en el contexto de la recuperación y la recuperación del calor de los humos de altos hornos, el campo del almacenamiento de la energía marina, etc.

60

65

Una gran dificultad consiste en diseñar contenedores para sistemas de almacenamiento de calor que puedan funcionar

a altas presiones, del orden de varias decenas de bares, típicamente presiones de hasta 65-85 bares, y que puedan operar a altas temperaturas, típicamente varios cientos de grados C, hasta 750 °C.

5 Para soportar altas temperaturas y altas presiones, los TES generalmente comprenden grandes tanques cilíndricos de hormigón llenos de un material de almacenamiento de calor, que tienen gruesos muros de hormigón pretensado que pueden reforzarse con acero, y que puede tener varias estructuras de refuerzo de pared, por ejemplo del tipo separador, para resistir las tensiones ejercidas en las paredes debido a la presión interna.

10 Por ejemplo, se conoce un TES en el contexto del almacenamiento de aire comprimido adiabático que puede funcionar a una temperatura muy alta, por ejemplo, hasta 650 °C, y a presiones de hasta 65 bar, como se describe en la patente EP1857614B. Este sistema de almacenamiento comprende una estructura doble formada por dos cápsulas anidadas una dentro de la otra, con una cápsula de presión exterior de hormigón pretensado y una cápsula interna de hormigón resistente al calor y que contiene el material de almacenamiento de calor, por ejemplo, elementos cerámicos apilados. Este sistema se basa en una contribución mecánica del muro de hormigón para contener la presión interna. Esto requiere una realización in situ con la fabricación de hormigón pretensado, sin posible realización en taller. Además, dichos sistemas, que implican la construcción de muros de hormigón cilíndricos de alto espesor (más de 1 m por ejemplo) plantean dificultades de ingeniería y son costosos y complejos de lograr. Finalmente, este sistema no cumple con las restricciones de presión previstas hoy en día en los sistemas TES, que son más bien del orden de 125 bares o 300 bares.

20 También se conoce un sistema de almacenamiento de calor que puede almacenar calor a presiones superiores a 3-4 bares, que se puede utilizar en sistemas de almacenamiento de aire comprimido cuasi-adiabáticos, como se describe en la patente FR2998556A1. Dicho contenedor tiene paredes de hormigón refractario rodeadas por una carcasa de acero, proporcionando un aislante térmico entre la carcasa de acero y las paredes de hormigón. La estructura tipo sándwich formada por el conjunto de pared de hormigón/aislante/carcasa de acero refractario reduce las pérdidas térmicas al aislar el material de almacenamiento térmico, reduce la temperatura de la pared de acero y limita la degradación de las características de esta última, permite limitar la temperatura de la piel de la carcasa de acero mejorando la seguridad, y puede contener la presión en el contenedor dependiendo del grosor de la carcasa de acero. El contenedor según FR2998556A1 también comprende rejillas para contener el material de almacenamiento de calor que se pueden disponer a diferentes alturas en el contenedor, que también actúan como separadores que limitan la tensión ejercida en las paredes. Esta configuración permite mantener el material de almacenamiento a diferentes alturas en el contenedor, lo que ayuda a limitar la tensión ejercida en las paredes y también permite una mejor distribución del material en el tanque, lo que mejora la interacción del aire con el material de almacenamiento.

35 Durante las operaciones de carga y descarga de aire, la estructura sufre expansión térmica, particularmente en las rejillas. Para absorber estas expansiones, el sistema de almacenamiento de calor según FR2998556A1 establece que las rejillas se fijan a las paredes de hormigón mediante anillos asociados con cadenas, evitando la generación de tensiones mecánicas durante la expansión térmica.

40 Sin embargo, debido a los importantes esfuerzos involucrados en el almacenamiento del material, es difícil implementar dicho contenedor que tenga rejillas fijadas por un sistema de anillos y cadenas mal adaptados a la cantidad y peso del material utilizado, especialmente en aplicaciones de tipo AACAES en las que se almacenan varios cientos de toneladas de material particulado en tanques con una capacidad de entre aproximadamente 200 m³ y 1000 m³. Además, dicho sistema de sujeción es voluminoso. El documento FR2998556A1 describe un contenedor de un sistema de almacenamiento y recuperación de calor según el preámbulo de la reivindicación 1.

Objetivos y resumen de la invención

50 La presente invención propone una nueva realización de sistemas de almacenamiento de calor adaptados a condiciones de alta presión, que típicamente pueden operar a presiones del orden de 300 bares, y adaptados a condiciones de temperatura moderada, típicamente temperaturas máximas, del orden de 300 °C.

55 En particular, la presente invención tiene como objetivo proporcionar un contenedor para un sistema de almacenamiento y recuperación de calor, destinado a contener un material de almacenamiento de calor en forma de partículas en lecho fijo, capaz de funcionar a alta presión, preferiblemente a presiones superiores a 100 bares y hasta 300 bares, mientras se pretende limitar los problemas asociados con la expansión térmica durante las operaciones de almacenamiento y recuperación de calor, para reducir el coste de fabricación del contenedor, y para facilitar el montaje del contenedor.

60 Por lo tanto, para lograr al menos uno de los objetivos anteriores, entre otros, y superar al menos en parte las desventajas de la técnica anterior descrita anteriormente, la presente invención propone, en un primer aspecto, un contenedor de un sistema para almacenar y recuperación de calor, que comprende un recinto que comprende medios para inyectar y extraer un gas para enfriar o calentar. El recinto está delimitado por una primera envoltura de hormigón rodeada por una capa aislante térmica, estando la capa aislante rodeada por una cubierta de acero, la primera cubierta de hormigón y la capa aislante no son herméticas a la presión. El recinto tiene al menos dos módulos de hormigón dispuestos uno encima del otro centralmente para formar la primera envoltura de hormigón. Cada módulo de hormigón

ES 2 751 131 T3

comprende un volumen delimitado por una pared lateral de hormigón y un fondo de hormigón perforado, el volumen puede contener un lecho fijo de partículas de un material para almacenar y recuperación de calor.

- 5 Según un modo de realización, los módulos de hormigón son monobloque.
- Según un modo de realización, el material para almacenar y recuperación de calor está en forma de partículas de hormigón.
- 10 Según un modo de realización, el contenedor tiene la forma de una columna, que comprende módulos de hormigón de forma cilíndrica.
- Preferiblemente, el contenedor tiene orificios de equipresión en la envoltura de hormigón.
- 15 Ventajosamente, la conductividad térmica está entre:
- 0,1 y 2 $\text{Wm}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ para la envoltura de hormigón,
 - 0,01 y 0,17 $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ para la capa aislante, y
 - 20 - 20 y 250 $\text{Wm}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ para la carcasa de acero.
- Ventajosamente, el grosor de la capa aislante es tal que, cuando se usa para el almacenamiento de calor, la temperatura de la carcasa de acero es menor o igual a 50 °C, y la capa aislante se elige preferiblemente entre una capa de roca, perlita, lana de vidrio, vidrio celular, una cámara de aire, y más preferiblemente es una capa de lana de roca.
- 25 Según un modo de realización, el contenedor comprende entre 2 y 12 módulos de hormigón.
- 30 Según un modo de realización, el recinto tiene un volumen de entre 200 m³ y 1000 m³.
- Según un modo de realización, el contenedor comprende una pluralidad de recintos conectados en serie y/o en paralelo.
- 35 Según un segundo aspecto, la invención se refiere a un sistema para almacenar y recuperación de calor que comprende al menos un contenedor según la invención.
- Según un tercer aspecto, la invención se refiere a una instalación de almacenamiento de energía de aire comprimido AACAES que comprende:
- 40 - un sistema de compresión para comprimir aire durante una fase de compresión;
- un sistema de almacenamiento y recuperación de calor según la invención para almacenar el calor del aire comprimido durante la fase de compresión y para restaurar el calor al aire comprimido durante una fase de relajación;
- 45 - un tanque final para almacenar el aire comprimido por el sistema de compresión y enfriado por el sistema de almacenamiento y recuperación de calor;
- un dispositivo de expansión del aire comprimido del tanque de almacenamiento final durante la fase de expansión.
- 50 Según un modo de realización, el tanque final tiene un volumen de entre 1000 m³ y 7000 m³ y el recinto de dicho contenedor del sistema de almacenamiento y recuperación de calor tiene un volumen de entre 200 m³ y 1000 m³, el sistema de almacenamiento y recuperación de calor comprende preferiblemente al menos tres contenedores.
- 55 Según un cuarto aspecto, la invención se refiere a un método para montar un contenedor según la invención, que comprende:
- la instalación de la carcasa de acero sin una tapa en el sitio de montaje del contenedor, la carcasa de acero está dispuesta sobre un soporte;
- 60 - el montaje de los módulos de hormigón, la instalación de la capa aislante y el llenado de dichos módulos por el material de almacenamiento de calor, mediante la inserción sucesiva de dichos módulos en la carcasa de acero centralmente para formar la primera envoltura de hormigón;
- 65 - el cierre del contenedor ensamblando la carcasa de acero con una tapa de acero previamente aislada térmicamente, preferiblemente por soldadura.

Según un modo de realización, el volumen del módulo de hormigón se llena con el material de almacenamiento de calor para crear un lecho fijo de partículas una vez que el módulo se ha insertado en la carcasa de acero.

5 Alternativamente, el volumen del módulo de hormigón puede llenarse por el material de almacenamiento de calor para crear un lecho fijo de partículas antes de que el módulo se inserte en la carcasa de acero.

10 Otros objetos y ventajas de la invención se harán evidentes tras la lectura de la siguiente descripción de ejemplos de realizaciones particulares de la invención, dados a modo de ejemplos no limitativos, haciéndose la descripción en referencia a las figuras adjuntas descritas a continuación.

Breve descripción de las figuras

15 La figura 1 es un diagrama que ilustra el principio de un procedimiento AACAES en el que se implementa un sistema de almacenamiento y recuperación de calor (TES) según la invención.

La figura 2 es un diagrama de un contenedor TES según un modo de realización de la invención.

20 La figura 3 es un diagrama de un módulo de hormigón del contenedor TES que se muestra en la figura 2.

La figura 4 es un diagrama de un módulo de hormigón de un contenedor TES según otro modo de realización.

25 La figura 5 es un diagrama que ilustra un ejemplo de ensamblaje del contenedor TES representado en la figura 2.

La figura 6 es un gráfico que ilustra la evolución de la temperatura a través de la pared del contenedor TES multicapa que se muestra en la figura 2.

La figura 7 es una vista 3D de un primer ejemplo de carcasa de acero de un contenedor TES según la invención.

30 La figura 8 es una vista 3D de un segundo ejemplo de carcasa de acero de un contenedor TES según la invención.

La figura 9 es una vista 3D de un tercer ejemplo de carcasa de acero de un contenedor TES según la invención.

35 En las figuras, las mismas referencias para designan elementos idénticos o análogos.

Descripción detallada de la invención

40 La figura 1 ilustra esquemáticamente el principio operativo de una instalación AACAES que comprende un sistema de almacenamiento y recuperación de calor (TES) según un modo de realización no limitativo de la invención. Las particularidades del contenedor del TES según la invención no se muestran en esta figura, y se describen más adelante, en particular en relación con las figuras 2 a 9.

45 En la figura 1, la instalación de AACAES 100 comprende un sistema de compresión 20 de aire, un sistema de expansión 30 de aire, un sistema de almacenamiento y recuperación de calor del aire llamado TES 40, y un tanque final 10 para almacenar el aire comprimido.

50 El TES según la invención es adecuado para cualquier tipo de gas, en particular aire. En este caso, el aire de entrada utilizado para la compresión puede tomarse del aire ambiente, y el aire de salida después de la expansión puede liberarse al aire ambiente. En el resto de la descripción, solo se describirá la variante de realización con aire comprimido. Sin embargo, se puede usar cualquier gas que no sea aire en el contenedor de TES según la invención.

55 El tren de compresión 20 comprende tres etapas de compresión, cada etapa comprende un compresor (21, 22, 23). El número de etapas de compresión es una función de las tecnologías y el rendimiento de los compresores y preferiblemente comprende de uno a seis compresores. El tren de compresión es necesario para obtener la presión deseada del aire que se almacena en el tanque 10. Preferiblemente, la presión del aire comprimido en el tanque final 10 está entre 50 bares y 300 bares. Los compresores son accionados por un motor M, que incluye un motor eléctrico.

60 El sistema de expansión 30 de aire consta de tres etapas de turbinas. Las tres turbinas 31, 32 y 33 se utilizan para relajar el aire y generar la energía eléctrica. Las turbinas están típicamente conectadas a un generador de electricidad G. El número de etapas de expansión es preferiblemente idéntico al del tren de compresión.

Típicamente, el número de turbinas es igual al número de contenedores TES, y el número de compresores es igual o mayor que el número de contenedores TES.

65 Se requiere un contenedor TES por etapa de compresión. Así, el TES 40 comprende tres contenedores (41, 42, 43). Cada contenedor incluye un recinto que define un volumen que tiene al menos un lecho fijo de partículas de un material

de almacenamiento de calor, y está diseñado para soportar altas presiones y temperaturas moderadas. El material de almacenamiento de calor es capaz de almacenar las calorías del aire que pasa a través del contenedor y que se pone en contacto con dicho material, y de devolver este calor al aire que pasa a través del contenedor en otro momento. Estos contenedores se describen en detalle más adelante en la descripción.

5 Durante la fase de compresión, también conocida como la fase de almacenamiento o la fase de carga, el aire caliente producido por compresión en un compresor (21, 22, 23) es admitido en un contenedor de TES (41, 42, 43) y sale a baja temperatura para someterse a la siguiente etapa de compresión o almacenarse en el tanque final 10. Así, el aire 10 1 entra en una temperatura T_0 y una presión P_0 en el compresor 21, por ejemplo a 25 °C (temperatura ambiente) y a presión atmosférica. El aire se comprime en el compresor 21, y se calienta debido a la compresión, y sale a una temperatura más alta T_1 y presión P_1 que inicialmente (T_0 , P_0), por ejemplo a aproximadamente 260 °C y unos 6 bares. El aire comprimido y calentado entra en el contenedor 41 y pasa a través del material de almacenamiento de calor con el que intercambia calorías, y sale refrigerado a una temperatura T_2 , por ejemplo a unos 100 °C. Este aire refrigerado 15 puede ser enfriado posteriormente en un dispositivo de ventilación 51 situado a la salida del contenedor TES 41, para alcanzar una temperatura T_3 inferior a la temperatura T_2 , acercándose a la temperatura ambiente. La temperatura T_3 es, por ejemplo, igual a aproximadamente 50 °C. Por lo tanto, la instalación de AACAES puede comprender al menos un dispositivo de enfriamiento de aire adicional, diferente de los contenedores de TES, por ejemplo del tipo de ventilador, para reducir la temperatura del aire que sale de cada contenedor de TES, y consta de preferiblemente 20 tantos dispositivos de enfriamiento adicionales, por ejemplo del tipo de ventilador, como de contenedores TES, cada uno de los cuales se coloca en el contenedor TES saliendo de la línea de aire y entrando en el compresor de una etapa de compresión o entrando en el tanque final 10. El aire posiblemente enfriado en el ventilador 51 se envía luego al compresor 22, para experimentar un nuevo aumento de compresión y temperatura que lo acompaña, y sale a una presión P_2 mayor que la presión P_1 , por ejemplo a una presión unos 30 bares, y a la temperatura T_1 . El aire a temperatura T_1 y presión P_2 se envía luego al contenedor de TES 42, donde se enfría de la misma manera que en el contenedor 41. El aire sale del contenedor 42 a la temperatura T_2 , opcionalmente se enfría más en el ventilador 52 a la temperatura T_3 , antes de ser enviado al último compresor 23. La salida de aire comprimido del compresor 23 tiene una presión P_3 mayor que la presión P_2 , por ejemplo, es de aproximadamente 125 bares, y está a la temperatura T_1 . Se envía al contenedor de TES 43, luego posiblemente a un ventilador 53, para finalmente enviarse (aire 2) y almacenarse en el tanque de almacenamiento de aire final 10, a una temperatura de almacenamiento T_f , que es 30 sustancialmente igual a la temperatura de salida del último contenedor TES 43 o posiblemente a la temperatura T_3 a la salida del último ventilador 53, por ejemplo igual a aproximadamente 50 °C, y preferiblemente igual a la temperatura ambiente, y una presión de almacenamiento P_f que es sustancialmente igual a la presión P_3 en la salida del último compresor 23 (caída de presión al final del paso en el contenedor de TES y posiblemente en el ventilador), por ejemplo, aproximadamente 125 bares.

35 Durante la fase de expansión, también conocida como fase de desabastecimiento o fase de descarga, el aire frío, producido durante la expansión en una turbina, es admitido en el contenedor del TES (41, 42, 43) para transferir el calor almacenado. Así, el aire 3 que sale del tanque 10 a la temperatura de almacenamiento T_f y la presión de almacenamiento P_f entra en el contenedor TES 43 donde se calienta en contacto con el material de almacenamiento de calor que libera el calor recogido durante la fase de almacenamiento. El aire calentado se envía luego a la turbina 40 31, se relaja y, por lo tanto, también se enfría. Fuera de la turbina 31, el aire enfriado se envía al contenedor TES 42 para ser calentado, como en el contenedor 43, luego experimenta nuevamente una relajación y enfriamiento a través de su paso en la turbina 32. Antes de entrar en la tercera etapa de expansión por la turbina 33, el aire que sale de la turbina 32 se envía al contenedor TES 41 para experimentar un calentamiento final.

45 Gracias al TES, el calor formado durante la fase de compresión del aire se almacena ventajosamente en los contenedores de TES y se devuelve durante la fase de expansión del aire comprimido, asegurando así una eficiencia óptima de la instalación por parte del limitación de la pérdida de calorías durante el procedimiento. Para maximizar la eficiencia y garantizar un sistema adiabático, el contenedor TES debe minimizar la transferencia de calor al exterior. 50 Cada contenedor del TES tiene preferiblemente un volumen de entre 200 m³ y 1000 m³, típicamente elegido según la energía que se va a almacenar. El contenedor de TES según la invención puede usarse independientemente del tamaño de la instalación de AACAES. El volumen del contenedor y el número de contenedores se eligen según el tamaño del sistema AACAES objetivo. El flujo de aire que entra y sale del contenedor de TES depende de la etapa en la que se encuentra el contenedor, en particular depende de la presión, y preferiblemente está entre 20 y 200 m³/h. 55 La temperatura del material de almacenamiento es preferiblemente entre temperatura ambiente, aproximadamente 25 °C y 300 °C, y preferiblemente entre temperatura ambiente y 260 °C.

60 En la instalación que se muestra esquemáticamente en la figura 1, el contenedor de TES 43, es decir, el contenedor de TES desde el cual se envía aire al tanque final 10, es el dispositivo de almacenamiento de calor que impone la mayoría de las limitaciones para el diseño del TES. De hecho, es el que soporta las restricciones más fuertes relacionadas con la compresión del aire. En el ejemplo dado e ilustrado en la figura 1, el contenedor de TES 43 tiene las siguientes características:

- puede contener un aire que tiene una temperatura de aproximadamente 260 °C como máximo;
- puede funcionar a una presión máxima de 125 bares;

ES 2 751 131 T3

- contiene 336 m³ de material de almacenamiento de calor;

5 - el material de almacenamiento de calor que contiene tiene una densidad de 2400 kg/m³, lo que conduce, por ejemplo, a una densidad aparente de 1200 kg/m³ considerando una tasa de vacío del 50 %;

- el material de almacenamiento que contiene tiene forma de cuentas de 10 mm de diámetro.

10 Varias unidades de almacenamiento de aire comprimido se muestran en la figura 1 como formando el tanque de almacenamiento de aire final 10 sin que esto sea una limitación. De hecho, el tanque de almacenamiento de aire comprimido 10 puede estar compuesto por una o más unidades de almacenamiento de aire, por ejemplo, uno o más tanques, un sistema de tuberías o una o más cavidades subterráneas. El volumen total del tanque 10 puede estar entre 1000 m³ y 7000 m³, en el caso de las instalaciones AACAES de tamaño modesto, y puede ser de hasta aproximadamente 100.000 m³ dependiendo de las aplicaciones previstas.

15 El sistema AACAES que comprende un contenedor TES según la invención no se limita al ejemplo de la figura 1. Se pueden prever otras configuraciones: un número diferente de etapas de compresión y/o expansión, el uso de medios reversibles que aseguran la compresión y la relajación para limitar el número de dispositivos utilizados en el sistema y así asegurar una ganancia en peso y volumen del sistema, etc.

20 La figura 2 muestra una sección longitudinal esquemática de un contenedor TES según un modo de realización de la invención. Solo se muestra la mitad del contenedor, la otra parte es simétrica.

25 El contenedor TES 200 es un recinto, que suele tener una forma de columna dispuesta verticalmente de manera sustancial, por ejemplo, sobre un soporte 208 como el suelo, una losa de hormigón o cualquier otro soporte adecuado al peso del contenedor, y que comprende, preferiblemente en su parte superior e inferior, medios para inyectar y extraer 201/202 un gas que deba enfriarse o calentarse, normalmente aire. En la figura, las flechas ilustran el flujo de gas en el contenedor de TES durante dos fases distintas de operación del contenedor, típicamente una fase de carga (fase de compresión de gas con almacenamiento de calor en el TES) y una fase de descarga (expansión de gas con recuperación de calor de gas) en el procedimiento AACAES. El contenedor de TES no se limita a una geometría cilíndrica del recinto, sino que también puede tener otra forma, como una forma de paralelepípedo. Se proporciona un sistema de tuberías (no mostrado) para conectar de manera fluida el contenedor a los otros dispositivos de la instalación de AACAES (compresores, turbinas, etc.), que pueden estar ubicados parcialmente en el sótano.

35 El contenedor 200 comprende al menos dos módulos de hormigón 210 dispuestos uno encima del otro, y preferiblemente una sucesión de varios módulos 210 dispuestos uno encima del otro como se muestra en la figura 2. Por ejemplo, el contenedor según la invención comprende entre 2 y 12 módulos de hormigón 210, preferiblemente entre 3 y 5 módulos de hormigón 210. Los módulos 210 están posicionados centralmente. La figura 3 ilustra esquemáticamente en sección dicho módulo 210. En cuanto a la figura 2, solo se muestra la mitad del módulo, la otra mitad es idéntica. Cada módulo de hormigón 210 tiene una pared lateral de hormigón 211 y un fondo de hormigón perforado 205, la pared y el fondo definen un volumen 213 capaz de recibir un material de almacenamiento de calor 207 en forma de partículas que forman un lecho fijo de partículas (no se muestra en la figura 3). El fondo 205 del módulo 210 es típicamente una placa de hormigón con aberturas 212 más pequeñas que el tamaño de partícula del material de almacenamiento de calor para retener el material de almacenamiento de calor, mientras que permite que el gas pase a través del contenedor. El fondo 205 y la pared 211 forman dos entidades distintas, formadas por un material de la misma naturaleza, es decir, un hormigón. La pared 211 descansa sobre la placa de hormigón 205. La porción de la placa 205 que soporta la pared 211 preferiblemente no está perforada para asegurar un espesor de hormigón sólido al menos igual al de la pared 211 en la unión pared/fondo del módulo. Alternativamente, la pared 211 tiene una ranura en la que se aloja la periferia de la placa de hormigón 205 que constituye la parte inferior del módulo (la variante no se muestra en la figura 3). En este caso, la parte de la placa 205 que encaja en la ranura de la pared 211 preferiblemente no está perforada para garantizar un espesor de hormigón sólido al menos igual al de la pared 211 en la unión pared/fondo del módulo.

55 Preferiblemente, las paredes laterales de los módulos de hormigón tienen un espesor de entre 50 mm y 500 mm. Preferiblemente, el fondo de los módulos de hormigón tiene un espesor de entre 100 y 300 mm.

Cada módulo de hormigón 210 tiene preferiblemente una forma cilíndrica, que conduce a un contenedor en forma de columna. Sin embargo, el módulo de hormigón puede tener otra forma, por ejemplo, paralelepípedo.

60 El contenedor 200 comprende así una pluralidad de lechos fijos (al menos dos) de partículas de almacenamiento y materiales de recuperación de calor 207, estando dispuesto cada lecho en un módulo de hormigón 210. Por lecho fijo de partículas se entiende un conjunto de partículas dispuestas al azar, que no es móvil ni fluidizado.

65 Los módulos de hormigón 210 forman una primera envoltura de hormigón 203 del contenedor 200. Más precisamente, esta envoltura 203 está formada por todas las paredes laterales 211 y partes de los fondos de hormigón 205 en contacto con las paredes laterales 211. La envoltura de hormigón 203 está rodeada por una capa 206 térmicamente

aislante, rodeada por una carcasa de acero 204. La envoltura de hormigón 203 está en contacto con la capa aislante 206, en sí misma en contacto con la carcasa de acero 204.

La envoltura de hormigón 203 tiene preferiblemente un espesor de 50 mm y 500 mm, por ejemplo un espesor de 100 mm. La envoltura de hormigón 203 puede contener el material de almacenamiento que puede estar a una temperatura de hasta 300 °C, por ejemplo una temperatura entre temperatura ambiente (20 °C) y 300 °C, preferiblemente comprendida entre 20 °C y 260 °C. La envoltura de hormigón 203 también puede soportar las tensiones ejercidas por el material de almacenamiento de calor, en particular las restricciones relacionadas con el peso del material de almacenamiento pueden representar unos pocos cientos de toneladas. El material de almacenamiento y la primera envoltura de hormigón 203 están contenidos en una carcasa de acero 204, separada de la primera carcasa 203 por la capa de aislamiento térmico 206. La envoltura de hormigón 203 y la capa aislante 206 no son estancas a la presión, es decir que no hay diferencia de presión en ninguno de los lados de la envoltura, y de la capa aislante. Por lo tanto, es la carcasa de acero la que toma la presión interna del contenedor. Por presión interna del contenedor se entiende la presión de aire en funcionamiento. De esta manera, la primera carcasa 203 está en equipresión y la carcasa de acero solo está sometida a la fuerza debida a esta presión interna. El contenedor 200 comprende preferiblemente al menos un orificio de equipresión 209, que es una abertura en la envoltura 203 que forma un paso entre el interior del recinto y la capa aislante 206, para transmitir la presión interna del recinto a la carcasa de acero 204. Preferiblemente, el contenedor 200 comprende varios orificios de equipresión 209, por ejemplo dispuestos en las paredes laterales de cada módulo de hormigón 210.

La primera envoltura de hormigón 203 está sometida principalmente a tensiones de compresión en condiciones de temperatura moderada, típicamente hasta aproximadamente 300 °C. Los módulos 210 pueden consistir en hormigones ordinarios o de alto rendimiento (BHP), que pueden estar sujetos a este tipo de tensión sin una degradación significativa de su rendimiento mecánico a las temperaturas de funcionamiento objetivo. También se puede usar hormigón refractario y hormigón armado. La conductividad térmica de la envoltura de hormigón 203 está preferiblemente entre 0,1 y 2 Wm⁻¹.K⁻¹.

La capa aislante 206 hace posible limitar la temperatura de funcionamiento de la carcasa de acero limitando la transferencia de calor. La capa aislante 206 también hace posible facilitar el dimensionamiento de la carcasa de acero al permitir una restricción de baja temperatura, en particular un diseño con una temperatura que puede ser inferior o igual a 50 °C, o incluso cercana a la temperatura ambiente (20 °C) en lugar de un diseño con una temperatura máxima de funcionamiento de 300 °C. El espesor de la capa aislante es preferiblemente tal que, en uso, la temperatura de la carcasa de acero es inferior o igual a 50 °C. La capa aislante 206 no es hermética a la presión. Esta permeabilidad a la presión permite la operación en equipo mediante la transmisión de equipresión al casco de acero 204. Preferiblemente la capa aislante tiene una porosidad tal que no es estanca a la presión. La conductividad térmica de la capa aislante 206 está preferiblemente entre 0,01 y 0,17 Wm⁻¹.K⁻¹. La capa aislante 206 tiene preferiblemente un espesor de entre 50 mm y 400 mm, por ejemplo, un espesor de 100 mm. El grosor de la capa aislante 206 puede reducirse eligiendo un hormigón refractario para formar los módulos de hormigón 210 (conductividad térmica reducida de un hormigón refractario, típicamente dividido por dos en comparación con un hormigón armado ordinario). El grosor de la capa aislante también depende de la naturaleza del material elegido para formar esta capa. La capa aislante es preferiblemente una capa de lana de roca. También se pueden usar otros materiales para formar la capa aislante 206, tales como perlita, lana de vidrio, vidrio celular, una cámara de aire.

La carcasa de acero 204, que constituye la carcasa exterior del contenedor 200, permite soportar la presión interna del contenedor. Su grosor depende de la demanda de presión. Preferentemente, el grosor de la carcasa de acero no supera los 300 mm para ser compatible con los medios de fabricación conocidos hasta la fecha (forja, laminado y soldadura). La conductividad térmica de la carcasa de acero 204 está preferiblemente entre 20 y 250 W.m⁻¹.K⁻¹. Se pueden usar varios aceros para hacer la carcasa 204. Típicamente, la capa está hecha de acero no aleado de uso general, como el acero P355GH.

Tal estructura tipo sándwich, formada por la sucesión, desde el interior hacia el exterior del contenedor 200, la envoltura de hormigón 203, la capa aislante 206 y la carcasa de acero 204, permite:

- desacoplar las restricciones de recuperación de peso del material de almacenamiento y presión interna. Se dedica una estructura limpia a cada carga: el peso del material de almacenamiento está soportado por la primera envoltura de hormigón 203 y la presión interna está soportada por la carcasa de acero 204;

- dimensionar la carcasa de acero a temperatura ambiente en virtud de la capa aislante, lo que permite reducir el grosor de la carcasa de acero, lo que resulta en una ganancia significativa en la masa de acero utilizada, y en consecuencia una reducción en los costes, en comparación con un diseño para una temperatura del orden de 30 °C, pero que también permite obtener espesores compatibles con los medios de producción de la carcasa de acero. De hecho, fabricar un contenedor de TES que comprende un recinto de acero que tiene una temperatura de funcionamiento muy superior a 50 °C, por ejemplo 260 °C, para las altas presiones en cuestión, representa un desafío tecnológico, en particular para un diámetro de tanque superior a 1 m. Típicamente, al tomar un acero como los que se usan comúnmente para formar los recipientes a presión (ESP), por ejemplo un acero tipo P355GH, el espesor de la pared de acero alcanza un espesor de al menos 150 mm. Este es un límite de fabricación que

complica la conformación del acero, el ensamblaje por soldadura pero también el transporte, porque la masa de los tanques puede alcanzar unos cientos de toneladas;

- fabricar tanques de mayor diámetro, típicamente del orden de 4 m.

5 Dado que los módulos 210 están formados por partes, es decir, paredes y fondos, hechas del mismo material, es decir, hormigón, se evitan así los problemas de expansión térmica diferencial conocidos en los dispositivos de la técnica anterior.

10 Además, gracias a la naturaleza del material que compone los módulos 210, los módulos participan activamente en el almacenamiento de calor en el contenedor de TES. Por lo tanto, es posible aumentar la capacidad de almacenamiento de calor del contenedor de TES inicialmente unido al material de almacenamiento de calor individual en forma de partículas de lecho fijo y/o reducir la masa de material de almacenamiento dentro del contenedor para la misma capacidad de almacenamiento de calor.

15 El módulo de hormigón 210, por lo tanto, tiene varias funciones, en particular formar el recinto del contenedor, participar en el almacenamiento y el recuperación de calor, utilizarse como soporte para el material granular para almacenar calor y garantizar buena distribución del material de almacenamiento de calor granular en toda la altura del contenedor que mejora el intercambio de calor entre el gas y las partículas del material de almacenamiento con el gas y que evita la sedimentación en el fondo del contenedor que puede debilitar la estructura del contenedor.

20 El material de almacenamiento de calor está en forma de partículas dispuestas para formar un lecho fijo en cada módulo de hormigón 210. El material de almacenamiento de calor es, por lo tanto, un material granular capaz de almacenar y devolver calor, que puede ser, sin limitación, un hormigón, una cerámica, amianto, grava.

25 La forma y el tamaño de las partículas pueden variar, y estos parámetros se eligen para garantizar el paso del aire a través del lecho y para asegurar un contacto efectivo entre el gas y las partículas para optimizar el intercambio de calor. Preferiblemente, las partículas son sustancialmente esféricas y tienen un diámetro medio de entre 1 y 20 mm.

30 Según un modo de realización de la invención, las partículas del material de almacenamiento de calor están hechas de hormigón. El uso del mismo material para las partículas y para los módulos 210 hace posible garantizar una expansión térmica sustancialmente idéntica de las partículas y los módulos que alojan las partículas, evitando así cualquier tensión mecánica adicional.

35 Las partículas, típicamente bolas, del material de almacenamiento de calor se dimensionan preferiblemente para tener en cuenta la expansión térmica de las partículas y la de los módulos de hormigón durante el funcionamiento del contenedor, en particular para evitar cualquier fenómeno de bloqueo. A medida que aumenta la temperatura en el recinto, los módulos se expanden y, por lo tanto, el material de almacenamiento de calor granular puede llenar el aumento de volumen. Cuando se produce una fase de enfriamiento, los módulos reducen su diámetro y pueden comprimir el material granular y generar tensiones indeseables en la estructura.

40 Por ejemplo, el material de almacenamiento de calor es hormigón y en forma de bolas con un diámetro mayor o igual a 10 mm.

45 Según otro modo de realización, el módulo de hormigón es de una pieza, como se ilustra en la figura 4. El módulo de hormigón 410 está formado por una sola pieza de hormigón. Comprende una pared lateral 411 que se extiende por un fondo perforado 405 cuyas aberturas 412 permiten el paso de gas en el contenedor. El volumen 413 definido por la pared lateral 411 y el fondo perforado 405 está adaptado para recibir, como se describe para el módulo de hormigón 210 de la figura 3, un lecho fijo de partículas del material de almacenamiento de calor. En cuanto al módulo de hormigón 50 210, los problemas de expansión diferencial se reducen debido a la misma naturaleza del material para el fondo y la pared del módulo, y el módulo como tal participa en el almacenamiento y la recuperación del calor del gas que pasa a través del contenedor.

55 Esta configuración también es particularmente ventajosa para la fabricación del contenedor TES. De hecho, todos los módulos pueden prefabricarse y, por lo tanto, facilitar el montaje del contenedor apilando módulos en una sola pieza. Los módulos también pueden llenarse previamente con el material de almacenamiento de calor antes del ensamblaje para formar el contenedor.

60 El contenedor 200 según la invención hace posible almacenar el calor proveniente de un gas caliente, siendo llevado a cabo el almacenamiento por las partículas del material de almacenamiento de calor 207. El contenedor también permite restaurar el calor almacenado en las partículas a un gas frío. El gas ingresa o sale del contenedor 200 en sus extremos, al nivel de los medios de inyección y extracción 201/202, e intercambia calor con las partículas del material de almacenamiento y recuperación de calor 207 que están dispuestas en forma de lechos que permiten el paso de gas a través de ellos. El paso del fluido en el lecho fijo de partículas es sustancialmente axial, es decir que el fluido fluye globalmente a lo largo del eje principal definido entre los puntos de entrada y salida del gas en el contenedor 65 200, típicamente ubicado en dos extremos opuestos del contenedor 200. Típicamente, el paso del gas se realiza

sustancialmente según la vertical. Según esta configuración, durante la carga, el fluido entra caliente, a una temperatura T_1 , desde la parte superior del contenedor, y sale frío (enfriado por las partículas que almacenan parte del calor del gas), a una temperatura T_2 ($T_2 < T_1$), desde el fondo del contenedor. Para la descarga, el gas ingresa al fondo del contenedor a una temperatura T_2 y lo deja caliente (calentado por las partículas que devuelven parte del calor de las partículas), a una temperatura T_1 desde la parte superior del contenedor. La configuración descrita es una configuración preferida en la que el contenedor comprende una zona caliente en su parte superior, debido a la entrada del gas caliente durante la fase de carga y la salida del gas calentado durante la descarga, y una zona fría en la parte inferior debido a la salida del gas enfriado durante la fase de carga y la entrada de gas frío durante la fase de descarga. Una zona caliente en la parte superior, en particular, minimiza el movimiento del aire durante una fase de espera antes de la fase de descarga. Sin embargo, el contenedor se puede usar en una configuración invertida en la que la zona caliente está en su parte inferior y la zona fría en la parte superior. En este caso, durante la fase de carga, el gas caliente que se va a enfriar alcanza una temperatura T_1 , desde el fondo del contenedor y sale frío, a una temperatura T_2 ($T_2 < T_1$), desde la parte superior del contenedor, y durante la descarga, el gas entra frío, a una temperatura T_2 , desde la parte superior del contenedor, y sale caliente a una temperatura T_1 , desde el fondo del contenedor.

Ventajosamente, el contenedor TES según la invención es capaz de operar a presiones entre 1 bar y 300 bares, en particular entre 100 bares y 300 bares, y más particularmente entre 100 y 150 bares, y a temperaturas comprendidas entre la temperatura ambiente, generalmente 20 °C y 300 °C, preferiblemente entre la temperatura ambiente y 260 °C.

Según un modo de realización, el contenedor TES no forma un único tanque, sino que comprende varios recintos, cada uno de los cuales está definido como se muestra en la figura 2, es decir, comprende, preferiblemente en su parte superior e inferior, medios para inyectar y extraer el gas; cada recinto está delimitado por una primera envoltura de hormigón rodeada por una capa de aislamiento térmico y, a su vez, está rodeado por una envoltura de acero. Cada uno tiene al menos dos módulos de hormigón dispuestos uno encima del otro centralmente para formar la primera envoltura de hormigón. Cada módulo de hormigón comprende un volumen delimitado por una pared lateral de hormigón y un fondo de hormigón perforado, el volumen contiene un lecho fijo de partículas de un material para almacenar y recuperación de calor. Los diferentes recintos se comunican de manera fluida y están conectados en serie y/o en paralelo para formar un contenedor TES compuesto por elementos de tamaño y peso reducidos. La instalación en serie y/o en paralelo es relativa al gas enviado a los recintos del contenedor TES: en una conexión en serie, el gas pasa sucesivamente a través de los diversos recintos del contenedor TES, mientras que en una conexión paralela, el flujo de gas que se va a enfriar/calentar se divide entre varias subcorrientes inyectadas cada una en un recinto del contenedor TES.

El contenedor de TES según la invención se usa preferiblemente en un sistema AACAES como se describe en conexión con la figura 1. Sin embargo, el uso del contenedor TES según la invención no se limita al almacenamiento de energía de aire comprimido AACAES. El contenedor TES según la invención también se puede usar en otras aplicaciones donde se requiere un almacenamiento y una recuperación del calor de un gas, en condiciones de altas presiones, por ejemplo para su uso en redes de calor, o en plantas concentradas de energía solar. Estas diferentes aplicaciones requieren medios de almacenamiento de energía si esta última no se consume durante su producción. En consecuencia, la energía disponible en forma de flujo de calor puede almacenarse en un sistema de almacenamiento y recuperación de calor (TES) según la invención que comprende al menos un contenedor como se describe.

La figura 5 ilustra un ejemplo no limitativo de montaje del contenedor de TES según la invención. Los diagramas (A) a (E) ilustran la sucesión de etapas para montar el contenedor TES según la invención. Según este ejemplo de montaje, se llevan a cabo las siguientes etapas.

Se lleva a cabo una primera etapa (diagrama (A)) de la instalación in situ de la carcasa de acero 204 sin su tapa de cubierta 214 y la capa aislante 206. La carcasa de acero también se puede denominar férula. La carcasa de acero 204 se deposita sobre un soporte 208, por ejemplo, el suelo.

Ventajosamente, la carcasa de acero es prefabricada, es decir que la calderería de la misma se realiza en el taller, y se transporta en un bloque al lugar de montaje. En este caso, solo la soldadura o el montaje de la cubierta 214 se realiza en el sitio de montaje después de insertar los módulos de hormigón 210 y el material de almacenamiento de calor en la carcasa de acero, y colocar el aislamiento entre los módulos de hormigón y la carcasa de acero.

Alternativamente, la carcasa de acero 204 se divide en varios elementos que se enrutan al sitio de ensamblaje y se ensamblan mediante soldadura en el sitio.

Se lleva a cabo una segunda etapa (diagramas (B) a (C)) de montaje de los módulos de hormigón, se coloca la capa aislante 406 y se llenan los módulos con el material de almacenamiento de calor 207.

Una vez que se ha instalado la carcasa de acero 204, cada etapa del contenedor que comprende un módulo se monta preferiblemente de la siguiente manera, en este orden:

- configuración del módulo de hormigón;

- instalación del aislamiento entre la pared exterior de hormigón 211 y la carcasa de acero 404. El aislamiento puede ser típicamente lana de roca suelta o en rollo;

5 - llenado del módulo de hormigón con el material de almacenamiento seleccionado 207.

El primer módulo de hormigón 210 insertado en la carcasa de acero por la parte superior abierta de la carcasa 204 descansa sobre el fondo de la carcasa previamente aislado térmicamente. Durante el montaje de los módulos sucesivos, se garantiza el centrado de los módulos uno respecto al otro durante su apilamiento a fin de crear una pared continua de la primera envoltura de hormigón 203.

Alternativamente, los módulos de hormigón 410 pueden llenarse con el material de almacenamiento de calor 207 antes de la instalación del aislamiento 206 entre la pared de hormigón exterior 418 y la carcasa de acero 404.

15 Alternativamente, los módulos de hormigón 210 pueden llenarse con el material de almacenamiento de calor 207 antes de la inserción en la carcasa de acero 204.

Una tercera etapa de cierre del contenedor 200 se lleva a cabo ensamblando la carcasa 204 con su tapa de acero 214 aislada térmicamente, preferiblemente soldando la tapa 214 con la pared de acero de la carcasa 204.

20 La introducción de otros dispositivos, como la inyección de gas y los medios de extracción no se detalla, ya que la persona experta puede diseñarla fácilmente.

En la figura 5 no se muestran los orificios de equipresión. Estos se hacen preferiblemente en los módulos de hormigón antes de colocarlos en la carcasa de acero.

La fabricación de la carcasa de acero 204 se puede realizar según diferentes técnicas:

30 - la carcasa de acero se puede ensamblar soldando láminas dobladas de un solo espesor. La figura 7 ilustra dicha carcasa 704, compuesta de láminas de un solo espesor 723 soldadas entre sí. Inicialmente, las láminas planas se doblan para obtener el radio del recinto, y luego se ensamblan mediante soldadura para formar la carcasa de acero 704 que tiene una pared de una sola capa.

35 - la carcasa de acero también se puede ensamblar soldando láminas dobladas de múltiples capas para trabajar con espesores de lámina unitarios más pequeños que el grosor de una lámina utilizada para formar una carcasa de una sola capa. Parte de dicha carcasa se ilustra en la figura 8, donde podemos ver varias capas 824 de láminas que se superponen para formar la pared 823 de la carcasa de acero. Esta técnica facilita el trabajo de dar forma a la lámina. Según esta técnica de fabricación, es posible ensamblar las capas superiores con una pretensión para producir una carcasa multicapa con aro en las capas externas. La compresión de las capas inferiores les permite soportar mayores tensiones o resistir una tensión similar al ser de espesores más pequeños, lo que tiene la ventaja de optimizar la cantidad de acero requerida para la construcción.

45 - la carcasa de acero también se puede fabricar a partir del conjunto, preferiblemente mediante soldadura, láminas dobladas de un solo grosor, como la carcasa de una sola capa que se muestra en la figura 7, que están reforzadas por anillos circunferenciales. Esta técnica permite obtener una carcasa con una pared delgada y resistente a cargas de alta presión. La figura 9 es un dibujo en 3D que ilustra una carcasa de acero rígido 904 por la presencia de anillos circunferenciales 905. La carcasa de acero tiene una forma cilíndrica, y tiene una pluralidad de anillos circunferenciales de refuerzo 905 (12 en la figura 9). Los anillos circunferenciales 905 están hechos preferiblemente de metal, en particular acero.

Ejemplo

A continuación se ofrece un ejemplo cifrado de un contenedor TES según la invención, utilizado en un sistema AACAES como se muestra en la figura 1 como el último contenedor 43 antes de que el gas pase al tanque final 10 (o primer contenedor cuando el gas abandona el tanque 10).

Un contenedor de TES según la invención comprende, por ejemplo, un recinto formado por una carcasa de hormigón 203 que tiene un diámetro interno de 3,5 m y un espesor de 100 mm, capaz de soportar una presión interna de 125 bares y una temperatura alta del orden del 260 °C. Se coloca una capa de aislamiento de lana de roca de 100 mm de espesor entre la carcasa de hormigón 203 y la carcasa de acero 204 para limitar la temperatura de la pared de acero a 50 °C. La carcasa de acero tiene un diámetro interno de 3,9 m, y tiene 146 mm de espesor. Tal contenedor de TES desarrolla un volumen interno de 672 m³ para contener 806 toneladas de un material de almacenamiento que tiene, por ejemplo, una densidad de 1200 kg/m³. Se pueden proporcionar cinco etapas formadas por el apilamiento de cinco módulos de hormigón 210, de 14 m de altura cada uno, para formar el contenedor con una altura total de aproximadamente 70 m (esta altura no tiene en cuenta las dimensiones de dispositivos en la base y la parte superior del contenedor). En este ejemplo, las diferentes capas tienen las siguientes conductividades térmicas: 0,92 W.m⁻¹.K⁻¹.

ES 2 751 131 T3

¹ para la envoltura de hormigón, $26 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ para la pared de la carcasa de acero, y $0,04 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ para la capa aislante.

5 La figura 6 ilustra la evolución de la temperatura (temperatura en ordenadas en °C) dentro de la pared multicapa (radio del contenedor en abscisa en metros) de este ejemplo de contenedor de TES según la invención, la pared está formada por la carcasa de hormigón 203, la capa aislante 206 y la carcasa de acero 204. El grosor total e de la pared del contenedor de TES es de 346 mm, con un grosor de la primera envoltura de hormigón 203 de 100 mm, un grosor de la capa aislante 206 de 100 mm y un grosor de la carcasa 204 en acero de 146 mm. Se puede ver que con una temperatura de 260 °C en el recinto del contenedor se alcanza una temperatura de menos de 50 °C en el casco de
10 acero 204.

Para la fabricación de dicho contenedor de TES, se necesitan 190 toneladas de hormigón y 1000 toneladas de acero.

REIVINDICACIONES

1. Contenedor (200) de un sistema de almacenamiento y recuperación de calor (40), que comprende un recinto que comprende medios para inyectar y extraer (201/202) un gas para enfriar o calentar, estando dicho recinto delimitado por una primera envoltura de hormigón (203) rodeada por una capa aislante térmica (206), estando dicha capa aislante (206) rodeada por una carcasa de acero (204), siendo dicha primera carcasa de hormigón (203) y dicha capa aislante (206) insensibles a la presión, y **caracterizado porque** dicho recinto comprende al menos dos módulos de hormigón (210, 410) dispuestos uno encima del otro centralmente para formar la primera envoltura de hormigón (203), cada módulo de hormigón (210, 410) comprende un volumen delimitado por una pared lateral de hormigón (211) y un fondo de hormigón perforado (205), pudiendo dicho volumen contener un lecho fijo de partículas de un material almacenamiento y recuperación de calor (207).
2. Contenedor según la reivindicación 1, en el que los módulos de hormigón (410) son monobloques.
3. Contenedor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el material de almacenamiento y recuperación de calor (207) se presenta en forma de partículas de hormigón.
4. Contenedor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores en forma de columna, que comprende módulos de hormigón (210, 410) de forma cilíndrica.
5. Contenedor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que tiene orificios de equipresión en la carcasa de hormigón (203).
6. Contenedor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la conductividad térmica está entre:
 - 0,1 y 2 $Wm^{-1}.K^{-1}$ para la envoltura de hormigón (203),
 - 0,01 y 0,17 $W.m^{-1}.K^{-1}$ para la capa aislante (206), y
 - 20 y 250 $Wm^{-1}.K^{-1}$ para la carcasa de acero (204).
7. Contenedor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el grosor de la capa aislante es tal que, cuando se usa, la temperatura de la carcasa de acero (204) es menor o igual a 50 °C, y en el que la capa aislante (206) se elige preferiblemente entre una capa de lana de roca, perlita, lana de vidrio, vidrio celular, una cámara de aire, y más preferiblemente es una capa de lana de roca.
8. Contenedor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende entre 2 y 12 módulos de hormigón (210, 410).
9. Contenedor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el recinto tiene un volumen de entre 200 m³ y 1000 m³.
10. Contenedor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende varios recintos conectados en serie y/o en paralelo.
11. Sistema de almacenamiento y recuperación de calor (40) que tiene al menos un contenedor (200) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10.
12. Instalación de almacenamiento de energía de aire comprimido AACAES (100), que comprende:
 - un sistema de compresión (20) para comprimir aire durante una fase de compresión;
 - un sistema de almacenamiento y recuperación de calor (40) según la reivindicación 11 para almacenar el calor del aire comprimido durante la fase de compresión y para restaurar dicho calor al aire comprimido durante una fase de relajación;
 - un tanque final (10) para almacenar el aire comprimido por el sistema de compresión y enfriado por el sistema de almacenamiento y recuperación de calor (10);
 - un dispositivo de expansión del aire comprimido del tanque de almacenamiento final (30) durante la fase de expansión.
13. Instalación según la reivindicación 12, en la que el tanque final (10) tiene un volumen comprendido entre 1000 m³ y 7000 m³ y el recinto de dicho al menos un contenedor (200) del sistema de almacenamiento y recuperación de calor (40) tiene un volumen de entre 200 m³ y 1000 m³, dicho sistema de almacenamiento y recuperación de calor (40) comprende preferiblemente al menos tres contenedores (200).
14. Procedimiento para montar un contenedor según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, que comprende:
 - la instalación dicha carcasa de acero (204) sin una tapa (214) en el sitio de montaje del contenedor, la carcasa de acero (204) está dispuesta sobre un soporte (208);

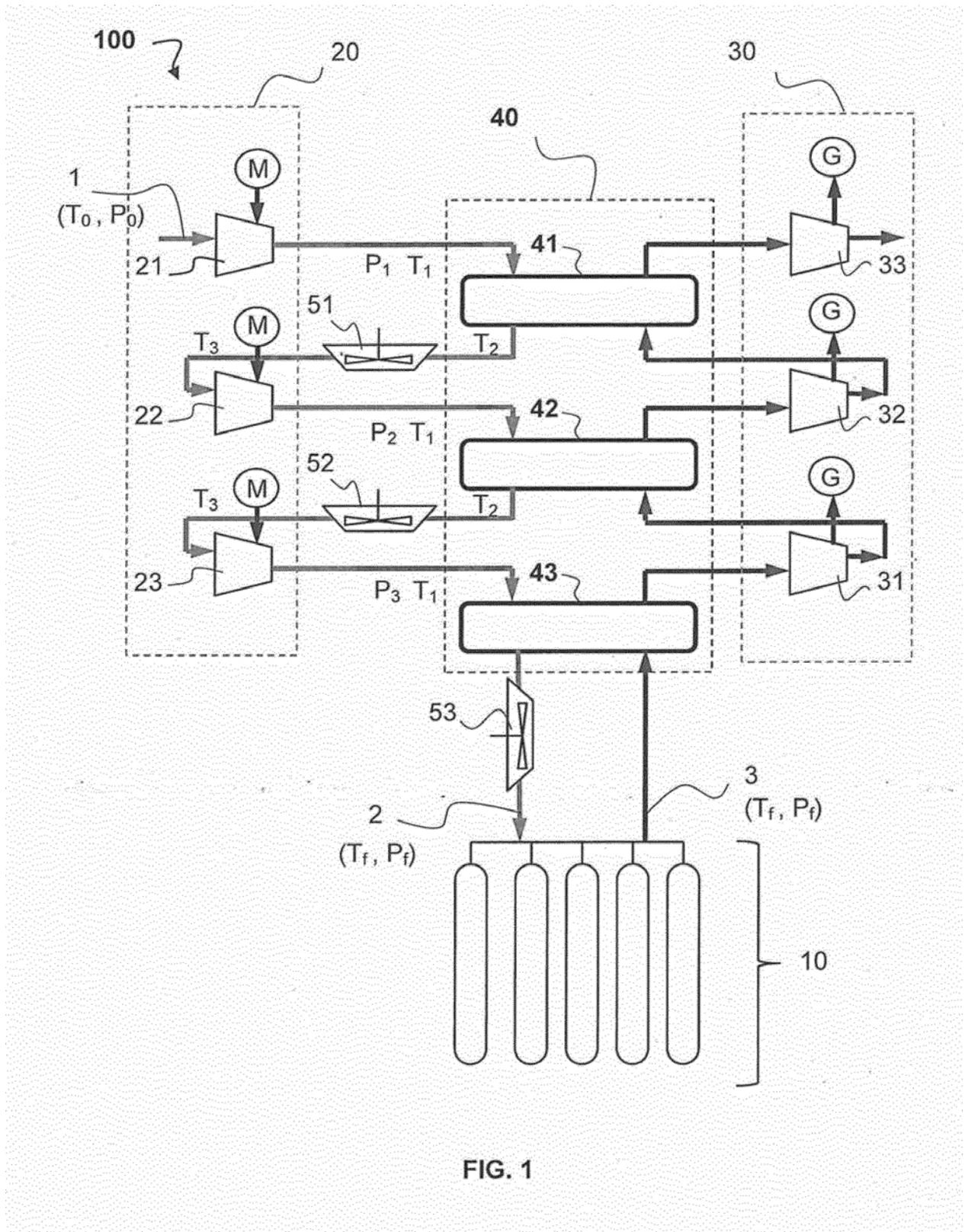
- el montaje de los módulos de hormigón (210), la instalación de la capa aislante y el llenado de dichos módulos (210) por el material de almacenamiento de calor (207), mediante la inserción sucesiva de dichos módulos en la carcasa de acero (204) centralmente para formar la primera envoltura de hormigón (203);
- el cierre del contenedor (200) ensamblando la carcasa de acero (204) con una tapa de acero (214) previamente aislada térmicamente, preferiblemente por soldadura.

5

15. Procedimiento según la reivindicación 14, en el que el volumen del módulo de hormigón (210) se llena con el material de almacenamiento de calor (207) para crear un lecho fijo de partículas una vez que dicho módulo (210) se ha insertado en la carcasa de acero (204).

10

16. Procedimiento de montaje según la reivindicación 14, en el que el volumen del módulo de hormigón (210) se llena por el material de almacenamiento de calor (207) para crear un lecho fijo de partículas antes de que dicho módulo (210) se inserte en la carcasa de acero (204).



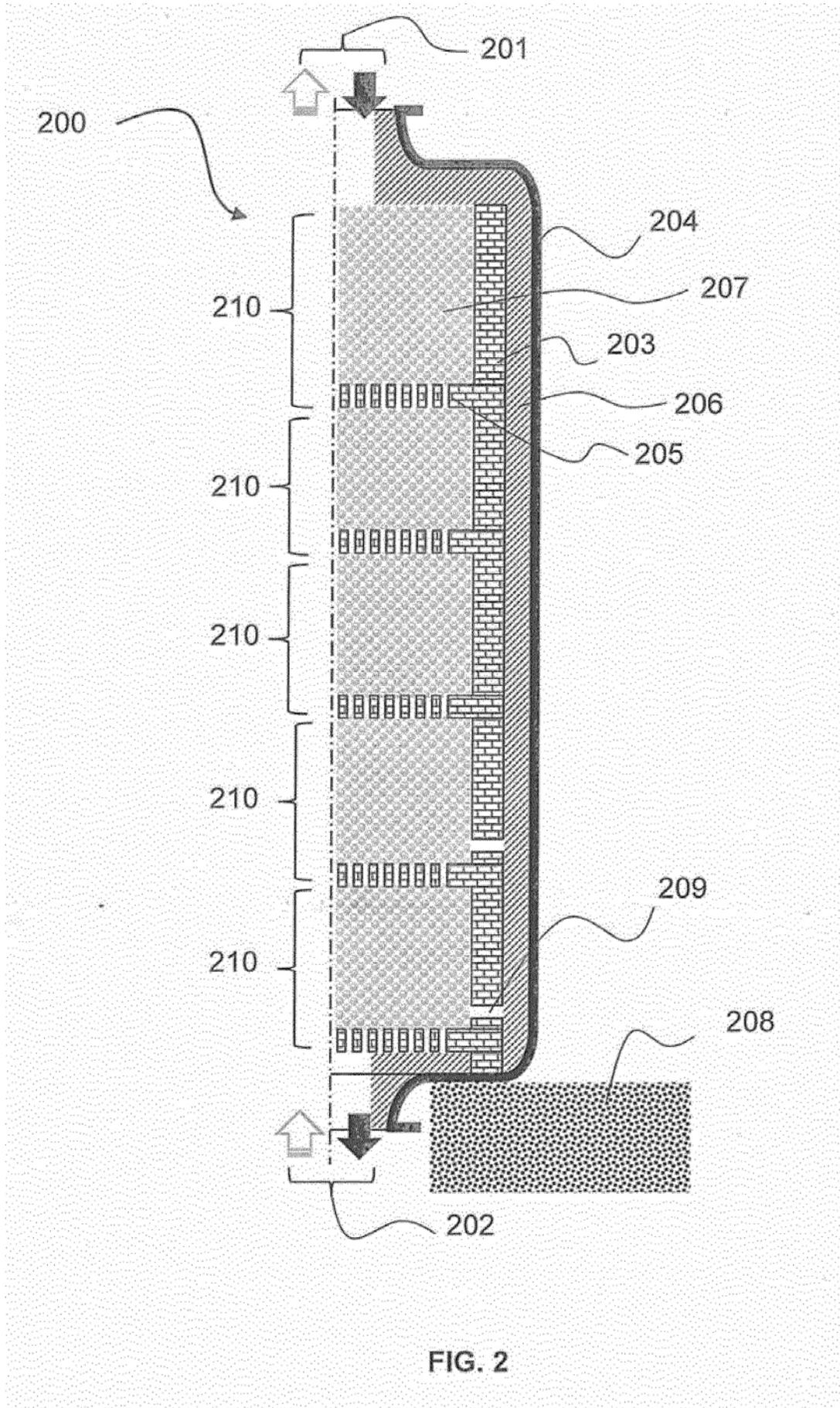


FIG. 2

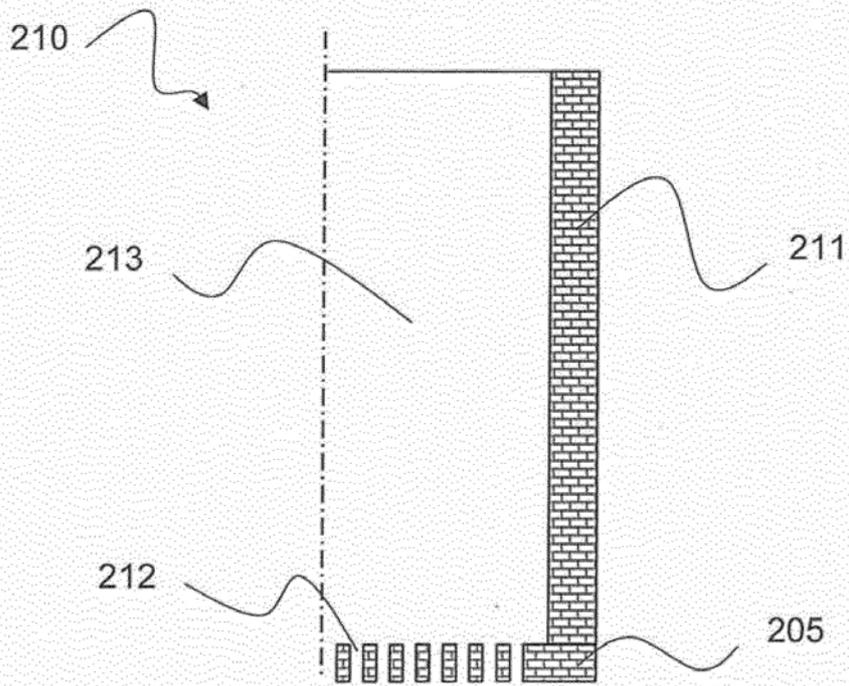


FIG. 3

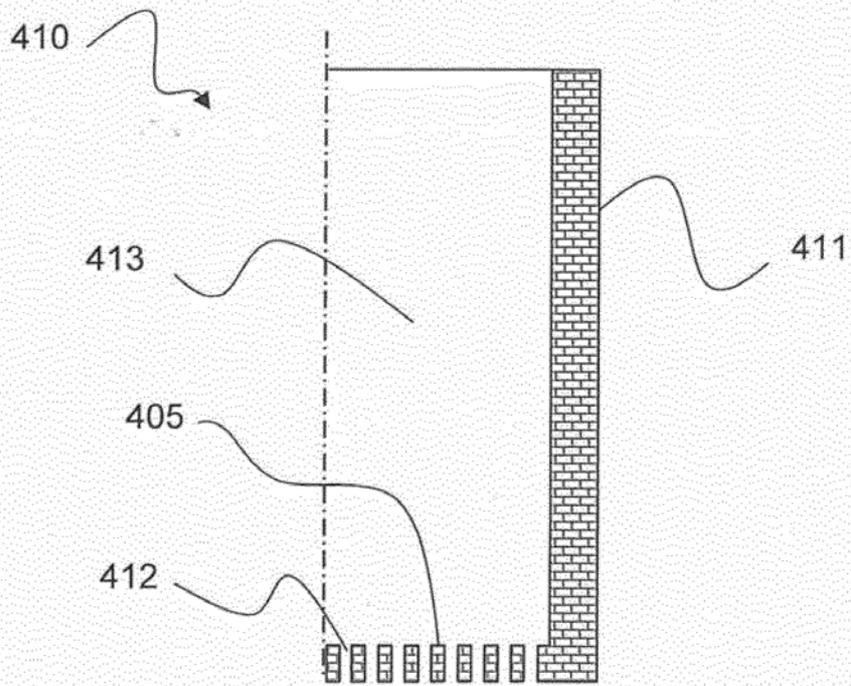


FIG. 4

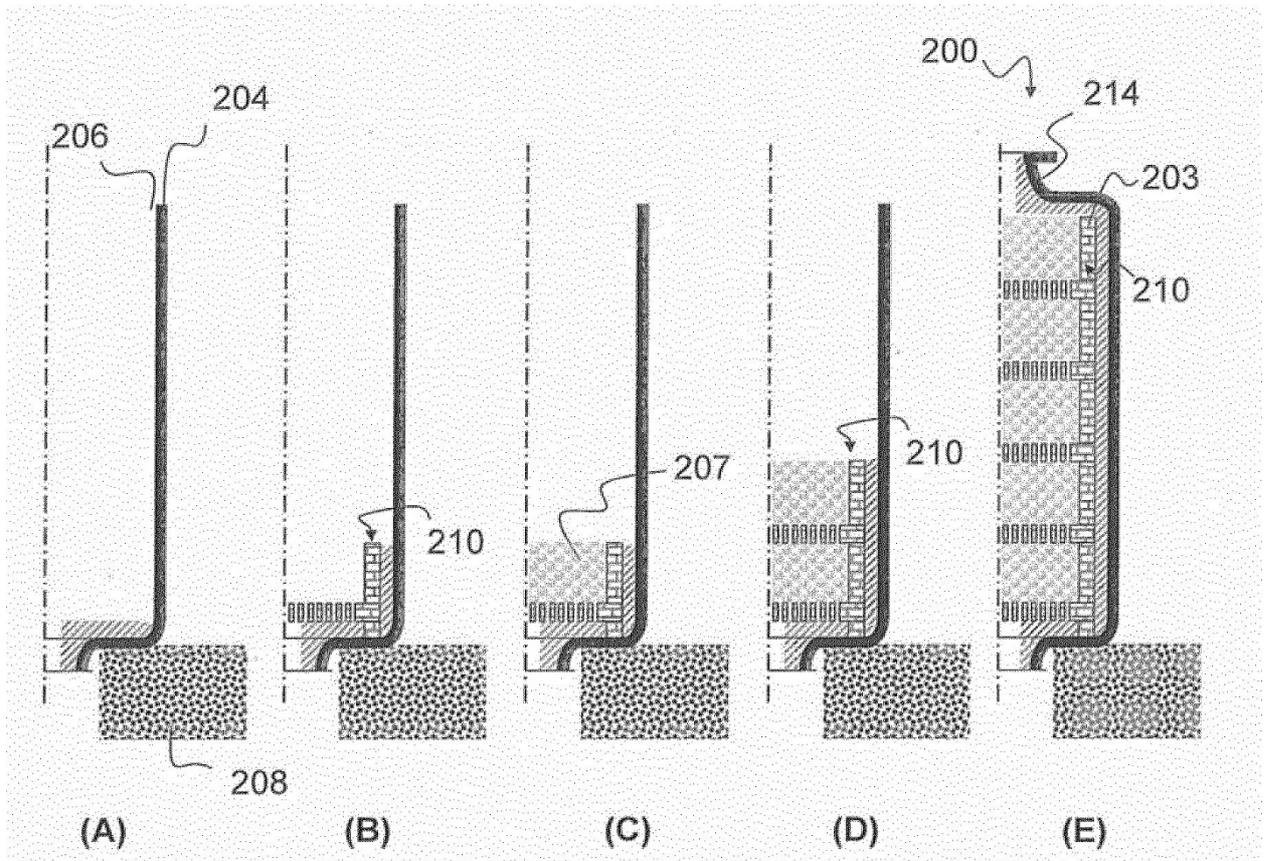


FIG. 5

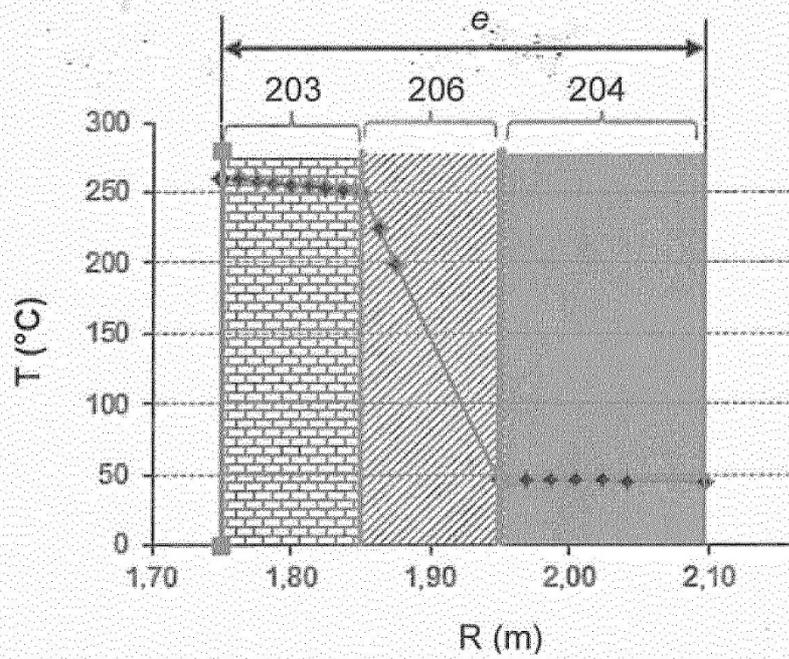


FIG. 6

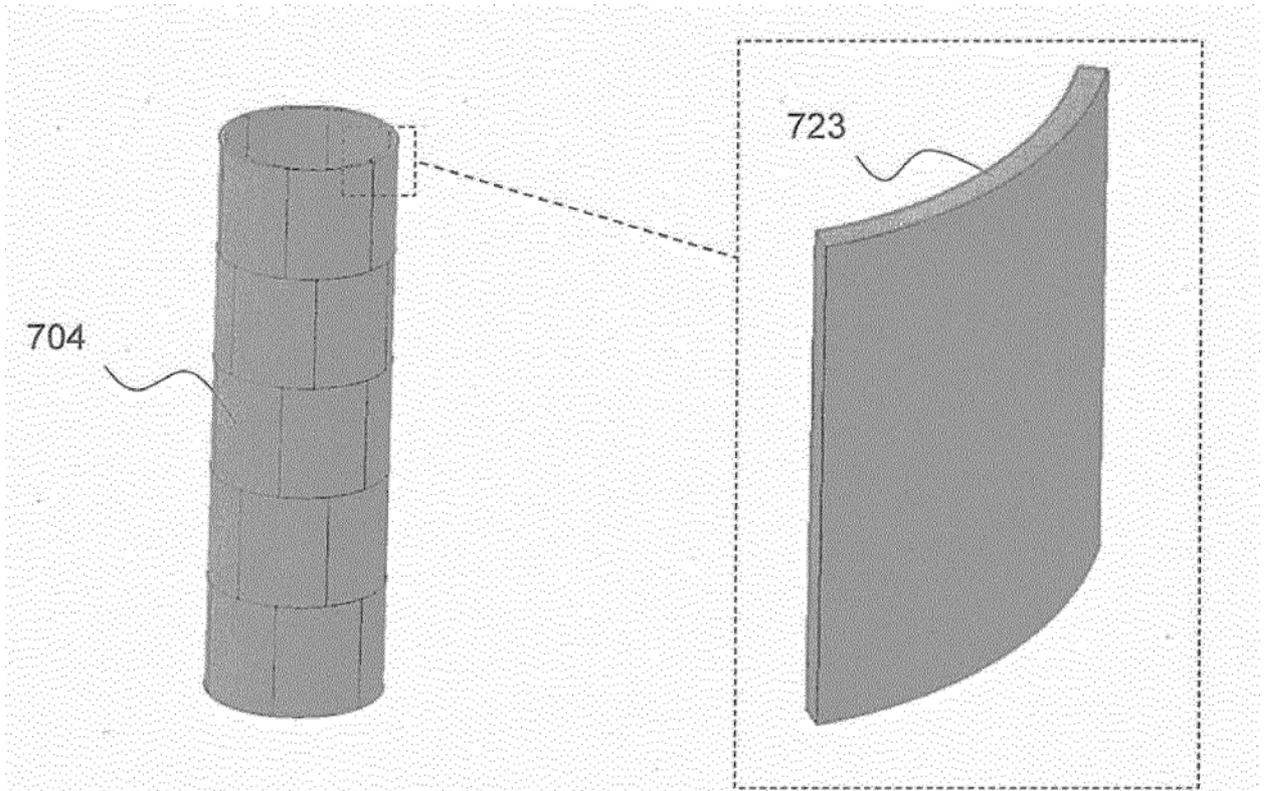


FIG. 7

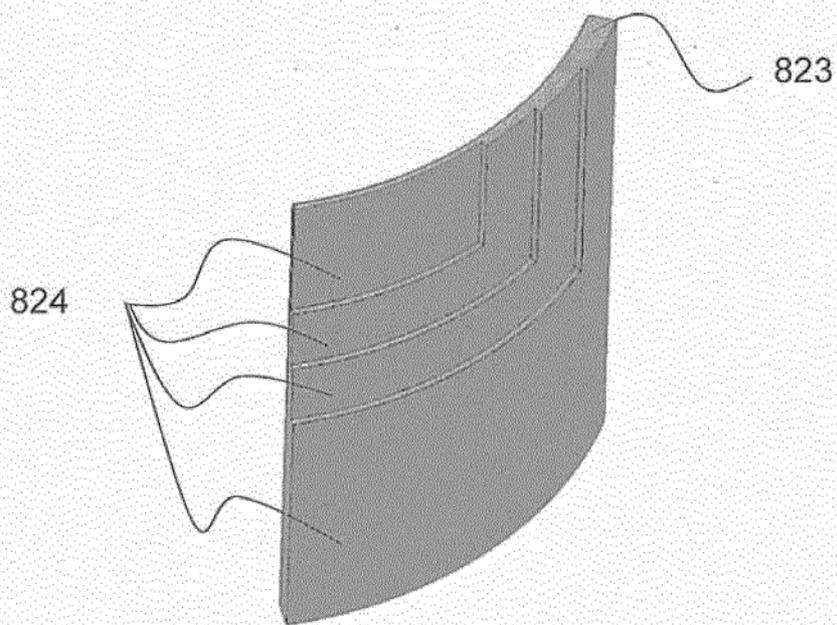


FIG. 8

