

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 689 993**

51 Int. Cl.:

**C03C 27/04** (2006.01)

**F24S 20/20** (2008.01)

**F24S 70/00** (2008.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.04.2012** **E 12425076 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.07.2018** **EP 2626336**

54 Título: **Unión entre vidrio y metal para un receptor solar**

30 Prioridad:

**09.02.2012 EP 12425025**

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

**16.11.2018**

73 Titular/es:

**ARCHIMEDE SOLAR ENERGY SRL (100.0%)**

**Loc. CimaColle 464**

**06056 Massa Martana (PG), IT**

72 Inventor/es:

**RAGGI, CLAUDIO y  
CHIARAPPA, THOMAS**

74 Agente/Representante:

**TORNER LASALLE, Elisabet**

**ES 2 689 993 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

Unión entre vidrio y metal para un receptor solar

5 La presente invención versa acerca de un dispositivo de estanqueidad entre vidrio y metal, acerca de un procedimiento para producir un dispositivo de estanqueidad de vidrio y metal y acerca de un receptor solar tubular según los preámbulos de la reivindicación 1, 11 y 12, respectivamente.

Un componente clave de una artesa parabólica de CSP (energía solar concentrada) es el elemento colector de calor (HCE) también conocido como receptor solar. Uno de los principales problemas que este elemento que es preciso afrontar y solucionar es su estanqueidad, para conservar una presión de vacío diseñada adecuada para reducir las pérdidas térmicas únicamente a fenómenos radiantes.

10 En un receptor solar, el componente más crítico que sufre posibles pérdidas de vacío es la conexión entre el vidrio y el metal, también conocida como unión entre vidrio y metal (GMS).

15 Las centrales solares de artesas parabólicas de CSP están diseñadas para producir energía concentrando rayos solares en un receptor solar, cuyo interior es atravesado por un fluido de transferencia de calor (HTF); calentándose el fluido de transferencia hasta temperaturas elevadas (hasta 580-600 °C) y permitiendo, en un bloque de alimentación separado, la producción de vapor y, por lo tanto, de electricidad por medio de una turbina dedicada.

20 Para que el ciclo termodinámico funcione de forma apropiada, el receptor solar tiene que absorber máximamente los rayos solares concentrados y liberar mínimamente el calor. Un revestimiento selectivo espectral que cubre el tubo de acero inoxidable está optimizado para conseguir una absorbancia elevada y una emisividad reducida; además, se minimiza la pérdida térmica encapsulando el tubo en un entorno de vacío por medio de un tubo cilíndrico coaxial de vidrio (que tiene una transmitancia óptica elevada).

El vacío es obligatorio para reducir las pérdidas térmicas únicamente a fenómenos radiantes.

Entonces, un receptor solar contendrá, necesariamente, dos transiciones de vidrio a metal, también conocidas como uniones entre vidrio y metal (GMS), que, ciertamente, representan el componente más crítico a posibles pérdidas de vacío.

25 Las soluciones de GMS desarrolladas para tubos de recepción de energía solar en el campo de la CSP han sido motivadas tanto por los requisitos tecnológicos como también por las necesidades del mercado y empresariales.

30 La Figura 1 ilustra, de forma esquemática, un receptor solar que comprende un tubo metálico interno, no mostrado, y un tubo externo de vidrio que están conectados entre sí por medio de dos uniones 10 entre vidrio y metal y por medio de dos fuelles metálicos, no mostrados, soldados al tubo metálico interno. Cada unión 10 entre vidrio y metal comprende un collar metálico 11, también conocido como tapa metálica o anillo metálico, y un cilindro 12 de vidrio sellados entre sí, según se muestra esquemáticamente en la Figura 3. El cilindro 12 de vidrio está conectado con la porción central 13 de vidrio del tubo externo de vidrio.

En la técnica se conocen varios tipos distintos de uniones entre vidrio y metal con diversos vidrios y metales con distintos coeficientes de dilatación térmica y técnicas de sellado.

35 Según se utiliza en la presente memoria, el coeficiente de dilatación térmica (TEC) de un material se define como la relación entre el alargamiento,  $\Delta L$ , y la longitud apropiada,  $L$ , de un material cuando experimenta un cambio de temperatura  $\Delta T$ .

40 Según la divulgación de dos patentes US del Sr. Houskeeper en 1919 (US 1 293 441 y US 1 294 466), se conoce una técnica para compensar las desventajas causadas por la diferencia en los coeficientes TEC del vidrio y del metal, en la que se mejora el cierre hermético entre vidrio y el metal reduciendo el grosor de una porción del elemento metálico con una geometría según lo propuesto por el Sr. Houskeeper.

45 Según una técnica conocida de GMS, se ha desarrollado una unión GMS entre un acero inoxidable de calidad (aisi430) con un vidrio de borosilicato de la familia 3.3. Por desgracia, tal unión GMS entre el acero Aisi430 y el vidrio de borosilicato 3.3 adolece de la desventaja de tener una diferencia muy grande entre los valores de los coeficientes de dilatación térmica (TEC) del metal y del vidrio, con un impacto negativo sobre la GMS bajo fuerzas mecánicas inducidas por variaciones térmicas. De hecho, los valores de TEC son: casi constantes hasta  $3.3 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  para el vidrio y entre  $[10-12] \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  para el metal en el intervalo de temperatura de  $[50-450] \text{ }^\circ\text{C}$ .

50 Según otra técnica conocida de GMS (patente US nº 7.562.655), se ha desarrollado una unión GMS entre una aleación austenítica con concentraciones bien definidas de níquel y cobalto (conocida habitualmente como aleación similar a Kovar, DIN 17745, ASTM F15) con un vidrio de borosilicato de la familia 5.1. Por desgracia, tal unión GMS tiene las desventajas de que el Kovar es una aleación bastante costosa (oscila con las fluctuaciones del precio del mercado del níquel) y que el vidrio 5.1 que satisface las especificaciones dimensionales CSP sigue siendo poco común en el mercado del vidrio.

Según otras técnicas conocidas, se adoptan vidrios de transición en las uniones GMS para limitar el vidrio 5.1 únicamente a la parte (10) de GMS, uniendo entre sí, por lo tanto, una solución entre kovar y 5.1 con un vidrio 3.3, según se muestra en la Figura 2. La Figura 2 es un dibujo que ilustra, de forma esquemática, una porción del tubo externo de vidrio del receptor solar que comprende una unión GMS pareja 10 con un vidrio distinto para la porción central 13 de vidrio empleando un conjunto de vidrios de transición que tienen distintos TEC como, por ejemplo, un 1<sup>er</sup> vidrio 21 de transición, un 2<sup>o</sup> vidrio 22 de transición y un enésimo vidrio 23 de transición, colocados entre la unión GMS 10 y la porción central 13 del tubo de vidrio. Por desgracia, tales uniones GMS tienen las desventajas de que los vidrios de transición son costosos y el procedimiento de fabricación es complejo.

Otra tecnología conocida de sellado como, por ejemplo, soldadura por láser, es cómoda pero aún más sensible a las tolerancias de las materias primas y a las especificaciones dimensionales.

El documento GB 2103350 da a conocer un ejemplo de forma de unión entre vidrio y metal en un colector de radiación solar. El colector de radiación solar comprende una envolvente de vidrio en torno a una placa de absorción montada en un tubo metálico que se comunica con un condensador de intercambio de calor, estando sellada la envolvente de vidrio en torno al tubo metálico utilizando un collar metálico intermedio. El collar metálico está sellado en un extremo en torno al tubo metálico y, en su otro extremo, su grosor se ahúsa hasta un filo y se sella el vidrio al interior del filo.

El documento WO 2011/ 132107 da a conocer una composición metálica para una unión entre metal y vidrio de borosilicato en un colector solar tubular, estando compuesto el metal de los siguientes elementos de aleación Ni, Co, Mn, Si, C, Ti, Zr, Ta en intervalos dados de porcentaje en peso y estando compuesta la parte restante del metal de hierro (Fe) además de las impurezas inevitables.

Por lo tanto, el objetivo de la presente invención es superar las desventajas mencionadas anteriormente, en particular al proporcionar un dispositivo de estanqueidad entre vidrio y metal, un procedimiento para producir un dispositivo de estanqueidad entre vidrio y metal y un receptor solar tubular distinto de una solución completamente pareja (como, por ejemplo, entre kovar y vidrio 5.1 costoso y poco común en el mercado) y de una solución de vidrio de transición (caracterizada por un vidrio más económico utilizado únicamente para la porción central 13 de vidrio) por medio de una unión GMS directa entre un vidrio de borosilicato [3,1-3,5] TEC y una aleación austenítica que tienen distintos coeficientes de dilatación térmica.

Se logra el objetivo mencionado anteriormente mediante un dispositivo de estanqueidad entre vidrio y metal de un receptor solar, comprendiendo el dispositivo un collar metálico y un cilindro de vidrio que han de ser sellados entre sí, comprendiendo el dispositivo, además, las siguientes características:

a) el cilindro de vidrio está fabricado de un vidrio de borosilicato que tiene un coeficiente de dilatación térmica en el intervalo de  $[3,1-3,5] \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  en el intervalo de temperatura de [50-450]°C;

b) el collar metálico está fabricado de una aleación austenítica que tiene un coeficiente de dilatación térmica en el intervalo de  $[3,5-6,0] \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  en el intervalo de temperatura de [50-450] °C;

c) la porción extrema del collar metálico está biselada, de forma que se aumente su flexibilidad mecánica;

d) la porción extrema del collar metálico es procesada mediante un tratamiento térmico para establecer una unión entre las superficies del metal y del vidrio.

También se logra el objetivo mencionado anteriormente mediante un procedimiento para producir un dispositivo de estanqueidad entre vidrio y metal de un receptor solar, comprendiendo el dispositivo un collar metálico y un cilindro (12) de vidrio que han de ser sellados entre sí, comprendiendo el procedimiento las siguientes etapas:

a) proporcionar, como vidrio para el cilindro de vidrio, un vidrio de borosilicato que tiene un coeficiente de dilatación térmica en el intervalo de  $[3,1-3,5] \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  en el intervalo de temperatura de [50-450]°C;

b) proporcionar, como metal del collar metálico, una aleación austenítica que tiene un coeficiente de dilatación térmica en el intervalo de  $[3,5-6,0] \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  en el intervalo de temperatura de [50-450]°C;

c) biselar la porción extrema del collar metálico, de forma que aumente su flexibilidad mecánica;

d) procesar la porción extrema del collar metálico mediante un tratamiento térmico para establecer una unión entre las superficies de metal y de vidrio;

e) sellar entre sí las porciones extremas de collar del cilindro de vidrio y del collar metálico.

También se logra el objetivo mencionado anteriormente mediante un receptor solar tubular en el que el tubo externo de vidrio está conectado con el tubo metálico interno por medio del dispositivo de estanqueidad entre vidrio y metal según la invención propuesta.

5 Las realizaciones de la invención permiten conservar el vacío diseñado durante la vida útil prevista del elemento colector de calor (HCE). De forma ventajosa, la unión entre el cilindro de vidrio y la tapa metálica debería poder conservar una estanqueidad final deseada diseñada, es decir, una presión de  $p < 0,01$  Pa, al satisfacer los requisitos dimensionales dedicados, de forma que se garanticen, de forma fiable, la estabilidad y la durabilidad de la unión GMS.

Con las realizaciones de la invención, el componente de vidrio de la unión GMS experimenta esfuerzos principalmente compresivos, reduciendo los esfuerzos peligrosos de tracción hasta pocos MPa, lo que es perfectamente aceptable incluso para tubos normales de vidrio con un grosor de 3 mm.

10 Con las realizaciones de la invención, el resultado dimensional da lugar a un producto de GMS perfectamente coherente con las condiciones típicas de trabajo de una central solar, por lo tanto, es adecuado para aplicaciones de CSP.

Las realizaciones de la invención permiten lograr una simplificación en el procedimiento de fabricación, tanto desde el punto de vista del coste, así como desde el punto de vista de los rendimientos finales logrables para el producto diana de receptor solar.

15 Las realizaciones de la invención dan lugar a beneficios industriales en el campo de productos de GMS desparejos por las siguientes razones:

- materia prima: el vidrio de borosilicato 3.3 es un material bien conocido y sencillo de encontrar en el mercado;
- rendimientos del vidrio: el vidrio de borosilicato 3.3 alcanza con facilidad una transmitancia del 91,5 - 92,0%;
- 20 - coste de la materia prima: el vidrio de borosilicato 3.3 es más económico que el vidrio de borosilicato 5.1;
- simplificación del procedimiento de fabricación: el procedimiento de fabricación no contiene etapas prominentes de cuello de botella, por lo que se reducen los costes de fabricación.

25 Por lo tanto, las realizaciones de la invención dan lugar a reducciones apreciables del coste para receptores solares, contribuyendo a la reducción del coste promedio de la energía (LCOE) evaluado para la energía solar en centrales de artesas parabólicas de CSP.

Breve descripción de los dibujos

Figura 1 un dibujo que ilustra, de forma esquemática, un receptor solar (técnica anterior, descrito anteriormente);

30 Figura 2 un dibujo que ilustra, de forma esquemática, una porción de un receptor solar que comprende un dispositivo de GMS y un conjunto de vidrios de transición (técnica anterior, descrito anteriormente);

Figura 3 un dibujo que ilustra, de forma esquemática, una unión GMS (técnica anterior);

Figura 4 un dibujo que ilustra, de forma esquemática, un collar metálico según una realización ejemplar de la presente invención;

35 Figura 5 un dibujo que ilustra, de forma esquemática, un dispositivo de GMS según una realización ejemplar de la presente invención.

Descripción de realizaciones preferentes

La Figura 4 es un dibujo que ilustra, de forma esquemática, un collar metálico según una realización ejemplar de la presente invención.

40 La Figura 4(b) es un dibujo que ilustra, de forma esquemática, una porción extrema de la sección longitudinal del collar metálico 11 rodeado en la Figura 4a.

Según la presente invención propuesta, la unión GMS propuesta 10 entre el collar metálico 11 y el cilindro 12 de vidrio es un sellado desparejo entre vidrio y metal. De hecho, los materiales empleados de vidrio y de metal se comportan de forma distinta bajo gradientes térmicos, especialmente cuando se ha establecido una conexión física entre ellos, es decir el sellado. Cuanto más cercanos los valores correspondientes de TCE, menor es el esfuerzo mecánico sobre la región solapada. Adicionalmente, la velocidad de calentamiento o de enfriamiento es, ciertamente, distinta para los materiales de vidrio y de metal, con independencia de si se consideran juntas parejas o desparejas.

50 El cilindro 12 de vidrio está fabricado de un vidrio de borosilicato que tiene un coeficiente de dilatación térmica en el intervalo de  $[3,1-3,5] \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  en el intervalo de temperatura de  $[50-450]^\circ\text{C}$ . En una realización preferente, para el

campo de CSP, se utiliza un vidrio de borosilicato 3.3. De forma ventajosa, es sencillo de encontrar tal tipo de vidrio en el mercado a precios de materia prima.

5 El collar metálico 11 está fabricado de una aleación austenítica que tiene un coeficiente de dilatación térmica en el intervalo de  $[3,5-6,0] \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  en el intervalo de temperatura de  $[50-450]^\circ\text{C}$ . En una realización preferente de la invención, para el campo de CSP, tal aleación austenítica tiene una concentración adecuada de contenido de níquel y de cobalto, según las normas DIN 17745 / ASTM F15. En la técnica, los metales que satisfacen tales especificaciones también son conocidos como aleaciones similares a Kovar.

10 La porción extrema del collar metálico 11 está biselada, de forma que se aumente su flexibilidad mecánica. De forma ventajosa, con tal geometría desarrollada del collar metálico, se reducen las tensiones originadas en el lado del vidrio de la unión GMS 10 mediante una compensación de la rigidez del vidrio con respecto a la movilidad del metal.

Por lo tanto, tal geometría del collar metálico caracterizada por las propiedades elásticas mitiga los esfuerzos del vidrio que pueden producirse en el componente (rígido) de vidrio de la unión GMS mejorando la elasticidad mecánica del metal.

En la Figura 4 y en la Figura 5 se ilustran, de forma esquemática, dibujos de realizaciones ejemplares preferentes.

15 Las dimensiones ilustradas de la Figura 4 y de la Figura 5 han sido obtenidas estudiando los esfuerzos mecánicos implicados en condiciones reales de trabajo de una central solar típica de CSP. Los materiales utilizados preferentemente son un vidrio de borosilicato 3.3 para el cilindro 12 y una aleación similar a Kovar (DIN 17745, ASTM F15) para el collar metálico 11.

20 La Figura 4(a) ilustra, de forma esquemática, un collar metálico 11 según una realización ejemplar de la presente invención.

La Figura 4(b) ilustra, de forma esquemática, un detalle ampliado de la sección longitudinal de la porción extrema libre FEP del collar metálico 11 rodeado por un círculo en la Figura 4(a). Tal porción extrema libre FEP del collar metálico será sellada, entonces, al cilindro de vidrio según se describe a continuación.

25 Según una realización preferente, según se muestra esquemáticamente en la Figura 4(b), el biselado de la porción extrema del collar metálico 11 se lleva a cabo de manera que se obtengan secciones longitudinales que tienen una forma de tipo trapezoidal en la que la base menor  $m$  se encuentra en el lado extremo libre del collar metálico. Se debe hacer notar que, en la presente memoria, con la expresión forma de tipo trapezoidal no se concibe únicamente la propia forma trapezoidal, sino también formas similares en las que los lados no son totalmente rectos o en las que las dos bases son paralelas pero con una forma más biselada o una forma similar a un diente en la que la porción extrema tiene un grosor reducido con respecto a la porción inicial. De hecho, la expresión forma trapezoidal ha sido utilizada en la presente memoria principalmente con fines explicativos, es decir, en aras de la sencillez, de forma que se describan las especificaciones geométricas en términos de bases y ángulos. En la Figura 4(c) se ilustran la base mayor  $M$ , la base menor  $m$ , los dos lados laterales  $L1$ ,  $L2$  de la forma de tipo trapezoidal del extremo del collar. El lado lateral  $L1$  también representa la distancia entre las dos bases  $m, M$ . El ángulo  $\alpha$ , no mostrado, indica el ángulo agudo formado por los dos lados laterales  $L1$ ,  $L2$ .

30

35

En las realizaciones de la invención, se recomiendan las siguientes dimensiones en función de estudios en condiciones reales de esfuerzo de centrales típicas de CSP:

- siendo la relación entre la longitud de la base menor  $m$  y la longitud de la base mayor  $M$  mayor que 0,25; y/o,
- 40 - encontrándose la longitud de la base mayor  $M$  en el intervalo de  $[0,3-0,6]$  mm y la longitud de la base menor  $m$  en el intervalo de  $[0,15-0,6]$  mm; y/o,
- formando los lados laterales  $L1, L2$  un ángulo  $\alpha$  en el intervalo de  $[0,5-10]$  grados; y/o,
- 45 - encontrándose el grosor máximo  $T$  del collar metálico en el intervalo de  $[0,3-1,2]$  mm.

Por ejemplo, en una realización preferente, la longitud de la base menor  $m$  puede ser de 0,3, la longitud de la base mayor  $M$  puede ser de 0,4, la longitud del lado lateral  $L1$  puede ser de 7 mm y el ángulo  $\alpha$  puede ser de 0,82 grados.

50 Según la invención propuesta, la porción extrema del collar metálico 11 es procesada mediante un tratamiento térmico para establecer una unión entre la superficie del metal y del vidrio de la unión GMS. De forma ventajosa, se consigue una estructura dedicada en la superficie metálica adecuada para una unión física y química del metal con el vidrio.

De hecho, con tal tratamiento térmico del collar metálico, se crea convenientemente una estructura de rejilla sobre el metal, de forma que el material del vidrio se agarre al sustrato metálico (unión mecánica/física) y, simultáneamente, se crea de forma adecuada una capa apropiada sobre la superficie metálica para que el vidrio se una a la misma (unión química).

55

Según una realización preferente de la invención, el tratamiento térmico puede ser, preferentemente, un tratamiento de oxidación para generar en la superficie metálica una capa de óxido dedicado al vidrio.

Preferentemente, el grosor de la capa de óxido dedicado al vidrio está afinado para que se encuentre en el intervalo de [0,3-3,0]  $\mu\text{m}$ , con una penetración en la matriz metálica en el intervalo de [1,5-18,0]  $\mu\text{m}$ .

- 5 Además, según otra realización preferente, se recomienda desarrollar un procedimiento de oxidación caracterizado por un contenido de hidrógeno limitado a pocos puntos porcentuales en concentración (hasta un 5% en volumen), para minimizar la adherencia de los átomos de hidrógeno en una posición intersticial en la estructura cristalina (dado que el hidrógeno es uno de los gases más difíciles de ser eliminados por bombeo).

- 10 Según una realización preferente de la invención, el óxido dedicado al vidrio es un óxido de hierro. Preferentemente, el óxido de hierro puede ser bien  $\text{FeO}$  o  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  o bien una mezcla de  $\text{FeO}$  y  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .

Se recomienda un procedimiento controlado de ciclo térmico para conseguir el óxido de hierro deseado al igual que el grosor y la uniformidad óptimos.

Según una realización preferente, se pueden recomendar las siguientes etapas del procedimiento de sellado térmico para sellar el collar metálico al cilindro de vidrio:

- 15 - una etapa de calentamiento, en la que se recomienda un control de la temperatura y de la rotación;
- una etapa de fusión, en la que se recomienda un control de la temperatura, de la rotación y de la calibración del borde del vidrio fundido;
- 20 - una etapa de unión para insertar el metal biselado en la porción extrema fundida del cilindro de vidrio, en la que se recomienda un control de la temperatura, de la rotación, de las posiciones relativas del quemador y de las fuerzas mecánicas producidas (empuje/tracción) sobre la que será la unión GMS final;
- 25 - una etapa de templado en línea, en la que se recomienda un control cuidadoso de la reducción de la temperatura para lograr una temperatura del vidrio inferior a su temperatura característica de reblandecimiento.

Para evitar efectos destructivos debidos a propagaciones de errores pequeños, se han monitorizado las subetapas más críticas del sellado térmico y, en consecuencia, se han identificado algunos parámetros que requieren una atención particular para controlar sus valores absolutos y comportamientos tales como, por ejemplo:

- 30 - las velocidades de calentamiento deberían mantenerse, preferentemente, en el intervalo [6-35]°C/seg,
- las velocidades de enfriamiento deberían mantenerse, preferentemente, en el intervalo [1,5-20]°C/seg,
- la velocidad de rotación debería mantenerse, preferentemente, en el intervalo [12-100] rpm,
- 35 - el quemador debería ser regulable, preferentemente, en un intervalo de distancia de [-5,5-5,5] mm desde el borde del vidrio, dependiendo de la etapa considerada del procedimiento, y una velocidad de traslación en el intervalo [0-15] mm/seg.

La Figura 5(b) es un dibujo que ilustra, de forma esquemática, según una realización ejemplar, el detalle rodeado de la unión GMS de la Figura 5(a).

- 40 Según una realización preferente, la porción extrema del cilindro 12 de vidrio es fundida mediante un procedimiento térmico dedicado de manera que se forme, en el borde del vidrio, un vidrio fundido agrandado que tenga una forma similar a una esfera, denotado, de aquí en adelante, bola GB de vidrio fundido. Según se muestra en la Figura 5(b), el borde del vidrio tiene un grosor máximo de aproximadamente 12,6 mm [ $G_i+G_e+m$ ] mientras que el grosor  $G_T$  del cilindro de vidrio alejado de la bola GB de vidrio tiene un grosor normal de vidrio de aproximadamente 3 mm.

- 45 En realizaciones preferentes, se recomiendan, de forma ventajosa, las siguientes dimensiones para las uniones GMS, en las que se denotan por lado "interno" y por lado "externo" el lado orientado hacia el eje de simetría del receptor tubular solar y el lado orientado hacia la atmósfera externa, respectivamente:

- 50 - extensiones axiales (lineales) del solapamiento interno y externo  $O_i$ ,  $O_e$  entre vidrio y metal: en el intervalo de [2-5,0] mm, y/o
- grosores interno y externo  $G_i$ ,  $G_e$  del vidrio en el intervalo de [3,0-6,0] mm; y/o,
- además, también se recomienda acabar con un ángulo de contacto uniforme  $\beta_i$ ,  $\beta_e$  menor de 90°, definidos como los ángulos medidos en las superficies de contacto entre el vidrio y el metal en la Figura 5(b).

Dado que el procedimiento descrito anteriormente de sellado térmico implica temperaturas muy elevadas sobre el collar metálico y sobre el cilindro de vidrio (que superan las temperaturas de reblandecimiento y de fusión), se podrían acumular tensiones inevitables en la superficie de contacto entre los dos materiales.

- 5 Dado que estas tensiones podrían producir una microrrotura de la GMS, es decir una fuga en la GMS, durante los ciclos térmicos adicionales típicos de las etapas sucesivas de producción de un receptor solar, al igual que en condiciones reales de funcionamiento, se recomienda, en una realización preferente, implementar un procedimiento de templado autónomo cuyo objetivo es eliminar posibles esfuerzos residuales del vidrio en la región solapada.

- 10 Por lo tanto, las tensiones mencionadas anteriormente pueden ser extendidas, de forma ventajosa, en su intensidad sobre una región más ancha, reduciendo, por lo tanto, su potencial de impacto peligroso. De forma conveniente, se puede establecer el valor de la velocidad de enfriamiento en el intervalo de [0,4-2,5] °C/min.

- 15 En realizaciones de la invención, como parte de un dispositivo de vacío, los cilindros 12 de vidrio y las tapas metálicas 11 pueden ser limpiadas de forma apropiada, desarrollando una receta dedicada para evitar sustancias contaminantes no deseadas, sin aplicar, sin embargo, un pulido químico intenso que pueda provocar nanoarañazos no deseados sobre las superficies del vidrio. Con un procedimiento de limpieza también se deberían prever las formas en las que se almacenan las uniones GMS, teniendo como objetivo evitar una contaminación con la humedad y una atmósfera grasienta durante el procedimiento de almacenamiento.

Además de las realizaciones de la presente invención descritas anteriormente, los expertos en la técnica podrán concebir diversas disposiciones y etapas adicionales que, si no se describen explícitamente en el presente documento, se encuentran, no obstante, en el alcance de las reivindicaciones adjuntas.

- 20 Lista de acrónimos utilizados

CSP Energía solar concentrada

GMS Unión entre vidrio y metal

HCE Elemento colector de calor

HTF Fluido de transferencia de calor

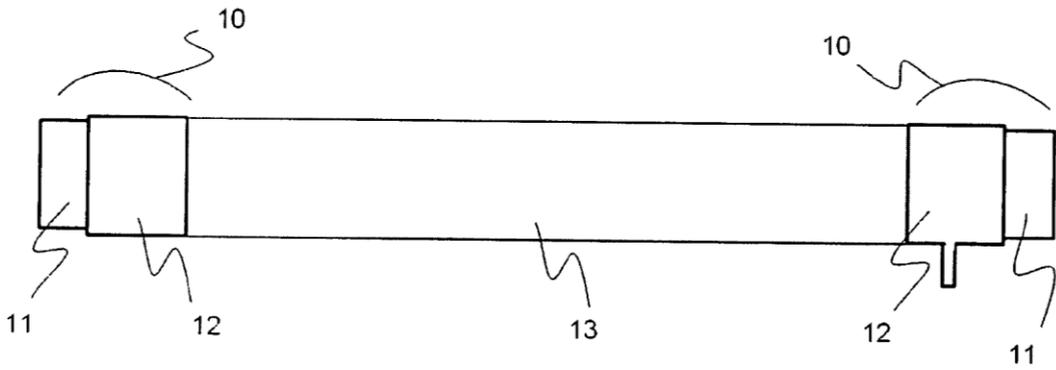
- 25 LCOE Coste promedio de la energía

TEC Coeficiente de dilatación térmica

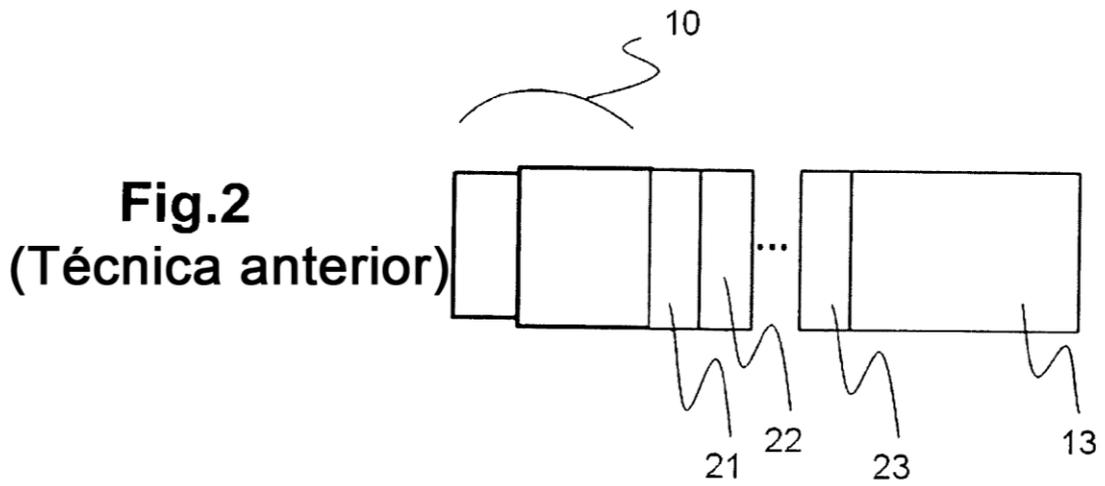
**REIVINDICACIONES**

1. Un dispositivo (10) de estanqueidad entre vidrio y metal de un receptor solar, comprendiendo el dispositivo (10) un collar metálico (11) y un cilindro (12) de vidrio que han de ser sellados entre sí, comprendiendo el dispositivo las siguientes características:
- 5 b) el collar metálico (11) está fabricado de una aleación austenítica que tiene un coeficiente de dilatación térmica en el intervalo de  $[3,5-6,0] \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  en el intervalo de temperatura de  $[50-450]^\circ\text{C}$ ;
- c) la porción extrema del collar metálico (11) está biselada, de forma que se aumente su flexibilidad mecánica;
- 10 d) la porción extrema del collar metálico (11) es procesada mediante un tratamiento térmico para establecer una unión entre las superficies del metal y del vidrio;
- caracterizado el dispositivo porque comprende, además, la siguiente característica:
- a) el cilindro (12) de vidrio está fabricado de un vidrio de borosilicato que tiene un coeficiente de dilatación térmica en el intervalo de  $[3,1-3,5] \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  en el intervalo de temperatura de  $[50-450]^\circ\text{C}$ .
- 15 2. El dispositivo de estanqueidad entre vidrio y metal de la reivindicación 1, en el que el biselado de la porción extrema del collar metálico (11) se lleva a cabo de forma que se obtengan secciones longitudinales que tengan una forma de tipo trapezoidal en la que la base menor (m) se encuentra en el extremo libre del collar metálico (11).
3. El dispositivo de estanqueidad entre vidrio y metal de la reivindicación 2, en el que la relación entre la longitud de la base menor (m) y la longitud de la base mayor (M) de la forma de tipo trapezoidal es mayor de 0,25.
- 20 4. El dispositivo de estanqueidad entre vidrio y metal de la reivindicación 2 o 3, en el que la longitud de la base mayor (M) se encuentra en el intervalo de  $[0,3-0,6]$  mm y la longitud de la base menor (m) se encuentra en el intervalo de  $[0,15-0,3]$  mm.
5. El dispositivo de estanqueidad entre vidrio y metal según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4, en el que los lados laterales (L1,L2) de la forma de tipo trapezoidal forman un ángulo en el intervalo de  $[0,5-10]$  grados.
- 25 6. El dispositivo de estanqueidad entre vidrio y metal según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la aleación austenítica del artículo b. tiene una concentración adecuada de contenido de níquel y de cobalto, según las normas DIN 17745 / ASTM F15.
7. El dispositivo de estanqueidad entre vidrio y metal según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el tratamiento térmico del artículo d. es un tratamiento de oxidación para generar sobre la superficie metálica una
- 30 capa de óxido dedicado al vidrio.
8. El dispositivo de estanqueidad entre vidrio y metal según la reivindicación 7, en el que la capa de óxido dedicado al vidrio tiene un grosor que se encuentra en el intervalo de  $[0,3-3,0]$   $\mu\text{m}$  y una penetración en la matriz metálica en el intervalo de  $[1,5-18,0]$   $\mu\text{m}$ .
9. El dispositivo de estanqueidad entre vidrio y metal según la reivindicación 8 o 9, en el que el óxido dedicado al
- 35 vidrio es un óxido de hierro.
10. El dispositivo de estanqueidad entre vidrio y metal según la reivindicación 9, en el que se selecciona el óxido de hierro del grupo constituido por FeO, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> o una mezcla de FeO y Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>.
11. Un procedimiento para producir un dispositivo (10) de estanqueidad entre vidrio y metal de un receptor solar, comprendiendo el dispositivo (10) un collar metálico (11) y un cilindro (12) de vidrio que han de ser sellados entre sí, comprendiendo el procedimiento las siguientes etapas:
- 40 a) proporcionar, como vidrio para el cilindro (12) de vidrio, un vidrio de borosilicato que tiene un coeficiente de dilatación térmica en el intervalo de  $[3,1-3,5] \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  en el intervalo de temperatura de  $[50-450]^\circ\text{C}$ ;
- b) proporcionar, como metal del collar metálico (11), una aleación austenítica que tiene un coeficiente de dilatación
- 45 térmica en el intervalo de  $[3,5-6,0] \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  en el intervalo de temperatura de  $[50-450]^\circ\text{C}$ ;
- c) biselar la porción extrema del collar metálico (11) de forma que aumente su flexibilidad mecánica;
- d) procesar la porción extrema del collar metálico (11) mediante un tratamiento térmico para establecer una unión
- 50 entre las superficies del metal y del vidrio;
- e) sellar entre sí las porciones extremas de collar del cilindro de vidrio y del collar metálico.

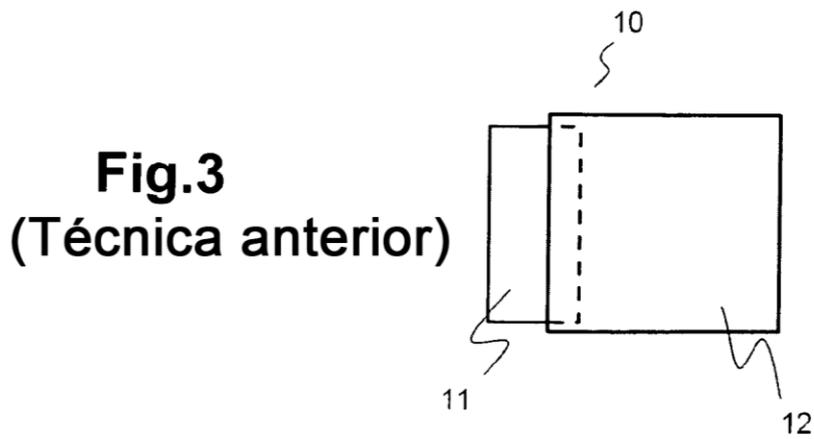
12. Un receptor solar tubular en el que un tubo externo de vidrio está conectado con un tubo metálico interno por medio del dispositivo de estanqueidad entre vidrio y metal según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10.



**Fig.1**  
(Técnica anterior)



**Fig.2**  
(Técnica anterior)



**Fig.3**  
(Técnica anterior)

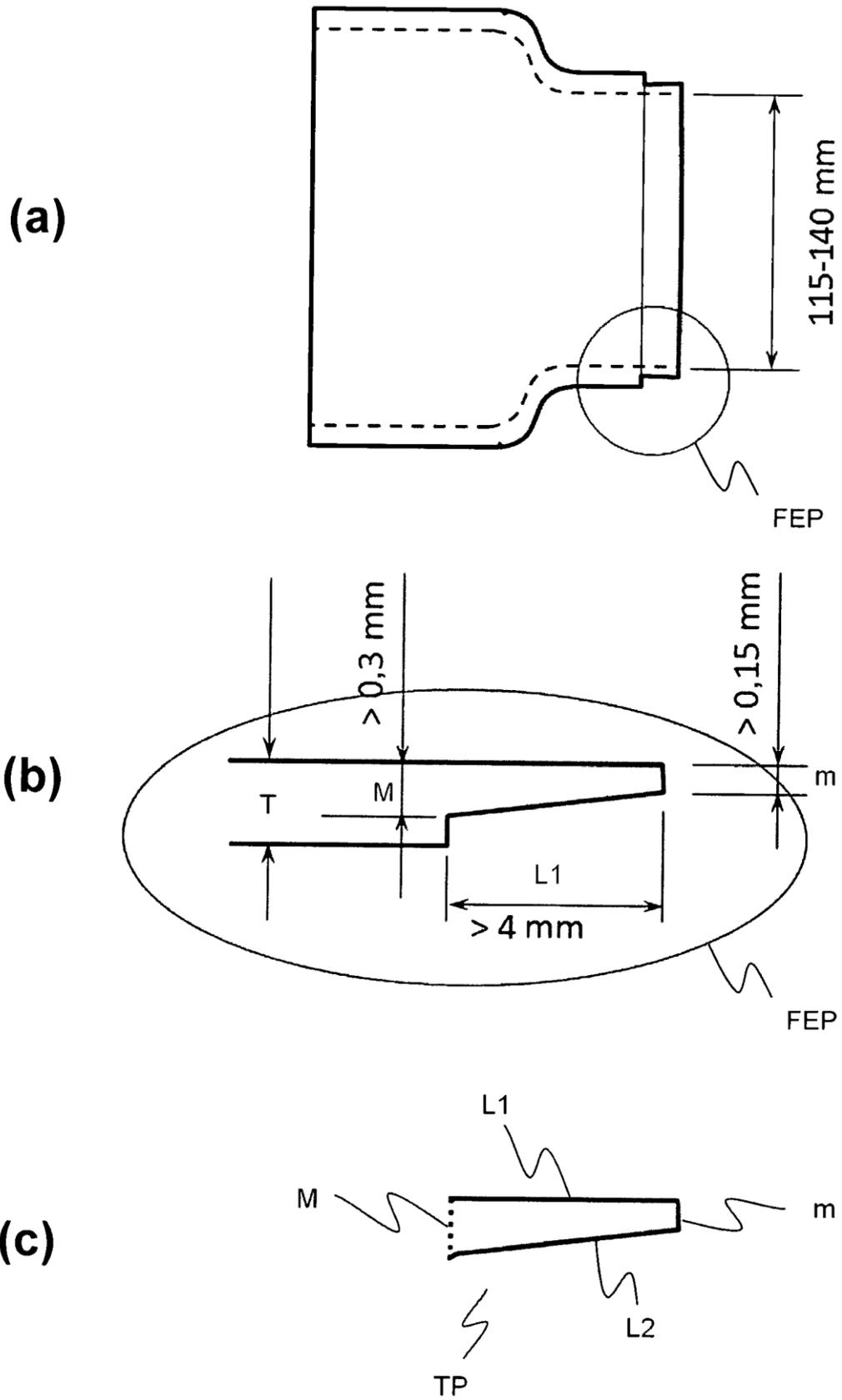


Fig.4

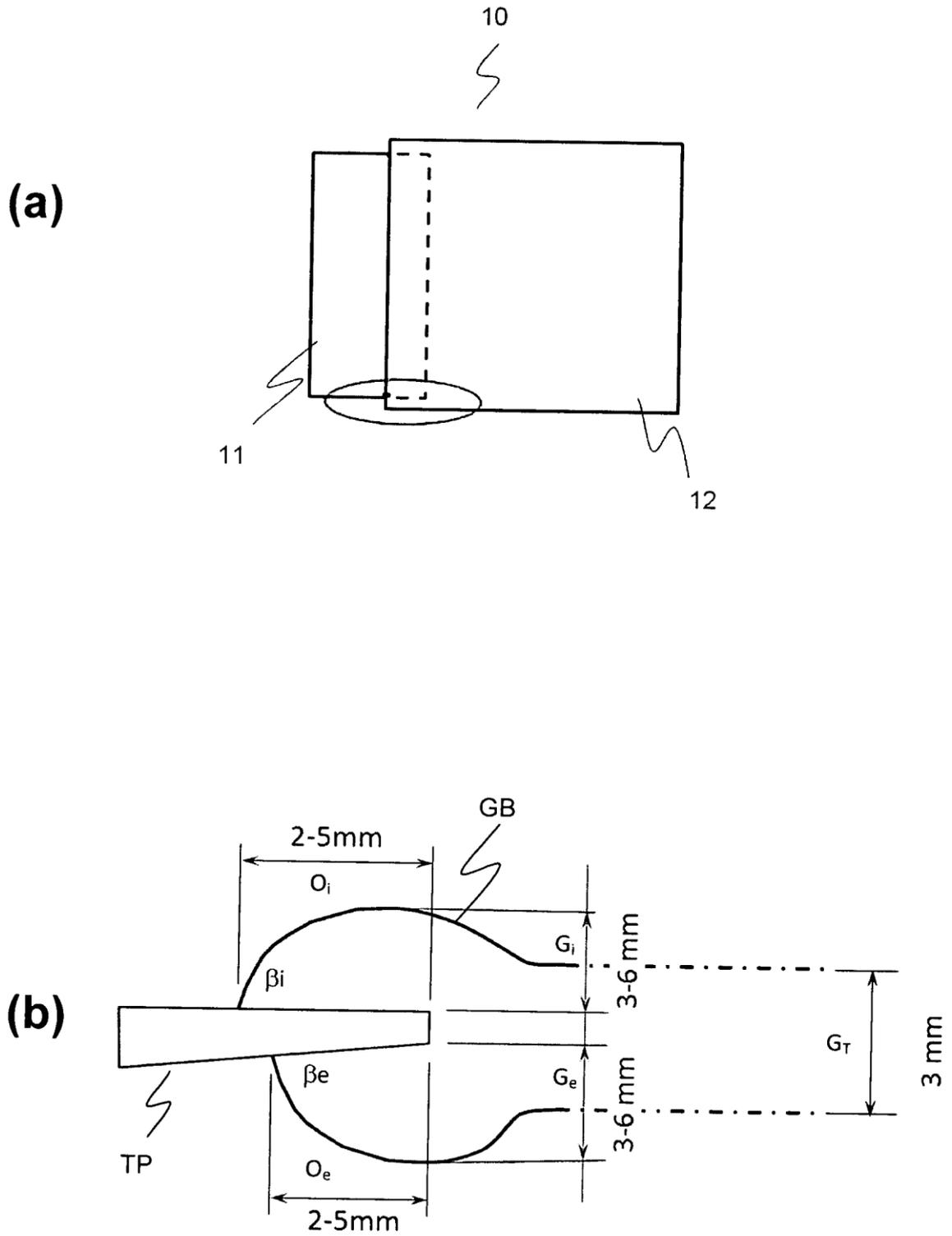


Fig.5