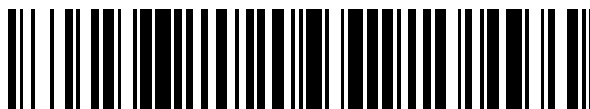


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 618 958**

51 Int. Cl.:

**F28D 1/03** (2006.01)  
**F28D 7/10** (2006.01)  
**F28D 9/00** (2006.01)  
**F28D 20/00** (2006.01)  
**F28D 20/02** (2006.01)  
**B23K 20/02** (2006.01)  
**B23P 15/26** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.10.2013** **PCT/IB2013/059175**  
87 Fecha y número de publicación internacional: **17.04.2014** **WO2014057411**  
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.10.2013** **E 13786317 (1)**  
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.12.2016** **EP 2906895**

54 Título: **Procedimiento de realización de un intercambiador de calor que contiene un material de cambio de fase, intercambiador obtenido y utilizaciones a temperaturas elevadas**

30 Prioridad:

**09.10.2012 FR 1259604**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**22.06.2017**

73 Titular/es:

**COMMISSARIAT À L'ÉNERGIE ATOMIQUE ET  
AUX ÉNERGIES ALTERNATIVES (100.0%)  
Bâtiment le Ponant D, 25 rue Leblanc  
75015 Paris, FR**

72 Inventor/es:

**BENGAOUER, ALAIN y  
ROUX, GUILHEM**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

ES 2 618 958 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).

**DESCRIPCION**

Procedimiento de realización de un intercambiador de calor que contiene un material de cambio de fase, intercambiador obtenido y utilidades a temperaturas elevadas

Ambito técnico

5 La presente invención se refiere a un procedimiento de realización de un módulo de intercambiador de calor que comprende al menos un circuito de fluido que comprende al menos un canal de circulación de fluido, al menos una célula que contiene un material de cambio de fase (MCP). Un módulo intercambiador de calor según la invención puede comprender al menos una superficie externa destinada para ponerse en contacto con un flujo de calor procedente de un medio circundante.

10 Un intercambiador obtenido según el procedimiento de la invención permite gracias al material de cambio de fase que integra, almacenar el calor o nivelar las fluctuaciones de temperatura de los sistemas.

Las aplicaciones consideradas por un intercambiador según la invención son numerosas y se refieren a los procedimientos en los cuales los intercambios térmicos se realizan a altas temperaturas. Por «altas temperaturas», se entiende en el sentido de la invención, temperaturas por encima de los 200°C, de preferencia comprendidas entre 15 los 400 y los 800°C.

Más particularmente, para el almacenado térmico, un intercambiador según la invención puede almacenar energía para una utilización diferida. Por ejemplo, un intercambiador según la invención puede almacenar calor producido por un receptor solar durante el día para una utilización durante el anochecer o por la noche para necesidades de calefacción, o también recuperar el calor perdido de forma cíclica por un procedimiento industrial (fundición, acería) 20 para alimentar otro procedimiento.

Más particularmente, para el nivelado de las fluctuaciones de temperaturas, un intercambiador de calor según la invención puede garantizar la temperatura de funcionamiento de un sistema y asegurar así su seguridad o aumentar su duración. Por ejemplo, un intercambiador según la invención puede proteger los componentes de una central solar de concentración contra las variaciones de soleado (paso de nubes), los componentes micro-electrónicos contra sobrecalentamientos o también puede limitar variaciones térmicas en las baterías. 25

Los intercambiadores de calor conocidos comprenden uno o al menos dos circuitos de canales de circulación interna de fluido. En los intercambiadores de un solo circuito, los intercambios térmicos se realizan entre el circuito y un fluido circundante en el cual se baña. En los intercambiadores de al menos dos circuitos de fluido, los intercambios térmicos se realizan entre los dos circuitos de fluido.

30 Se conocen reactores químicos que utilizan un procedimiento en continuo según el cual se inyecta simultáneamente una cantidad pequeña de co-reactantes, en presencia o no de catalizadores, a la entrada de un primer circuito de fluido, de preferencia equipado con un mezclador, y se recupera el producto químico obtenido a la salida de dicho primer circuito. Entre estos reactores químicos conocidos, algunos comprenden un segundo circuito de fluido, llamado usualmente utilidad, y cuya función es la de controlar térmicamente la reacción química, bien sea aportando 35 el calor necesario para la reacción, o por el contrario evacuando el calor desprendido por ésta. Tales reactores químicos con dos circuitos de fluido con utilidad se denominan usualmente intercambiadores-reactores.

Los intercambiadores de calor que contienen un material de cambio de fase son conocidos, como se detalla en lo que sigue. Generalmente comprenden un solo circuito de fluido con una pluralidad de canales de circulación de fluido, y una pluralidad de células que contienen un material de cambio de fase (MCP), en las cuales cada canal es 40 adyacente a una célula. Existen también intercambiadores que utilizan una pluralidad de canales de fluidos pero una sola célula que contiene un material MCP.

La presente invención se refiere también a la realización de intercambiadores de calor con al menos un circuito de fluido que asegure el intercambio térmico entre varios fluidos, un absorbedor de calor que asegure la transmisión de un flujo de la superficie exterior a un fluido o un reactor-intercambiador en el cual se produce una reacción química 45 en uno de los canales mientras que en otro u otros varios canales tienen por función controlar la temperatura.

También, por «intercambiador de calor», es preciso comprender en el marco de la invención, tanto un intercambiador-reactor como un intercambiador de calor que contiene un material de cambio de fase con funciones de intercambio y/o de almacenado y/o de restitución térmica.

Técnica anterior

50 Es conocido que los materiales de cambio de fase (MCP) son materiales aptos para presentar un cambio de fase física reversible cuya variación de entalpia (o calor latente) asociada permite el almacenado y desalmacenado de la energía térmica. En densidad volúmica, la capacidad de almacenado de un material MCP es típicamente tres o

cuatro veces superior a la que es posible alcanzar por el calor sensible. El cambio de fase de un material MCP es de natura isotérmica, es decir que tiene lugar a temperatura constante. Así, por ejemplo, a título de referencia, el calor latente de fusión del cobre es de 13,3 kJ/mol para una capacidad calorífica de 24,5 J/mol/K, es decir que es preciso una diferencia de temperatura de más de 500°C para almacenar por calor sensible la misma energía que por calor latente: [1].

Existen cuatro tipos de cambio de fase para los materiales MCP, respectivamente sólido-sólido, sólido-líquido, sólido-vapor y líquido-vapor. El calor latente y la variación volúmica de un material MCP son tanto más elevadas cuanto más importante es la variación de orden (dada por la variación de entropía) asociada con la transición de fase. Así, por ejemplo, una variación de orden sólido-vapor es superior a una variación de orden sólido-líquido la por sí misma superior a una variación de orden sólido-sólido. El cambio de fase líquido-vapor se acompaña de un aumento de volumen muy importante, mientras que el cambio de fase sólido-sólido presenta la ventaja de producir pequeñas variaciones de volumen, pero ofrece un calor latente bastante bajo, típicamente de algunas decenas de kJ/kg. El cambio de fase líquido-sólido ofrece un calor latente de cambio de fase importante típicamente algunos centenares de kJ/kg para un cambio de volumen moderado.

Existen varias familias de materiales MCP que van de materiales simples a materiales compuestos: se podrá particularmente hacer referencia a la figura 2 de la publicación [2]. Entre los materiales simples, se distinguen clásicamente los materiales orgánicos y los materiales inorgánicos. Entre los materiales compuestos, se distinguen los compuestos eutécticos tipos orgánico-orgánico, orgánico-inorgánico e inorgánico-inorgánico. Estas familias de materiales MCP pueden también clasificarse según la naturaleza química de los materiales: las parafinas, los ácidos grasos, los hidratos de sales, los nitratos,... Se podrá hacer referencia a la publicación [2] que ilustra una clasificación de familias de materiales MCP en función de su densidad volúmica de almacenado térmico.

En la práctica, es conocido seleccionar un material MCP en función de la temperatura en funcionamiento de un sistema para el cual está destinado el material.

Sin embargo, el calor latente no es el único criterio para el despliegue de materiales de cambios de fase (MCP), como lo indican los autores de la publicación [2]: estos precisan que de forma general, la elección de un material MCP puede realizarse teniendo en cuenta diferentes criterios que se pueden enumerar como sigue:

- termodinámica: una temperatura de cambio de fase adecuada, un calor latente elevado, una conductividad térmica elevada, una difusividad térmica elevada;
- propiedades físicas intrínsecas: densidad elevada, variación volúmica baja, reproductibilidad y estabilidad en ciclaje;
- propiedades químicas: estabilidad química a largo plazo, compatibilidad con los demás materiales del sistema, reversibilidad del cambio de fase, ausencia de descomposición química, sin toxicidad, sin inflamabilidad, sin explosibilidad,
- ausencia de sub-saturación, sin sobrefusión, ausencia de segregación;
- económica: abundancia, disponibilidad, bajo coste, reciclabilidad.

La selección de MCP que permite el almacenado térmico es amplia y la literatura propone varios artículos de revista de estas selecciones: se podrá hacer referencia a las publicaciones [2], [3] y [4].

En las gamas de temperaturas que pueden interesar a los procedimientos que funcionan a temperaturas elevadas, tales como el almacenado solar, los procedimientos de reformación o de valorización del calor de alta temperatura, los materiales MCP principalmente utilizados son sales fundidas y materiales metálicos.

Las sales fundidas se caracterizan generalmente por un calor latente muy fuerte y una baja incluso muy baja conductividad. Por ejemplo, las sales de litio (LiOH) tienen un calor latente de cambio de fase líquido-sólido del orden de los 875 kJ/kg pero presentan una conductividad del orden de 1 W/m/K. La utilización de estos materiales implica particularmente una gestión eficaz de los flujos térmicos mediante una concepción específica de sus células de confinamiento y de los elementos que constituyen la envoltura, y un buen dominio del comportamiento a la corrosión de las envolturas: se podrá hacer referencia a la publicación [5]. Por otro lado se sugiere en esta publicación que el fuerte aumento de volumen en la fusión, típicamente del 1 al 30%, la sobrefusión y el coste son limitaciones para el uso de las sales fundidas.

Los materiales metálicos, no obstante de un calor latente generalmente más bajo que el de las sales fundidas, constituyen una alternativa a estas últimas. Así, los autores de la publicación [6] identifican las aleaciones metálicas Al-Cu, Al-Si, Al-Cu-Mg y Al-Si-Mg como razonables para los procedimientos que utilizan la combustión de combustibles fósiles y la aleación Mg<sub>2</sub>Si-Si para aplicaciones solares. Los autores de la publicación [7] proponen en cuanto a los mismos nuevas aleaciones ternarias para aplicaciones en las cuales las temperaturas están comprendidas entre los 430 y los 730°C.

En lo que se refiere a la fabricación de envolturas destinadas a contener materiales MCP, las células de éstas deben presentar una reactividad química baja respecto al material MCP, con el fin de garantizar su confinamiento y la

integridad de las envolturas.

Se puede distinguir la estructura de las indicadas envolturas en función de las dimensiones de los materiales MCP.

Para pequeñas dimensiones, generalmente del orden del milímetro, las envolturas constituyen lo que se puede designar por microencapsulaciones del MCP y se utilizan en lecho fijo, en lecho fluidizado o en suspensión, tal como se describe en la publicación [1] y la patente US 4.873.038.

La solicitud de patente WO 2010/034954 describe un procedimiento de fabricación de un aglomerado de microcápsulas de MCP aplicado a procedimientos de separación de gases, teniendo el MCP por función limitar las fluctuaciones de temperaturas que limitan el rendimiento de los procedimientos.

La solicitud de patente WO2010/146197 describe un material compuesto formado por una estructura de carbono parcialmente llena de una mezcla de LiOH/KOH como material MCP. La baja conductividad térmica de la mezcla LiOH/KOH se compensa por la conductividad térmica elevada del carbono. Las temperaturas de cambio de fase consideradas van de los 225°C a los 488°C según las composiciones seleccionadas de cada uno de los dos componentes de la mezcla LiOH/KOH.

Para dimensiones más grandes, generalmente del orden del centímetro a la decena de centímetros, las envolturas constituyen lo que se puede designar por macroencapsulaciones del MCP. La concepción de estas envolturas de macroencapsulación debe entonces garantizar una capacidad de almacenado adaptada a la necesidad y una capacidad de intercambio térmico suficiente con el fluido caloportador o la superficie expuesta al flujo en el caso de un intercambio de superficie. Como se ha indicado anteriormente, cuando los MCP son sales, su baja conductividad impone una concepción específica de sus células de confinamiento y de los elementos que constituyen la envoltura, bien sea con aletas, o con panales, o con espumas o cualquier otro dispositivo que favorezca el intercambio térmico: se podrá hacer referencia para más detalles a las publicaciones [5], [8]. Cuando los MCP son metales, la conductividad térmica ya no es un factor tan limitante y células de confinamiento de dimensiones más grandes pueden ser utilizadas: se podrá hacer referencia para más detalles a las publicaciones [9], [10].

Diferentes documentos describen la realización de un intercambiador de calor que comprende al menos un circuito de fluido con canales de circulación de fluido, células que contienen un material MCP, en el cual cada canal es adyacente a al menos una célula.

La patente US 7718246 describe una estructura en panel parcialmente porosa que integra células de confinamiento del MCP y canales de circulación del fluido de intercambio adyacentes a las células.

La patente US 4.124.018 describe un receptor solar acoplado a un intercambiador que contiene un material MCP, más bien para aplicaciones de temperaturas relativamente bajas. Un procedimiento de realización del intercambiador se describe: consiste en ensamblar mediante soldadura de difusión una serie de placas planas de las cuales una parte de la superficie es oculta, luego el intercambiador ensamblado se presuriza con el fin de formar los canales de circulación de fluido y se forman las células de confinamiento del MCP. Luego, las células formadas se llenan mediante un MCP en fusión por medio de los orificios mientras que el aire contenido en las células es evacuado por medio de los respiraderos. Los orificios y los respiraderos se hacen seguidamente estancos. La técnica de fabricación descrita en esta patente US 4.124.018 necesita espesores de pared bajos, lo cual conduce a un bajo comportamiento mecánico del intercambiador y por consiguiente limita con ello el ámbito de aplicación. La utilización de un intercambiador de este tipo no se puede así considerar para las fuertes presiones y/o altas temperaturas.

La patente DE102010004358 describe una estructura de intercambiador en forma panel de cerámica obtenida por una técnica de extrusión, lo cual permite el almacenado de MCP (sal o metal) con elevado punto de fusión, típicamente superior a los 800°C. Si el tamaño muy pequeño de los canales de circulación de fluido y de las células de MCP, típicamente inferior a 2 mm, permite obtener buenos intercambios térmicos, por el contrario las formas susceptibles de ser obtenidas por la técnica de extrusión son limitadas. En efecto, los canales obtenidos por extrusión solo pueden ser rectilíneos. Esta limitación de formas excluye la utilización de éstas técnicas para los intercambiadores en los cuales la curvatura de los canales es primordial para asegurar la mezcla de reactivos y los intercambios térmicos.

Que sepan los inventores, no existe estado de la técnica que describa la realización de intercambiadores de calor que comprendan al menos un circuito de fluido con canales de circulación de fluido, células que contengan un material MCP de tipo metal o sal, en el cual cada canal sea adyacente a al menos una célula y que permita obtener dimensiones y formas de células adaptables a medida del deseo, típicamente entre 5 y 500 mm y esto, con el fin de obtener una gran capacidad de almacenado volumétrico y una velocidad de calentamiento/restitución térmica elevada.

Por otro lado, es conocido realizar los intercambiadores de calor, llamados de placas, existentes que no contienen materiales MCP según diferentes técnicas.

Los canales de circulación de estos intercambiadores pueden ser realizados por embutición de placas, llegado el caso mediante aporte de flejes doblados en forma de aletas o mediante mecanizado de ranuras. El mecanizado puede ser realizado por medios mecánicos, por ejemplo por fresado o por vía química. El mecanizado químico es usualmente llamado grabado químico o electroquímico.

- 5 El ensamblado de las placas entre sí tiene por objetivo asegurar la estanqueidad y/o el comportamiento mecánico de los intercambiadores, particularmente el comportamiento a la presión de los fluidos que circulan por el interior.

10 Varias técnicas de ensamblado son conocidas y son puestas en práctica en función del tipo de intercambiador de placas deseado. El ensamblado puede así ser obtenido por medios mecánicos, tales como tirantes que mantienen el apilamiento apretado entre dos placas densas y rígidas dispuestas en el extremo del apilamiento. La estanqueidad de los canales se obtiene entonces por aplastamiento de juntas adicionadas. El ensamblado puede igualmente ser obtenido por soldadura, generalmente limitado a la periferia de las placas, lo cual necesita a veces introducir, 15 ulteriormente a la soldadura, el intercambiador en una calandra para permitir su mantenimiento a la presión de los fluidos. El ensamblado puede también ser obtenido por soldadura por medio de un metal, en particular para intercambiadores para los cuales se añaden aletas. El ensamblado puede por último ser obtenido por soldadura por difusión (soldadura-difusión).

Las dos últimas técnicas citadas permiten realizar intercambiadores de calor que proporcionan particularmente rendimiento en términos de comportamiento mecánico. En efecto, gracias a estas dos técnicas, el ensamblado se obtiene no solamente en la periferia de las placas sino también en el interior del intercambiador.

20 Los intercambiadores de calor de placas obtenidos por soldadura por difusión presentan juntas que proporcionan aún más rendimiento mecánicamente que las juntas de los intercambiadores obtenidas por soldadura mediante un metal debido al hecho de la ausencia del metal de aporte requerido para la soldadura mediante un metal.

25 La soldadura por difusión consiste en obtener un ensamblado en el estado sólido aplicando una fuerza en caliente sobre las piezas a ensamblar durante un tiempo dado. La fuerza aplicada tiene una función doble: permite el acercamiento, es decir la puesta en contacto de las superficies a soldar, y facilita la eliminación por deformación-difusión de la porosidad residual en las juntas (superficies intermedias).

La fuerza puede ser aplicada por compresión uniaxial, por ejemplo con la ayuda de una prensa equipada con un horno o simplemente con la ayuda de masas dispuestas en la parte superior del apilamiento de las piezas a ensamblar. Este procedimiento se denomina corrientemente soldadura-difusión uniaxial y se aplica industrialmente para la fabricación de intercambiadores de calor de placas.

- 30 Una limitación importante del procedimiento de soldadura-difusión uniaxial se debe al hecho de que no permite soldar juntas con cualquier orientación con relación a la dirección de aplicación de la fuerza de compresión uniaxial.

Otro procedimiento alternativo palia este inconveniente. En este otro procedimiento, la fuerza se aplica por la presión de un gas utilizando para ello un contenedor estanco a vacío. Este procedimiento se denomina corrientemente compresión isostática en caliente (CIC). Otra ventaja del procedimiento de soldadura-difusión por CIC en 35 comparación con el procedimiento de soldadura-difusión uniaxial es que está más ampliamente difundido a escala industrial. En efecto, el CIC se utiliza también para el tratamiento por lotes de piezas de fundición así como para la compactación de polvos.

40 En el procedimiento de soldadura-difusión por CIC, el apilamiento de las piezas se encapsula previamente en un contenedor estanco para evitar que el gas penetre en las superficies intermedias constituidas por las superficies a soldar. La presión de gas habitualmente utilizada es elevada, del orden de los 500 a 2000 bares, típicamente 1000 bares. La presión mínima de funcionamiento de los recintos industriales adaptados para poner en práctica el CIC se encuentra en cuanto a la misma comprendida entre 40 y 100 bares.

45 Se describe en referencia a la figura 1, la fabricación conocida de un intercambiador de calor 1 que recibe en una de sus superficies un flujo de calor procedente de un medio circundante y que lo transmite a un fluido caloportador. Se realizan ranuras en dos placas metálicas 10.1, 10.2 por mecanizado químico o mecánico. Las placas metálicas 10.1, 10.2 son entonces limpiadas y colocadas una contra la otra con sus ranuras enfrentadas en un contenedor 11. Las placas 12.1, 12.2 se posicionan a uno y otro lado de las dos placas ranuradas 10.1, 10.2 en el interior del contenedor 11. El vacío se realiza entonces en el interior del contenedor con el fin de extraer los gases nocivos a la soldadura y luego se aplica un ciclo de compresión isostática en caliente (CIC), que permite obtener la soldadura-difusión de las 50 placas 10.1, 10.2, 12.1, 12.2. Los canales 13 de circulación del fluido caloportador están así constituidos por las ranuras de las placas 10.1, 10.2 propiamente dichas, cuyos bordes son ensamblados por soldadura-difusión.

Se conocen ya varias soluciones para realizar intercambiadores de calor por soldadura-difusión por CIC controlando la geometría de los canales y la calidad de las superficies intermedias.

Una primera solución conocida consiste en utilizar para cada canal un tubo pre-formado, y soldar al menos un

extremo de este último de forma estanca al contenedor asimismo estanco. Cada tubo se introduce antes en una ranura de una placa y luego los tubos introducidos en las ranuras de una misma placa se colocan en forma de sándwich con otra placa ranurada o no que sea adyacente. Esta solución conocida de fabricación se describe con referencia a la figura 2: tubos pre-formados 14 se introducen individualmente en las ranuras entre las placas 10.1, 10.2. Los canales 13 de circulación del fluido caloportador están así constituidos por los tubos 14 y delimitados por las ranuras de las placas 10.1, 10.2 ensambladas con ellos por soldadura-difusión.

Una segunda solución conocida se describe en la solicitud de patente WO 2006/067349. La misma consiste esencialmente en evitar que las superficies intermedias a soldar desemboquen en los canales. Así, la solución según esta solicitud de patente consiste en realizar en las placas metálicas ranuras de sección abierta en sus partes superiores y luego en obturar éstas individualmente por soldadura de una lama fina metálica, dejando así uno o los dos extremo(s) de las ranuras accesibles al gas de presurización.

Una tercera solución conocida por el documento WO 2011/036207 conocida consiste en realizar una zona hueca en una placa con un órgano fusible en apilarla entre dos placas compactas, y luego realizar un ciclo de CIC modificando las condiciones de temperatura y de presión para obtener en una primera fase una soldadura-difusión inicial entre placas sin penetración del gas de presurización en el interior de la zona hueca y luego en una segunda fase la fusión del órgano fusible y dejar así penetrar el gas en el interior de la zona hueca y terminar la soldadura-difusión.

El fin general de la invención es proponer un procedimiento de realización de intercambiadores de calor que comprendan al menos un circuito de fluido con al menos un canal de circulación de fluido, al menos una célula que contenga un material MCP de tipo metal o sal, en el cual cada canal es adyacente a al menos una célula y que permita obtener dimensiones y formas de células adaptables a voluntad, típicamente entre 2 y 250 mm y esto, con el fin de obtener una gran capacidad de almacenado volumétrico y una velocidad de calentamiento térmico, llegado el caso por restitución, elevada.

#### Exposición de la invención

Para ello, la invención tiene por objeto, según una primera alternativa, un procedimiento de realización de un módulo de intercambiador de calor que comprende al menos un circuito de fluido de forma alargada según un eje X y que comprende al menos un canal de circulación de fluido, al menos una célula que contiene un material de cambio de fase (MCP), en el cual cada canal es adyacente a al menos una célula.

Según esta primera alternativa de la invención, el procedimiento comprende las etapas siguientes:

a/ mecanizado de al menos una ranura en una placa metálica, desembocando la ranura en al menos uno de sus extremos;

b/ posicionamiento de otra placa metálica contra la placa mecanizada de forma que al menos una ranura de la placa mecanizada delimite una parte de una célula;

c/ ensamblado de las placas metálicas entre sí, bien sea por compresión isostática en caliente (CIC), o por compresión uniaxial en caliente (CUC) con el fin de obtener una soldadura por difusión entre las placas metálicas, o por soldadura por medio de un metal, al menos una ranura de la placa mecanizada y ensamblada con la otra placa que delimita una célula desembocante en al menos uno de sus extremos;

d/ llenado de cada célula mediante un material de cambio de fase (MCP) de tipo sal o aleación metálica, o por vertido del material MCP en estado líquido o por inserción del material MCP en estado sólido;

e/ posicionamiento de otra placa metálica, llamada placa de cierre, contra las placas ya ensambladas con el fin de cerrar cada extremo desembocante de cada célula llenada de material MCP;

f/ ensamblado de la placa de cierre con las placas ya ensambladas bien sea por soldadura o por soldadura por medio de un metal.

La invención tiene igualmente por objeto según una segunda alternativa un procedimiento de realización de un módulo de intercambiador de calor que comprende al menos un circuito de fluido y que comprende al menos un canal de circulación de fluido, al menos una célula que contiene un material de cambio de fase (MCP), en el cual cada canal es adyacente a al menos una célula.

Según esta segunda alternativa de la invención, el procedimiento comprende las etapas siguientes:

a1/ mecanizado de al menos una ranura en una placa metálica;

b1/ llenado de al menos un contenedor por un material de cambio de fase (MCP) de tipo sal o aleación metálica, o por vertido del material MCP en estado líquido o por introducción del material MCP en estado

sólido;

b2/ puesta bajo vacío y realización de la estanqueidad del (de los) contenedor(es) lleno(s) de material MCP;

b3/ alojamiento del (de los) contenedor(es) en la (las) ranura(s);

5 b4/ posicionamiento de otra placa metálica contra la placa mecanizada de forma que al menos una ranura de la placa mecanizada delimite una parte de una célula conteniendo el (los) contenedor(es) lleno(s) de material MCP;

10 c1/ ensamblado de las placas metálicas entre sí y con el (los) contenedor(es), bien sea por compresión isostática en caliente (CIC), o por compresión uniaxial en caliente (CUC) con el fin de obtener una soldadura por difusión entre las placas metálicas y contenedor(es), o por soldadura por medio de un metal, al menos una ranura de la placa mecanizada y ensamblada con la otra placa que delimita una célula que contiene el (los) contenedor(es) lleno(s) de material MCP.

15 Dicho de otro modo, el procedimiento según esta segunda alternativa consiste primeramente en introducir el material de cambio de fase (MCP) en estado sólido o líquido en un contenedor cuya forma permite su inserción en las células constituidas por el ensamblado de las placas, luego en poner bajo vacío y hacer estanco este contenedor. Aquí, las etapas d/, e/, f/ según la primera alternativa no son ya necesarias.

Varios contenedores pueden ser utilizados y yuxtapuestos en el ensamblado.

20 Esta segunda alternativa es ventajosa pues el llenado del material MCP puede ser realizado más cómodamente en células unitarias que en un módulo intercambiador completo, y la soldadura por difusión del contenedor con el intercambiador garantiza un mejor comportamiento mecánico que un ensamblado directo por fusión. La fusión del MCP en la etapa c1/ de CIC no es incómoda pues éste permanece confinado en su contenedor.

25 Se entiende que cuando un módulo intercambiador obtenido según la invención comprende una superficie externa destinada para ser sometida a un flujo de calor procedente del medio circundante, las temperaturas de flujo no pueden degradar la soldadura, la soldadura por difusión o la soldadura por medio de un metal. Dicho de otro modo, se cuida de que las temperaturas de utilización de estos módulos de intercambiador permanezcan sin llegar a las temperaturas de fusión de los materiales de base del intercambiador y de los materiales utilizados para las soldaduras y soldaduras por medio de un metal eventuales.

30 El ensamblado por soldadura de difusión o por soldadura por medio de un metal según la invención permite considerar cualquier clase de geometría para los canales fluidos así como para las células de confinamiento de material MCP e incluir a partir de la fase de mecanizado de las (de las) ranura(s), los respiraderos, los tubos de llenado y comunicaciones entre células de MCP necesarios para el llenado de las células. Según la invención, cualquier tipo de forma puede ser obtenido para el (los) circuito(s) de fluido: recta, acodada, en zig-zag.

35 El procedimiento de fabricación según la invención se distingue claramente de los procedimientos de fabricación de intercambiadores térmicos que integran un material MCP según el estado de la técnica, en particular la patente DE102010004358, en que permite conformar las células de MCP según cualquier geometría con el fin de favorecer las mezclas de reactivo y los intercambios térmicos y cualquier dimensión a escala milimétrica o centimétrica, siendo sencilla de realizar y a un menor coste.

40 Los inventores han pensado en aplicar la técnica de fabricación de los intercambiadores de placas ya comprobada y que consiste en un ensamblado por soldadura de difusión o por soldadura por medio de un metal para realizar células de confinamiento de un material MCP. De forma sorprendente, aunque sencilla de poner en práctica, nadie había pensado en hacerlo hasta ahora. En efecto, el ensamblado por soldadura de difusión es hasta ahora utilizado para realizar piezas de gran capacidad. Ahora bien, aplicar esta técnica de fabricación permite lograr una porosidad, es decir una relación entre el volumen de circulación de fluido y el volumen total de la materia, muy importante, típicamente hasta un 80%. Se puede por consiguiente obtener un volumen importante de confinamiento de material de cambio de fase en el intercambiador y por consiguiente obtener buenos rendimientos térmicos y una buena compacidad. En particular, es posible en el marco de la invención utilizar un elemento de inserción fusible para evitar la deformación de las células durante la etapa c/ de CIC, lo cual permite obtener células que contienen un MCP de volumen importante y por consiguiente es muy favorable cuando el MCP es buen conductor térmico (caso de un material metálico).

50 Las dimensiones características de las células se adaptarán a la potencia térmica a intercambiar, a la capacidad de almacenado necesaria y a las propiedades mecánicas y térmicas de los materiales, las mismas pueden oscilar típicamente entre los 2 mm y los 250 mm.

Gracias al procedimiento según la invención, se obtiene en otras palabras un intercambiador de calor con al menos un circuito de fluido y que integra un material de cambio de fase MCP, de resistencia mecánica elevada, de

capacidad de almacenado térmico elevada y que permite un calentamiento rápido de un fluido caloportador que circula por el circuito bien sea directamente por el flujo térmico sobre la superficie que está dedicada o indirectamente por restitución del calor almacenado por el material MCP en las células.

5 Según una variante preferida, se realizan las etapas a/ a f/ o a1/ a c1/ con el fin de crear un conjunto de canales fluidos que definan dos circuitos distintos y un conjunto de células que contengan un material MCP.

Según una variante de realización, la pared de una de las placas metálicas ensambladas según la etapa c/ o c1/ constituye una parte de un canal de un circuito de fluidos del intercambiador.

10 Según una variante de realización, se realiza la etapa a/ o a1/ con el fin de obtener al menos una ranura desembocante en sus dos extremos, permitiendo las etapas b/ y c/ o b4/ y c1/ obtener al menos una ranura de la placa mecanizada y ensamblada con la otra placa delimitando un canal de circulación de fluido que desemboca en sus dos extremos, no siendo realizadas las etapas d/ a f/, con el fin de dejar desembocar el canal de circulación de fluidos por sus dos extremos, constituyendo el indicado canal un canal de un circuito de fluidos del intercambiador.

15 Según una variante de realización ventajosa, la otra placa metálica posicionada y ensamblada según la etapa b/ y c/ o b4/ y c1/ es igualmente mecanizada por al menos una ranura desembocante en al menos uno de sus extremos y constituyendo una parte de una célula.

De preferencia, se realizan las etapas a/ a f/ o a1/ a c1/ con el fin de crear un conjunto de canales fluidos que definan dos circuitos distintos y un conjunto de células que contengan un material MCP.

20 Antes de la etapa c/ o c1 por compresión isostática en caliente (CIC), se puede introducir ventajosamente un tubo preformado en cada ranura, constituyendo el tubo una parte de una célula de confinamiento del material MCP o una parte de un canal de un circuito de fluido del intercambiador. Se puede así realizar la CIC a alta presión de forma fiable.

25 Antes de la etapa c/ o c1/ por compresión isostática en caliente (CIC), se puede igualmente introducir ventajosamente un elemento fusible en cada ranura. Se evita o cuando menos se limitan las deformaciones susceptibles de ser generadas durante la CIC. El elemento fusible se disuelve bien sea químicamente o se evacúa por fusión.

De preferencia, las placas metálicas son de acero al carbono, de acero inoxidable, o de aleación a base de níquel o de titanio, siendo la etapa c/ o c1/ realizada por compresión (CIC) o por compresión (CUC) y siendo la etapa f/ realizada por soldadura.

30 Según una variante de realización preferida, la (s) célula(s) y llegado el caso el (los) canal(es) de circulación de fluido están constituidos por ranuras mecanizadas en un material cerámico, tal como grafito, carburo de silicio (SiC), nitruro de silicio (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) o de material nano-laminar (fase MAX), siendo las etapas c/ o c1/ y f/ realizadas por soldadura por medio de un metal.

35 Cuando se desea realizar un módulo intercambiador de calor destinado para ponerse en contacto con un flujo de calor procedente de un medio circundante, previamente a la etapa c/ o c1/, se posiciona al menos una placa metálica plana, contra la superficie no mecanizada de una placa metálica de ranura(s), constituyendo la superficie de la otra placa metálica plana opuesta a la posicionada contra una placa de ranura(s) la superficie externa del módulo de intercambiador.

40 La invención se refiere igualmente en otro de sus aspectos, a un módulo de intercambiador de calor que comprende al menos un circuito de fluido que comprende al menos un canal de circulación de fluido, al menos una célula que contiene un material de cambio de fase (MCP) de tipo sal o aleación metálica, estando al menos la(s) células delimitada(s) por paredes de al menos una primera placa metálica bien sea soldada, bien soldada por difusión o soldada por medio de un metal con al menos una segunda placa metálica, e incluyendo bien sea una placa de cierre soldada a una y/u otra de las primera y segunda placas metálicas, y cerrando cada extremo desembocante de cada célula llena de material MCP, o bien uno(s) contenedor(es) lleno(s) de material MCP contenido en la al menos una célula.

Según un modo de realización ventajoso, el módulo comprende al menos una superficie externa destinada para ponerse en contacto con un flujo de calor.

Según una característica, el circuito es de forma alargada según un eje X y la(s) célula(s) es (son) de forma alargada según un eje X1.

50 Ventajosamente, cada célula presenta una anchura o una altura, medida transversalmente respecto al eje X, comprendida entre 2 mm y 250 mm.

Según una variante de realización, la(s) célula(s) está(n) dispuesta(s) de forma que su eje X1 sea sustancialmente ortogonal al eje X del (de los) canal(es) de circulación de fluido.

La invención se refiere por último a la utilización de un módulo de intercambiador de calor descrito anteriormente, en el cual los intercambios térmicos entre el flujo de calor procedente del medio circundante se realizan a altas temperaturas.

Las aplicaciones consideradas mediante un intercambiador según la invención son numerosas y se refieren a los procedimientos en los cuales los intercambios térmicos se realizan a altas temperaturas. Por «altas temperaturas», se entiende en el sentido de la invención, temperaturas por encima de los 200°C, de preferencia comprendidas entre los 400 y los 800°C. Una utilización ventajosa de un módulo intercambiador según la invención es para almacenar el calor con miras a su utilización diferida.

Otra utilización ventajosa es para nivelar las fluctuaciones de temperatura del circuito de fluidos.

#### Descripción detallada

Otras ventajas y características de la invención se desprenderán mejor con la lectura de la descripción detallada de ejemplos de realización de la invención dada a título ilustrativo y no limitativo con referencia a las figuras siguientes entre las cuales:

- la figura 1 es una vista esquemática fragmentada de diferentes componentes de un intercambiador de calor y del contenedor estanco utilizado en un procedimiento de fabricación por compresión CIC según el estado de la técnica;
- la figura 2 es una vista esquemática fragmentada de diferentes componentes de un intercambiador de calor y del contenedor estanco utilizado en un procedimiento de fabricación por compresión CIC según una variante de la figura 1;
- la figura 3 es una vista esquemática en sección transversal de un módulo de intercambiador de calor que integra un material de cambio de fase MCP según la invención;
- la figura 4 es una vista esquemática fragmentada de diferentes componentes de un módulo de intercambiador según la figura 3;
- las figuras 5A a 5D ilustran en vista de sección longitudinal diferentes etapas de llenado de las células de un módulo de intercambiador según la invención por un material MCP;
- la figura 6 es una vista en perspectiva de un módulo de intercambiador de calor que integra un material de cambio de fase MCP según la invención, en el cual se ha realizado una simulación numérica de comportamiento térmico.
- las figuras 7 a 9 son curvas que ilustran el comportamiento térmico del módulo de intercambiador de calor según la figura 6;
- las figuras 10A y 10B ilustran una variante de realización de un módulo intercambiador según la cual los canales de circulación y las células que contienen un material MCP están orientados a 90° los unos con relación a los otros.
- las figuras 11 a 14 ilustran también otras variantes de realización de un módulo intercambiador;
- las figuras 15A y 15B ilustran una variante de realización y de utilización de un módulo intercambiador como pared de separación de dos fluidos;
- la figura 16 ilustra una variante de realización de un módulo de intercambiador con dos circuitos de circulación de fluido;
- las figuras 17A y 17B ilustran dos variantes distintas de realización de un módulo intercambiador de calor con dos circuitos de fluido, como reactor-intercambiador de una reacción química.

En un intento de dar mayor claridad, las mismas referencias que designan los mismos elementos de un intercambiador de calor según el estado de la técnica y de un módulo de intercambiador de calor que integra un material MCP según la invención son utilizadas para todas las figuras 1 a 17B.

Se precisa que los diferentes elementos en particular las células de confinamiento del material MCP y de los canales de circulación de fluido según la invención están representados únicamente en un intento de dar claridad y que no están realizados a escala.

Las figuras 1 y 2 relativas a la realización de un intercambiador de calor de placas según el estado de la técnica han sido ya comentadas en el preámbulo. Las mismas no se describen aquí con detalle.

Un módulo de intercambiador de calor 1 que integra un material de MCP según la invención cuyas placas 10.1, 10.2, 10.3, 12.1, 12.2 están soldadas por compresión isostática en caliente CIC se muestra en la figura 3. Comprende una hilera de células 15 de confinamiento de material MCP, estando cada una de las células 15 por encima y frente a un canal 13 de circulación de un fluido caloportador. Los canales 13 forman igualmente una hilera de canales. El intercambiador 1 comprende además una superficie 12.1 dispuesta por encima de la hilera de células 15 que integran un material MCP, estando esta superficie 12.1 destinada para recibir un flujo térmico a temperaturas

elevadas.

Para obtener este módulo de intercambiador de calor según la invención, se realizaron las etapas siguientes.

5 Etapa a/: se realiza el mecanizado de ranuras idénticas en tres placas metálicas 10.1, 10.2, 10.3 de forma alargada. Las ranuras destinadas a constituir las células de confinamiento 15 desembocan en uno solo de sus extremos, mientras que las destinadas a constituir los canales 13 de circulación de fluido desembocan en sus dos extremos. Como se ha ilustrado en la figura 4, las ranuras pueden ser todas idénticas y por ejemplo de sección rectangular.

10 Etapa b/: se posiciona la placa metálica mecanizada 10.2 contra la placa mecanizada 10.1 con sus ranuras enfrentadas individualmente de forma que delimite cada una con una parte de un canal 13 de circulación de fluido. Se realiza igualmente el posicionamiento de la placa metálica mecanizada 10.3 contra la placa 10.1 de forma que cada ranura de la placa mecanizada 10.3 delimite una parte de una célula de confinamiento de un material MCP (figura 4). Se realiza por último el posicionamiento de una placa metálica 12.1 compacta contra la placa 10.3, definiendo ésta placa compacta 12.1 la superficie del intercambiador a exponer a un flujo térmico a altas temperaturas. Se realiza lo mismo con una placa metálica 12.2 contra la placa 10.2.

15 Etapa c/: se realiza el ensamblado de las placas metálicas 10.1, 10.2, 10.3, 12.1, 12.2, entre sí mediante la aplicación de un ciclo de compresión isostática en caliente (CIC). El ciclo de CIC aplicado se realiza ventajosamente a una temperatura elevada, típicamente a 1000°C y a presión elevada, típicamente a 1000 bares, durante un tiempo de una a dos horas. Se obtiene así una soldadura por difusión entre las placas metálicas, en particular alrededor de los bordes de las ranuras 13, 15.

20 Etapa d/: se llena entonces cada célula 15 mediante un material de cambio de fase (MCP) de tipo sal o aleación metálica.

El llenado puede realizarse bien sea por vertido del material MCP en estado líquido (figuras 5A, 5B, 5C) o por introducción del material MCP en estado sólido (figura 5D).

25 Así, para el llenado de las células 15 por el material MCP en estado líquido, se puede realizar únicamente un vertido por gravedad del MCP calentado previamente más allá de su temperatura líquida. El aire presente inicialmente en las células 15 se escapa entonces bien sea por el canal 16 de llenado propiamente dicho (figura 5A) o por un respiradero 17 previsto a este efecto en un extremo de las células 15 (figura 5B). Para limitar los problemas de oxidación, el vertido del material MCP en estado líquido se realiza preferentemente bajo una atmósfera protectora o bajo vacío. Como se ha ilustrado en la figura 5B, se puede prever una comunicación entre células 15 por canales 18 previstos a este efecto a partir de la etapa de mecanizado a/ de las ranuras.

30 Según una variante preferida, se coloca inicialmente el módulo intercambiador de calor obtenido según la etapa c/ y el material MCP en estado sólido en un contenedor estanco 19 (figura 5C). El conjunto se desgasifica entonces con el fin de reducir el contenido en oxígeno. El calentamiento del conjunto más allá de la temperatura líquida del material MCP permite su circulación del MCP por las células 15 (figura 5C).

35 Según otra variante, el llenado de las células se realiza por la inserción de cilindros o de paralelepípedos de MCP en estado sólido en las células 15 a través de pasos 20 previstos a este efecto (figura 5D). Se asegura desde luego que el volumen unitario de un cilindro o paralelepípedo de material MCP sólido sea inferior al volumen unitario de una célula 15 con el fin de permitir la expansión del MCP en su fusión.

40 Etapa e/: se posiciona entonces al menos otra placa metálica, llamada placa de cierre, contra las placas ya ensambladas con el fin de cerrar cada extremo desembocante de cada célula 15 llena de material MCP.

Etapa f/: se ensamblan por último la(s) placa(s) de cierre con las placas ya ensambladas bien sea por soldadura o bien por soldadura por medio de un metal.

45 Para validar la aplicación posible de un módulo intercambiador de calor que integra un material MCP que acaba de describirse con procedimientos que funcionan a altas temperaturas, se ha realizado una simulación numérica del comportamiento térmico.

50 El módulo intercambiador 1 que ha sido objeto de la simulación se representa esquemáticamente en la figura 6: está constituido por placas 10.1, 10.2, 10.3 de aleación a base de níquel, tipo inconel 600 mecanizadas con el fin de formar una hilera de cuatro canales 13 de circulación de fluido frente a una hilera de cuatro células 15 que contienen un material MCP. Cada canal 13 tiene formas y dimensiones idénticas a cada célula 15. Un canal 13 tiene una altura h de 5 mm y una anchura l de 10 mm. La longitud total L<sub>0</sub> del módulo de intercambiador es de 180 mm, su altura H es de 16 mm y su anchura L<sub>a</sub> de 48 mm. Las paredes laterales 10 tienen un espesor e<sub>1</sub> de 1 mm, las otras paredes 10 tienen un espesor e<sub>2</sub> de 2 mm. En el ejemplo de simulación, todos los canales 13 y las células 15 son alargados

según un eje respectivamente X1, X2 paralelo al eje longitudinal del intercambiador 1.

Así, las dimensiones retenidas para las diferentes partes del intercambiador conducen a una porosidad (volumen fluido/volumen total) del 26% y una fracción volúmica de MCP (volumen MCP/volumen total) del 26%.

- 5 El intercambiador se somete a un flujo térmico de forma cíclica en su superficie superior 12.1 y es refrigerado por un fluido que circula por los canales 13 a la temperatura de 300°C.

La temperatura de entrada del fluido, es decir a la entrada de los canales 13, se supone constante con el tiempo. El intercambio térmico entre las paredes de los canales 13 y el fluido se modeliza mediante un coeficiente de intercambio constante de 500 W/m<sup>2</sup>/K.

- 10 En la tabla dada a continuación se resumen las propiedades térmicas de los materiales de las placas y del MCP utilizadas para la simulación numérica. Las propiedades físicas del material MCP utilizado son las de una aleación de aluminio-silicio (AlSi). Se entiende que la aleación AlSi solo se cita a título ilustrativo.

TABLA

| Material | Conductividad térmica (W/m/K) | Masa volúmica (kg/m <sup>3</sup> ) | Capacidad calorífica (J/kg/K) | Temperatura de fusión (°C) | Calor latente de fusión (KJ/kg) |
|----------|-------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| Inconel  | 15                            | 7800                               | 500                           | N/A                        | N/A                             |
| MCP      | 160                           | 2700                               | 1400                          | 576                        | 560                             |
| Cobre    | 400                           | 8700                               | 385                           | N/A                        | N/A                             |

- 15 La simulación se lleva a cabo durante un tiempo de 600 segundos modificando el flujo térmico aplicado sobre la superficie superior 12.1 de 250 KW/m<sup>2</sup> a 150 KW/m<sup>2</sup>, como se simboliza por el gráfico de la figura 7.

Se observa en respuesta a la aplicación de este flujo térmico cíclico, la variación con el tiempo de la temperatura de salida del fluido de los canales 13.

En el arranque del transitorio, el flujo aplicado es de 250 kW/m<sup>2</sup>, lo cual conduce a la fusión del MCP a partir de un tiempo de 70 s aproximadamente (figura 8).

- 20 En los ciclos sucesivos, el cambio de fase del material MCP permite nivelar las variaciones de temperatura en el intercambiador y conduce a un flujo térmico intercambiado con el fluido casi constante, como se ha ilustrado por la curva con cruz en la figura 8.

- 25 En la figura 9 se ha ilustrado, en forma de curvas, la evolución de las temperaturas de las diferentes paredes A, B, C con o sin materiales MCP según la invención en el transcurso de los ciclos: se desprende claramente de esta figura 9, que el material MCP en las células 15 conduce igualmente a una temperatura de pared A, B, C de los canales 13, 15 casi constante. En esta figura 9 se precisa que, las células 15 que no llevan material MCP, comprenden cobre en su lugar.

- 30 Así, la energía absorbida o liberada por el cambio de fase del material, igual a 300 kJ/m o sea 54,4 kJ, compensa la variación de potencia incidente, igual a 240 kJ/m o sea 43,2 kJ, en cada ciclo y la conductividad térmica elevada del material MCP, igual a 160 W/m/K, permite movilizar rápidamente el conjunto del material.

- 35 Como se puede apreciar en esta figura 9, las variaciones de temperatura en la pared externa A, que son del orden de los 125°C en el caso del intercambiador sin MCP están limitadas a aproximadamente 20°C en el caso del intercambiador según la invención que integra el material MCP. Las variaciones de la temperatura en el interior de un canal 13 de circulación de fluido, son en cuanto a las mismas de 100°C para células 15 de cobre, mientras que las mismas son de menos de 5°C para las células 15 llenas de material MCP.

- 40 En otras palabras, se puede concluir basándose en esta simulación, numérica, que un módulo intercambiador según la invención que integra un material MCP en sus células 15, presenta la capacidad de nivelar las fluctuaciones de temperatura del fluido a la salida de los canales 13 del intercambiador y de este modo proporcionar a los componentes con un sistema situados aguas abajo del intercambiador condiciones de funcionamiento estables. Una nivelación de este tipo permite limitar los problemas de fatiga térmica en el intercambiador propiamente dicho, y en los componentes de un sistema, aguas abajo del intercambiador. Dicho de otro modo, gracias a la invención se

puede aumentar la duración de un módulo intercambiador de circulación de fluidos así como el de los componentes de un componente aguas abajo.

En el ejemplo de simulación que acaba de describirse, los canales 13 y las células 15 que contienen el MCP son paralelos. A título de variante alternativa, se pueden realizar los canales 13 de circulación de fluido 13 y las células 15 que contienen el material MCP perpendicularmente. Una variante alternativa de este tipo se ilustra en las figuras 10A y 10B en las cuales los ejes X1 de las células se encuentran a 90° del eje X longitudinal del intercambiador según el cual los canales 13 son realizados. Una variante de este tipo resulta ventajosa pues permite mejorar aún el comportamiento mecánico del intercambiador a las sollicitaciones inducidas por los cambios de volumen del material MCP en su fusión/solidificación.

Según una variante de realización, se puede prever disponer las células 15 que contienen los MCP al tresbolillo con relación a los canales 13 de circulación de los fluidos con el fin de mejorar también los intercambios térmicos entre fluido y material MCP (figura 11).

Según una variante de realización, en la etapa b/ se pueden introducir tubos 14 metálicos preformados de sección cuadrada o rectangular individualmente en las ranuras para los canales 13 y las células 15 (figuras 12 a 14). Se realiza entonces una etapa c/ de compresión isostática en caliente CIC aplicando la presión también en el interior de los tubos. Por otro lado solo las células 15 pueden estar constituidas por tubos, estando los canales 13 entonces constituidos por las ranuras, y viceversa En la variante ilustrada en la figura 13, se aprecia por otro lado que es posible realizar canales 13 de fluido a uno y otro lado de una hilera de células 15, encontrándose los canales 13 cerca de cada superficie 12.1, 12.2 del intercambiador en contacto con el medio circundante.

Para delimitar las células 15 o canales 13, se pueden implantar en las ranuras en la etapa b/, elementos de inserción cuya función es la de impedir cualquier deformación importante de los canales o células durante el ciclo de compresión isostática en caliente. Los elementos de inserción se suprimirán entonces una vez obtenido el ensamblado, bien sea por fusión en el caso de un material con punto de fusión inferior a la temperatura de soldadura, o por ataque ácido.

En el caso en que se elija un material MCP de conductividad térmica elevada, por ejemplo cuando se trata de un metal, puede resultar ventajoso reducir las dimensiones de las células 15 y aumentar su número. La presencia de paredes de material de estructura alrededor de células 15 de dimensiones más pequeñas confiere al intercambiador un mejor comportamiento mecánico a las sollicitaciones inducidas por los cambios de volumen del material MCP en su fusión/solidificación.

Una variante puede consistir en utilizar un módulo intercambiador 1 según la invención como pared 10 de separación de dos fluidos a temperaturas diferentes con el fin de nivelar las variaciones de temperatura de un sistema. La forma de la pared 10 puede adaptarse a la aplicación y puede ser particularmente cilíndrica (figura 15A) o plana (figura 15B) o según cualquier otra forma. Una utilización de este tipo como pared 10 de separación puede ser por ejemplo para un sistema de combustión de un combustible fósil o de biomasa o para un sistema industrial que emita un gas caliente de forma cíclica.

Un módulo de intercambiador de calor 1 según la invención puede ser realizado para comprender dos circuitos de circulación de fluidos distintos, 13.1, 13.2 con el fin de nivelar las variaciones de temperatura de uno de los fluidos (figura 16).

Un módulo intercambiador de calor puede constituir un reactor-intercambiador que comprenda un circuito de circulación de fluido de reactantes en un canal único 13.1 y un circuito de circulación de fluido utilizado en dos hileras de canales 13.2 por uno y otro lado de un canal 13.1 (figuras 17A y 17B). Las células 15 de confinamiento del material MCP pueden ser introducidas entre los canales 13.1 y 13.2 (figura 17A) o por fuera de los canales 13.2 de circulación del fluido utilizado (figura 17B). En estos casos, el material MCP permite reducir significativamente la velocidad de subida en temperatura del reactor-intercambiador y facilita la intervención de un operario y/o la respuesta de un autómata de control.

La invención puede aplicarse bajo una de las formas descritas para el almacenado del calor o para el nivelado de las fluctuaciones de temperaturas con el fin de garantizar la seguridad o aumentar la duración de los componentes de un sistema y del módulo de intercambiador de calor propiamente dicho. Se pueden citar los componentes siguientes cuya nivelación de las fluctuaciones de las temperaturas resulta particularmente ventajoso: turbinas, motores de tipo Stirling, intercambiadores,....

De igual modo, se puede citar una lista no exhaustiva de aplicaciones posibles de un módulo intercambiador según la invención:

- almacenado del calor producido por un receptor solar en el día para una utilización al anochecer o por la noche.
- 5     - recuperación del calor perdido de forma cíclica por un procedimiento industrial (fundición, acería) para alimentar otro procedimiento;
- reducción de la caída de temperatura del fluido caloportador en una central solar de concentración en variaciones de soleado (paso de nubes);
- protección de los componentes de un sistema micro-electrónico;
- 10    - limitación de las variaciones térmicas en el caso de reacciones exotérmicas o endotérmicas en el seno de un reactor intercambiador;
- estabilización de la temperatura en células electroquímicas (baterías eléctricas, células de electrolisis de vapor de agua a alta temperatura EVHT).
- 15    - amortiguamiento de las oscilaciones de temperaturas de los gases en una unidad de combustión de combustible fósil o de biomasa.

La invención no se limita a los ejemplos que acaban de describirse; se pueden particularmente combinar entre sí las características de los ejemplos ilustrados en el seno de variantes no ilustradas.

#### **REFERENCIAS CITADAS**

- 20    [1]: Maruoka N., Sato K., Yagi J, Akiyama T. "Development of PCM for Recovering High Temperature Waste Heat and Utilization for Producing Hydrogen by Reforming Reaction of Methane" ISIJ International, Vol 42 (2002), No. 2, páginas 215-219.
- [2] Nomura T. "Technology of Latent Heat Storage for High Temperature Application: A Review" ISIJ International, Vol. 50 (2010), No. 9, páginas 1229-1239.
- 25    [3] Kenisarin M. "High-temperature phase change materials for thermal energy storage", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14 (2010) páginas 955-970.
- [4]: Farid M. M. et al. "A review on phase change energy storage: materials and applications" Energy Conversion and Management 45 (2004) páginas 1597-1615.
- [5]: Liwu Fan, J.M.Khodadadi "Thermal conductivity enhancement of phase change materials for thermal energy-storage: A review" Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15 (2011) páginas 24-46.
- 30    [6]: Birchenall C. Ernest, Riechman Alan F. "Heat storage in Eutectic Alloys" Metallurgical Transactions, Vol. 11A (1980), páginas 1415-1420.
- [7]: Farkas D., Birchenall C.E. "New Eutectic Allots and Their Heats of Transformation" Metallurgical Transactions Vol 15A (1985), páginas 323-327.
- 35    [8]: N. Sharifi, Th. L. Bergman, A. Faghri "Enhancement of PCM melting in enclosures with horizontally-finned internal surfaces" International Journal of Heat and Mass Transfer 54 (2011) páginas 4182-4192.
- [9]: Bo M.L. et al. "Research of Steam Boiler Using High Temperature Heat Pipe Based on Metal Phase Change Material" 2011 International Conference on Computer Distributed Control and Intelligent Environmental Monitoring.
- 40    [10]: Guansheng C., Renyuan Z., Feng L., Shidong L., Li Z. "Numerical Simulation and Experimental Research of Heat Chargin Process of Cylindrical Units with PCM of Al-Si Alloy. 2011" International Conference on Engineering Materials, Energy, Management and Control, MEMC 2011.

## REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de realización de un módulo de intercambiador de calor (1) que comprende al menos un circuito de fluido (13, 13.1, 13.2) y que comprende al menos un canal (13) de circulación de fluido, al menos una célula (15) que contiene un material de cambio de fase (MCP), en el cual cada canal es adyacente a al menos una célula, comprendiendo el procedimiento las etapas siguientes:
  - a/ mecanizado de al menos una ranura en una placa metálica (10.1, 10.2, 10.3), desembocando la ranura en al menos uno de sus extremos;
  - b/ posicionamiento de otra placa metálica (10.1, 10.2, 10.3) contra la placa mecanizada de forma que al menos una ranura de la placa mecanizada delimite una parte de una célula;
  - c/ ensamblado de las placas metálicas entre sí, bien sea por compresión isostática en caliente (CIC), o por compresión uniaxial en caliente (CUC) con el fin de obtener una soldadura por difusión entre las placas metálicas, o por soldadura por medio de un metal, delimitando al menos una ranura de la placa mecanizada y ensamblada con la otra placa una célula desembocante en al menos uno de sus extremos;
  - d/ llenado de cada célula mediante un material de cambio de fase (MCP) de tipo sal o aleación metálica, o por vertido del material MCP en estado líquido o por inserción del material MCP en estado sólido;
  - e/ posicionamiento de otra placa metálica, llamada placa de cierre, contra las placas ya ensambladas con el fin de cerrar cada extremo desembocante de cada célula llenada de material MCP;
  - f/ ensamblado de la placa de cierre con las placas ya ensambladas bien sea por soldadura o por soldadura por medio de un metal.
2. Procedimiento de realización de un módulo de intercambiador de calor (1) que comprende al menos un circuito de fluido (13, 13.1, 13.2) y que comprende al menos un canal (13) de circulación de fluido, al menos una célula (15) que contiene un material de cambio de fase (MCP), en el cual cada canal es adyacente a al menos una célula, comprendiendo el procedimiento las etapas siguientes:
  - a1/ mecanizado de al menos una ranura en una placa metálica; (10.1, 10.2, 10.3);
  - b1/ llenado de al menos un contenedor por un material de cambio de fase (MCP) de tipo sal o aleación metálica, bien sea por vertido del material MCP en estado líquido o por introducción del material MCP en estado sólido;
  - b2/ puesta bajo vacío y realización de la estanqueidad del (de los) contenedor(es) llenado(s) de material MCP;
  - b3/ alojamiento del (de los) contenedor(es) en la (las) ranura(s);
  - b4/ posicionamiento de otra placa metálica (10.1, 10.2, 10.3) contra la placa mecanizada de forma que al menos una ranura de la placa mecanizada delimite una parte de una célula que contiene el (los) contenedor(es) lleno(s) de material MCP;
  - c1/ ensamblado de las placas metálicas entre sí y con el (los) contenedor(es), bien sea por compresión isostática en caliente (CIC), o por compresión uniaxial en caliente (CUC) con el fin de obtener una soldadura por difusión entre las placas metálicas y contenedor(es), o por soldadura por medio de un metal, al menos una ranura de la placa mecanizada y ensamblada con la otra placa que delimita una célula que contiene el (los) contenedor(es) lleno(s) de material MCP.
3. Procedimiento de realización de un módulo de intercambiador de calor según la reivindicación 1 o 2, según el cual la pared de una de las placas metálicas ensambladas según la etapa c/ o c1/ constituye una parte de un canal de un circuito de fluido del intercambiador.
4. Procedimiento de realización de un módulo de intercambiador de calor según una de las reivindicaciones 1 a 3, según el cual se realiza la etapa a/ o a1/ con el fin de obtener al menos una ranura desembocante en sus dos extremos, permitiendo las etapas b/ y c/ o b4/ y c1 obtener al menos una ranura de la placa mecanizada y ensamblada con la otra placa que delimita un canal de circulación de fluido que desemboca en sus dos extremos, no siendo realizadas las etapas d/ a f/, con el fin de dejar que desembogue el canal de circulación de fluidos en sus dos extremos, constituyendo el mencionado canal un canal de un circuito de fluidos del intercambiador.
5. Procedimiento de realización de un módulo de intercambiador de calor según una de las reivindicaciones

anteriores, según el cual la otra placa metálica posicionada y ensamblada según la etapa b/ y c/ o b4/ y c1/ es igualmente mecanizada por al menos una ranura desembocante en al menos uno de sus extremos y constituyendo una parte de una célula.

5 **6.** Procedimiento de realización de un módulo de intercambiador de calor según una de las reivindicaciones anteriores, según el cual se realizan las etapas a/ a f/ o a1/ a c1/ con el fin de crear un conjunto de canales de fluidos que definen dos circuitos distintos y un conjunto de células que contienen un material MCP.

10 **7.** Procedimiento de realización de un módulo de intercambiador de calor según una de las reivindicaciones anteriores, según el cual antes de la etapa c/ o c1/ por compresión isostática en caliente (CIC), se introduce un tubo preformado en cada ranura, constituyendo el tubo una parte de una célula de confinamiento del material MCP o una parte de un canal de un circuito de fluido del intercambiador.

**8.** Procedimiento de realización de un módulo de intercambiador de calor según una de las reivindicaciones anteriores, según el cual antes de la etapa c/ o c1/ por compresión isostática en caliente (CIC), se introduce un elemento fusible en cada ranura.

15 **9.** Procedimiento de realización de un módulo de intercambiador de calor según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, según el cual las placas metálicas son de acero al carbono, de acero inoxidable, o de aleación a base de níquel o de titanio, realizándose la etapa c/ o c1/ por compresión (CIC) o por compresión (CUC) y siendo realizada la etapa f/ mediante soldadura.

20 **10.** Procedimiento de realización de un módulo de intercambiador de calor según la reivindicación 9, según el cual la(s) célula(s) y llegado el caso el (los) canal(es) de circulación de fluidos al estar constituido(s) por ranuras mecanizadas en un material cerámico, tal como grafito, carburo de silicio (SiC), nitruro de silicio (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) o en material nano-laminar (fase MAX), siendo realizadas las etapas c/ o c1/ y f/ se realiza mediante soldadura por medio de un metal.

25 **11.** Procedimiento de realización de un módulo de intercambiador de calor según una de las reivindicaciones anteriores, según el cual previamente a la etapa c/ o c1/ se posiciona al menos una placa metálica plana (12.1, 12.2), contra la superficie no mecanizada de una placa metálica de ranura(s), constituyendo la superficie de la otra placa metálica plana opuesta a la posicionada contra una placa de ranura(s) la superficie externa del módulo de intercambiador destinada para ponerse en contacto con un flujo de calor procedente de un medio circundante.

30 **12.** Módulo de intercambiador de calor (1) que comprende al menos un circuito de fluido que comprende al menos un canal de circulación de fluido (13, 13.1, 13.2) al menos una célula que contiene un material de cambio de fase (MCP) de tipo sal o aleación metálica, estando al menos la(s) célula(s) delimitada(s) por paredes (10) de al menos una primera placa metálica (10.1, 10.2, 10.3) bien sea soldada, o soldada por difusión, o soldada por medio de un metal a una segunda placa metálica (10.1, 10.2, 10.3), y comprendiendo bien sea una placa de cierre soldada a una y/u otra de las primera y segunda placas metálicas, y que cierra cada extremo desembocante de cada célula llena de material MCP, o un(os) contenedor(es) lleno(s) del material MCP contenido en la al menos una célula.

35 **13.** Módulo de intercambiador de calor según la reivindicación 12, que comprende al menos una superficie externa (12.1) destinada para ponerse en contacto con un flujo de calor procedente de un medio circundante.

**14.** Utilización de un módulo de intercambiador de calor según una de las reivindicaciones 12 o 13, en la cual los intercambios térmicos entre el flujo de calor procedente del medio circundante se realizan a elevadas temperaturas.

40 **15.** Utilización según la reivindicación 14 para almacenar el calor con miras a su utilización diferida o para nivelar las fluctuaciones de temperatura del circuito de fluidos.

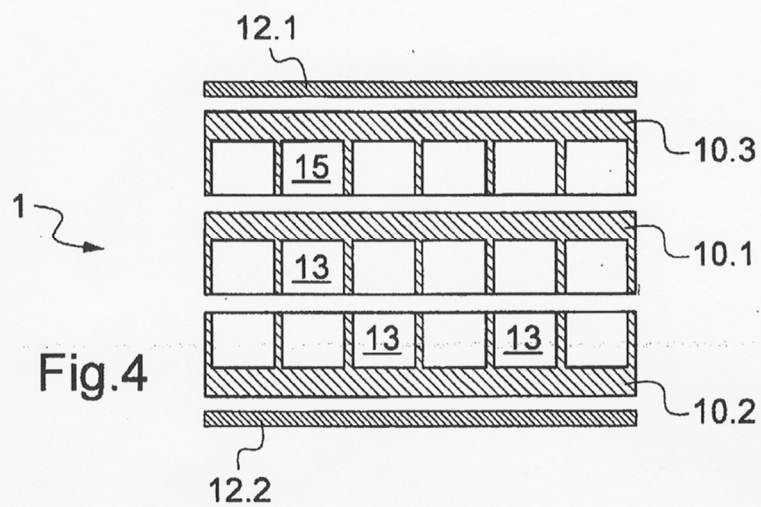
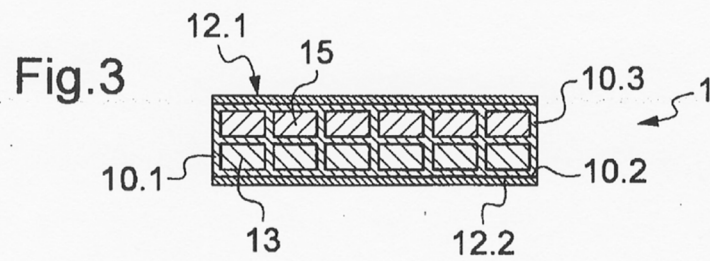
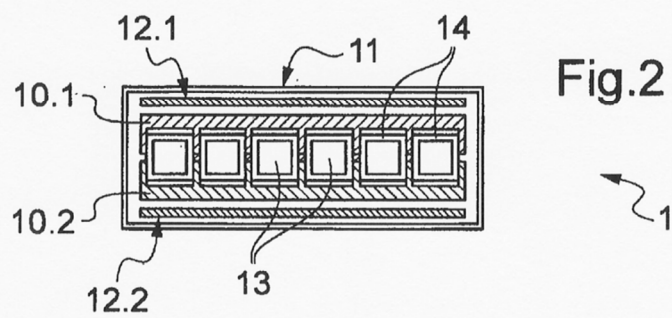
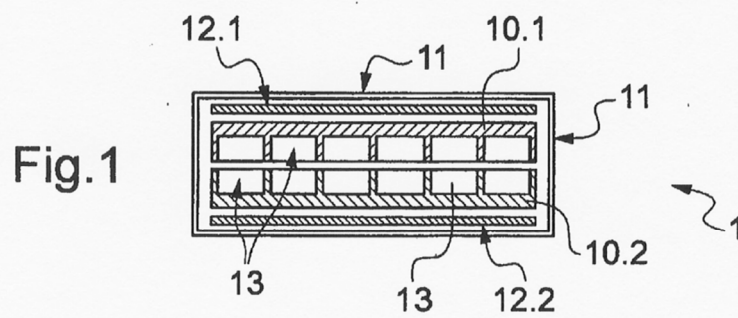


Fig.5a

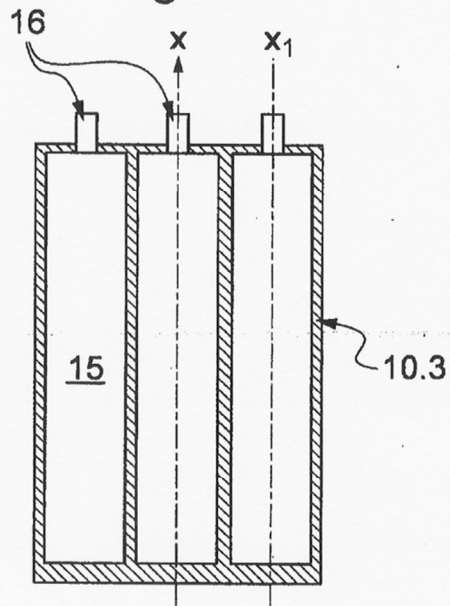


Fig.5b

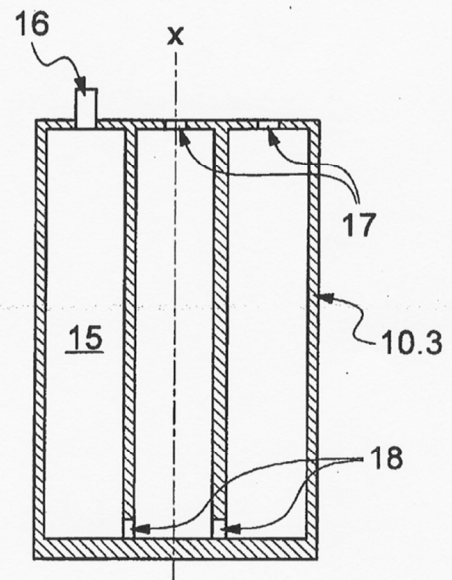


Fig.5c

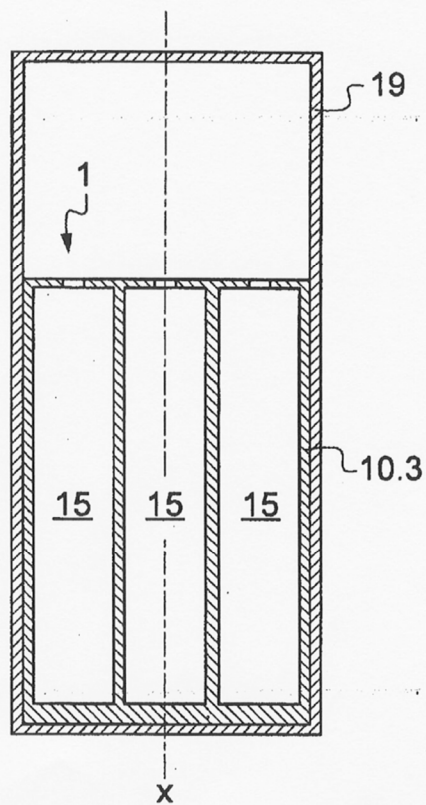


Fig.5d

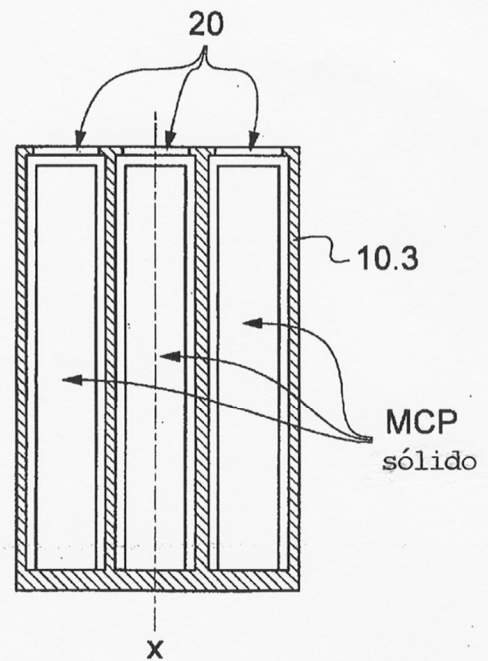


Fig.6

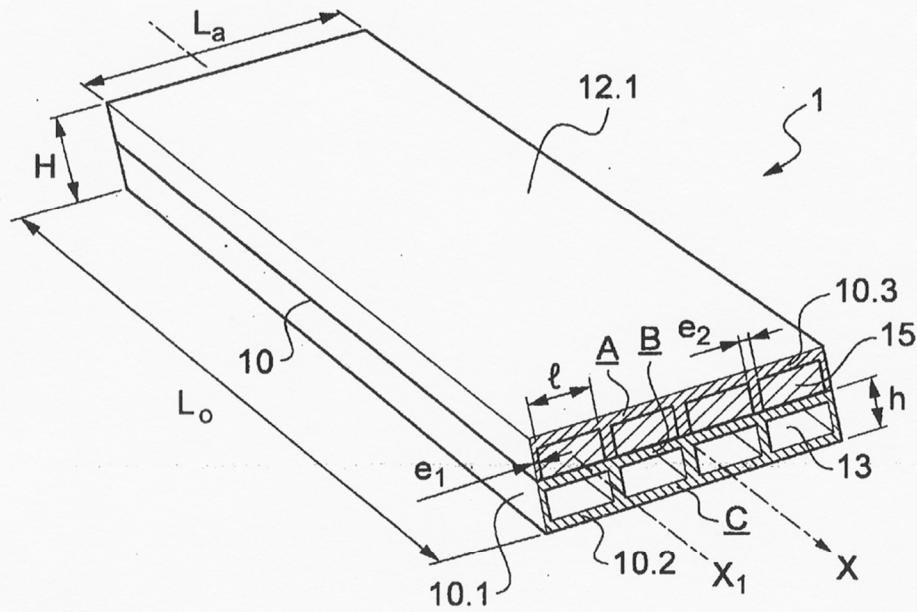


Fig.7

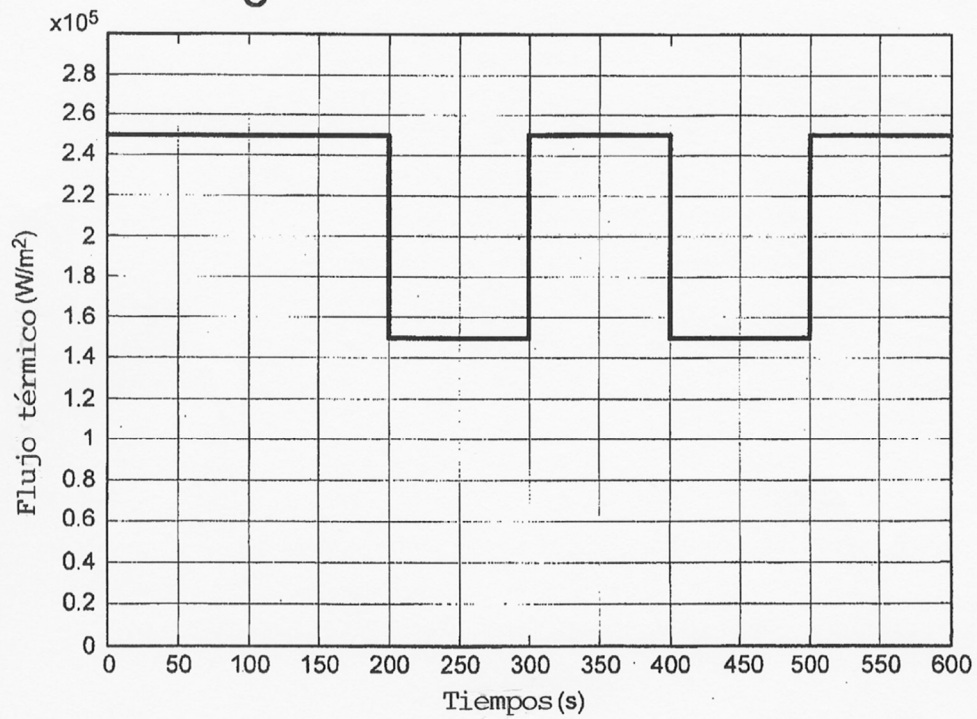


Fig.8

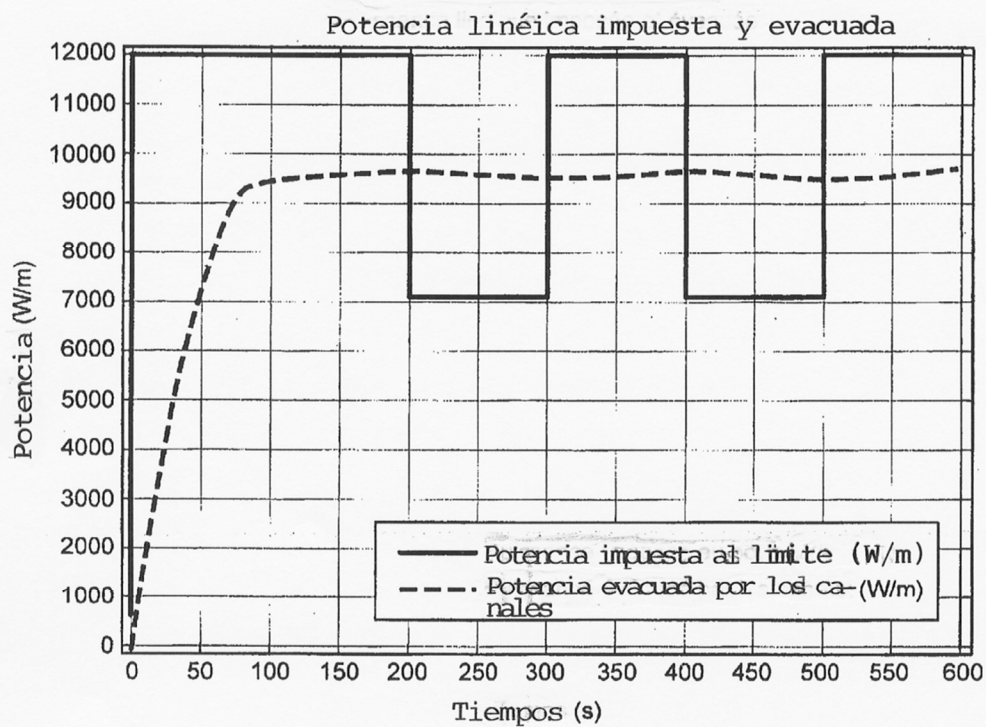


Fig.9

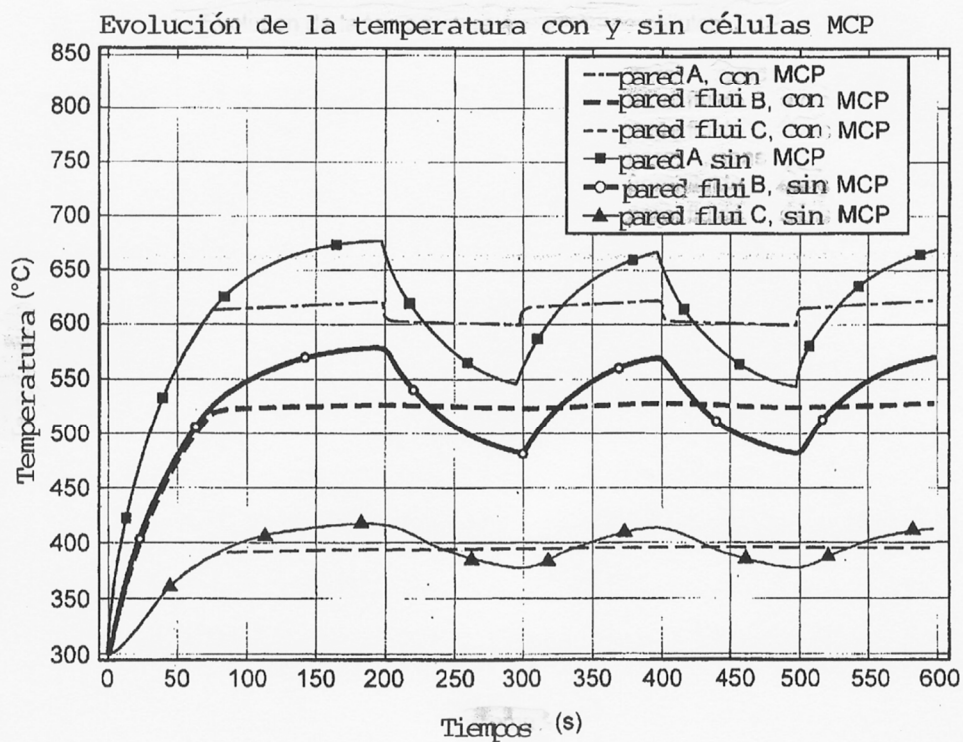


Fig.10a

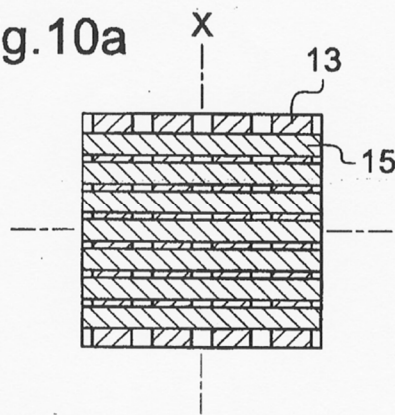


Fig.10b

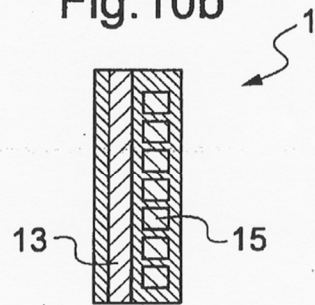


Fig.11

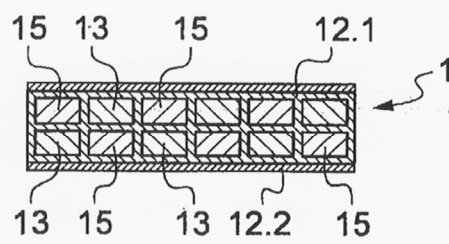


Fig.12

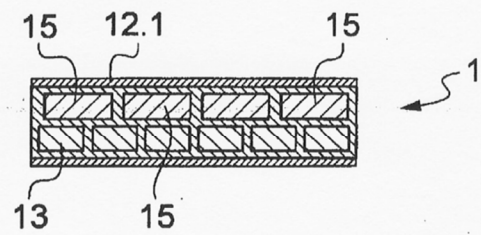


Fig.13

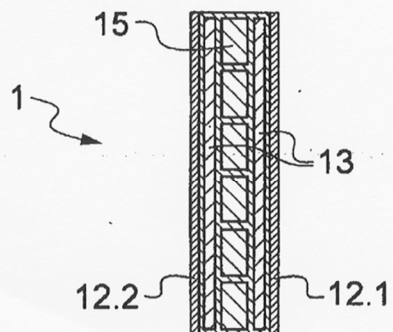


Fig.14

