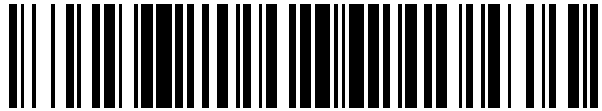


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 546 603**

51 Int. Cl.:

F16L 53/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.05.2012 E 12720912 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.07.2015 EP 2710288**

54 Título: **Tubería para el transporte de una sal fundida**

30 Prioridad:

19.05.2011 EP 11166724
19.05.2011 US 201161487719 P
27.09.2011 EP 11182898
27.09.2011 US 201161539494 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
25.09.2015

73 Titular/es:

BASF SE (100.0%)
67056 Ludwigshafen, DE

72 Inventor/es:

WORTMANN, JÜRGEN;
LUTZ, MICHAEL;
GÄRTNER, MARTIN;
SCHIERLE-ARNDT, KERSTIN;
MAURER, STEPHAN;
LADENBERGER, MICHAEL;
GEYER, KAROLIN y
GARLICH, FLORIAN

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 546 603 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

Tubería para el transporte de una sal fundida

La invención parte de una tubería para el transporte de una sal fundida con una pared del tubo estable frente a las temperaturas que aparecen.

5 Las tuberías que se atraviesan por una sal fundida se deben usar, por ejemplo, en centrales solares, en particular en centrales solares de colectores cilíndrico-parabólicos. Las tuberías están conectadas en este caso a redes que sirven para la captación de la energía solar en la central solar. En una central solar de este tipo, la energía de radiación del sol se concentra mediante espejos parabólicos sobre los receptores. La combinación de espejos parabólicos y receptores se denomina colector. Una serie de colectores se conecta en serie formando bucles
10 solares. La energía de radiación captada por los receptores se transfiere a un líquido portador de calor. Actualmente como líquido portador de calor se usa en particular una mezcla de bifenilo / difenil éter que, no obstante, está limitada por su temperatura de descomposición de aprox. 400 °C en su temperatura de funcionamiento máxima. Para obtener temperaturas de funcionamiento más elevadas, que posibiliten un rendimiento más elevado, se requieren otros líquidos portadores de calor. Para ello se usan en particular sales fundidas, por ejemplo, la así denominada Sal Solar 60, una mezcla de nitrato de sodio y nitrato de potasio en la relación de 60:40.

No obstante, una desventaja de las sales fundidas es que éstas tienen un elevado punto de fusión. Una mezcla de nitrato de sodio / potasio funde, por ejemplo, en el eutéctico, es decir en una relación de mezcla de 56:44 con una temperatura de 218 °C. En las largas redes de tuberías, tal y como aparecen en centrales solares, las sales fundidas con puntos de fusión elevados difícilmente se pueden hacer funcionar de forma segura. El enfriamiento de la sal
20 fundida puede provocar grandes daños económicos en los sistemas de tuberías. La causa de los daños es, por ejemplo, la intensa dilatación volumétrica de las sales fundidas durante la fusión. Existe el peligro de que los accesorios y tuberías se presionen y deterioren fuertemente.

Cuando la sal fundida se enfría, lo que puede suceder básicamente fuera de los tiempos de funcionamiento de la central solar, es decir, fuera de los tiempos de radiación del sol, se produce una contracción de volumen que puede conducir a un estado de solidificación diferente en función del compuesto de tubería y estado de funcionamiento. Se espera que en general se originen burbujas evacuadas en la tubería, que se juntan en unidades más o menos grandes. Durante la nueva fusión no se puede realizar una compensación de volumen suficiente debido a la eventualmente gran distancia espacial entre los puntos de fusión con expansión volumétrica y las zonas evacuadas, a fin de reducir las presiones que aparecen.

30 Para impedir un enfriamiento de la sal fundida, actualmente es habitual vaciar el sistema de tuberías en el caso de tiempos de parada más prolongados. Alternativamente también es posible calentar el sistema de tuberías. Para ello se puede usar, por ejemplo, energía eléctrica o utilizar calor de acumuladores térmicos disponibles. Cuando se usa el calor de acumuladores térmicos disponibles, se bombea habitualmente un líquido portador de calor caliente a través del sistema de tuberías. Estos procedimientos tienen la desventaja de que para ello se deben aplicar cantidades considerables de energía en forma de energía eléctrica o en forma de energía térmica.

Cuando está previsto un calentamiento eléctrico, entonces éste se realiza actualmente habitualmente mediante adición de conductores calefactores eléctricos, aislados por minerales y resistentes a altas temperaturas a las tuberías. No obstante, en el caso de receptores, según se usan en centrales solares de colectores cilíndrico-parabólicos, no se puede aplicar esta técnica, dado que los receptores individuales están muy bien aislados térmicamente frente al entorno mediante una camisa de vidrio evacuada. Actualmente los receptores se calientan por eso de forma eléctrica, dado que al sistema de tuberías mismo se le aplica una intensidad de corriente elevada con baja tensión. No obstante, esto tiene la desventaja de que en los conectores de tuberías pueden aparecer diferentes valores de resistencias de transición o pérdidas térmicas. En los puntos con una resistencia elevada aparece un calentamiento más intenso. Existe el peligro de un calentamiento no uniforme y de que la sal usada como portador de calor quede localmente por debajo de la temperatura de fusión.

Los conductores calefactores interiores se conocen para la protección frente a congelación de sistemas de tuberías de agua con amplia aplicación, por ejemplo, en Escandinavia. En este caso un conductor calefactor eléctrico aislado se tiende de forma suelta en el sistema de tuberías a proteger. El conductor calefactor impide el enfriamiento de las tuberías en caso de peligro de congelación. Este procedimiento es térmicamente más eficiente que un calentamiento desde el exterior. No obstante, un conductor calefactor semejante metido en la tubería no se puede aplicar para tuberías que conducen una sal fundida. Aparte de la temperatura de uso mucho más elevada y las condiciones oxidantes de una sal fundida, el conductor interior en los sistemas de agua protege frente a la expansión volumétrica en caso de enfriamiento. No obstante, a diferencia de ello la expansión volumétrica en las sales fundidas no aparece durante el enfriamiento sino durante la fusión.

55 En particular antes de la puesta en funcionamiento es necesario calentar el sistema de tuberías que conduce la sal. Cuando para ello se aplica una tensión al sistema de tuberías mismo es necesario llevar toda la masa de acero del sistema de tuberías a una temperatura claramente por encima del punto de fusión de la sal antes de la puesta en funcionamiento de la central solar. Para ello se necesita una gran cantidad de energía.

Para manejar las centrales solares con largas tuberías sin la solidificación de la sal fundida, actualmente se intenta usar alternativamente a la sal solar sales de bajo punto de fusión. No obstante, esto tiene la desventaja de que las sales presentan una estabilidad térmica más baja y restringen el rango de uso a temperaturas por debajo de 500 °C. Esto conduce a un rendimiento más bajo de la central solar respecto a sales solares.

5 Además, es necesario mantener las sales portadoras de calor de bajo punto de fusión en sistemas cerrados, lo que conduce a un gasto adicional, dado que se deben tender sistemas de inertización en el campo solar. Una inertización es necesaria en particular cuando se usan mezclas que contienen nitritos como sal portadora de calor, dado que el nitrito puede oxidar en presencia de aire con oxígeno formando nitrato y por consiguiente puede aumentar de forma incontrolada el punto de solidificación de la sal. Cuando se usan mezclas de sales que contienen calcio, el calcio puede reaccionar con el dióxido de carbono contenido en el aire formando carbonato de calcio insoluble.

10 Además, mediante la adición de nitratos de los elementos litio, rubidio y cesio se puede rebajar el punto de solidificación de la sal solar. No obstante, estas sales sólo son adquiribles a pequeña escala y no están disponibles de forma económica en las cantidades que se necesitan para las centrales solares, en particular con acumuladores de calor.

El objetivo de la invención es proporcionar una tubería para el transporte de una sal fundida, que permita fundir de nuevo la sal portadora de calor solidificada en la tubería sin provocar daños en la tubería. Otro objetivo de la invención es evitar la emisión de calor de un campo solar durante la parada, por ejemplo durante la noche, debido a la bajada de la temperatura de funcionamiento de la sal portadora de calor.

20 El objetivo se resuelve mediante una tubería para el transporte de una sal fundida con una pared del tubo estable frente a las temperaturas que aparecen, guiándose un conductor calefactor para el calentamiento en el interior de la tubería, no estando en contacto el conductor calefactor con la pared interior de la tubería.

Mediante el uso de un conductor calefactor en el interior de la tubería es posible fundir uniformemente la sal solidificada a lo largo del conductor calefactor dentro de la tubería, de modo que se forma un canal alrededor del conductor calefactor a través del que se puede transportar la sal fundida. De este modo se evita que debido a la dilatación volumétrica de la sal fundida se ejerzan presiones demasiado elevadas sobre la tubería. Una distribución de temperaturas uniforme a lo largo del conductor calefactor conduce además a que la sal se funda simultáneamente alrededor del conductor calefactor sobre toda la longitud de la tubería y entonces también se forme un canal a través del que puede fluir la sal fundida y entonces se pueda compensar la presión.

30 Una tubería similar se conoce, por ejemplo, por el documento DE 859549.

La tubería según la invención, a través de la que se guía un conductor calefactor, se usa en particular en centrales solares, por ejemplo, centrales solares de colectores cilíndrico-parabólicos. En centrales semejantes las tuberías discurren en general de forma esencialmente horizontal, es decir, con una inclinación de menos de 5°, habitualmente de menos de 1°.

35 Las tuberías individuales en una central solar semejante presentan respectivamente recorridos sin curvas con una longitud de al menos hasta 100 m, habitualmente hasta 300 m. Debido a los grandes recorridos rectos es posible introducir un conductor calefactor en el tubo sin que éste se deba guiar alrededor de los codos del tubo.

40 En una forma de realización preferida, el conductor calefactor está dispuesto de forma descentrada en el tubo, siendo la distancia del conductor calefactor mayor hacia abajo que hacia arriba, en el caso de un tramo de tubo que discurre con una pendiente máxima de 45°. Debido a la introducción descentrada del conductor calefactor en la tubería se evita que las zonas del conductor calefactor, que se comban y originan por una dilatación longitudinal del conductor calefactor condicionada por la temperatura, entre dos puntos de fijación conduzcan a que el conductor calefactor toque la pared interior de la tubería. En el caso del combado también es necesario que el conductor calefactor no presente ningún contacto directo con la pared interior de la tubería. Para la fijación del conductor calefactor se puede, por ejemplo, guiar éste en ojales en la tubería atravesada por la sal fundida.

45 En el caso de una pendiente de más de 45°, en particular en tramos de tubería que discurren verticalmente, es preferible que el conductor calefactor discurra de forma centrada en la tubería.

50 Para evitar que el conductor calefactor, que se ha dilatado en su longitud debido a la alta temperatura, se arrastre con la sal fundida y en particular, visto en la dirección de flujo, se tense al principio de la tubería, es preferible aplicar un aislante en el conductor calefactor y fijar el conductor calefactor con el aislador en el ojal. De este modo se garantiza que el conductor calefactor esté fijado siempre con la misma posición en el ojal. Se evita un recorrido del conductor calefactor a través de los ojales debido a la sal fundida que fluye. De este modo se puede evitar una ruptura del conductor calefactor debido a las tensiones que aparecen durante el enfriamiento, cuando el conductor calefactor se contrae de nuevo. La contracción del conductor calefactor puede conducir en particular a problemas, cuando la parte arrastrada durante la solidificación de la sal fundida se fija dentro de la sal solidificada y ya no se puede mover el conductor calefactor.

- Alternativamente a la fijación del conductor calefactor con un ojal también es posible fijar el conductor calefactor en el interior del tubo con espaciadores elásticos. En este caso se prefiere en particular fijar el conductor calefactor en la pared del tubo respectivamente con al menos tres, preferiblemente cuatro espaciadores, que están fijados en forma de cruz en el conductor calefactor. Los espaciadores se pueden fijar en la pared del tubo, por ejemplo, de forma separable con tornillos o de forma inseparable con una conexión soldada. No obstante, es preferible no conectar los espaciadores con la pared del tubo. En este caso el conductor se fija con los espaciadores adicionalmente a los ojales en el interior de la tubería.
- En otra forma de realización alternativa, en el conductor calefactor están colocados lazos que se cuelgan en ganchos de fijación, a fin de fijar el conductor calefactor en la tubería. Mediante la colocación de lazos se obtiene una fijación del conductor calefactor con la que se evita que el conductor se desplace debido a la sal fundida que fluye. La fijación de los lazos en el conductor calefactor se puede realizar, por ejemplo, mediante soldadura. Para ello es posible, por ejemplo, poner un casquillo sobre el conductor calefactor que se suelda con el conductor calefactor y colocar el lazo en el casquillo. Junto a la soldadura del casquillo también es posible usar un casquillo de apriete que se atasca, por ejemplo, con el conductor calefactor.
- Para durante la fusión de la sal formar lo más rápido posible un canal a través del que pueda fluir la sal fundida, se prefiere diseñar el conductor calefactor en forma de un tubo o de un canal con una sección transversal cualquiera y proveer la pared del tubo o del canal con aberturas a través de las que puede fluir la sal fundida al interior del conductor calefactor diseñado en forma de un tubo o canal y se transporta en el interior del conductor calefactor.
- Junto a una pared exterior maciza que se provee de aberturas, alternativamente también es posible diseñar el conductor calefactor, por ejemplo, como género de punto o tejido anular. Para ello en el interior del tejido o género de punto también se forma una cavidad a través de la que puede fluir la sal ya fundida.
- Alternativamente al diseño del conductor calefactor como cuerpo hueco, en cuyo interior se forma un canal a través del que puede fluir la sal fundida, también es posible que el conductor calefactor presente al menos una depresión en forma de U o en forma de V que se extiende en la dirección axial. En la depresión se funde primeramente la sal, de modo que la depresión forma un canal a través del que puede fluir la sal. Un conductor calefactor con más de una depresión en forma de U o más de una depresión en forma de V puede presentar, por ejemplo, una sección transversal en forma de estrella. También es posible que un conductor calefactor semejante esté diseñado, por ejemplo, en forma de un canal con una sección transversal en forma de U.
- Junto a un cuerpo hueco o un conductor calefactor que presenta al menos una depresión en forma de U o en forma de V, además también es posible prever, por ejemplo, un conductor eléctrico macizo que está envuelto con un malla de alambre. En este caso la sal fundida puede fluir en primer lugar en la malla de alambre, antes de que se haya configurado un canal que rodea el conductor fuera de la malla de alambre.
- Junto a las posibilidades nombradas anteriormente, evidentemente también es posible que el conductor calefactor sea un alambre macizo o esté diseñado en forma de un cable. El conductor calefactor también puede estar formado de un material con buena conductividad eléctrica, por ejemplo, cobre o aluminio, que está rodeado por una envolvente resistente a la corrosión. De este modo se evita que el material eléctricamente buen conductor se corra en presencia de la sal que fluye a través de la tubería, por lo que la sal portadora de calor se ensucia y pierde su resistencia térmica.
- Además, también es posible usar un conductor convencional, por ejemplo con alma conductora de corriente y aislamiento eléctrico, como conductor calefactor interior, aplicándose adicionalmente una envolvente resistente a la corrosión sobre el aislamiento eléctrico. Una envolvente metálica protectora como envolvente resistente a la corrosión puede servir en este caso también como conductor de retorno para la corriente. Alternativamente también se puede usar una disposición con dos almas con envolvente exterior aislada de acero inoxidable. Conductores calefactores aislados semejantes también pueden estar en contacto con la pared de la tubería.
- Si se usa un conductor rígido, por ejemplo una barra rígida, se deben prever una o varias zonas de dilatación a fin de poder compensar las dilataciones debidas a las oscilaciones de temperatura durante el funcionamiento. La ventaja del uso de un conductor rígido es que éste necesita dentro del sistema de tuberías menos soportes, que impidan un desplazamiento en la dirección del flujo, que un conductor flexible.
- El conductor también puede estar construido a partir de segmentos, por ejemplo un segmento por receptor, que se conectan entre sí de forma eléctricamente conductora durante el montaje, por ejemplo, mediante atornillado, soldadura o atascamiento. La estructura de segmentos también ofrece un concepto en la sustitución de un receptor dentro de una serie mediante corte y reconexión. Las conexiones se deben diseñar de modo que se produzcan resistencias de transición suficientemente bajas.
- Cuando el conductor calefactor está configurado en forma de un cable se retuercen uno o varios hilos formando un cable. El cable es preferiblemente multihilo. Mediante el retorcimiento de los hilos formando un cable se origina en el centro del cable un canal cuneiforme a través del que puede fluir la sal ya fundida y entonces se puede compensar la presión. Mediante el retorcimiento de un cable con un hilo se puede fabricar un arrollamiento espiral que en el medio posee un canal cuneiforme. Otra ventaja del uso de un cable es que se puede facilitar la compensación horizontal de

la dilatación térmica Además, es posible ajustar la rigidez del conductor debido al tipo de trenzado, de modo que en caso de retorcimiento correspondiente el cable presenta una resistencia que se aproxima a la resistencia de un conductor rígido. Esto permite prever un número menor de soportes que aseguren el cable frente a un desplazamiento en la dirección del flujo.

5 Los hilos, a partir de los que se retuerce el cable, pueden estar diseñados en forma de alambres, es decir macizos, o también estar configurados como tubos. Cuando los hilos están diseñados en forma de tubos y no están llenos por un material eléctricamente muy conductor o un portador de calor que fluye, entonces éstos se cierran respectivamente en los extremos preferentemente mediante soldadura. Los tubos individuales están llenos preferentemente con un gas, por ejemplo aire. Debido al gas en el hilo tubular se aumenta la fuerza ascensional en la sal fundida. Esto permite una disminución de la fuerza de retención de los resortes necesarios para la fijación cerca del centro del tubo. Las menores fuerzas de descenso se originan cuando la densidad media de los hilos tubulares se corresponde con la densidad de la sal fundida de 1.800 kg/m^3 . Los hilos tubulares pueden presentar una sección transversal circular o una sección transversal no circular. Una sección transversal no circular es, por ejemplo, una sección transversal oval o una elíptica. En el caso de una sección transversal no circular es posible que durante la fusión de la sal se puedan amortiguar mejor de forma elástica las presiones elevadas que aparecen localmente. Además, mediante las secciones transversales no circulares se aumenta la sección transversal cuneiforme y de este modo se facilita el flujo de compensación de presión en el canal cuneiforme. Para obtener una sección transversal no circular es posible, por ejemplo, fabricar tubos para la formación de los hilos y aplastarlos, por ejemplo, mediante rodillos. Otra posibilidad de configurar un hilo con un tubo no circular es una sección transversal en forma de riñón. Mediante la sección transversal en forma de riñón, que se origina, por ejemplo, durante el trenzado aplastando de tubos redondos a través de un mandril de forma redondo, se crea un canal cuneiforme especialmente grande entre los hilos. Dado que los hilos están recibidos en una sal fundida, es ventajoso recocer las partes deformadas mecánicamente sin tensión para minimizar el peligro de ataques corrosivos.

En el caso de un diseño tubular de los hilos también es posible, alternativamente o adicionalmente al calentamiento, usar un portador de calor líquido o gaseoso para el calentamiento que fluye a través de las líneas tubulares.

Cuando la tubería se usa como tubería en un campo solar de una central solar de colectores cilíndrico-parabólicos, la tubería comprende habitualmente un tubo interior que se atraviesa por la sal fundida y una envolvente exterior de vidrio. El espacio intermedio entre el tubo interior y la envolvente exterior de vidrio está evacuado. La superficie del tubo interior está diseñada habitualmente de modo que ésta absorbe la radiación solar y de esta manera se calienta. El calor se transfiere luego del tubo interior al portador de calor que atraviesa los tubos. Estas zonas también se denominan en general receptores.

En una central solar las tuberías discurren habitualmente en forma de U, estando conectado un brazo de la tubería con una admisión y un segundo brazo con una salida. Los brazos de la tubería se extienden sin una curva a lo largo de un recorrido de habitualmente al menos 100 m, preferiblemente sobre al menos 300 m. En el lado opuesto a la admisión y la salida, los dos brazos están conectados entre sí a través de una pieza tubular transversal. La sal fundida fluye entonces a través de un codo a la pieza transversal y del codo a la segunda tubería situada en paralelo, que forma el segundo brazo. En una forma de realización preferida, los codos del tubo presentan para el desvío de flujo respectivamente un tramo de tubería que prosigue en la dirección de la tubería, estando cerrado el tramo de tubería con un cierre y el conductor calefactor se guía a través del cierre del tramo de tubería. Para que durante el funcionamiento del conductor calefactor aislado no se transmita ninguna tensión a la tubería, el conductor calefactor se guía habitualmente con un aislamiento a través del cierre de la tubería. El aislamiento sirve simultáneamente para la obturación.

El cierre del tramo de tubería puede estar realizado, por ejemplo, como brida ciega. También se puede usar cualquier otra cubierta que resista la presión que aparece en las tuberías. No obstante, es preferible una brida ciega.

Una barra redonda se coloca preferentemente al final del conductor calefactor independientemente del tipo y forma del conductor calefactor. Ésta puede estar conectada de forma aislante o no aislante con la tubería, por ejemplo, mediante una conexión soldada, una conexión atornillada o una conexión de apriete con el conductor calefactor. La conexión debe estar diseñada en este caso de modo que la barra redonda esté conectada de forma eléctricamente bien conductora con el conductor calefactor. Cuando el cierre del tramo de tubería es una brida ciega, la barra redonda para la fijación se guía y fija, por ejemplo, de forma eléctricamente aislante o no aislante en una construcción de prensaestopas. Para impedir en el caso del conductor calefactor aislado que la corriente eléctrica se conduzca a los tubos, el paquete prensaestopas de la construcción de prensaestopas se realiza de forma eléctricamente aislante. Mediante el paquete prensaestopas se obtiene una hendidura entre la barra redonda y el paso del conductor calefactor en la tubería. A través de la hendidura se puede aplicar una baja tensión de hasta 0,7 V. Pese a la baja tensión en la hendidura y cerca de la hendidura reina una intensidad de campo eléctrico elevada. Esta intensidad de campo eléctrico elevada provoca un flujo de corriente hacia y a través de la pared de la tubería cuando el sistema de tuberías está lleno de sal fundida eléctricamente conductora. El aislamiento eléctrico completo del conductor interior en el interior de la tubería cerca de su introducción, por ejemplo, a través de una brida ciega, impide un flujo de corriente indeseado. El aislamiento eléctrico se puede establecer, por ejemplo, en la zona de una prensaestopas o en la zona de una junta de estanqueidad plana. Cuando se usa una junta de estanqueidad plana, además se deben usar atornillamientos eléctricamente aislantes.

Dado que los materiales usados para el aislamiento eléctrico en general no son resistentes a las temperaturas que reinan en el interior de las tuberías debido a la sal fundida, es posible generar un gradiente de temperatura mediante materiales aislantes térmicos apropiados. Así es posible, por ejemplo, recibir un material de fibras para el aislamiento térmico en la tubería en la zona de la brida ciega. Como material de fibras se puede usar, por ejemplo, un tejido de fibras de cuarzo. La barra redonda, en la que está fijado el conductor calefactor, se guía a través de un casquillo eléctricamente aislante y resisten a altas temperaturas, por ejemplo, de cerámica o carburo de silicio. Con el primer casquillo de cerámica o carburo de silicio se conecta un segundo casquillo eléctricamente aislante, que ya no debe ser resistente a tan altas temperaturas. Como material para el segundo casquillo es apropiado, por ejemplo, politetrafluoroetileno (PTFE) u otro plástico de alta temperatura. Los dos casquillos eléctricamente aislantes están rodeados por otro casquillo que finaliza en una brida. La brida está cerrada con un aislamiento eléctrico con una segunda brida. Para el paso de la barra redonda a través de la brida que cierra se usa un prensaestopas que está obturado con una junta de estanqueidad. Mediante los materiales aislantes usados, la temperatura en la zona del prensaestopas es baja, de modo que la junta de estanqueidad se puede fabricar de un material estándar.

Cuando la sal solidificada se debe fundir en la tubería, el conductor calefactor sólo debe generar una pequeña cantidad de calor en la zona de la introducción, a fin de no poner en peligro la configuración de un gradiente de temperaturas. Esto se puede conseguir, por ejemplo, porque el conductor calefactor presenta una resistencia eléctrica más baja en la zona de su introducción en la tubería que en la propia zona calefactora. La resistencia eléctrica más baja se puede conseguir, por ejemplo, porque la barra redonda en la que desemboca el conductor está realizada con un diámetro mayor que el conductor calefactor en la zona calefactora. Alternativamente o adicionalmente, el conductor calefactor puede contener un material eléctricamente especialmente buen conductor en la zona de la introducción en la tubería, a fin de evitar un calentamiento del conductor calefactor en la zona de la introducción en la tubería. Un material eléctricamente buen conductor apropiado es, por ejemplo, el cobre o aluminio. En este caso el conductor calefactor en la zona de la introducción se puede fabricar completamente o parcialmente del material eléctricamente buen conductor. Así es posible, por ejemplo, construir el conductor calefactor en la zona de la introducción de modo que éste contiene un núcleo macizo de cobre.

Alternativamente a una barra redonda también se puede usar una barra con cualquier otra sección transversal. No obstante, es preferible una barra redonda.

El conductor interior también se puede montar de forma no aislada en el sistema de tuberías. En este caso la introducción se diseña sin ninguna medida de aislamiento. Esto es ventajoso en particular cuando, por ejemplo, se conectan entre sí los tramos de tubería individuales de un bucle solar no a través de conexiones de brida, sino que están soldados entre sí. Entonces ya no es posible controlar la resistencia eléctrica de toda la tubería mediante el aislamiento de los tramos de tubería individuales. Cuando el conductor calefactor no se aísla eléctricamente frente a los tramos de tubería soldados entre sí, al aplicar una tensión, a través de los tramos de tubería individuales y el conductor interior fluyen corrientes cuya relación es proporcional a la relación de la conductividad de la tubería respecto a la conductividad del conductor calefactor. Conforme a la relación se genera calor en la tubería o en el conductor calefactor. Mediante la elección de una sección transversal suficiente del conductor calefactor y elección de un material eléctricamente muy buen conductor para el conductor calefactor, por ejemplo, cobre o aluminio, se puede bajar la resistencia del conductor calefactor y aumentar la conductividad hasta que la corriente entre con suficiente intensidad en el conductor interior y el desarrollo de calor se concentre en el conductor calefactor guiado en el interior de la tubería, en una medida que el conductor calefactor interior se caliente más rápidamente que la tubería. Es conveniente para un calentamiento más rápido del conductor interior, que la tubería presente una masa en general claramente mayor y por consiguiente una capacidad calorífica claramente más elevada que el conductor interior.

En el caso de una disposición semejante con conductor calefactor no aislado, a lo largo de toda la tubería no se originan diferencias de potencial entre el conductor calefactor y tubería. La tubería se debe aislar eléctricamente respecto al bastidor del aparato que porta la tubería.

Para que el conductor no se deteriore por la sal fundida que atraviesa la tubería, éste está fabricado preferentemente de un material resistente a la corrosión respecto a la sal usada, en particular respecto al nitrato. Alternativamente es posible, según se ha descrito ya anteriormente, proveer el conductor calefactor de una envolvente resistente a la corrosión. Cuando el conductor calefactor se fabrica de un material resistente a la corrosión, entonces son apropiados en particular un acero inoxidable, por ejemplo, preferiblemente los aceros del tipo St 1.4571 y St 1.4541, pero también St 1.4301 o aceros en base a níquel como St 2. 4856.

Si se usa un acero inoxidable, por ejemplo St 1.4571, sobre el conductor calefactor se forma en primer lugar una capa pasivante de nitruro / óxido metálico, que bloquea la corrosión, con espesor de aprox. 15 µm, que opone una resistencia perceptible al flujo de corriente. La resistencia de la capa de protección ayuda al control de potencial del sistema de conductor calefactor. Las pequeñas tensiones eléctricas también pueden desencadenar procesos de electrodo en las sales conductoras, que conducen a la remoción corrosiva. Los procesos de electrodo pueden comenzar desde un límite de tensión determinado. La capa protectora que impide la corrosión comporta una protección por sobretensión y aumenta la tensión de descomposición del sistema.

El uso del conductor calefactor en el interior de la tubería permite el dominio de puntos de fusión elevados del

- portador de calor usado en la tubería. Esto abre la posibilidad de usar también mezclas de sales como portadoras de calor, que presentan un punto de fusión más elevado que las mezclas de sales discutidas hasta ahora. Entonces se pueden usar, por ejemplo, mezclas de nitratos que contienen nitrato de sodio como componente principal. Esto tiene la ventaja de que el recurso potasio, que se puede usar para la producción de fertilizantes potásicos, se cuida ampliamente. Actualmente la así denominada "Sal Solar 60" contiene un 60% en peso de nitrato de sodio y un 40 % en peso de nitrato de potasio. La fracción de nitrato de sodio en la sal se puede aumentar al 80% en peso o incluso por encima del 90% en peso y más. El punto de fusión de la sal asciende correspondientemente de 235 °C con una mezcla del 40% en peso de nitrato de potasio y el 60% en peso de nitrato de sodio
- 5
- 10 a 273 °C con una mezcla del 80% en peso de nitrato de sodio y el 20% en peso de nitrato de potasio y a 293 °C con una mezcla del 90% en peso de nitrato de sodio y 10% en peso de nitrato de potasio. Con el uso de nitrato de sodio puro el punto de fusión se sitúa en 306 °C.
- Fuera de la composición estequiométrica de las sales fundidas, el conductor interior muestra grandes ventajas en conexión con estas sales fundidas. Los cristales de elevado punto de fusión solidificados son más pesados específicamente que la sal fundida circundante y caen hacia el fondo de la tubería. La velocidad de descenso es mayor para los cristales grandes que para los cristales pequeños. Se puede concebir una adherencia de los cristales a la pared del tubo y su cubrimiento, no obstante, no se ha observado hasta ahora en tubos bien aislados. Con una pendiente de los tubos se separa el cristalizado de elevado punto fusión en los puntos puestos profundamente. La medida de esta separación depende en este caso de la calidad del aislamiento de la tubería. Las tuberías muy bien aisladas, en las que la masa fundida se solidifica lentamente durante un intervalo de tiempo largo, pueden mostrar una separación más intensa que las tuberías no tan bien aisladas.
- 15
- 20 No obstante, no resulta que los cristales de elevado punto de fusión que caen desplacen completamente la masa fundida de bajo punto de fusión. En las zonas profundas de las tuberías se forma mejor dicho un amontonamiento de cristales de elevado punto de fusión, en cuyas cuñas se sitúa sin embargo todavía el material de bajo punto de fusión. En caso de la solidificación completa se forma por ello una mezcla no homogénea de cristales con distintas temperaturas de fusión.
- 25
- Durante el calentamiento de esta mezcla se funden en primer lugar los cristales con punto de fusión más bajo. La masa fundida originada humedece en primer lugar completamente el compuesto de los cristales con temperatura de fusión más elevada. En este caso la mezcla bifásica originada apenas pierde en primer lugar su estabilidad mecánica. Sólo cuando también se funde una parte del compuesto de cristales portante con temperatura de fusión elevada, la mezcla pasa a una forma bombeable. Para la aplicación en centrales solares esto significa que las tuberías con la sal fundida solidificada en ellas se deben calentar más allá del punto de fusión pensado - en el caso de Sal Solar 60 de 242 °C - antes de que se pueda conseguir una capacidad de bombeo sin deterioros.
- 30
- Debido a la cristalización selectiva de los cristales que contienen nitrato de sodio y su descenso a zonas profundas de la tubería se empobrece la masa fundida superior de nitrato de sodio. Este empobrecimiento prosigue hasta que en la masa fundida se alcanza la relación de concentración eutéctica. Con esta relación de concentración se solidifica entonces la masa fundida restante en la zona superior del sistema de tuberías.
- 35
- Mediante el uso del conductor calefactor dentro de la tubería se logra de forma económica y segura el fundir morfologías de solidificación semejantes.
- 40
- En particular en el caso de guiado de tuberías horizontal, el conductor calefactor se puede colocar de forma dirigida en la zona superior de la tubería. Allí está rodeado por una mezcla de cristales que presenta una fracción elevada de cristales con una temperatura de fusión baja, a saber la del eutéctico. Además, en la zona superior de la tubería se pueden encontrar una multiplicidad de cavidades. Allí se puede crear de manera relativamente sencilla un canal de masa fundida que reduce las diferencias de presión horizontales que aparecen eventualmente durante el calentamiento.
- 45
- Debido a la morfología de solidificación, por ejemplo, de la Sal Solar 60, según se ha descrito anteriormente, apenas se pueden definir puntos de fusión razonables para una sal fundida a partir de una mezcla de sales. Así la fusión ya comienza con una temperatura de 221 °C, no obstante, los últimos cristales sólo desaparecen con una temperatura por encima de 280 °C.
- 50
- Dado que la tubería contiene habitualmente junto a los tramos de tubería verdaderos también accesorios, por ejemplo válvulas, es necesario calentar también correspondientemente las válvulas, a fin de garantizar su funcionamiento y, por otro lado, no destruir éstas debido a la dilatación de la sal fundida durante la fusión. Para calentar una válvula es posible, por ejemplo, calentar la zona del elemento de cierre estático directamente desde el conductor calefactor interior y de este modo fundir la sal en la válvula. En este caso el conductor calefactor se conecta por ambos lados de la válvula directamente con el elemento de cierre estático. Si allí se requiere una adaptación de la resistencia, se puede poner un buen conductor eléctrico anular alrededor del elemento de cierre estático. El anillo se monta en este caso preferentemente en el cuerpo de válvula, de modo que no debilita las partes portantes de la construcción de válvula. Mediante un aislamiento eléctrico frente al cuerpo de válvula se concentra el
- 55

calor liberado del conductor calefactor sobre el asiento de válvula. Alternativamente también es posible fabricar el anillo de un material eléctricamente muy buen conductor, por ejemplo cobre. El anillo calefactor en la válvula se adapta preferentemente en su valor de resistencia al valor del conductor calefactor. En este caso el anillo forma una parte del conductor calefactor en la zona de la válvula. Junto al uso en una válvula se puede usar una construcción análoga en otros accesorios, por ejemplo, en chapaletas o correderas. El anillo presenta en este caso respectivamente la forma geométrica del paso a través del que fluye la sal fundida.

5 Ejemplos de realización de la invención están representados en las figuras y se explican más en detalle en la siguiente descripción.

Muestran.

- 10 Figura 1 una representación esquemática de un campo solar de una central solar de colectores cilíndrico-parabólicos,
- Figura 2 un tramo de tubo con sal fundida congelada,
- Figura 3 una sección a través de una tubería con Sal Solar 60 solidificada en ella,
- Figura 4 un desarrollo a modo de ejemplo de un conductor calefactor en un bucle solar,
- 15 Figura 5 un tramo de tubería con conductor calefactor que discurre en él,
- Figura 6 efecto de una flujo a través del tubo sobre un conductor calefactor no fijado,
- Figura 7 una fijación de un conductor calefactor con aislador en un ojal,
- Figura 8 fijación de un conductor calefactor con lazo en un gancho,
- Figura 9 formación de un canal en la sal solidificada a lo largo del conductor calefactor,
- 20 Figura 10 fijación de un conductor calefactor en la zona de un codo de tubo para el desvío del flujo,
- Figura 11 guiado del conductor interior en una pieza terminal con codo de 180°,
- Figura 12 una forma alternativa de un guiado de tubería acodado en 90°,
- Figura 13 una sección transversal a través de un tramo de tubería con varios segmentos,
- Figura 14 desarrollo de corrientes parásitas entre el conductor calefactor y la pared del tubo,
- 25 Figuras 15a a 15E secciones transversales de diferentes geometrías de conductor calefactor,
- Figura 16 un conductor calefactor rígido con compensación de dilatación,
- Figura 17 una sección transversal a través de una tubería con un conductor calefactor sujeto con espaciadores elásticos
- ,
- 30 Figura 18 una sección a través de la tubería a lo largo de la línea A-A' en la figura 17,
- Figura 19 una sección a través de la tubería a lo largo de la línea B-B' en la figura 17,
- Figura 20 un conductor calefactor configurado como cable y no aislado completamente en una tubería larga formada de piezas de tubería soldadas,
- Figura 21 un conductor calefactor configurado como cable con paso a través de una brida ciega,
- 35 Figura 22a a 22C secciones transversales de diferentes conductores calefactores configurados como cable,
- Figura 23 paso alternativo de un conductor calefactor a través de una brida ciega,
- Figura 24 guiado de un conductor calefactor en una conexión de tubo móvil,
- Figura 25 una sección transversal a través de una válvula con conductor calefactor guiado en ella,
- Figura 26 una sección a través de la válvula de la figura 25 en vista en planta.
- 40 La figura 1 muestra una representación esquemática de un campo solar de una central solar de colectores cilíndrico-parabólicos.

- 5 Un campo solar 1 de una central solar de colectores cilíndrico-parabólicos presenta varios bucles solares 3. Los bucles solares se forman respectivamente por una tubería 5 que se atraviesa por un portador de calor. Como portador de calor se usa según la invención una sal fundida, preferentemente Sal solar, es decir, una mezcla de nitrato de potasio y nitrato de sodio en la relación de 40 : 60, o como eutéctico con una relación de mezcla de 44 : 56.
- 10 En los bucles solares 3 se calienta el portador de calor mediante la energía solar irradiada. Para ello las tuberías 5 están circundadas por segmentos por un tubo de vidrio 7. El espacio entre la tubería 5 y el tubo de vidrio 7 se evacua. Por debajo de los tubos de vidrio 7 se sitúa además un colector cilíndrico-parabólico en el que se refleja la luz solar irradiada y se conduce hacia el tubo de vidrio 7. Mediante la radiación incidente sobre el tubo de vidrio 7 se conduce el calor al portador de calor que atraviesa la tubería 5, por lo que se calienta el portador de calor.
- 15 El portador de calor que atraviesa las tuberías 5 de los bucles solares 3 fluye a un colector 9 y desde el colector 9 sigue a una salida del portador de calor 11. El portador de calor que fluye a través de la salida del portador de calor 11 se conduce habitualmente a un intercambiador de calor, en el que éste entrega el calor en un circuito de vapor, con el que se hacen funcionar, por ejemplo, turbinas para la generación de corriente. El portador de calor enfriado que abandona el intercambiador de calor se conduce a través de una admisión del portador de calor 13 a un distribuidor 15 y desde el distribuidor 15 a las tuberías 5 de los bucles solares 3.
- 20 Debido al punto de fusión elevado de una sal fundida, ésta se solidifica en general cuando la central solar no se hace funcionar. Este es siempre el caso, por ejemplo, cuando se irradia muy poca luz solar sobre los colectores cilíndrico-parabólicos, por ejemplo, por la noche. El funcionamiento también se debe ajustar cuando, por ejemplo, se realizan trabajos de mantenimiento.
- Durante los tiempos de parada se puede solidificar la sal fundida que atraviesa las tuberías 5. Esto está representado a modo de ejemplo en la figura 2 para un tramo de tubería.
- 25 Durante la solidificación de la sal fundida en la tubería 5 se produce en general una contracción del volumen. Esto conduce a que se originen burbujas evacuadas 17 en la tubería 5. Las burbujas evacuadas 17 se sitúan en este caso dentro de la sal solidificada 19.
- Si se intenta fundir la sal solidificada es posible que eventualmente debido a la gran distancia espacial entre los puntos de fusión en los que aparece una dilatación volumétrica y las burbujas 17 evacuadas no se realice una compensación de volumen suficiente para reducir las presiones que aparecen. La dilatación volumétrica que se origina por la fusión de la sal puede conducir entonces a un deterioro de la tubería 5.
- 30 La morfología de la Sal Solar 60 solidificada, es decir, de una mezcla de sales del 60% en peso de nitrato de sodio y el 40% en peso de nitrato de potasio está representada a modo de ejemplo en la figura 3.
- 35 Al solidificarse la Sal Solar 60, con aproximadamente 244 °C se solidifica en primer lugar un cristalizado enriquecido con nitrato de sodio con una temperatura de fusión de aproximadamente 280 °C. El nitrato de sodio forma cristales que descienden hacia abajo dentro del tramo de tubería 47. En este caso la velocidad de descenso depende entre otros de cuan grandes se vuelven los cristales. El tamaño de los cristales depende de la velocidad de solidificación. Debido al descenso de los cristales de nitrato de sodio disminuye la concentración de cristales hacia arriba dentro del tramo de tubería 53. Dentro de la sal solidificada 19 se configuran cavidades aisladas debido a la contracción de volumen de la sal. En la superficie de la sal solidificada 19 se configura una zona espumosa 20 en la que se ha solidificado la composición eutéctica de la Sal Solar 60. Esta zona no contiene en general cristales de nitrato de sodio. Por encima de la zona 20 espumosa se forma una burbuja evacuada 17. El cristalizado se acumula en las zonas inferiores de la zona de la tubería accesible por el flujo. Las cavidades se forman preferiblemente en las zonas superiores de la zona accesible por el flujo.
- 40 Para obtener una fusión uniforme de la sal fundida dentro de una tubería 5, según la invención se pone un conductor calefactor 21 con resistencia unitaria específica a través de la tubería 5. Esto está representado a modo de ejemplo en la figura 5.
- 45 Según la invención el conductor calefactor 21 se conduce en el interior de la tubería 5. El conductor calefactor está configurado en este caso, por ejemplo, como alambre de resistencia eléctrica. Al aplicar una tensión se calienta el conductor calefactor 21 y la sal que rodea el conductor 21 se funde formando un canal que rodea el conductor calefactor 21.
- 50 La alimentación del conductor calefactor 21 se realiza a través de una alimentación de tensión principal 23. De la alimentación de tensión principal 23 se ramifica una línea de alimentación 25 para el conductor calefactor 21. En un transformador 27 se transforma la tensión de alimentación a la tensión necesaria para el calentamiento de la sal fundida en la tubería 5. Es posible conectar varios bucles calefactores a una alimentación de tensión. La alimentación de tensión se conecta sucesivamente a los bucles y calienta sucesivamente los circuitos.
- 55 Para posibilitar un montaje sencillo del conductor calefactor 21, éste se conduce fuera de la tubería 5 preferentemente al final de un brazo de la tubería 5 que discurre en forma de U y se conecta de forma

eléctricamente conductora con el conductor calefactor que sale del segundo brazo. De este modo se puede evitar un tendido costoso en particular en el caso de tuberías colectoras 5 móviles que necesitan muchos apoyos para el conductor calefactor 21.

5 Es especialmente preferible usar un circuito calefactor eléctrico con potencial variable flotante para el calentamiento que se genera a través de un transformador 27 no puesto a tierra. Un potencial variable flotante ofrece ventajas de seguridad. Así se puede tolerar un fallo de aislamiento en el bucle.

10 Los receptores mismos se deben mantener aislados eléctricamente. Los receptores también se deben aislar unos respecto a otros. En general es suficiente una resistencia del aislador que sea mayor en un factor 10 que la resistencia del conductor calefactor. Entonces, por ejemplo, debido a la pequeña resistencia preferida del conductor calefactor de menos de 0,1 ohmios ya es suficiente en general una resistencia de un ohmio a través de un receptor para un aislamiento suficiente. El estado de aislamiento del conductor calefactor se puede supervisar, por ejemplo, mediante una medición de resistencia online.

En la figura 5 se representa un tramo de tubería con un conductor calefactor que discurre en él.

15 El conductor calefactor 21 se fija, por ejemplo, colgando en la tubería 5, según se representa en la figura 5. Para ello es posible, por ejemplo, guiar el conductor calefactor 21 a través de ojales 29. Los ojales 29 están fijados en este caso, por ejemplo, colgando en el lado superior de la tubería 5.

20 El conductor calefactor 21 se guía preferentemente de forma descentrada en la tubería 5, seleccionándose la distancia respecto al lado superior de la tubería más pequeña que la distancia respecto al lado inferior de la tubería 5. Debido al tendido descentrado del conductor calefactor 21 se evita que el conductor calefactor 21 entre en contacto con la pared del tubo durante el calentamiento y con una dilatación longitudinal unida a ello. El combado del conductor calefactor 21 es en este caso altamente independiente de la temperatura. Cuanto mayor sea la temperatura, tanto más intensa será la dilatación longitudinal y tanto más intensamente se combará el conductor calefactor 21.

25 Junto a la fijación representada en la figura 5 con ojales 29, alternativamente también es posible, por ejemplo, usar espaciadores elásticos. Los espaciadores elásticos se disponen en este caso preferentemente en forma de cruz en la tubería 5 y el conductor calefactor 21 se guía en la intersección de la cruz.

30 Otra ventaja de la disposición descentrada del conductor calefactor 21 en la zona superior de la tubería 5 es también que las burbujas evacuadas aparecen habitualmente en la parte superior de la tubería 5. Durante el calentamiento del conductor calefactor 21 y en la fusión ligada a ello de la sal en la tubería 5 se forma rápidamente un canal de líquido a lo largo del conductor calefactor 21. A través de este canal formado se pueden evacuar las presiones que pueden aparecer debido a la expansión volumétrica durante la fusión hacia las burbujas evacuadas 17 que actúan aliviando tensiones.

35 No obstante, cuando el conductor calefactor 21 no se fija en los ojales 29, esto puede conducir a que el conductor calefactor 21 se arrastre con la sal fundida que fluye a través de la tubería 5, hasta que éste discurre de forma tensada en la tubería 5. Esto se representa a modo de ejemplo en la figura 6. Sólo al final, es decir, directamente antes de una fijación del conductor calefactor 21 se forma un gran lazo 31, el cual eventualmente también puede tocar la tubería 5.

40 Otra desventaja del tensado del conductor calefactor 21 formando el lazo 31 es que un desplazamiento semejante del conductor puede conducir, en el caso de la solidificación de la sal fundida, a una sollicitación mecánica muy fuerte del conductor calefactor 21 con daños mecánicos subsiguientes. El conductor calefactor se fija en su posición durante la solidificación de la sal y comienza a encogerse debido a la temperatura decreciente de la sal fundida. De este modo actúan fuerzas de tracción intensas sobre la parte ya tensada del conductor calefactor 21.

Para evitar un desplazamiento semejante del conductor calefactor 21, éste se fija preferentemente axialmente en la tubería 5.

45 Una fijación posible del conductor calefactor 21 se representa a modo de ejemplo en las figuras 7 y 8.

En la figura 7 está representada una fijación de un conductor calefactor en un ojal con un aislador.

50 Para la fijación del conductor calefactor 21 es posible, por ejemplo, proveer el conductor calefactor 21 de un casquillo aislante 33. El casquillo aislante 33 se conecta en este caso con el conductor calefactor 21 de modo que el casquillo aislante no se puede desplazar. Para ello es posible, por ejemplo, apretar el casquillo aislante 33 sobre el conductor calefactor 21. Alternativamente también es posible conectar el casquillo aislante 33, por ejemplo, de forma separable con el conductor calefactor 21, por ejemplo, mediante atornillado, o de forma no separable, por ejemplo, mediante soldadura.

El casquillo aislante 33 presenta por un lado un ensanchamiento 35. Para la fijación del conductor calefactor 21 en la tubería 5 se guía el conductor calefactor 21 con el casquillo aislante 33 aplicado en él a través de un ojal 39 fijado en

la tubería 5. El casquillo aislante 33 está en contacto entonces con el ojal 29 gracias al ensanchamiento 35, de modo que el casquillo aislante 33 no se puede deslizar a través del ojal 29. Para evitar un deslizamiento durante el funcionamiento corriente, el ensanchamiento 35 está posicionado en el lado del ojal 29 expuesto al flujo del portador de calor.

- 5 Si está prevista una inversión del flujo o un funcionamiento del bucle solar 3 en el que el portador de calor pueda fluir en cualquier dirección, alternativamente también es posible colocar otro ensanchamiento en el lado opuesto al ensanchamiento 35, después de que se ha guiado el conductor calefactor 21 a través del ojal 29.

En la figura 8 se representa una fijación alternativa del conductor calefactor 21.

- 10 En la forma de realización representada en la figura 8 está colocado un lazo 37 en el conductor calefactor 21. La lazo 37 se cuelga en un gancho 39 que se puede diseñar, por ejemplo, según está representado en la figura 8, en forma de espiral. Mediante el gancho 39 diseñado en forma de espiral se evita que el lazo se pueda soltar durante el funcionamiento normal debido a las diferentes influencias del flujo.

- 15 La lazo 37 se puede fijar, por ejemplo, mediante un casquillo 41 sobre el conductor calefactor 21. El casquillo 41 es en este caso, por ejemplo, un casquillo de apriete que se conecta con el conductor calefactor 21. La fijación del casquillo 41 se puede realizar, por ejemplo, mediante atascamiento o también mediante soldadura o atornillado.

Es especialmente preferido que el casquillo 41 y/o el lazo 37 estén fabricados de un material aislante.

- 20 El uso de un casquillo aislante 33, según está representado en la figura 7, o un lazo 37 y un casquillo 41 de un material aislante tiene la ventaja de que no se produce ningún flujo de corriente del conductor calefactor 21 al casquillo 29 o al gancho 39. De esta manera se pueden reducir las corrientes parásitas que fluyen a través de la fijación del conductor calefactor 21 a la tubería 5.

En la figura 9 se representa un canal en la sal solidificada a lo largo conductor calefactor.

- 25 Cuando después de una parada indeseada de la central solar, por ejemplo, en el caso de caída de corriente durante la noche, la sal se solidifica en las tuberías 5, para la nueva puesta en servicio el conductor calefactor 21 se alimenta en primer lugar con una tensión, por lo que éste se calienta. La sal contenida en la tubería 5 comienza a fundirse alrededor del conductor calefactor 21 calentado. En el caso de un flujo de corriente uniforme en el conductor calefactor 21, la sal se funde de forma uniforme y se forma un canal 43. A través del canal 43 puede fluir la sal fundida, por lo que se pueden reducir las presiones que aparecen debido al aumento de volumen durante la fusión de la sal.

- 30 Al evitar un incremento de presión dado que la sal puede fluir a través del canal 43, se evitan los daños en las tuberías 5 durante la puesta en servicio de la central solar.

Además, mediante el uso de un conductor calefactor 21 es posible prescindir de vaciar las tuberías 5 y por consiguiente todo el campo solar 1 en el caso de una parada breve intencionada. Tampoco es necesario, alternativamente al vaciado de las tuberías 5, impedir la solidificación completa de la sal. El conductor calefactor sólo debe dejar libre un canal de flujo suficientemente grande.

- 35 Además, el conductor calefactor interior ofrece grandes ventajas en el rearranque después de un vaciado del bucle. Por un lado, el sistema de tuberías ya se puede atravesar cuando sólo el conductor calefactor, pero no el sistema de tuberías, ha sobrepasado claramente la temperatura de fusión. Una resistencia específica unitaria sobre toda la longitud del conductor calefactor se ocupa, por otro lado, de forma segura de una falta por puntos fríos.

- 40 En la figura 10 se representa a modo de ejemplo una fijación de un conductor calefactor en la zona de un codo de tubo para el desvío del flujo.

- 45 Habitualmente un bucle solar 3, según se ve en la figura 1, está diseñado en forma de U. En este caso dos tuberías 5 forman los brazos del bucle solar 3 en forma de U, estando conectadas las tuberías 5 que forman los brazos entre sí a través de un tubo que discurre transversalmente en el lado opuesto al colector 9 o distribuidor 15. La sal fundida fluye a través de un brazo del bucle solar 3 en forma de U, a continuación a través de la pieza de tubería guiada transversalmente y que conecta los dos brazos y a través de la segunda tubería 5 de vuelta al colector 9. Para evitar un montaje costoso del conductor calefactor 21 en la zona del desvío de flujo de la sal fundida al final del brazo, es ventajoso diseñar un codo de tubo 45 usado para el desvío del flujo como pieza en T y proveerlo de un tramo de tubería 47 que prosigue en la dirección de la tubería 5. El tramo de tubería 47 está cerrado con un cierre 49 y el conductor calefactor 21 se guía a través del cierre 49.

- 50 Como cierre 49 para el tramo de tubería 47 es apropiada, por ejemplo, una brida ciega.

Para evitar un flujo de corriente en la tubería 5 a través del tramo de tubería 47, el conductor calefactor 21 se guía de forma aislada a través del cierre 49. El conductor calefactor 21 guiado a través del cierre 49 se puede conectar entonces a una alimentación de potencial apropiada. Alternativamente también es posible, según se representa en la figura 4, conectar entre sí respectivamente dos conductores calefactores de dos tuberías 5 adyacentes.

En la figura 11 se muestra un desvío de la sal fundida sobre 180° mediante dos codos de tubo, según se representan en la figura 10.

5 Para posibilitar un calentamiento del interior del tubo, en primer lugar se guía un conductor calefactor 21 de forma aislada a lo largo de la tubería 5 a través del cierre 49. Un tramo de tubería 121 girado en 90° está conectado con la tubería 5. Un conductor calefactor 21 se guía igualmente a través del tramo de tubería 121 girado en 90°. Para alimentar con corriente el conductor calefactor 21 tanto en la tubería 5, como también en el tramo de tubería girado en 90°, los extremos de los conductores correspondientes, que están guiados de forma aislada a través de los cierres 49, están en contacto eléctrico entre sí a través de un guiado de línea externo 119.

10 De igual manera, una segunda tubería 5, que está girada igualmente en 90° respecto al tramo de tubería 121 girado en 90°, se conecta con el tramo de tubería 121 girado en 90°, de modo que en conjunto se obtiene un desvío de 180°. En este punto el conductor calefactor 21 también se guía respectivamente a través del cierre 49 de los extremos de tubería y mediante un guiado de línea externo 119 se conecta entre sí eléctricamente, de modo que en conjunto todos los tramos de tubería atravesados por la sal fundida se pueden calentar con un conductor calefactor 21 interior.

15 En la figura 12 se representa una forma alternativa de un guiado de tubería acodado en 90°. El conductor calefactor 21 sujeta en el centro del tubo mediante un dispositivo tensor 122. El dispositivo tensor 122 se fija en el acodamiento del conductor calefactor 21 mediante atascamiento o soldadura. Mediante esta construcción es posible, para el conductor calefactor interior, seguir la dirección de flujo del medio portador de calor. Respecto a la forma de realización representada en la figura 11 se ahorra una tubuladura de tubería y el guiado de línea externo.

20 En la figura 13 está representada una sección transversal a través de un tramo de tubería con varios segmentos.

Un bucle solar 3 de una central solar está dividido en general en varios segmentos 51. Cada uno de estos segmentos 51 presenta un tramo de tubería 53 que está rodeado por un tubo de vidrio 7. Los segmentos 51 correspondientes sirven en este caso respectivamente como receptores para la captura de la energía solar.

25 Los tramos de tubería 53 individuales se fabrican habitualmente de un metal eléctricamente buen conductor, por ejemplo, de acero inoxidable. Para limitar localmente las corrientes parásitas del conductor calefactor 21 a la tubería 5, es preferible separar unos de otros los tramos de tubería 53 individuales mediante aisladores 55. Como material para los aisladores 55 se selecciona un material que presente una resistencia mayor que la resistencia del conductor calefactor usado como conductor calefactor 21. Como material para los aisladores 55 son apropiadas en particular las cerámicas, juntas de estanqueidad de fibras minerales o juntas de estanqueidad de mica resistentes al calor.

30 Adicionalmente a los aisladores 55, los segmentos 51 individuales están conectados entre sí a través de conexiones o compensadores mecánicos 57. Los compensadores mecánicos 57 pueden ser necesarios para compensar las dilataciones longitudinales de las tuberías 5 durante el funcionamiento.

35 Aunque el conductor calefactor 21 aislado se puede fijar con los aisladores en el interior de la tubería 5, según se representa a modo de ejemplo en las figuras 7 y 8, es ventajoso colocar algunos de los aisladores 55 mostrados en la figura 13 en un bucle solar, a fin de impedir que las corrientes parásitas alimentadas se acumulen en el sistema de tubos.

40 Junto al uso en las tuberías 5 de los bucles solares 3, el conductor calefactor 21 según la invención también se puede usar para el calentamiento interior de una tubería 5, para el calentamiento del colector 9, distribuidor 15, salida del portador de calor 11 y admisión del portador de calor 13, así como todas las otras tuberías atravesadas por la sal fundida. También es posible la aplicación en líneas de manguera flexible con el uso de conductores flexibles.

45 Dado que en general la resistencia de un metal depende de la temperatura, además, también es posible usar el conductor calefactor 21 para la medición de la temperatura media del conductor calefactor interior e indirectamente también de la sal fundida en la tubería 5. Esto es ventajoso en particular luego cuando se usa un material para el conductor calefactor 21 que presenta una fuerte dependencia de la temperatura en la conductividad específica.

50 La fijación del conductor calefactor 21 en la forma de realización representada en la figura 13 se realiza respectivamente al comienzo de un segmento 51 con una lazo 37 y un gancho 39, según se representan en la figura 8. Mediante la fijación con el gancho 39 se asegura el conductor calefactor 21 contra un desplazamiento dentro del segmento 51. La fijación del conductor calefactor 21 dentro del tramo de tubería 53 correspondiente se realiza, por ejemplo, a través de espaciadores elásticos 59. En este caso la fijación con los espaciadores elásticos puede estar prevista en una o varias posiciones en el tramo de tubería 53 del segmento 51. En este caso los espaciadores elásticos 59 se introducen preferentemente en el tubo para el montaje y no están conectados con la pared del tubo, sino que se apoyan sólo contra la pared del tubo.

55 Como material para los espaciadores elásticos 59 se prefieren aceros resistentes a altas temperaturas, por ejemplo, St 2.4668 o Inconel X750.

En la figura 14 se representa el desarrollo de las corrientes parásitas entre el conductor calefactor y la pared del tubo.

5 En una fijación no aislada del conductor calefactor 21 aislado, por ejemplo, al usar espaciadores elásticos 59, fluye una corriente a través de los espaciadores elásticos 59 a la tubería 5. Esto se representa a modo de ejemplo con las flechas a trazos. Las corrientes parásitas 61 que aparecen conducen a que la potencia de calefacción no se produce en el conductor calefactor 21, sino en otro lugar, por ejemplo, en la pared de la tubería 5. En tanto que dominan las corrientes a través del conductor calefactor 21, las corrientes parásitas 61 bajan la eficiencia de la calefacción, sin embargo, no ponen en peligro el funcionamiento de la calefacción mediante el conductor calefactor 21.

10 Además, junto al flujo de corrientes parásitas 61 a través de los dispositivos de fijación a la pared del tubo, aparece un flujo de corriente a través de la sal fundida debido a la elevada conductividad de la sal fundida en la tubería 5. Esto se representa a modo de ejemplo por las flechas 63. Cuando la pared de la tubería 5 está cubierta con sal solidificada, menos conductora, se suprime ampliamente el flujo de corriente 63 a través de la sal fundida.

15 El flujo de corrientes parásitas 63 a través de la sal fundida se disminuye con el uso de acero inoxidable para el conductor calefactor 21, dado que habitualmente forma una capa pasivante de nitrato / óxido metálico con un espesor de aproximadamente 15 µm sobre el acero inoxidable, oponiendo la capa de nitrato / óxido metálico una resistencia perceptible al flujo de corriente.

20 Además, es posible que la tensión eléctrica aplicada conduzca a la corrosión, que está condicionada por una reacción electroquímica. Por este motivo se debe prestar atención a que la tensión eléctrica presente entre el conductor calefactor 21 y la pared de la tubería 5 se sitúe por debajo del potencial límite en el que se inicia una reacción electroquímica.

En las figuras 15A a 15E se representan ejemplos de geometrías apropiadas del conductor calefactor.

25 El conductor calefactor 21 puede estar diseñado, por ejemplo como se representa en la fig. 15a, como cable tubular. El conductor calefactor 21 está formado preferentemente de una malla de acero. Durante el funcionamiento del conductor calefactor 21, que está diseñado en forma de un cable tubular 65, en primer lugar se funde la sal en el interior del conductor calefactor 21, por lo que en el interior del conductor calefactor 21 se configura un canal a través del que puede fluir la sal fundida. La sal que rodea el conductor calefactor 21 y que se funde puede fluir a través de las aberturas de la malla, que forma el cable tubular 65, al canal interior 67.

30 Alternativamente a un cable tubular 65, según se representa en la figura 15A, también es posible diseñar el conductor calefactor 21 en forma de un tubo 69. En este caso es ventajoso además proveer el tubo de una perforación a través de la que puede fluir la sal fundida al interior del tubo. El modo de funcionamiento del conductor calefactor 21 representado en la figura 15B se corresponde en este caso ampliamente con el modo de funcionamiento del conductor calefactor 21 representado en la figura 15A.

35 En la figura 15C se representa un conductor calefactor con una sección transversal en estrella. Una sección transversal en estrella semejante presenta depresiones en forma de V 71. Durante el funcionamiento del conductor calefactor 21, en primer lugar comienza a fundirse la sal en las depresiones en forma de V 71, de modo que en las depresiones en forma de V 71 se forma respectivamente un canal a través del que puede fluir la sal fundida.

Junto a la forma de realización representada en la figura 15C como estrella de 5 puntas, también es posible cualquier otro número de depresiones en forma de V y las puntas unidas a ello. Junto a las depresiones en forma de V también es posible alternativamente prever, por ejemplo, depresiones en forma de U.

40 En la figura 15D se representa un conductor calefactor diseñado como barra 73, estando rodeada la barra 73 por una malla 75, preferentemente una malla de alambre eléctricamente conductor. Durante el funcionamiento de un conductor calefactor, que está diseñado según se representa en la figura 15D, en primer lugar en el malla 75 se configuran canales a través de los que puede fluir la sal fundida. A continuación se forma un canal que circunda el conductor calefactor 21.

45 Las formas de realización diseñadas en las figuras 15a a 15D requieren respectivamente un conductor calefactor de un material que no se corroa en presencia de la sal fundida que atraviesa la tubería 5. En este caso se trata, por ejemplo, de acero inoxidable, por ejemplo, St 1.4571 o también St 1.4301.

50 No obstante, los aceros inoxidables son peores conductores de la corriente que, por ejemplo, cobre o aluminio, que no obstante en general se corroen fácilmente en la sal usada. Para poder usar un conductor calefactor de un material que conduce la corriente mejor que el acero inoxidable es posible, por ejemplo, según se representa en la figura 15E, prever un núcleo 77 de un material con una conductividad eléctrica muy buena, por ejemplo, de cobre o aluminio, que está rodeado por un recubrimiento resistente a la corrosión 79. El recubrimiento resistente a la corrosión 79 también puede ser en este caso, por ejemplo, un tubo resistente a la corrosión, que está conectado con el núcleo 77 que conduce adecuadamente el calor. Esta construcción ofrece la opción de hacer funcionar el conductor calefactor interior completamente sin medidas de aislamiento eléctrico en la tubería.

55

- Un conductor calefactor con una geometría de sección transversal, según se representa en las figuras 15A a 15E, puede ser flexible o estar realizada como conductor rígido. Cuando el conductor calefactor 21 está realizado como conductor rígido, es ventajoso prever zonas de dilatación 81 para compensar las modificaciones de longitud debido a las oscilaciones de temperatura. En la figura 16 se representa a modo de ejemplo un conductor rígido con zona de dilatación 81. La zona de dilatación 81 está diseñada en este caso en forma de onda. Junto al diseño en forma de onda aquí representado, para el diseño de la zona de dilatación 81 también es apropiada cualquier otra geometría que posibilite una compensación de la longitud.
- En las figuras 17 a 19 se representa un conductor calefactor que se sujeta en una tubería con espaciadores elásticos. Los espaciadores elásticos 59 están dispuestos preferentemente en forma de cruz. No obstante, alternativamente también es posible, por ejemplo, prever sólo tres espaciadores elásticos 59, estando orientado en este caso uno de los tres espaciadores elásticos 59 preferentemente de forma perpendicular. El espaciador elástico orientado perpendicularmente puede estar dispuesto en este caso por debajo o por encima del conductor calefactor 21.
- En la figura 18 se representa una posibilidad para la fijación de los espaciadores elásticos 59 en el conductor calefactor 21. Para la fijación es posible, por ejemplo, atascar los espaciadores elásticos 59 con un casquillo 83. Para ello el casquillo 83 se empuja sobre el conductor calefactor 21 y una sección final 85 del espaciador elástico 59. Es posible una fijación adicional, por ejemplo, porque el casquillo 83 se suelda con el conductor calefactor 21.
- La sección final 87 opuesta al conductor calefactor de los espaciadores elásticos 59 está curvada preferentemente formando un pie 89. El pie 89 puede estar diseñado en este caso, por ejemplo, en forma de un ojal. Con el pie 89 se apoya el espaciador elástico 59 en la pared de la tubería. Esto se representa en la figura 19. El uso de los espaciadores elásticos 59, según se representan en las figuras 17 a 19, sirve para la sujeción del conductor calefactor 21 a una altura predeterminada en la tubería 5. Dado que los espaciadores elásticos 59 sólo se presionan mediante su presión de resorte gracias su pie 89 correspondiente contra la pared de la tubería 5, es posible que los espaciadores elásticos 59 se muevan con el flujo de la sal fundida en la tubería 5. En este caso es preferible, según se representa en la figura 13, prever a intervalos regulares, preferentemente al menos una vez en cada receptor, un soporte del conductor calefactor 21, según se representa en las figuras 7 y 8.
- El posicionamiento de los espaciadores elásticos 59 sólo mediante presión de los pies 89 contra la pared de la tubería 5 tiene la ventaja de que el conductor calefactor 21 se puede arrastrar de manera sencilla fuera de la tubería junto con los espaciadores elásticos 59 en caso de necesidad. Esto se puede requerir, por ejemplo, en el caso de un mantenimiento necesario.
- Junto a los pies representados en la figura 19, también es posible diseñar las secciones finales 87 de los espaciadores elásticos 59, opuestas al conductor calefactor, en cualquier otra forma que permita una sujeción en la tubería 5.
- Además, también es posible sujetar los espaciadores elásticos 59 no sólo mediante su presión de apriete en la tubería 5, sino fijar los espaciadores elásticos 59 en la tubería de forma separable, por ejemplo, mediante atornillado, o de forma no separable, por ejemplo mediante soldadura.
- En la figura 20 se representa una tubería larga de tramos de tubería 53 conectadas entre sí mediante soldadura, por ejemplo, los receptores de un bucle solar. Si el conductor calefactor 21 no se asila eléctricamente frente a la cadena de los tramos de tubería 53 soldados entre sí y se aplica una tensión, a través de la cadena de los tramos de tubería 53 fluye una corriente I_a y a través del conductor interior una corriente I_i , cuya relación de intensidades de corriente I_i / I_a está en relación a la resistencia de la tubería 5 respecto a la resistencia del conductor calefactor 21. Conforme a la relación se genera calor en la tubería 5 o en el conductor calefactor 21. Mediante la elección de una sección transversal suficiente del conductor calefactor 21 y la elección de materiales eléctricamente muy buenos conductores, por ejemplo, cobre o aluminio, se puede bajar la resistencia del conductor calefactor hasta que la corriente se conduzca con suficiente intensidad en el conductor calefactor 21 y el desarrollo de calor se concentre en el conductor calefactor 21.
- En la disposición aquí representada, a lo largo de toda la tubería 5 no se generan diferencias de potencial entre el conductor calefactor 21 y la tubería 5. La tubería 5 se debe aislar eléctricamente respecto al armazón del aparato no representado que porta la tubería 5.
- La introducción del conductor calefactor 21 en el espacio interior tubular se puede configurar en el caso del conductor calefactor interior no aislado de forma sencilla mediante atornillados de apriete.
- En la figura 21 se representa un conductor calefactor configurado como cable con paso a través de una brida ciega.
- En la forma de realización aquí representada, el conductor calefactor 21 está configurado en forma de un cable 91. El cable 91 está retorcido en este caso a partir de varios hilos 93.
- En este caso el cable puede estar fabricado, por ejemplo, a partir de tres hilos, según se representa en la figura 21, o también a partir de uno o dos o más de tres hilos.

- 5 El cable 91 está conectado con una barra redonda 95 para la fijación del conductor calefactor 21 configurado como cable 91 en un terminal de un tramo de tubería 47. La conexión del cable 91 con la barra redonda 95 se realiza, por ejemplo, mediante una conexión soldada o alternativamente mediante atornillado o atascamiento. En la conexión de apriete se sujeta la barra redonda 95 sobre el cable 91. En la forma de realización aquí representada, el cable 91 está conectado gracias a una conexión soldada 97 con la barra redonda 95.
- La barra redonda 95 se guía mediante un paso de prensaestopas 99 a través de la brida ciega 101, con la que está terminado el tramo de tubería 53. El paso de prensaestopas 99 presenta un prensaestopas 99 para la fijación de la barra redonda 95. Este prensaestopas está tensado con un casquillo de apriete 105.
- 10 En la barra redonda 95 se puede aplicar una tensión para alimentar con tensión el conductor calefactor 21 diseñado como cable 91.
- En las figuras 22a a 22C se representan las secciones transversales de diferentes conductores calefactores configurados como cable.
- Los cables 91 representados en las figuras 22A a 22C están construidos en este caso respectivamente a partir de tres hilos 93.
- 15 En la figura 22A los hilos 93 están realizados de forma maciza. Entre los hilos individuales se configura un canal cuneiforme 107 a través del que puede salir la sal fundida durante la nueva fusión.
- En la forma de realización representada en la figura 22B, los hilos 93 están diseñados como tubos aplanados. Mediante el aplanamiento se configura un canal cuneiforme 107 mayor en comparación a la forma de realización representada en la figura 22A. Se produce un canal cuneiforme 107 todavía aumentado en la forma de realización representada en la figura 22C, en la que los hilos 93 individuales a partir de los que se retuerce el cable 91 presentan un diseño en forma de riñón.
- 20 En la figura 23 se representa una forma de realización alternativa para el paso del conductor calefactor a través de una sección final de una tubería.
- Para diseñar el prensaestopas con materiales convencionales, en particular un anillo obturador que está fabricado a partir de un material polimérico habitual, es necesario realizar un gradiente de temperatura a lo largo del conductor calefactor y de la barra redonda. El gradiente de temperatura se ajusta por ello en tanto que el extremo de la tubería 5, a través de la que se guía la barra redonda 95, se aísla menos adecuadamente. Adicionalmente se puede favorecer la configuración de un gradiente mediante un aislamiento térmico interno del paso del conductor calefactor 21. El aislamiento térmico interno se puede realizar, por ejemplo, mediante el uso de fibras cerámicas que presentan una resistencia térmica de, por ejemplo, hasta 580 °C. Un relleno correspondiente con fibras cerámicas está designado con la referencia 109.
- 25 30 La barra redonda 95 está rodeada en primer lugar por un material eléctricamente aislante y resistente a la temperatura, por ejemplo, cerámica o carburo de silicio. El primer casquillo 111 presenta preferentemente una resistencia a la temperatura de hasta 580 °C.
- 35 Con el primer casquillo 111 se conecta un segundo casquillo 113. El segundo casquillo 113 está fabricado de un material igualmente eléctricamente aislante que, no obstante, puede presentar una resistencia a la temperatura menor. Entonces es suficiente, por ejemplo, una resistencia a la temperatura de hasta 260 °C. Como material para el segundo casquillo 113 se puede usar, por ejemplo, un plástico de alta temperatura como PTFE.
- 40 Con el segundo casquillo 113 se conecta luego el paso de prensaestopas 99. Para ello el paso de prensaestopas 99 está fijado con una brida 115 en el extremo de la tubería.
- La barra redonda 95 usada contiene preferentemente un material eléctricamente buen conductor. En este caso es posible, por un lado, diseñar la barra redonda completamente del material eléctricamente buen conductor o alternativamente un núcleo de un material eléctricamente buen conductor, que está rodeado por un material menos buen conductor, por ejemplo acero. Como material eléctricamente buen conductor son apropiados, por ejemplo, el cobre o aluminio. De forma especialmente preferida se usa una barra redonda 95 con un núcleo de cobre.
- 45 En la figura 24 se representa un guiado de un conductor calefactor en una conexión de tubo móvil.
- Junto a un desvío de flujo, según está representado en las figuras 10 y 11, alternativamente también es posible prever, por ejemplo, una conexión de tubo móvil para el desvío de flujo. En este caso un codo de tubo 117 se fabrica de un material flexible. Para ello es posible, por ejemplo, diseñar el codo de tubo con una pared ondulada o en zig-zag a fin de conseguir la flexibilidad necesaria.
- 50 Para poder fundir de nuevo la sal en el codo de tubo 117 después de un enfriamiento, también es necesario guiar un conductor calefactor 21 en el codo de tubo 117. Para evitar que el conductor calefactor entre en contacto con las paredes del codo de tubo 117, el conductor calefactor 21 se fija, por ejemplo, con un espaciador elástico 59, según se representa en las figuras 17 y 18, en la tubería. La distancia de los espaciadores elásticos 59 individuales se

selecciona de modo que el conductor calefactor 21 no entra en contacto con la pared del tubo en el caso de una flexión de la conexión de tubo.

5 Junto al desvío al final del bucle solar también se puede recibir una conexión de tubo móvil, según se representa en la figura 24, por ejemplo, entre receptores solares individuales, a fin de adaptar la tubería con los receptores respectivamente a la posición óptima respecto al sol.

10 Cuando adicionalmente al codo de tubo flexible está previsto un desvío de 90°, según se representa en la figura 24, es ventajoso guiar el conductor calefactor del tramo de tubería 47 a una brida ciega, por ejemplo, según se representa en las figuras 21 y 23, fuera de la tubería y conectar en el extremo el conductor calefactor de forma eléctricamente conductora con un guiado de línea externo 119. El tramo de tubería 121 girado en 90° termina igualmente en un cierre 49 que está realizado, por ejemplo, como brida ciega y a través del que se guía un conductor calefactor 21 que se guía luego a través e la conexión de tubo móvil.

Junto al desvío y tramos de tubo móviles, en una tubería también están contenidos habitualmente accesorios, por ejemplo, válvulas. En las figuras 25 y 26 se muestra a modo de ejemplo una sección transversal a través de una válvula con un conductor calefactor guiado en ella.

15 La figura 25 muestra una sección transversal a través de una válvula 123 con un conductor calefactor 21 guiado en ella y la figura 26 muestra una sección transversal a través de la válvula 25 en vista en planta.

20 Una válvula comprende habitualmente un cuerpo de válvula 125 con un asiento de válvula 127, así como un elemento de cierre 129. Para poder fundir una sal solidificada dentro de la válvula, el conductor calefactor 21 se guía de forma anular a lo largo del asiento de válvula 127. Esto significa que el conductor calefactor configura un anillo calefactor 131. El anillo calefactor 131 está posicionado en este caso de modo que no se menoscaba la función de cierre de la válvula 123. Además, se debería evitar que durante la conducción de tensión del conductor calefactor 21 se produzca una conexión directa entre el anillo calefactor 131 y el elemento de cierre 129. Por este motivo es ventajoso prever un aislamiento eléctrico 133 en el asiento de válvula 127. En este caso el aislamiento eléctrico 133 forma preferentemente el asiento de válvula 127. Para evitar que fluya un cortocircuito del conductor calefactor 21 o anillo calefactor 131 al cuerpo de válvula 125, además, es ventajoso aislar eléctricamente el anillo calefactor 131 y el conductor calefactor 21 también respecto al cuerpo de válvula 125. Para ello un material eléctricamente aislante, por ejemplo una cerámica, se introduce en el cuerpo de válvula 125, por ejemplo, en la zona en la que el anillo calefactor 131 está en contacto con el cuerpo de válvula 125. En este caso es esencial que el material usado para el aislamiento eléctrico sea estable térmicamente respecto a los accesorios que aparecen en la válvula.

30 Junto a la forma de realización representada en las figuras 25 y 26 de una válvula, también es posible de forma análoga guiar el conductor calefactor 21, por ejemplo, a través de un anillo calefactor 131 o a través de otro diseño geométrico en otros accesorios, como por ejemplo chapaletas o correderas.

Ejemplos

Ejemplo 1

35 Para el calentamiento de una tubería de 200 m de longitud se usa un conductor calefactor 21 realizado como barra de acero inoxidable. El conductor calefactor presenta un diámetro de 25 mm. El conductor está fabricado en este caso de acero inoxidable St 1.4301.

40 La resistencia específica del conductor calefactor 21 es de 0,00073 Ohm/mm con una temperatura de 290 °C. La potencia específica necesaria para el calentamiento se sitúa en 100W/m. La tensión aplicada para el calentamiento es de 77,3 V y la intensidad de corriente 259 A. La potencia necesaria debido a la longitud de 200 m se sitúa en 20 kW. Esta potencia se necesita sin embargo sólo en el tiempo muy breve de la fusión.

Si se usa una tensión más elevada para el calentamiento, es posible seleccionar una sección transversal menor del conductor calefactor. La potencia térmica que cae en el conductor calefactor se puede evitar, por ejemplo, a través de un funcionamiento a pulsos conectado por tiristor.

45 En el caso de una fijación del conductor calefactor en la tubería 5 a través de soportes de conductor calefactor, que no están aislados eléctricamente, estando diseñados los soportes de conductor calefactor, por ejemplo, como resortes con un diámetro de 1,5 mm, se originan corrientes parásitas, por un lado, a través de los soportes de conductor calefactor a la pared de la tubería, como también a través de la sal fundida eléctricamente conductora. Las corrientes parásitas originadas están representadas a modo de ejemplo en la tabla siguiente.

50

Tabla: Corrientes parásitas

	Sección	Forma conductora	Diámetro	Resistencia	Intensidad de corriente	Resistencia específica
Descripción Camino de corriente	mm ²		mm	Ω	A	Ω/m
Corriente en el conductor calefactor	490,9	Círculo	25,0	0,0051	265,6	0,0134
Corriente a través del soporte del conductor calefactor	1,77	Círculo	1,5	0,0267		0,0134
Corriente a través del tubo exterior	427,3	Círculo		0,0059		0,0134
Suma				0,0325	41,48	
Corriente a través de la sal fundida	181,427	Rectángulo		13,62	0,10	0,0049

La intensidad de corriente, mucho menor en comparación a la intensidad de corriente en el conductor calefactor, a través de los soportes del conductor calefactor y el tubo exterior, así como a través de la sal fundida, muestra que incluso con una conexión eléctricamente conductora y corrientes parásitas a través de los soportes del conductor calefactor y a través de la sal fundida se origina una potencia calefactora suficientemente grande en el conductor calefactor para fundir la sal que rodea el conductor calefactor 21, por lo que se origina un canal que rodea el conductor calefactor 21 a través del que puede fluir la sal fundida, a fin de compensar las presión originadas debido al aumento de volumen por la fusión de la sal.

10 Ejemplo 2

Una tubería de acero inoxidable 1.4541 presenta una conductividad específica de 1,7 m/(Ohm·mm²) y un diámetro interior de 65 mm y un espesor de pared de 2 mm. La superficie de sección transversal de la tubería es de 421 mm². La conductividad del tubo es de 716 m/Ohm. Cuando el 90% del desarrollo de calor se debe realizar en un conductor interior contenido en la tubería, es necesario que el conductor interior absorba 10 veces la cantidad de corriente. Para ello necesita una conductividad de 7.157 m/Ohm. El cobre presenta una conductividad eléctrica de 56,2 m/(Ohm·mm²) con una temperatura de 20 °C. Por consiguiente se calcula una superficie de sección transversal necesaria para un conductor interior de cobre de 127 mm². Esto se corresponde con un alambre de cobre con un diámetro de 12,7 mm o tres alambres de cobre con respectivamente un diámetro de 7,4 mm. Si se debe usar un conductor interior de aluminio, entonces éste necesita un diámetro de 15,8 mm con la misma conductividad.

Debido a la masa mucho más pequeña y por consiguiente la capacidad calorífica mucho más pequeña del conductor interior respecto a la tubería ya son suficientes diámetros más pequeños para el conductor interior para su calentamiento preferido. En general es suficiente que incluso menos del 50% de la corriente total se guíe al conductor interior. Esto posibilita realizar el conductor interior con un diámetro pequeño y usar sólo un material menos caro, eléctricamente buen conductor, por ejemplo cobre. En el sistema de tuberías DN65 puede ser suficiente, por ejemplo, diseñar el conductor calefactor de tres alambres de cobre con un respectivo diámetro de 5 mm. Los alambres de cobre se retuercen en este caso preferentemente formando un cable.

Se debe observar que, en el caso de un aumento de la temperatura, la conductividad eléctrica del cobre baja claramente más rápido que la conductividad del acero inoxidable. Sin embargo, la bajada relativa no es tan grande que pudiera perturbar el calentamiento dirigido del conductor interior. Se puede pensar en este caso que el conductor interior no se debe calentar mucho más allá del punto de fusión de las sales portadoras de calor.

El St. 1.4541 usado como material estándar del tubo presenta una conductividad eléctrica baja para los aceros. No obstante, puede ser favorable en este caso fabricar, por ejemplo, el tubo absorbedor de los receptores individuales en un bucle solar completamente o parcialmente de otro acero inoxidable que presente una conductividad todavía más baja. Un acero semejante es, por ejemplo, el St 1.4301. No obstante, en este caso también se debe prestar atención a la compatibilidad de corrosión con el portador de calor usado.

En función del tipo de sal fundida puede ser necesario evitar un contacto directo del cobre o aluminio, que se usa para el conductor calefactor, con la sal fundida, a fin de evitar la corrosión en el conductor calefactor o no menoscabar la estabilidad de la sal. Una incompatibilidad posible del material del conductor calefactor, por ejemplo,

cobre o aluminio, con la sal usada como portador de calor se puede resolver, por ejemplo, porque los hilos individuales del conductor calefactor se realizan con una envolvente exterior de acero inoxidable.

Alternativamente también es posible fijar el conductor interior lo más cerca posible en una pared de la tubería. Mediante la selección del material altamente conductor se podría concentrar sobre éste un flujo de corriente a través de la tubería sobre zonas especialmente apropiadas, por ejemplo, la zona superior de la tubería. No obstante, la flexibilidad y las propiedades técnicas caloríficas de una construcción semejante son peores que las de un conductor calefactor interior.

5

Lista de referencias

1	Campo solar	75	Malla
3	Bucle solar	77	Núcleo
5	Tubería	79	Tubo resistente a la corrosión
7	Tubo de vidrio	81	Zona de dilatación
9	Colector	83	Casquillo
11	Salida del portador de calor	85	Sección final de los espaciadores elásticos 59
13	Admisión del portador de calor		
15	Distribuidor 17 Burbuja evacuada	87	Sección final opuesta al conductor calefactor
19	Sal solidificada	89	Pie
20	Zona espumosa	91	Cable
21	Conductor calefactor	93	Hilo
23	Alimentación de tensión principal	95	Barra redonda
25	Línea de alimentación	97	Unión de soldadura
27	Transformador	99	Paso de prensaestopas
29	Ojal	101	Brida ciega
31	Lazo	103	Prensaestopas
33	Casquillo aislante	105	Casquillo de apriete
35	Ensanchamiento	107	Canal cuneiforme
37	Lazo	109	Fibras cerámicas
39	Gancho	111	Primer casquillo
41	Casquillo	113	Segundo casquillo
43	Canal	115	Brida
45	Codo de tubo	117	Codo de tubo
47	Tramo de tubería	119	Guiado de línea externa
49	Cierre 51 Segmento	121	Tramo de tubería girado en 90°
53	Tramo de tubería	122	Dispositivo tensor
55	Aislador	123	Válvula
57	Compensador mecánico	125	Cuerpo de válvula
59	Espaciador elástico	127	Asiento de válvula
61	Flujo de corriente parásita	129	Elemento de soldadura
63	Flujo de corriente a través de la sal fundida	131	Anillo calefactor

ES 2 546 603 T3

65	Cable tubular	133	Aislamiento eléctrico
67	Canal interior		
69	Tubo perforado		
71	Depresión en forma de V		
73	Barra		

REIVINDICACIONES

- 5 1. Tubería para el transporte de una sal fundida con una pared estable frente a las temperaturas que aparecen, en la que en el interior de la tubería (5) se guía un conductor calefactor (21) para el calentamiento y el conductor calefactor (21) preferentemente no está en contacto con la pared interior de la tubería (5), **caracterizada porque** el conductor calefactor (21) está diseñado en forma de un tubo (69) o de un canal con cualquier sección transversal y en la pared del tubo o canal están configuradas aberturas, o **caracterizada porque** el conductor calefactor (21) está configurado como género de punto (65) o tejido anular, o **caracterizada porque** el conductor calefactor (21) presenta al menos una depresión en forma de U o en forma de V (71) que se extiende en la dirección axial.
- 10 2. Tubería según la reivindicación 1, **caracterizada porque** el conductor calefactor (21) está dispuesto de forma descentrada en la tubería (5), siendo la distancia del conductor calefactor (21) mayor hacia abajo que hacia arriba, en el caso de un tramo de tubo que discurre con una pendiente máxima de 45°.
3. Tubería según la reivindicación 1, **caracterizada porque** el conductor calefactor (21) está dispuesto de forma centrada en la tubería (5) cuando la tubería (5) presenta una pendiente de más de 45°.
- 15 4. Tubería según una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizada porque** el conductor calefactor (21) se guía en ojales (29) en la tubería (5) atravesada por la sal fundida.
5. Tubería según la reivindicación 4, **caracterizada porque** sobre el conductor calefactor (21) se aplica un aislador (33) y el conductor calefactor (21) está fijado con el aislador (33) en el ojal (29).
- 20 6. Tubería según una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizada porque** el conductor calefactor (21) está fijado con espaciadores elásticos en el interior de la tubería (5)
7. Tubería según una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizada porque** en el conductor calefactor (21) están colocados lazos (37) que se cuelgan en ganchos de fijación (39) para fijar el conductor calefactor (21) en la tubería (5).
- 25 8. Tubería según una de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizada porque** la tubería (5) comprende un tubo interior que se atraviesa por la sal fundida.
9. Tubería según una de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizada porque** el conductor calefactor (21) está dividido en segmentos de conductor calefactor, estando conectados los segmentos de conductor calefactor con pequeñas resistencias eléctricas.
- 30 10. Tubería según una de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizada porque** la tubería (5) está dividida en segmentos (51) individuales.
11. Tubería según la reivindicación 9 y 10, **caracterizada porque** la longitud de los segmentos de conductor calefactor se corresponde con la longitud de uno o varios segmentos (51) de la tubería (5).
12. Tubería según una de las reivindicaciones 1 a 11, **caracterizada porque** la tubería (5) es una tubería en un campo solar (1) de una central solar con colectores cilíndrico-parabólicos.
- 35 13. Tubería según una de las reivindicaciones 1 a 12, **caracterizada porque** los codos de tubo (45) para el desvío del flujo presentan respectivamente un tramo de tubería (47) que se prolonga en la dirección de la tubería (5), estando cerrado el tramo de tubería (47) con un cierre (49) y guiándose el conductor calefactor (21) a través del cierre (49) del tramo de tubería (47).
- 40 14. Tubería según la reivindicación 13, **caracterizada porque** el cierre (49) del tramo de tubería (47) está realizado como brida ciega.
15. Tubería según una de las reivindicaciones 1 a 14, **caracterizada porque** el material de superficie para el conductor calefactor (21) está seleccionado a partir de un acero inoxidable resistente a la corrosión frente al nitrato.
- 45 16. Tubería según una de las reivindicaciones 1 a 15, **caracterizada porque** el conductor calefactor (21) se guía de forma no aislada en la tubería.
17. Tubería según la reivindicación 16, **caracterizada porque** el conductor calefactor (21) está fabricado a partir de varios tubos que están llenos con un material eléctricamente buen conductor.
- 50 18. Uso de una sal fundida que contiene nitrato de sodio y nitrato de potasio, en el que la fracción de nitrato de sodio es de al menos el 60% en peso, como portador de calor en una central solar, en el que la central solar contiene al menos una tubería según una de las reivindicaciones 1 a 17.

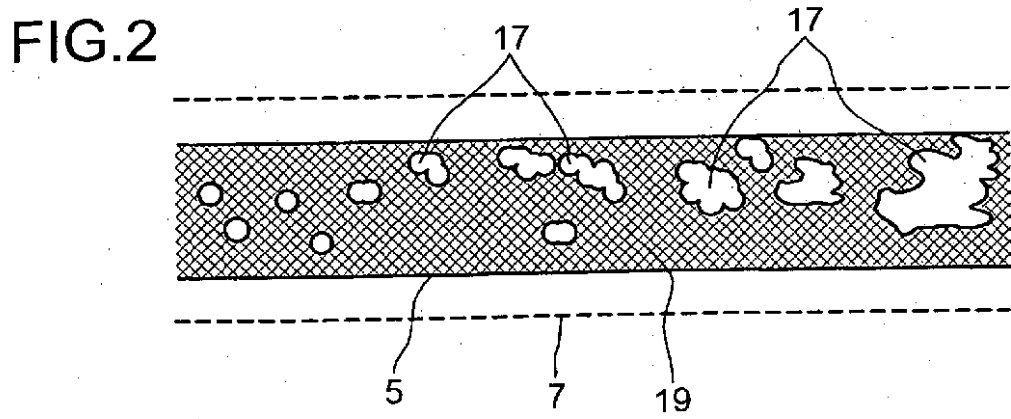
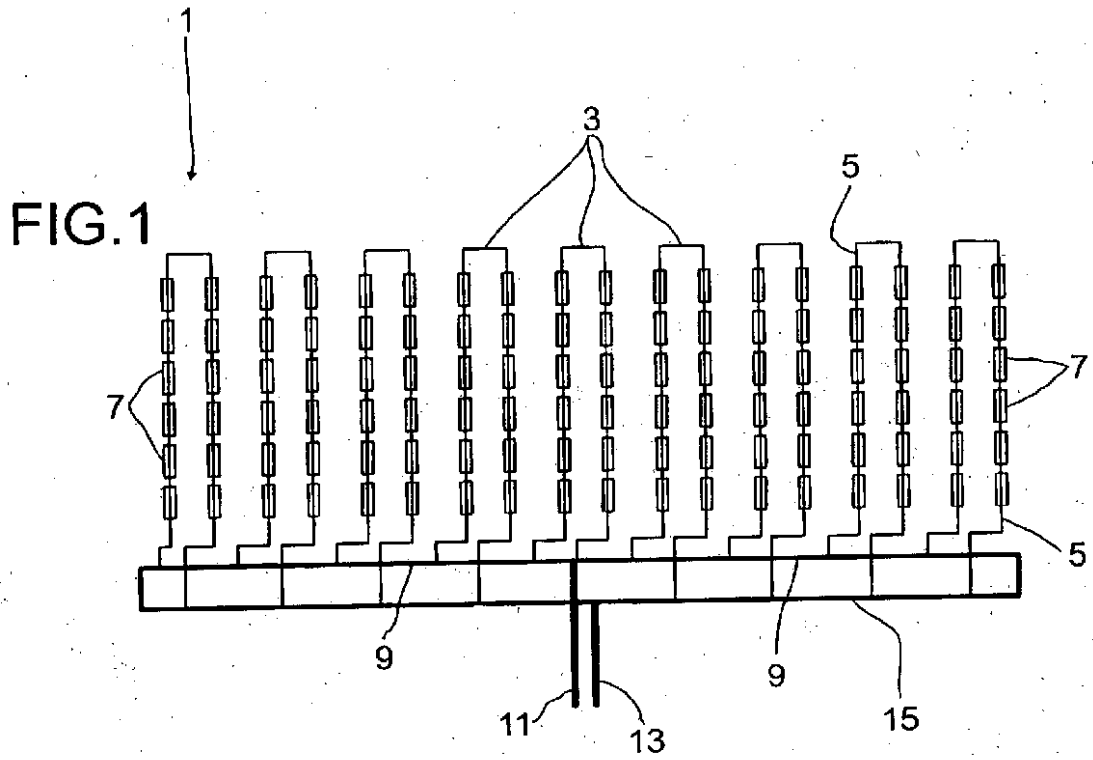


FIG.3

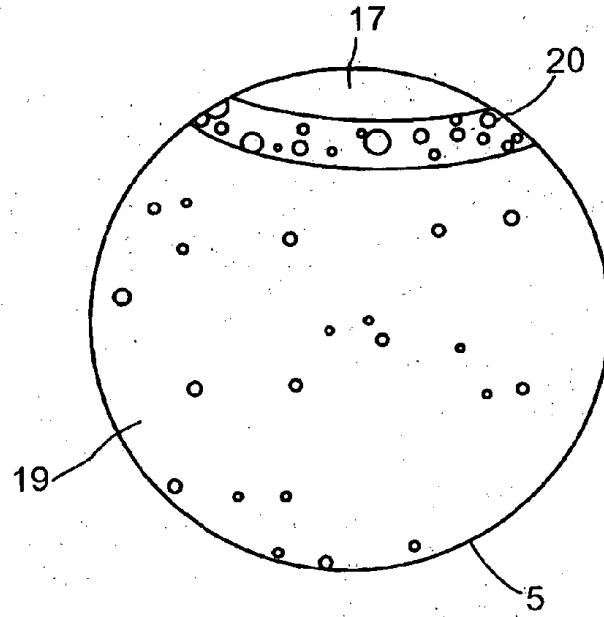


FIG.4

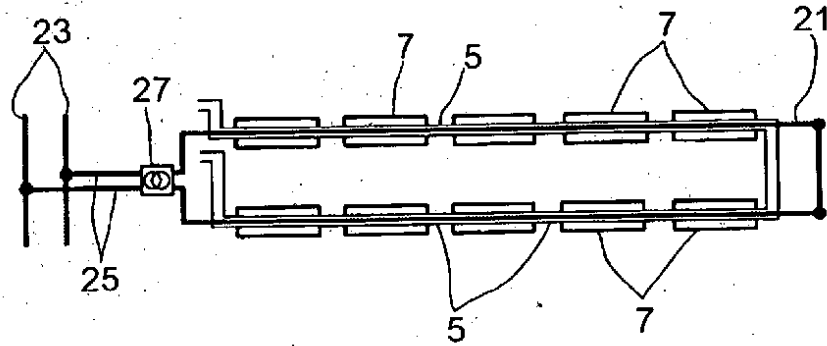


FIG.5

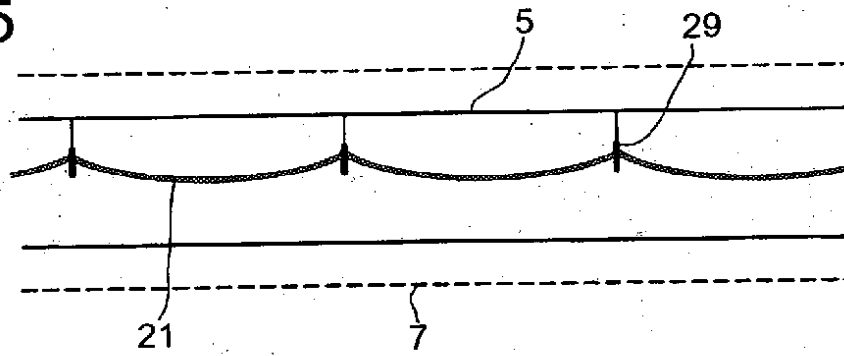


FIG.6

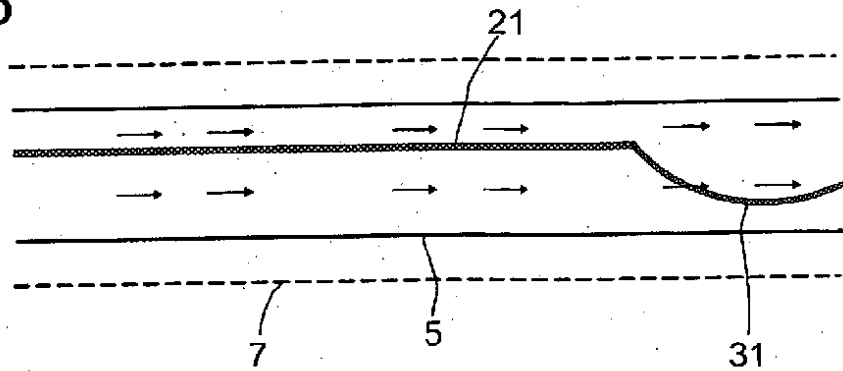


FIG.7

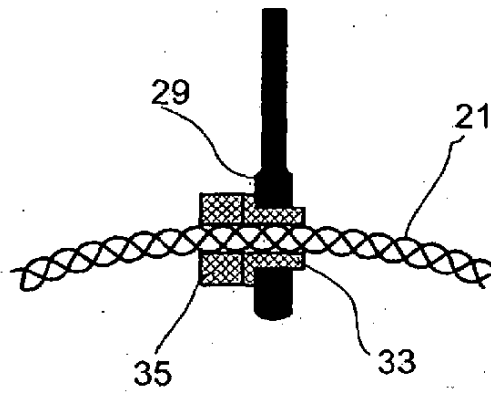


FIG.8

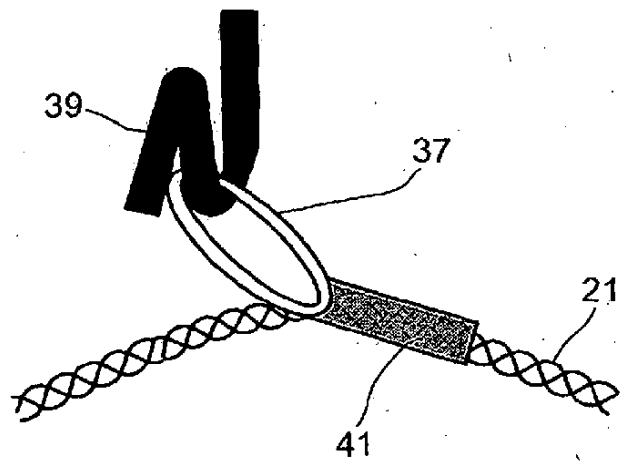


FIG.9

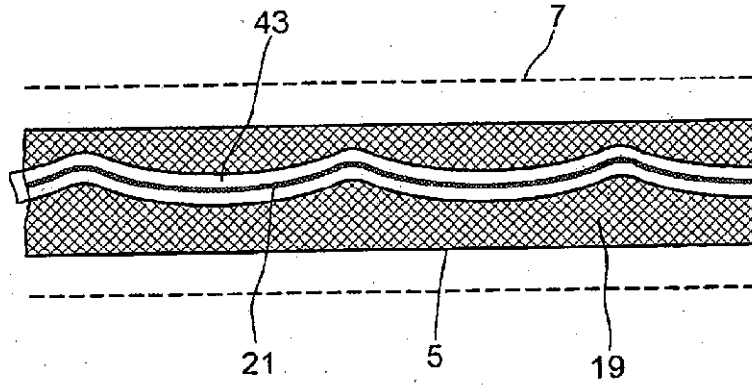


FIG.10

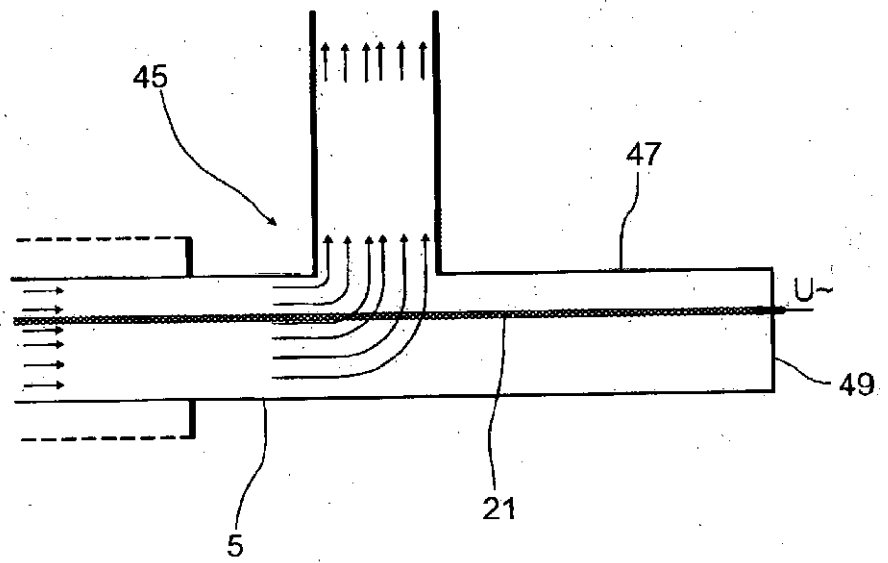


FIG.11

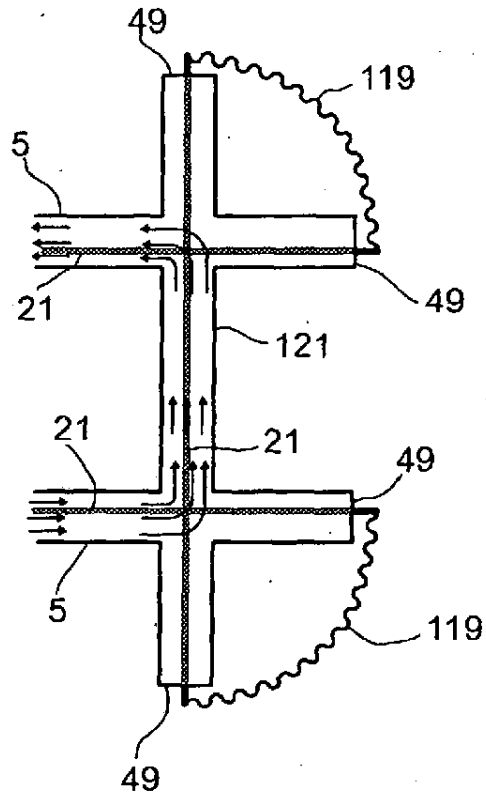


FIG.12

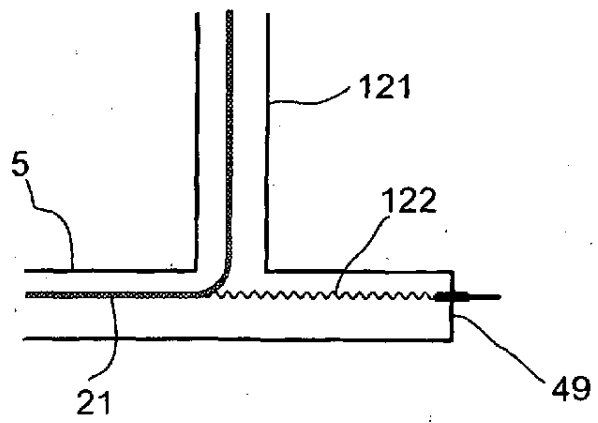


FIG.13

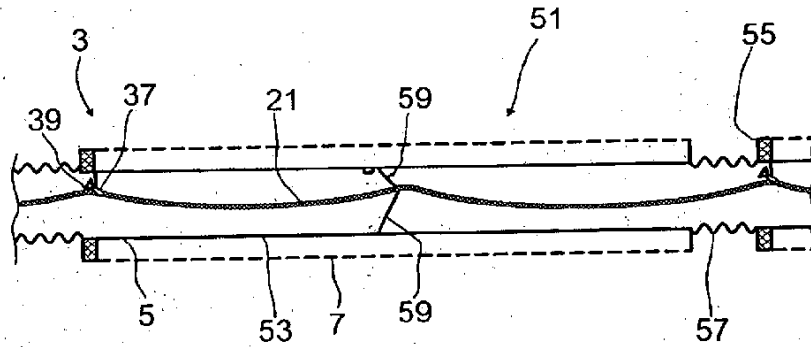


FIG.14

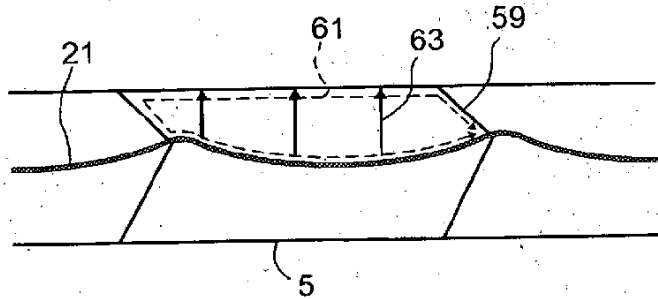


FIG.15A FIG.15B FIG.15C FIG.15D FIG.15E

FIG.16

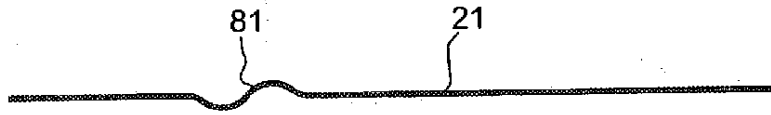


FIG.17

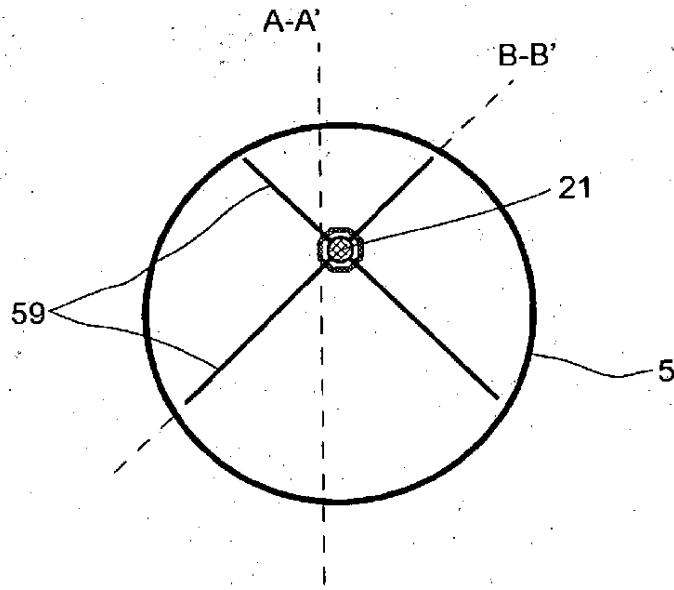


FIG.18A-A'

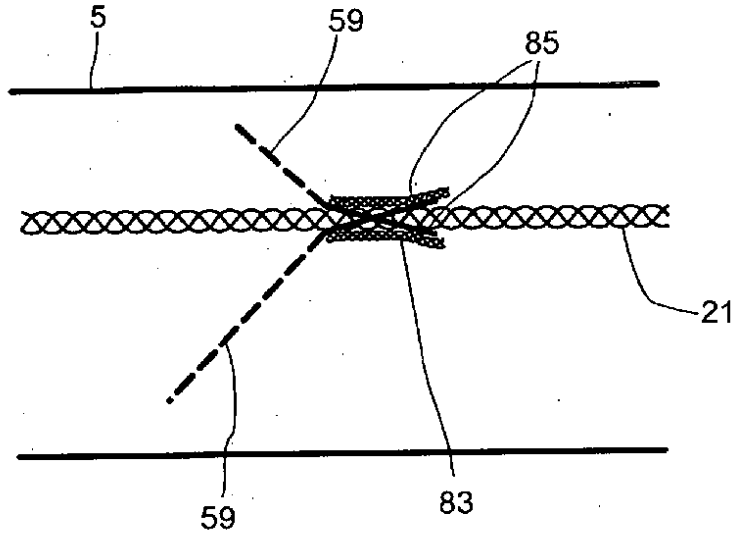


FIG.19B-B'

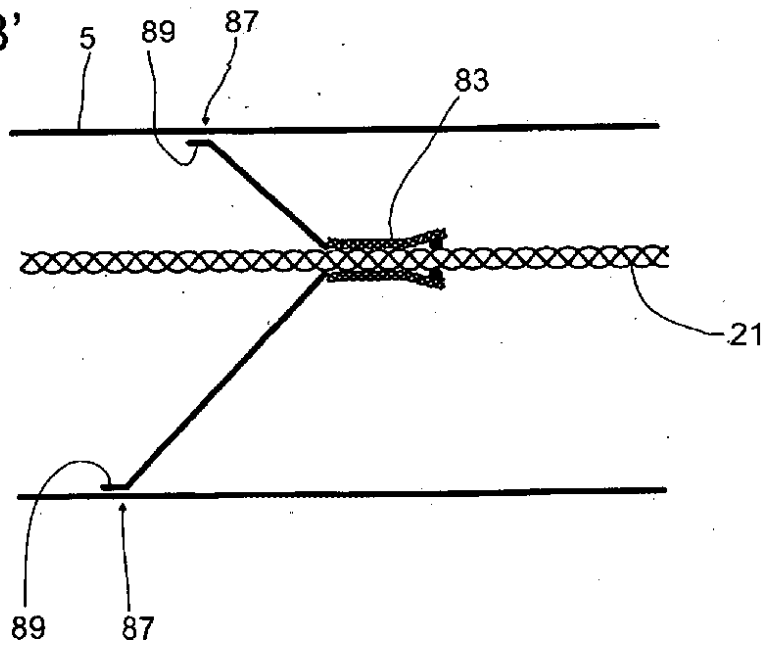


FIG.20

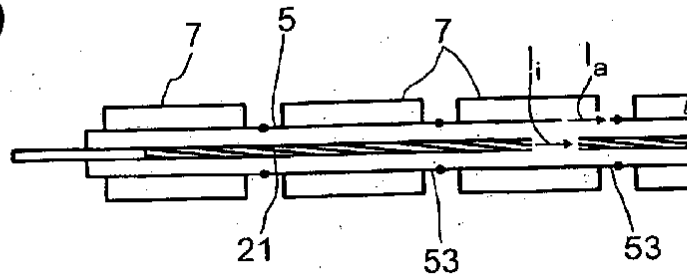


FIG.21

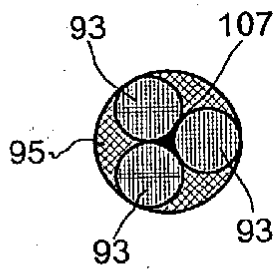
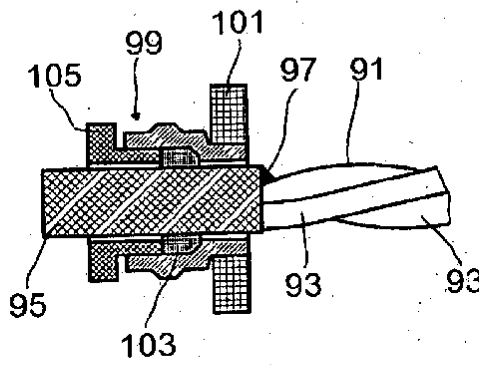


FIG.22A

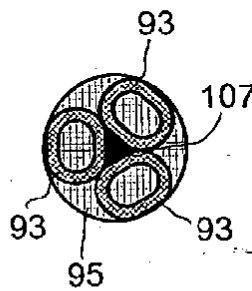


FIG.22B

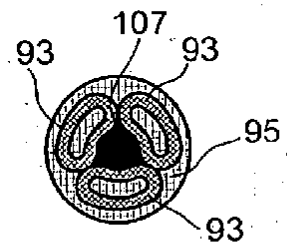


FIG.22C

FIG.23

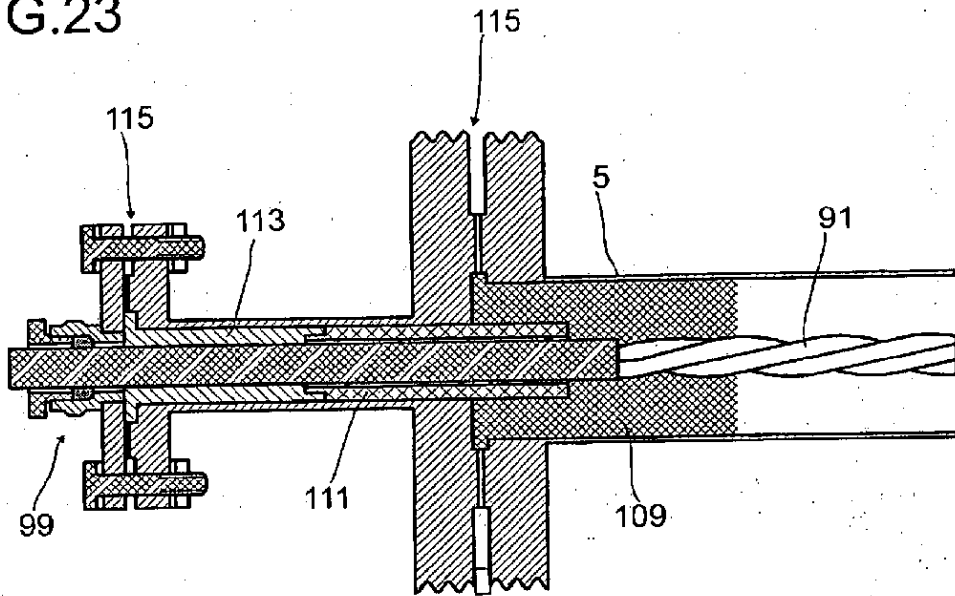


FIG.24

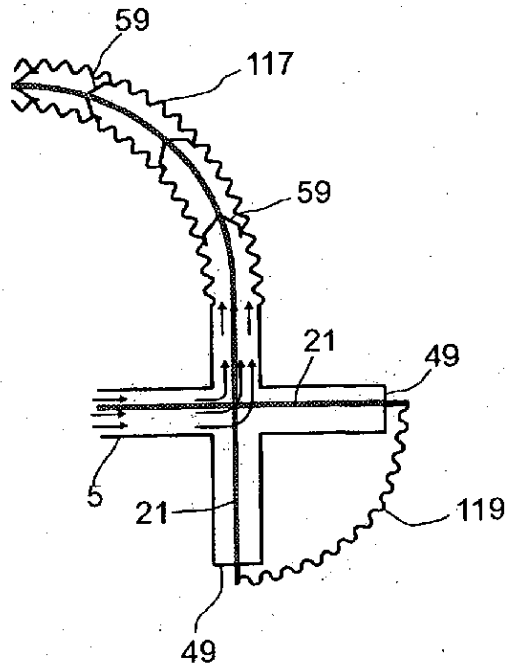


FIG.25

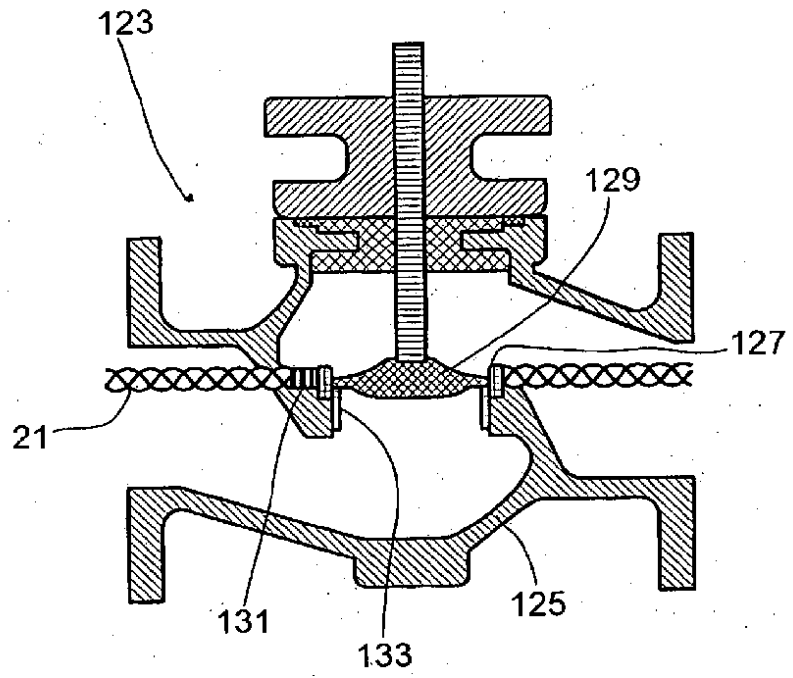


FIG.26

