



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 361 218**

51 Int. Cl.:
F28D 20/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **08380189 .4**

96 Fecha de presentación : **01.07.2008**

97 Número de publicación de la solicitud: **2141432**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **06.01.2010**

54 Título: **Tanque de almacenamiento de energía de dos temperaturas.**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
15.06.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
15.06.2011

73 Titular/es: **SENER, INGENIERÍA Y SISTEMAS, S.A.**
Avda. de Zugazarte, 56
48930 Las Arenas-Guecho, Vizcaya, ES

72 Inventor/es: **Lata Pérez, Jesús María y**
Blanco Lorenzo, Julio

74 Agente: **Carvajal y Urquijo, Isabel**

ES 2 361 218 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

Tanque de almacenamiento de energía de dos temperaturas

Campo técnico de la invención

5 La presente invención se refiere en general al campo de los sistemas de almacenamiento de energía térmica, y más en particular a las mejoras en el diseño de tanques de almacenamiento de termoclina. Un tanque de almacenamiento de energía de dos temperaturas según el preámbulo de la reivindicación 1, es conocido de US4523629

Antecedentes de la invención

10 Los sistemas de almacenamiento de energía térmica se utilizan en general en aplicaciones en las que es necesario separar la captación de energía del suministro de energía. Los sistemas de captación de energía solar son un ejemplo típico de esto, puesto que puede existir normalmente una demanda de energía durante periodos sin radiación solar, cuando no puede captarse energía, pero es necesario todavía suministrar energía para satisfacer dicha demanda.

15 El tamaño de los sistemas de captación de energía solar puede variar desde sistemas de captación domésticos pequeños, utilizados para calentar agua, a sistemas de captación mucho más grandes, como los de plantas generadoras solares eléctricas.

20 Un modo de almacenar energía térmica consiste en emplear el calor sensible de un fluido. Durante periodos con radiación solar, la energía térmica se almacena calentando dicho fluido, de modo que tras enfriar el fluido durante periodos sin radiación solar se suministrará energía térmica para satisfacer la demanda de energía durante los periodos, en los que la captación de energía no está disponible.

25 Un diseño común de un sistema de almacenamiento de calor sensible en plantas generadoras solares comprende dos tanques de almacenamiento, que contienen un volumen de fluido térmico. Cada uno de los tanques contiene dicho fluido a una temperatura diferente, de modo que uno de los tanques contiene un volumen de fluido térmico a una temperatura dada "fría", y el otro tanque contiene un volumen de fluido térmico a una temperatura dada más caliente.

30 Durante el funcionamiento de la planta, en periodos con radiación solar, el fluido térmico se extrae del tanque frío y se calienta utilizando energía térmica procedente del sistema de captación solar, vertiéndolo a continuación al tanque caliente. En periodos sin radiación solar, el fluido térmico se extrae del tanque caliente, haciéndolo fluir a través de un intercambiador de calor donde se enfría, proporcionando así la energía térmica necesaria para la generación de potencia eléctrica.

Debe observarse que con el sistema de almacenamiento descrito, cada uno de los tanques tiene que dimensionarse para contener la totalidad del volumen del fluido térmico, de modo que la capacidad total de almacenamiento del sistema es realmente el doble del volumen total de las existencias de fluido de almacenamiento térmico de la planta.

35 En la práctica, los tanques del sistema de almacenamiento de una planta generadora solar pueden alcanzar tamaños considerables, y la necesidad del volumen de almacenamiento "redundante" antes mencionado conduce a varios inconvenientes en términos de costes de fabricación del tanque adicional, aumento de pérdidas térmicas del sistema de almacenamiento o los costes del equipo auxiliar, el sistema de tuberías, etc., asociados con el tanque adicional.

40 Por tanto, se hace deseable eliminar el volumen redundante del sistema de almacenamiento, y existen actualmente varios enfoques que ofrecen soluciones a este problema. La solución más común es el tanque de termoclina, en el que la totalidad del volumen del fluido térmico está contenido en un único tanque. En este único tanque, las dos masas de fluido frío y caliente se almacenan una encima de otra, y la estratificación natural o termoclina que resulta de la diferencia de densidad del fluido a las dos temperaturas diferentes las mantiene sustancialmente separadas. Es decir, el fluido frío, que normalmente es más denso que el fluido caliente se almacena por debajo del fluido
45 caliente, y las fuerzas de empuje que resultan de esta diferencia de densidad ayudan a mantener las dos masas de fluido separadas, con un cambio bastante pronunciado de temperatura en la superficie de contacto entre las mismas.

Cuando se capta la energía térmica, el fluido frío se extrae de la parte inferior del tanque y el fluido calentado vuelve a la parte superior del tanque, y cuando debe suministrarse energía térmica el fluido caliente se retira de la parte superior del tanque, y el fluido frío vuelve a la parte inferior del tanque.

Como la cantidad del fluido a una de las temperaturas que está extrayéndose del tanque es siempre esencialmente igual a la cantidad de fluido que se introduce a la otra temperatura, la masa total del fluido almacenado en el tanque permanece esencialmente constante a lo largo de todo el ciclo de funcionamiento del sistema de almacenamiento. De este modo, el tanque de termoclina único siempre está trabajando en toda su capacidad (es decir, está lleno, o casi lleno, de fluido almacenado), optimizando la eficacia de almacenamiento.

Sin embargo, varios fenómenos como la transmisión de calor por conducción entre las dos masas de fluido, o las corrientes de convección que resultan del efecto combinado de estratificación natural y pérdidas de energía de borde del tanque pueden degradar significativamente el perfil térmico vertical del fluido contenido en el tanque, particularmente cuando la zona de superficie de contacto está próxima a la parte inferior o a la parte superior del tanque.

Una variante del tanque de termoclina descrito es el tanque de termoclina de medio mezclado, en la que el tanque se llena no sólo de fluido térmico, sino también con alguna clase de material sólido. El material sólido contribuye a la capacitancia térmica total del sistema, y normalmente es más económico que el fluido térmico. Además ayuda a inhibir la transferencia por masa de convección entre los fluidos frío y caliente, haciendo la termoclina más eficaz que en el caso de un tanque de almacenamiento de un único medio.

Sin embargo, surgen algunos problemas relacionados con el uso de un medio de almacenamiento mezclado fluido-sólido, y estos incluyen:

(a) la compatibilidad y estabilidad física/química a largo plazo del medio sólido en contacto con el fluido térmico y sometido a ciclo térmico.

(b) la decantación del medio sólido en la parte inferior del tanque como resultado de los ciclos repetidos de funcionamiento, que resulta en aumento de tensiones en las paredes del tanque próximas a la parte inferior, y que conduce a la necesidad de paredes de tanque más gruesas.

Diversas patentes han descrito ya conceptos de almacenamiento de termoclina similares a estos, por ejemplo, las patentes estadounidenses números 4.124.061 y 5.197.513.

En la presente solicitud de patente se describe una variante mejorada del sistema de almacenamiento de termoclina. En la solución descrita, se emplea una barrera física horizontal para separar y aislar térmicamente las dos masas de fluido. La barrera física tiene una densidad intermedia entre la densidad más alta del fluido frío y la densidad más baja del fluido caliente, de modo que flota en la superficie de contacto entre los dos fluidos y se desplaza junto con esta superficie de contacto en una dirección vertical dentro del tanque.

Debido a esta característica, el elemento de barrera se desplaza verticalmente en el interior del tanque siguiendo la superficie de contacto entre los fluidos almacenados frío y caliente, alcanzando de manera natural una posición vertical coincidente con la de dicha superficie de contacto.

Considerando como ejemplo el ciclo de trabajo diario típico del sistema de almacenamiento de una planta generadora solar térmica, a primera hora de la mañana el tanque único de almacenamiento considerado en esta invención está lleno de fluido más frío, quedando quizá sólo una mínima cantidad de fluido más caliente en la parte superior, y el elemento de barrera está próximo a la parte superior del tanque.

Durante el día, como se capta energía térmica del campo solar, el fluido más frío se extrae del tanque, al mismo tiempo que el fluido más caliente se introduce en el tanque. A medida que la cantidad de fluido más caliente aumenta y la cantidad de fluido más frío disminuye, la región de superficie de contacto entre los fluidos más frío y más caliente se mueve verticalmente hacia la parte inferior del tanque, con el elemento de barrera siguiéndola. De este modo, en algún momento durante el periodo de captación de energía térmica desde el campo solar, el tanque de almacenamiento está lleno de fluido más caliente, quedando quizá una cantidad mínima de fluido más frío en la parte inferior del tanque, y la barrera física está próxima a la parte inferior del tanque.

El desplazamiento de la barrera desde su posición más alta en el tanque a su posición más baja tiene lugar en el periodo de carga del tanque. El periodo de descarga, que completa el ciclo diario típico global del tanque, se produce de una manera similar, extrayéndose fluido más caliente de la parte superior del tanque e introduciéndose fluido más frío a la parte inferior del tanque, y moviéndose la barrera verticalmente desde la parte inferior del tanque hasta la parte de arriba del tanque.

El uso de una barrera física entre las dos masas de fluido impide que la masa se transfiera entre las dos regiones y reduce ampliamente la transmisión de calor por conducción entre ellas, mejorando por tanto significativamente el rendimiento de la termoclina. Al mismo tiempo, evita las desventajas relacionadas con el uso de una solución de almacenamiento de medio mezclado.

5 La disposición general de la barrera física está compuesta por una carcasa exterior estanca a los fluidos, y en un material aislante, que se coloca en el interior de la mencionada carcasa. El concepto de la barrera física que separa las dos masas de fluido ya se describió en la patente estadounidense número 4.523.629. En dicha patente se ilustra, una realización particular de la barrera, adecuada para su aplicación en el almacenamiento de agua entre 37.8°C y 79.4°C. La patente también menciona la posible aplicación de la invención en sistemas de almacenamiento de plantas generadoras solares, pero no se da a conocer ninguna configuración específica para esta aplicación.

10 Sin embargo, debe observarse que hay diversos problemas que afectan a la barrera física, y que deben abordarse para producir un diseño de la misma factible y fiable. Estos problemas no son críticos en las condiciones de la aplicación de almacenamiento de agua descrita en la patente antes mencionada, pero que se hacen más graves en las condiciones de mayor exigencia vistas en sistemas de almacenamiento de energía de plantas generadoras solares, con temperaturas más altas y diferencias de temperatura entre los fluidos almacenados.

15 A partir de la explicación de estos problemas, debe entenderse que existe una necesidad de soluciones específicas para resolver o al menos aliviar estos problemas. Lo que esta patente pretende precisamente es facilitar estas soluciones, lo que mejorará ampliamente las características de la invención y extenderá el alcance de aplicación de la misma.

Para hacer más evidente los problemas que tiene que afrontar la barrera física, algunas condiciones de funcionamiento para el tanque de almacenamiento, vistas normalmente en sistemas de almacenamiento de plantas generadoras solares reales, se considerarán como ejemplo.

20 El caso particular considerado es el almacenamiento de una mezcla de sales de nitrato fundidas entre 292°C y 386°C, en tanques verticales cilíndricos de aproximadamente 15 m de altura y 40 m de diámetro.

25 Uno de los problemas que afectan a la barrera física se refiere a sus posibles materiales de construcción. El elemento de barrera descrito en la patente estadounidense número 4.523.629 está compuesto por una carcasa estanca a los fluidos, hecha de algunos plásticos como policarbonato y Plexiglas®, y algún material aislante, como espuma de uretano o fibra de vidrio, encapsulados en esta carcasa. Tal como se expone en esa patente, las funciones de la carcasa en el elemento de barrera descrito son impedir la absorción de agua y proporcionar rigidez estructural para mantener la configuración predeterminada del elemento de barrera.

Sin embargo, los intervalos de temperatura normalmente presentes en los sistemas de almacenamiento de plantas generadoras solares, están muy por encima de los límites admisibles para los plásticos, por lo que tiene que considerarse otra clase de materiales para la construcción de la barrera.

30 Además, para los valores de presión estática de los tanques de almacenamiento de plantas generadoras solares habituales, y considerando el enorme tamaño del elemento de barrera necesario para estos tanques, es virtualmente imposible que la carcasa exterior sola pueda aguantar esta carga de presión, manteniendo un volumen casi constante.

35 Tal como se mencionó en la patente estadounidense número 4.523.629 una limitación que es necesario que cumpla la barrera física es relativa a su densidad: para flotar en la superficie de contacto de los fluidos frío y caliente, debe seleccionarse una combinación adecuada de materiales para la construcción de la barrera, de modo que se consigue una densidad intermedia entre los de los fluidos frío y caliente. Además, es necesario que la barrera tenga suficiente resistencia estructural para mantener su volumen casi constante por debajo del intervalo completo de carga estática impuesta por el fluido almacenado.

40 En dicha patente, el modo descrito de ajustar el peso del elemento de barrera consiste en añadir algunos pesos exteriores, de modo que se consiga la densidad deseada. Aunque esta podría ser una solución adecuada para barreras pequeñas, en el caso de barreras grandes, es probable que los pesos necesarios fueran excesivamente grandes, convirtiéndose en una solución no muy eficaz al menos para ajustes de peso brutos.

45 Otro problema que afecta a la barrera física está relacionado con sus deformaciones térmicas en servicio. Como resultado de tener la superficie de arriba de la barrera a la temperatura caliente y la superficie de abajo a la temperatura fría del fluido almacenado, se desarrolla un estado global de deformación por curvado en la barrera, para adaptarse al diferencial de expansión térmica entre las partes de arriba y de abajo de la misma. Por ejemplo, un disco plano, fabricado con acero al carbono común, de 30 cm de espesor, con un diámetro de 40m y con una diferencia de temperatura a través de su espesor de 94 °C, adoptará una forma deformada esférica, y su máxima deflexión será del orden de 0,9 m.

50 Estas grandes deformaciones disminuyen la altura útil del tanque de almacenamiento, y además, podrían conducir a problemas estructurales en la barrera. Aparte de esto, un elemento de barrera curvado altera la superficie de contacto naturalmente plana entre los dos fluidos almacenados, y por tanto, es probable que el fluido pase desde un

lado al otro de la barrera, de modo que la forma plana natural de la superficie de contacto se restablece. De este modo, gran parte de la capacidad de aislamiento del elemento de barrera se pierde.

5 Deben tenerse en cuenta también factores económicos en el diseño del elemento de barrera, para producir un diseño económico. Debe tenerse en cuenta que si un único tanque con una barrera es más caro que dos tanques, la opción de dos tanques tradicional siempre sería preferible. Esto significa que la elección de materiales para la barrera, así como el método de fabricación, es muy importante en el diseño de la barrera. Por tanto, es muy importante que los materiales considerados para la barrera sean baratos y ampliamente disponibles.

El elemento de barrera descrito en esta solicitud de patente incluye características de diseño que proporcionan soluciones para todos estos problemas mencionados, y que se señalan a lo largo del texto.

10 Sumario de la invención

La presente invención se refiere a tanques de almacenamiento de energía térmica, y más específicamente a un tanque de almacenamiento de termoclina que incluye un elemento de barrera que separa físicamente las dos masas de fluido almacenadas a diferentes temperaturas.

15 El elemento de barrera objeto de la presente invención supera los problemas mencionados anteriormente, debido a varias características de diseño que mejoran su uso y extienden su aplicabilidad a campos y áreas de aplicación para los que no se han proporcionado soluciones o configuraciones de diseño específicas hasta ahora, por ejemplo almacenamiento térmico en plantas generadoras solares.

20 El tanque de almacenamiento considerado para la invención es preferiblemente del tipo cilíndrico vertical, aunque puede considerarse también cualquier otro tipo de tanque dentro del alcance de aplicación de la invención, siempre que tenga una sección horizontal o transversal esencialmente uniforme a lo largo de toda su altura o eje longitudinal (es decir, es de forma prismática), de modo que el elemento de barrera flotante pueda desplazarse libremente dentro del tanque a lo largo de su eje longitudinal.

25 El elemento de barrera está compuesto esencialmente por una carcasa exterior estanca a los fluidos, y algún/algunos material(es) de relleno colocados dentro de la carcasa. El elemento de barrera tiene una densidad intermedia entre las del fluido almacenado a sus diferentes temperaturas nominales, de modo que flota en la superficie de contacto entre las dos masas de fluido almacenado.

30 La sección transversal del elemento de barrera es preferiblemente de la misma forma que la sección transversal del tanque, de modo que cubre de manera eficaz el área de contacto entre los fluidos almacenados en el tanque a diferentes temperaturas, y puede al mismo tiempo desplazarse libremente a lo largo del eje longitudinal del tanque. Así, en el caso de un tanque vertical cilíndrico, el elemento de barrera tendría la forma de un disco, de aproximadamente el mismo diámetro que el tanque, y con suficiente espesor para separar adecuadamente y aislar las dos masas de fluido almacenado.

35 No obstante pueden dejarse algunas holguras o huecos entre el límite exterior de la barrera y la carcasa del tanque, para tener en cuenta tolerancias o posibles desviaciones diferentes de la forma teórica en la fabricación, o expansiones y deformaciones en servicio, por ejemplo.

Adicionalmente, varios orificios pasantes longitudinales pueden realizarse en la barrera, con el fin de servir para el paso, guiado, del sistema de tuberías o de instrumentos, etc.

Las características de la invención, que la hacen adecuada para su uso en aplicaciones tales como almacenamiento de energía térmica en plantas generadoras solares, incluyen:

40 (a) Proporcionar materiales sueltos y resistentes a la compresión como materiales de relleno para la barrera, lo que elimina cualquier problema relacionado con deformaciones térmicas en el material de relleno y permite que la barrera soporte fácilmente la carga de presión del fluido almacenado y mantenga un volumen casi constante sin tener que añadir una estructura compleja y cara a su carcasa exterior.

45 (b) Dividir el material de relleno interior de la barrera en dos capas, siendo una una capa de aislamiento y la otra una capa de ajuste de peso, consiguiendo de este modo una manera eficaz de ajustar fácilmente la densidad de la barrera al valor deseado.

(c) Dotar a la carcasa exterior de la barrera de una geometría no plana en una o ambas de sus caras de arriba y de abajo, lo que aumenta en gran medida su rigidez y reduce sus deformaciones térmicas.

(d) Añadir lóbulos circunferenciales ondulados o rectos en la zona exterior de la carcasa de barrera, de modo que la conexión entre las caras de arriba y de abajo de la carcasa se hace mucho más flexible y las deformaciones térmicas y tensiones se reducen sustancialmente.

- 5 (e) Dividir el elemento de barrera en una pluralidad de cuerpos más pequeños e independientes, dispuestos uno al lado del otro para completar una barrera modular, lo que reduce en gran medida los problemas relacionados con las deformaciones térmicas, así como los problemas de fabricación, presentes en un único componente más grande.

Breve descripción de los dibujos

A continuación se describen brevemente algunas figuras que ayudan a entender mejor la invención. Las figuras describen también una realización de la presente invención, como ejemplo no limitativo:

- 10 La figura 1 es una vista en sección transversal vertical esquemática del tanque de almacenamiento de energía térmica de dos temperaturas considerado en esta invención, que muestra la disposición general de las dos masas de fluido y el elemento de barrera dentro del tanque.

La figura 2 es una vista en sección transversal vertical de la barrera objeto de la presente invención, que muestra diversos detalles de la misma en una primera realización preferida.

- 15 La figura 3a muestra una vista en sección transversal horizontal de la barrera, tomada a lo largo de la línea 3-3 de la figura 2.

La figura 3b es una vista esquemática desde arriba de la barrera, que muestra sólo una disposición a modo de ejemplo de varios orificios en la misma.

- 20 La figura 4a representa una vista vertical de una mitad del elemento de barrera en una segunda realización preferida, con una sección parcial que muestra la estructura interior y el material de relleno.

La figura 4b es una vista vertical parcial de la carcasa exterior de la barrera, que muestra una configuración alternativa para la línea de contorno de la zona exterior de esta carcasa respecto a la representada en la figura 4a.

La figura 5 es una vista desde arriba del elemento de barrera en una tercera realización preferida, que muestra una división a modo de ejemplo del mismo.

- 25 La figura 6 es una vista ampliada que representa una conexión a modo de ejemplo entre los diferentes cuerpos de la barrera mostrada en la figura 5.

Descripción detallada de las realizaciones preferidas

- 30 La figura 1 muestra la disposición esquemática de un sistema (1) de almacenamiento térmico, que puede ser el sistema de almacenamiento de una planta generadora solar térmica. El sistema (1) de almacenamiento incluye un tanque (2) de almacenamiento de termoclina, que almacena dos masas de fluido a diferentes temperaturas. La masa del fluido (4) más frío normalmente es más densa que la masa del fluido (3) más caliente, y se almacena por debajo de la misma. El tanque puede ser normalmente del tipo cilíndrico vertical, con un diámetro de aproximadamente 40 m y una altura de aproximadamente 15 m. En muchas aplicaciones solares comunes, el fluido frío normalmente estará a una temperatura de aproximadamente 300 °C, y el fluido caliente estará a una temperatura de aproximadamente 400 °C, y el fluido almacenado a ambas temperaturas normalmente será una mezcla de sales de nitrato fundidas.

- 40 El elemento de barrera objeto de la presente invención, representado esquemáticamente en la figura 1 y designado por el número de referencia (13), está ubicado en la superficie de contacto entre los fluidos frío y caliente, físicamente separándolos y aislándolos, de modo que se minimiza la conducción de calor entre las dos masas de fluido.

Como se mencionó anteriormente, el elemento de barrera está compuesto esencialmente por una carcasa estanca a los fluidos exterior, siendo esta carcasa esencialmente de la misma forma que la sección transversal del tanque, y algún/algunos material(es) de relleno que se colocan dentro de esta carcasa rellenando su espacio interior.

- 45 La carcasa exterior de la barrera se fabrica preferiblemente del mismo material que la carcasa de tanque, que podría ser acero al carbono para temperaturas de funcionamiento superiores por debajo de 400-450°C, y acero inoxidable para temperaturas de funcionamiento superiores por encima de este valor.

Para el caso particular considerado, el espesor medio de la barrera será preferiblemente del orden de 0,2-0,4 m en todas las realizaciones propuestas, de modo que se consigue un aislamiento adecuado entre los fluidos, sin ocupar un espacio excesivo dentro del tanque.

5 La figura 1 también señala cómo se capta o se extrae la energía térmica del tanque. Cuando la energía térmica está captándose, se extrae fluido frío de la parte inferior del tanque a través de la línea (5) de salida de fluido frío, por medio de una bomba (6) de frío. El fluido se hace circular a través de un dispositivo (7) de entrada de calor donde se calienta, volviendo entonces a la parte superior del tanque a través de la línea (8) de entrada de fluido caliente. Por otro lado, cuando está extrayéndose la energía térmica, se extrae fluido caliente de la parte superior del tanque a través de la línea (9) de salida de fluido caliente, por medio de una bomba (10) de calor, que lo fuerza a través de un
10 dispositivo (11) de extracción de calor donde se enfría, volviendo de nuevo al tanque a través de la línea (12) de entrada de fluido frío.

Los dispositivos de medición necesarios pueden añadirse tanto al elemento de barrera como al tanque de termoclina, para monitorizar y controlar apropiadamente el funcionamiento del sistema de almacenamiento. Los instrumentos del sistema pueden incluir, por ejemplo, una serie de termopares dispuestos verticalmente para obtener la distribución de temperaturas vertical del tanque, y transmisores de nivel, para monitorizar la altura total de los fluidos almacenados, la posición vertical de la barrera dentro del tanque, y la horizontalidad de la barrera.

Aunque el dispositivo (7) de entrada de calor y el dispositivo (11) de extracción de calor están representados como componentes independientes en la figura 1, en las plantas generadoras solares comerciales normalmente serán el mismo dispositivo único, probablemente un intercambiador de calor de aceite a sal fundida.

20 Con referencia a la figura 2, la carcasa estanca a los fluidos exterior de la barrera (21) esencialmente comprende una placa (21a) de parte superior, una placa (21b) de parte inferior y una placa (21c) de cierre vertical periférico que conecta las placas de parte superior y de parte inferior.

En operación normal, se desarrollará un gradiente de temperatura vertical a través del espesor de la barrera, y las temperaturas de las placas de parte superior y de parte inferior de la carcasa de barrera serán esencialmente las de los fluidos almacenados frío y caliente respectivamente. Como resultado de esta distribución de temperaturas, habrá un diferencial entre las expansiones térmicas de las partes de arriba y de abajo de la barrera, y se desarrollará un estado de tensiones y deformaciones térmicas en la carcasa de barrera.

Aunque el problema de expansión térmica diferencial en el material de relleno se resuelve debido a su forma granular o de pequeños ladrillos como se explicará posteriormente, este problema permanece para la carcasa exterior de la barrera. Algunas características de diseño se prevén para la barrera para solucionar este problema, que se introducen en diferentes realizaciones propuestas para la barrera.

En una primera realización, tal como puede verse en la figura 2, se da a la placa (21a) de parte superior de la barrera una forma no plana, como por ejemplo una forma cónica o esférica (en este caso se representa una forma cónica). Debido a esta característica, la rigidez de la carcasa de barrera aumenta en gran medida, y por consiguiente el curvado global de toda la barrera debido al gradiente térmico a través de la misma se reduce radicalmente.

Aunque la conicidad de la placa (21a) de arriba se representa de una manera pronunciada en la figura 2, en la práctica la conicidad necesaria será mucho menos pronunciada, y la separación máxima entre las placas de arriba y de abajo, conseguida en el límite exterior de la barrera, será preferiblemente del orden de 0,5 m.

Otro problema en la carcasa exterior de la barrera son las altas tensiones presentes en la placa de cierre vertical de la carcasa, como resultado de la diferencia entre las expansiones radiales de la placa de arriba y de abajo a las que tiene que adaptarse.

Este problema se resuelve de dos maneras; en primer lugar aumentando la distancia vertical entre ambas placas en el perímetro, y en segundo lugar reduciendo al máximo el espesor de la placa (21c) vertical, de modo que se aumenta la flexibilidad de esta placa vertical. La reducción del espesor de la placa vertical tiene la ventaja adicional de reducir la conducción de calor que atraviesa esta placa desde el lado caliente al lado frío del tanque.

La figura 2 también representa las diferentes capas de material de relleno para la barrera, referenciados por (22) y (23). Tal como se ve en la figura, el material de relleno dentro de la barrera está preferiblemente separado en dos capas horizontales diferentes. Una de las capas (23) sirve para fines de aislamiento, es decir, da a la barrera su capacidad de aislamiento, y siendo normalmente más ligera que la otra capa, está preferiblemente ubicada por encima de la segunda capa. La segunda capa (22) es la capa de ajuste de densidad, y su fin es ajustar el peso total de la barrera de modo que se consiga la densidad final deseada. Entre ambas capas, puede añadirse una lámina (24) metálica, de modo que ambas capas de relleno se mantengan físicamente separadas y se impida cualquier mezcla potencial entre los materiales de ambas capas.

Los materiales de ambas capas tienen la característica adicional de ser rígidos y resistentes a la compresión. De este modo, el material de relleno de la barrera es básicamente el responsable de soportar la carga de presión del fluido almacenado y mantener un volumen casi constante de la barrera. De este modo, la estructura pesada y cara que necesitaría la carcasa exterior de la barrera, si se llena con materiales “blandos”, se evita.

5 Además, para eliminar los problemas relacionados con las deformaciones térmicas en los materiales de relleno, los materiales de ambas capas se suministran en forma granular o en piezas individuales pequeñas, como ladrillos por ejemplo, y en la construcción de la barrera, los materiales de relleno se disponen dentro de la carcasa exterior de manera suelta, sin proporcionar cualquier restricción a la dilatación térmica entre las diferentes piezas. De este modo, se evitan los problemas relacionados con la expansión térmica diferencial que un único componente grande
10 monolítico tendría, y, adicionalmente, los materiales de relleno pueden fluir en el espacio dentro de la barrera, de modo que todos los espacios y huecos interiores están convenientemente rellenos.

Diversos tipos de ladrillos refractarios, así como diferentes tipos de arcilla expandida en forma granular tales como perlita, vermiculita o arlita; siempre que se garantice un adecuado macizado y compactado del material de relleno en masa de modo que no se produzca asentamiento y por tanto cambios de volumen significativos durante el funcionamiento de la barrera, se creen materiales adecuados para la capa de aislamiento de la barrera. Estos
15 materiales tienen una conductividad térmica baja, rigidez y resistencia a compresión adecuadas y pueden funcionar a temperaturas más altas que las normalmente presentes en tanques de almacenamiento de planta generador solar. Además, son materiales bastante comunes utilizados en la construcción, y tienen un precio razonablemente bajo.

En cuanto al material de la otra capa de la barrera, su característica física más importante, aparte de su rigidez y resistencia a compresión, es su densidad. Arena, cemento, y diversos tipos de roca pueden ser materiales adecuados para esta capa. Aunque sería deseable tener un material aislante único como relleno para la barrera, puede que no se disponga de ningún material adecuado que cumpla tanto los requisitos de densidad adecuada como de conductividad térmica baja.

Considerando, por ejemplo, un caso típico en el que el fluido almacenado es una mezcla de sales de nitrato fundidas entre las temperaturas de aproximadamente 300 °C y 400 °C, con densidades en las temperatura fría y caliente cercanas a 1840 y 1900 kg/s respectivamente, la densidad requerida para el material de relleno de la barrera puede estar perfectamente en el intervalo de 1000 kg/m³ o superior.

Los materiales aislantes adecuados propuestos anteriormente, sin embargo, tienen valores de densidad bastante por debajo de este intervalo, y se prevé que un diseño adecuado de la barrera para un tanque de almacenamiento de sales fundidas común en una planta generadora solar tendrá un peso demasiado pequeño, si sólo se rellena con cualquiera de dichos materiales aislantes.

Para solucionar esta situación el relleno dentro de la barrera está dividido en dos capas, tal como se explicó anteriormente. Una de las capas tiene la responsabilidad de proporcionar su capacidad de aislamiento a la barrera, y la otra capa proporciona el ajuste de peso bruto necesario, de modo que se consigue la densidad deseada para la
35 barrera.

Pueden realizarse ajustes de peso finales adicionales a la barrera una vez que se ha terminado y se ha cerrado completamente, acoplando varios lastres exteriores a la misma. Estos lastres exteriores pueden estar ambos acoplados de manera rígida al elemento de barrera, o simplemente dispuestos sobre el mismo, de modo que puede añadirse o retirarse peso de la barrera una vez que está en funcionamiento, para ajustar adicionalmente su peso y densidad. Esto puede lograrse, por ejemplo, por medio de varios pesos, que se colocan sobre la parte superior de la barrera y que pueden retirarse en cualquier momento de la parte superior del tanque, para sustituirlos por pesos más pesados o más ligeros.

Estos lastres exteriores se representan en la figura 4a, referenciados por los números de referencia (33) y (34). Tal como puede verse en esta figura, los lastres (33) están fijados permanentemente a la carcasa exterior de la barrera, o bien a su placa de parte inferior o a su placa de parte superior. La soldadura es el método preferido de acoplar estos lastres a la carcasa de barrera. Por otro lado, lastres (34) ajustables simplemente se disponen sobre la cara de parte superior de la barrera, y pueden retirarse y sustituirse por otros pesos más ligeros o más pesados en cualquier momento, por medio de cuerdas (35), que suben hasta la cubierta del tanque y fuera del tanque a través de algunos orificios realizados en la cubierta del tanque. Los lastres (34) ajustables pueden utilizarse también para equilibrar apropiadamente la barrera, si fuera necesario.

Con referencia de nuevo a la figura 2, se añaden preferiblemente algunos orificios (26) pasantes a la barrera. Se añaden algunos collarines (28) de cierre vertical para cada uno de los orificios, soldados tanto a la placa de parte superior como a la de parte inferior. Estos orificios pueden servir para guiar el movimiento de la barrera dentro del tanque, que puede lograrse por medio de columnas (27) verticales enganchadas en estos orificios y fijadas al tanque.

- 5 Para los collarines (28) de cierre vertical de los orificios (26) de barrera, debe tenerse en cuenta que tienen que adaptarse a un diferencial en expansión térmica radial entre las placas de arriba (21a) y de abajo (21b) de la carcasa (21) de barrera exterior. Por este motivo, preferiblemente se proporcionan en forma de juntas de expansión o mangueras metálicas flexibles, con una línea de contorno ondulada (no mostrada en la figura) que las dotan de flexibilidad suficiente para adaptarse a dicho diferencial en expansión térmica entre las placas de arriba (21a) y de abajo (21b) de la carcasa (21) de barrera exterior.
- 10 Las columnas (27) son preferiblemente de sección tubular, para minimizar el flujo de calor que atraviesa estas columnas desde el lado caliente al lado frío del tanque. Los orificios (26) pueden tener otras funciones adicionales, tales como servir para el paso de instrumentos, líneas de tuberías, etc. La figura 3b es una vista desde arriba de la carcasa de barrera, que muestra sólo una disposición a modo de ejemplo de algunos orificios en la carcasa. Tal como puede verse en esta figura, los orificios que están desplazados respecto al eje central de la barrera son alargados en la dirección radial de la barrera, para adaptarse a sus expansiones radiales.
- 15 Algunas estructuras de nervaduras (29), realizadas con perfiles extruidos estándar, se añaden tanto a las placas de arriba como de abajo de la carcasa (21) de barrera. Las nervaduras para la placa de abajo dotan a esta placa de suficiente resistencia estructural para soportar el propio peso de la barrera antes de que entre en servicio. Esta estructura está preferiblemente ubicada por encima de la placa (21b) de abajo, por tanto dentro de la carcasa de barrera, teniendo la función adicional de dividir el espacio interior de la carcasa en compartimentos separados con el fin de tener un mejor guiado para la colocación de los materiales de relleno dentro de la carcasa. Por otro lado las nervaduras para la placa (21a) de arriba aumentan la rigidez de esta placa de modo que se evita alabear la placa.
- 20 Adicionalmente, las estructuras de nervadura de las placas de arriba y de abajo tienen la función de mantener el material de relleno en la región periférica de la barrera en contacto íntimo con la placa de cierre vertical, impidiendo cualquier separación entre el material de relleno y la placa de cierre vertical que podría producirse como resultado de diferencias entre las expansiones térmicas radiales de la carcasa exterior de la barrera y el material de relleno interno.
- 25 Para soportar adecuadamente la barrera antes de que entre en servicio, y también para limitar su movimiento descendente dentro del tanque una vez en servicio, varias patas, representadas esquemáticamente por (25), se fijan por debajo de la placa (21b) de abajo de la barrera. La figura 3a muestra un ejemplo de una posible disposición de las nervaduras (29) y de las patas (25) fijadas en la placa (21b) de parte inferior.
- 30 Otra manera adicional de mejorar el comportamiento de la carcasa exterior con respecto a las deformaciones térmicas se presenta en la figura 4b, en la que se representa una segunda realización preferida de la invención. Tal como se ve en esta figura, algunos lóbulos (32b) ondulados circunferenciales se implementan en la región periférica de la barrera. Esta característica añade flexibilidad al acoplamiento entre las placas de arriba y de abajo de la carcasa, de modo que están parcialmente desacopladas entre sí. De este modo, la conexión entre las placas (21a, 21b) de arriba y de abajo se comporta como una junta flexible, permitiendo de este modo que cada una de las
- 35 placas consiga libremente sus dimensiones expandidas correspondientes.
- Para hacer la fabricación más sencilla dichos lóbulos circunferenciales pueden realizarse a partir de secciones rectas, como los mostrados en la figura 4a, referenciados como (32a). Esta figura incluye también una sección parcial que muestra una disposición a modo de ejemplo del material de relleno dentro de la barrera como una serie de ladrillos (36) (no se hace distinción entre las diferentes capas del material de relleno en esta figura).
- 40 En otra configuración de la invención, señalada esquemáticamente en la figura 5, la barrera está dividida en varios cuerpos (51) separados y independientes, teniendo cada uno de los cuerpos su propia carcasa exterior metálica estanca a los fluidos con sus correspondientes capas de material de relleno en su interior. A modo de ejemplo, una manera de dividir la barrera podría ser dividirla en una pieza central circular y varios sectores anulares exteriores.
- 45 Las ventajas de esta configuración proceden del hecho de que el tamaño de cada uno de los cuerpos independientes se reduce, reduciendo así considerablemente los problemas relacionados con expansiones térmicas diferenciales en la barrera. Además, la construcción de la barrera se mejora debido a la modularidad de esta configuración.
- 50 Para evitar cualquier separación vertical de los diferentes cuerpos, se ensamblan entre sí de modo tal que se asegura su cohesión, aunque se permite cierta libertad relativa entre los mismos, de modo que cada cuerpo se comporta como una pieza independiente. Esto puede lograrse proporcionando varios salientes (52) a los bordes exteriores de cada cuerpo, de modo que bordes adyacentes de cuerpos adyacentes pueden atarse entre sí por medio de cuerdas o cadenas (53), u otros medios similares.

En las configuraciones propuestas para la carcasa de barrera, un alto flujo de calor se conduce a través de la placa (21c) metálica de cierre vertical, que tiene una alta conductividad térmica y conecta térmicamente ambas zonas del tanque a diferentes temperaturas.

- 5 Una característica adicional puede introducirse en la barrera, que intenta reducir el flujo de calor que atraviesa la placa (21c) vertical. Esta característica consiste en dar una forma curvada a la línea de contorno vertical de la placa, similar a la mostrada en la figura 3c, en lugar de una forma recta. Tal como se muestra esquemáticamente en esta figura, se da una forma corrugada a esta placa, realizando varios lóbulos (31) verticales en la misma. Haciendo esto, se restringe la trayectoria de conducción a través del metal, y el flujo de calor que cruza esta trayectoria se reduce significativamente.
- 10 Muchas de las características descritas en el presente documento se implementan para diferentes realizaciones de la barrera. No obstante, muchas combinaciones de las mismas pueden implementarse para una única barrera. Por ejemplo, la forma ondulada de la carcasa exterior de barrera cerca de su perímetro exterior así como la geometría no plana para cualquiera o ambas de las placas (21a, 21b) de arriba y de abajo de la carcasa de barrera, pueden añadirse al mismo tiempo a la barrera.

REIVINDICACIONES

1. Tanque de almacenamiento de energía térmica de dos temperaturas que comprende una barrera (13) que flota en la superficie de contacto de dos masas de fluido almacenado a diferentes temperaturas, debido a la diferencia de densidad entre dichas masas de fluido, y en el que dicha barrera (13) tiene una densidad intermedia entre los fluidos almacenados a sus diferentes temperaturas nominales,
- 5 dicha barrera (13) comprendiendo al menos,
una carcasa exterior estanca a los fluidos (21) y
un material de relleno dentro de la carcasa exterior estanca a los fluidos (21); caracterizado porque dicho material de relleno está fabricado de un material rígido y resistente a la compresión, y dispuesto dentro de la carcasa exterior (21), permitiendo dilatación térmica a los diferentes elementos sin ninguna restricción.
- 10 2. Tanque de almacenamiento de energía térmica de dos temperaturas según la reivindicación 1, caracterizado porque el material de relleno comprende además, al menos:
una primera capa de aislamiento horizontal (23);
una segunda capa de ajuste de densidad horizontal (22).
- 15 3. Tanque de almacenamiento de energía térmica de dos temperaturas según las reivindicaciones 1 y 2, caracterizado porque el material de relleno comprende además una capa de separación (24) entre las capas horizontales primera y segunda (23,22).
- 20 4. Tanque de almacenamiento de energía térmica de dos temperaturas según las reivindicaciones 1, 2 y 3, caracterizado porque la carcasa exterior estanca a los fluidos (21) está fabricada del mismo material de construcción de la carcasa de tanque y porque dicho material es acero al carbono para las temperaturas superiores de funcionamiento por debajo de 400°C – 450°C y acero inoxidable para los valores de funcionamiento superiores por encima de 400°C – 450°C.
5. Tanque de almacenamiento de energía térmica de dos temperaturas según las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado porque los materiales de las capas horizontales primera y segunda (23,22) se suministran en forma granular o en piezas individuales pequeñas.
- 25 6. Tanque de almacenamiento de energía térmica de dos temperaturas según las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado porque la barrera (13) comprende además una pluralidad de lastres externos (33,34) para proporcionar ajustes adicionales de peso o para equilibrar la barrera (13).
7. Tanque de almacenamiento de energía térmica de dos temperaturas según la reivindicación 6, caracterizado porque los lastres externos (33,34) son al menos uno, seleccionado de:
- 30 lastres ajustables externos (34);
lastres no ajustables externos (33).
8. Tanque de almacenamiento de energía térmica de dos temperaturas según las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado porque la carcasa exterior estanca a los fluidos (21) de la barrera (13) está compuesta por un único cuerpo que comprende:
- 35 una primera placa de arriba (21a);
una segunda placa de parte inferior (21b);
una tercera placa vertical (21c) que cierra el espacio periférico entre las placas primera y segunda (21a,21b)
- 40 9. Tanque de almacenamiento de energía térmica de dos temperaturas según la reivindicación 8, caracterizado porque al menos una de dichas primera placa de arriba (21a) y segunda placa de parte inferior (21b) tienen una geometría no plana.

10. Tanque de almacenamiento de energía térmica de dos temperaturas según la reivindicación 9, caracterizado porque dicha geometría no plana es, al menos una, seleccionada de:

geometría cónica;

geometría poligonal;

5 geometría esférica.

11. Tanque de almacenamiento de energía térmica de dos temperaturas según la reivindicación 8, caracterizado porque la tercera placa vertical (21c) tiene una forma ondulada o corrugada para la línea de contorno de sección transversal circunferencial de la placa.

10 12. Tanque de almacenamiento de energía térmica de dos temperaturas según las reivindicaciones 1 a 11, caracterizado porque la línea de contorno de sección transversal circunferencial de la carcasa de barrera exterior (21) tiene varios lóbulos ondulados o rectos (31) cerca de su perímetro exterior, para aumentar la flexibilidad en la conexión entre las placas de arriba (21a) y de abajo (21b) de la carcasa de barrera (21) y por consiguiente reducir la deformación térmica de la carcasa de barrera (21).

15 13. Tanque de almacenamiento de energía térmica de dos temperaturas según las reivindicaciones 1 a 12, caracterizado porque dicha barrera (13) está dividida en una pluralidad de cuerpos separados e independientes (51), comprendiendo cada uno de los cuerpos (51):

una carcasa exterior estanca a los fluidos (21); y

un material de relleno dentro de la carcasa exterior estanca a los fluidos (21);

20 y porque dicho material de relleno está fabricado de materiales rígidos y resistentes a la compresión, y dispuestos dentro de la carcasa exterior (21) en forma suelta, permitiendo dilatación térmica a los diferentes elementos sin ninguna restricción.

25 14. Tanque de almacenamiento de energía térmica de dos temperaturas según la reivindicación 13, caracterizado porque los diferentes cuerpos (51) de la barrera (13) están ensamblados entre sí, de modo que se garantiza su cohesión mientras que se permite libertad relativa entre los mismos, debido a las cuerdas o cadenas (53) que ensamblan cuerpos adyacentes (51).

15. Tanque de almacenamiento de energía térmica de dos temperaturas según las reivindicaciones 1 a 14, caracterizado porque la barrera (13) comprende además al menos un orificio pasante horizontal (26).

30 16. Tanque de almacenamiento de energía térmica de dos temperaturas según la reivindicación 15, caracterizado porque se proporciona al menos un collarín de cierre (28) para los orificios pasantes (26) de barrera en forma de juntas de expansión o mangueras metálicas flexibles, para tener suficiente flexibilidad para adaptarse adecuadamente a la diferencia de expansiones térmicas entre las placas de arriba y de abajo (21a,21b) de la carcasa de barrera (21).

17. Tanque de almacenamiento de energía térmica de dos temperaturas según la reivindicación 15, caracterizado porque al menos un orificio se engancha a una columna (27) fijada al tanque (2).

35 18. Tanque de almacenamiento de energía térmica de dos temperaturas según la reivindicación 17, caracterizado porque dicha columna (27) tiene una sección tubular para minimizar la conducción de calor a través de la misma y para permitir su uso para otros fines, tal como paso de instrumentos o conducción de fluido.

40 19. Tanque de almacenamiento de energía térmica de dos temperaturas según las reivindicaciones 1 a 18, caracterizado porque la barrera (13) también comprende una pluralidad de nervaduras (29) acopladas tanto a las placas de arriba como de abajo (21a,21b) de la carcasa exterior estanca a los fluidos (21), para proporcionar resistencia estructural.

20. Tanque de almacenamiento de energía térmica de dos temperaturas según las reivindicaciones 1 a 19, caracterizado porque se añaden varias patas (25) a la barrera (13), para soportar su peso y para limitar su movimiento descendente dentro del tanque (2).

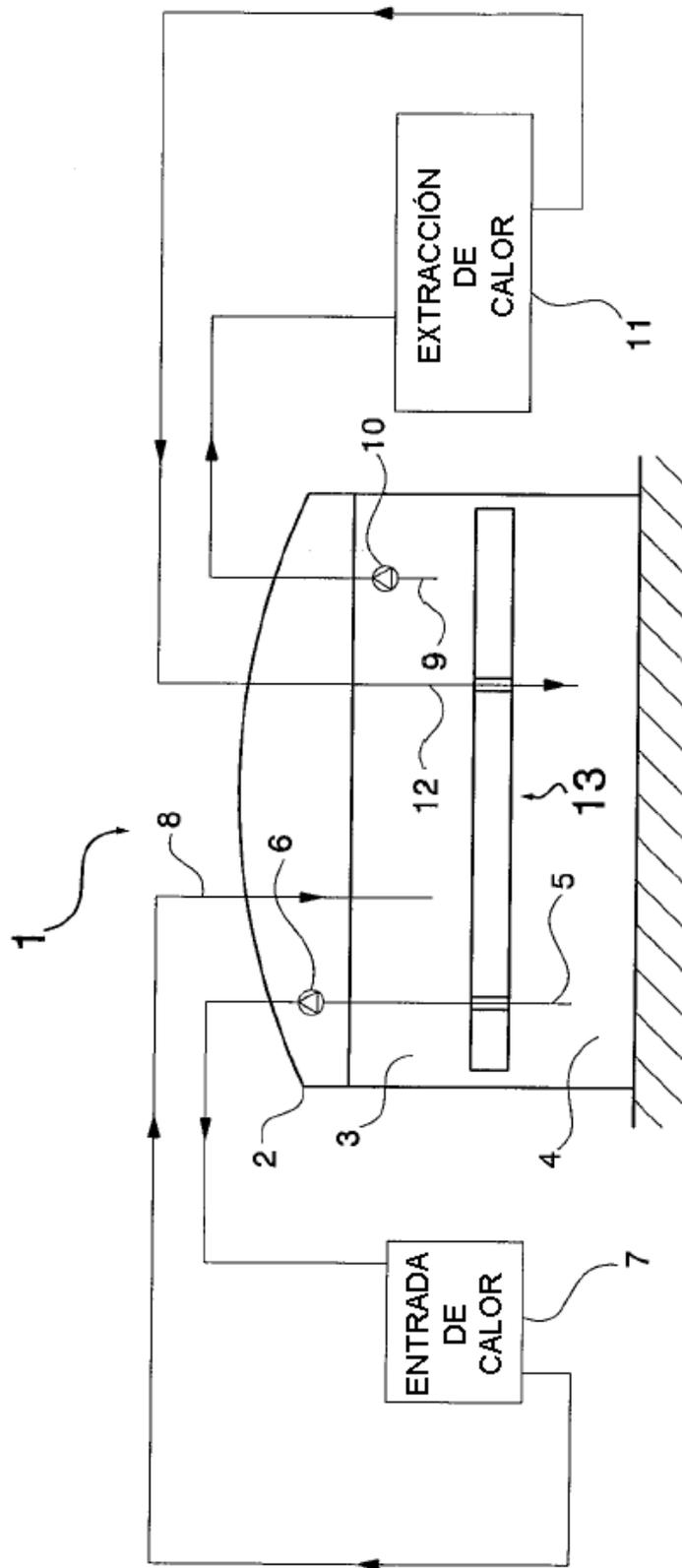


FIG. 1

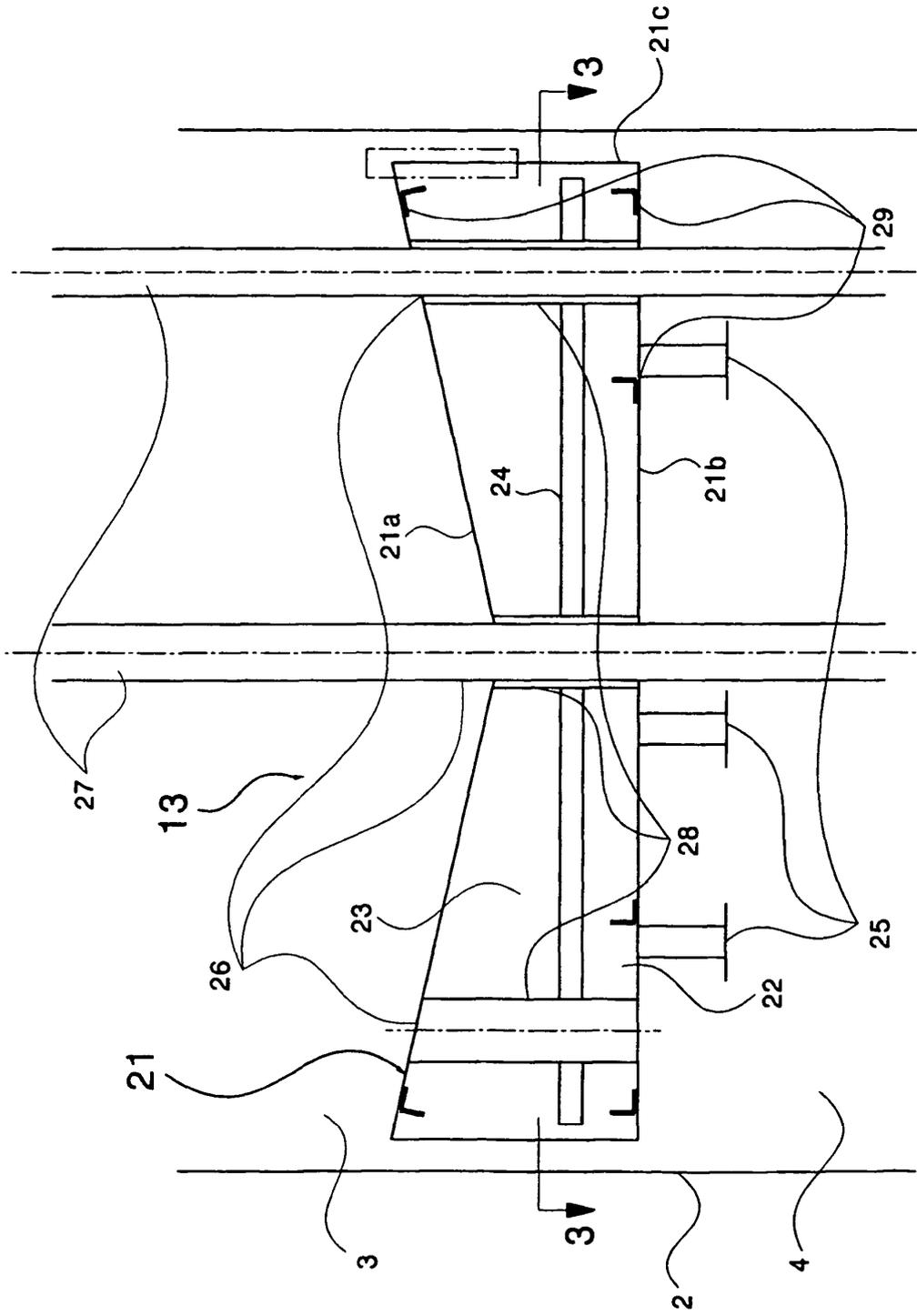


FIG. 2

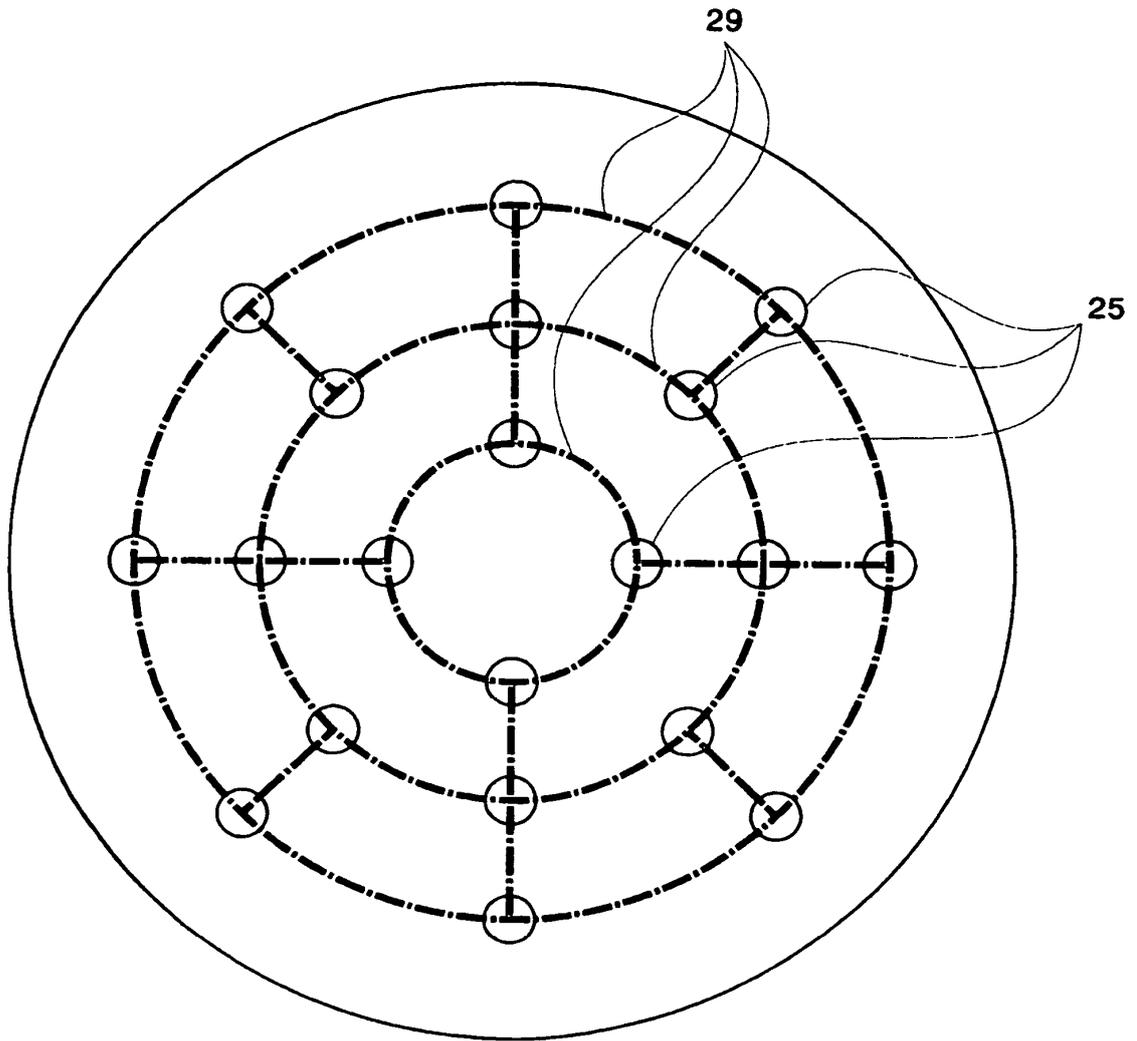


FIG. 3a

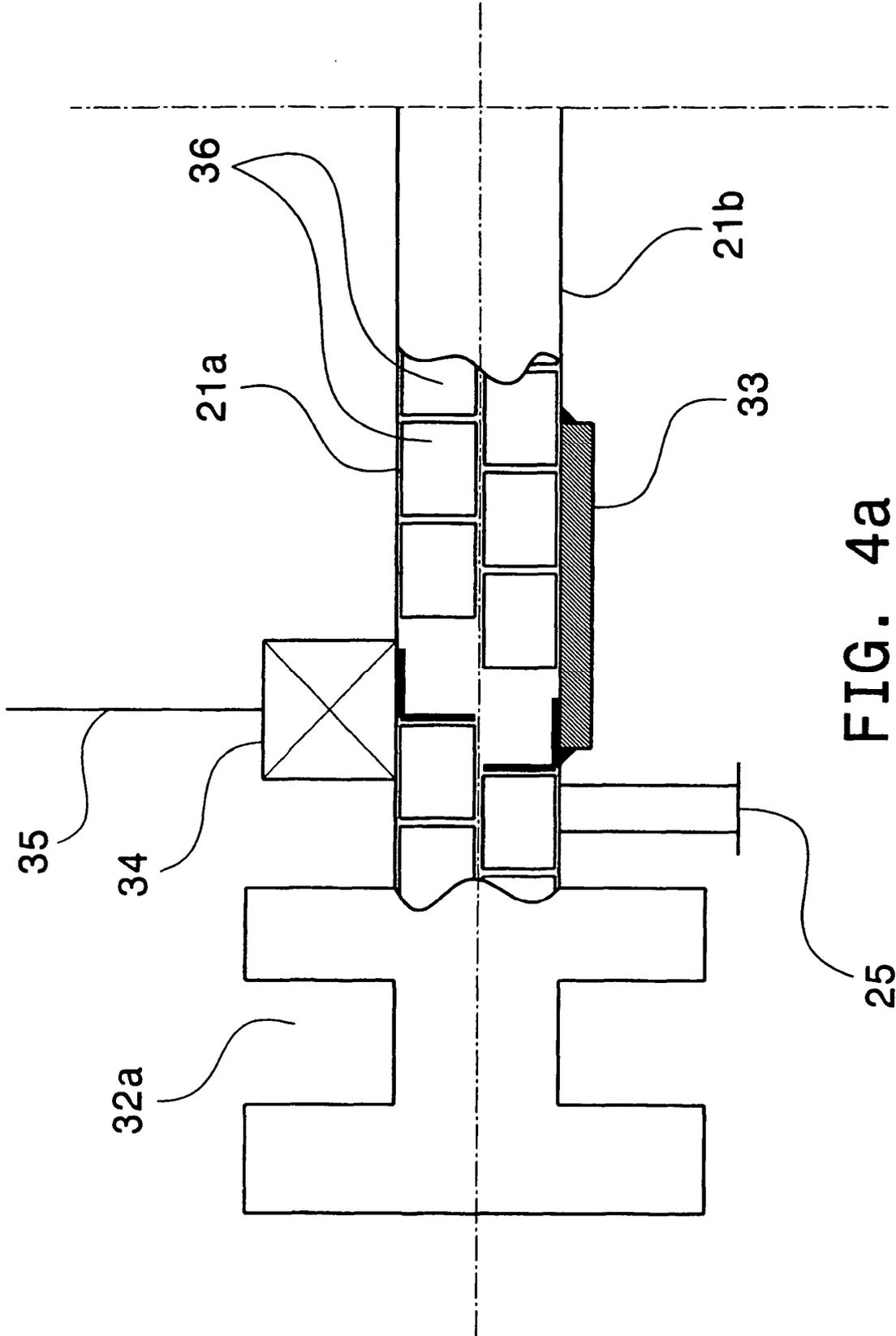


FIG. 4a

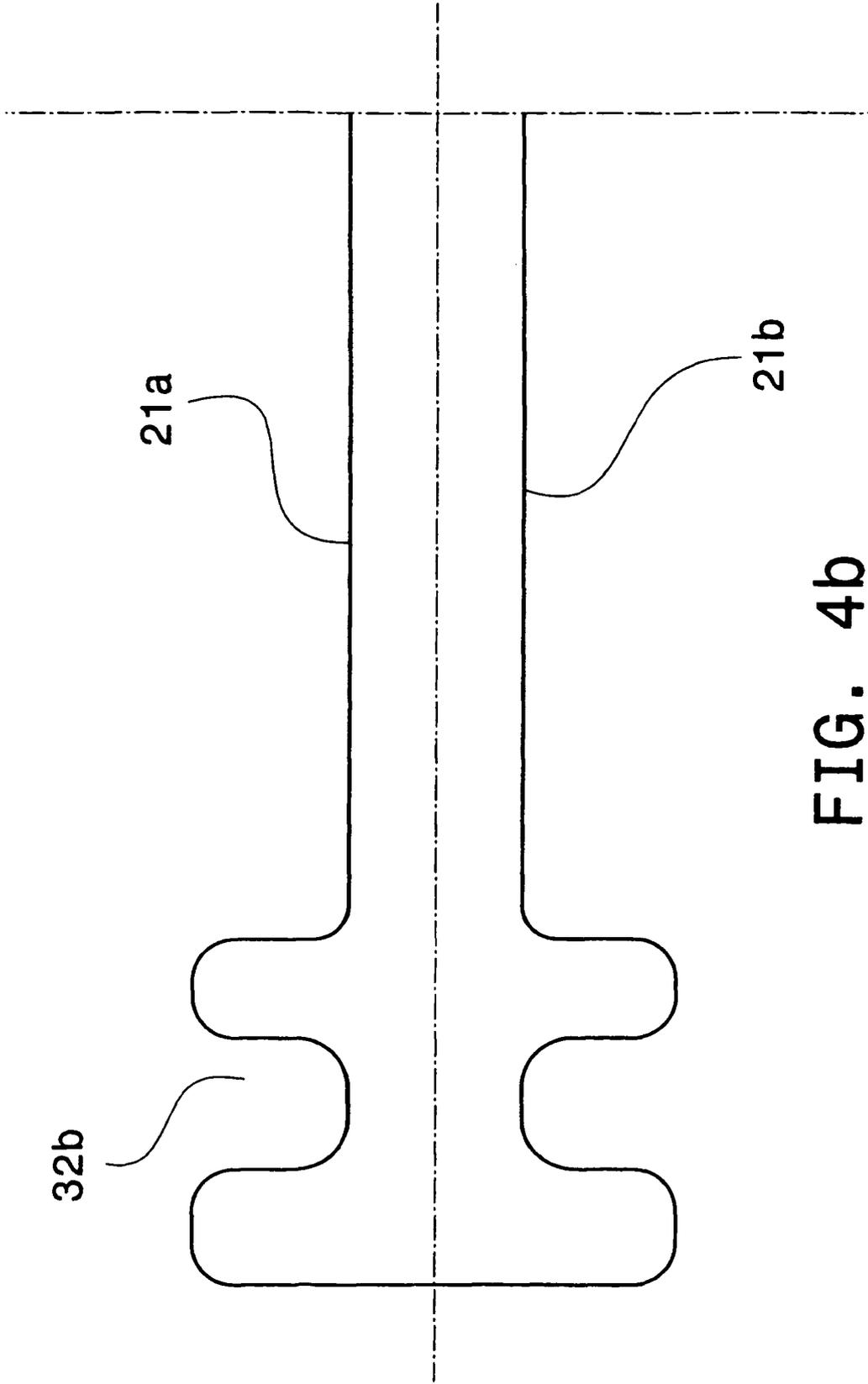


FIG. 4b

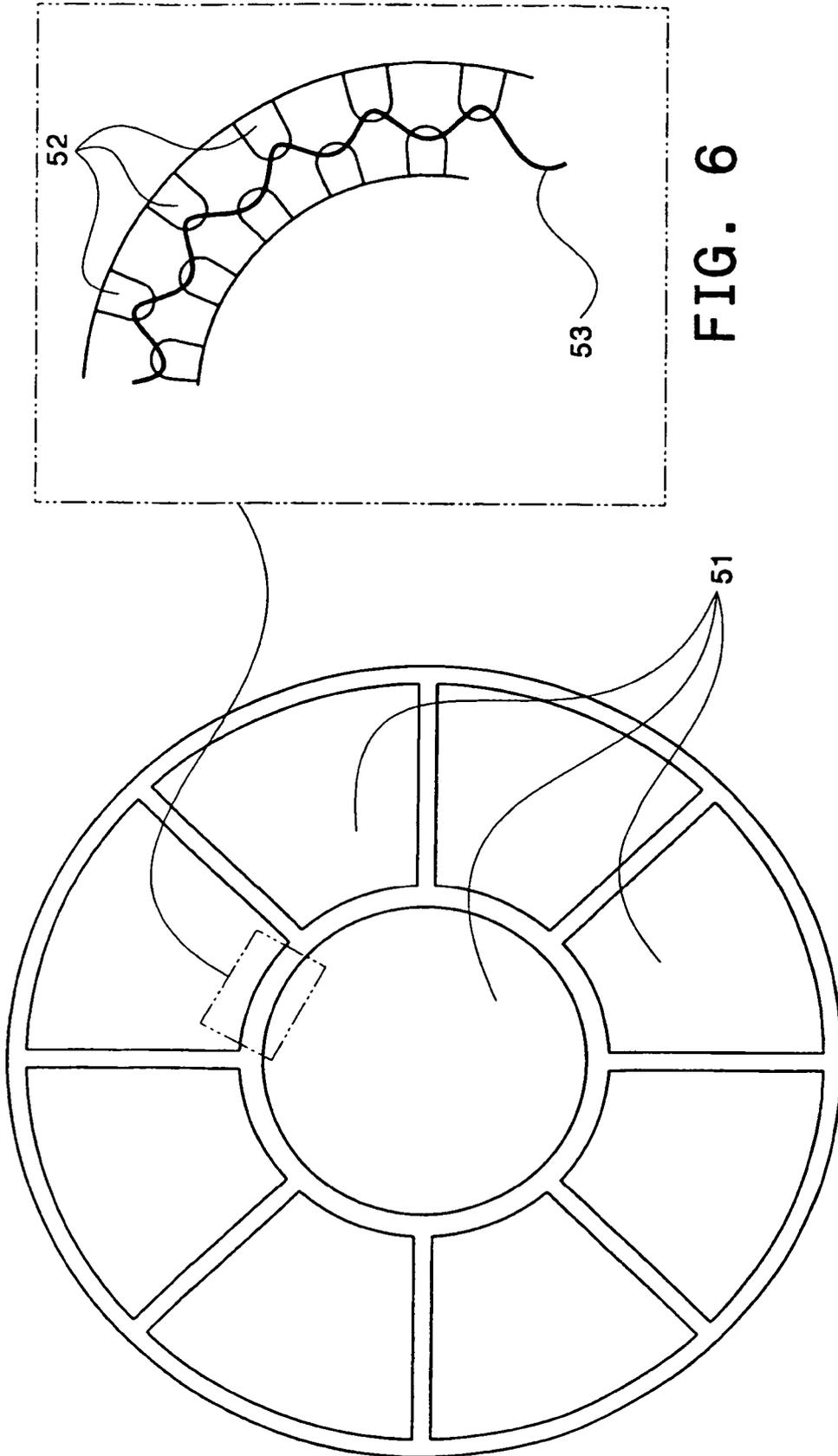


FIG. 6

FIG. 5