

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 977 794**

51 Int. Cl.:

F24S 40/10 (2008.01)

F24S 10/70 (2008.01)

F24S 20/20 (2008.01)

F28D 1/047 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.11.2018 PCT/AU2018/051220**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.05.2019 WO19095010**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.11.2018 E 18879425 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.04.2024 EP 3710761**

54 Título: **Un receptor de energía solar concentrada**

30 Prioridad:

15.11.2017 AU 2017904632
22.06.2018 AU 2018902236

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
30.08.2024

73 Titular/es:

VAST RENEWABLES LIMITED (100.0%)
124 Walker Street
North Sydney, NSW 2010, AU

72 Inventor/es:

FISHER, JAMES ROBERT;
CURTIS, ALLAN;
DREWES, KURT FRIEDRICH;
LESLIE, BRUCE ALEXANDER;
JOST, TIMOTHY PETER y
BARTOS, NICHOLAS PAUL

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 977 794 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

Un receptor de energía solar concentrada

La presente descripción se refiere a un receptor de energía solar concentrada (CSP), así como a un conjunto de torre CSP que incorpora dicho receptor.

5 Antecedentes de la invención

En un tipo de sistema CSP, un conjunto de concentración de heliostatos refleja la luz solar hacia uno o más módulos receptores de energía solar montados en una torre solar central. Típicamente, los heliostatos tienen la forma de espejos de seguimiento solar que reflejan y enfocan la luz solar o la energía térmica solar hacia un módulo receptor central montado en una torre solar.

10 El módulo receptor puede incluir un conjunto de tuberías o conductos que llevan un fluido de transferencia de calor circulante, como sodio o sal fundida. Esto transmite calor a una instalación de almacenamiento de calor, como un depósito de sal, que a su vez puede usarse para calentar agua para accionar una o más turbinas de vapor. El flujo de calor máximo al que están los receptores sometidos es típicamente el intervalo de hasta 1500KW/m², lo que da como resultado temperaturas del metal superiores a 600° o 700°C. El estrés térmico extremo y la variación térmica a la que
15 está sometido el receptor exigen los tipos de material utilizados e impactan en la vida útil del receptor, y no es raro que los receptores fallen prematuramente bajo dicho estrés térmico.

Bajo estas condiciones de operación extremas, es deseable que se eviten los llamados "puntos calientes", y que haya una distribución de calor relativamente uniforme a través del receptor por los conductos que reciben y conducen eficientemente el calor.

20 La referencia a cualquier técnica anterior en la memoria descriptiva no es, y no debe tomarse como, un reconocimiento o cualquier forma de sugerencia de que esta técnica anterior forma parte del conocimiento general común en cualquier jurisdicción o que se podría esperar razonablemente que esta técnica anterior sea entendida, considerada como relevante y/o combinada con otras piezas de la técnica anterior por un experto en la materia.

El documento US 7 011 086 B2 divulga un receptor térmico solar según el preámbulo de la reivindicación 1.

25 Resumen de la invención

En función de la invención, se proporciona un receptor térmico solar concentrado para recibir energía térmica solar concentrada desde un conjunto de reflectores solares de concentración, comprendiendo el receptor un conjunto de tubos de una sola capa configurado para transportar un fluido de transferencia de calor y definiendo en combinación una superficie de recepción de energía térmica solar concentrada expuesta, teniendo el conjunto de tubos una entrada
30 de fluido que se comunica con al menos un conducto de entrada y una salida de fluido que se comunica con al menos un conducto de salida, comprendiendo la entrada de fluido un cabezal de entrada operativamente inferior y comprendiendo la salida de fluido un cabezal de salida operativamente superior, y extendiéndose el conjunto de tubos entre el cabezal de entrada y el cabezal de salida, donde el conjunto de tubos está dispuesto en una configuración en serpentina, y el conjunto tiene pasadas o componentes predominantemente transversales, teniendo cada tubo del conjunto una componente vertical o longitudinal entre pasadas o componentes transversales sucesivos, de modo que,
35 en funcionamiento, los componentes o pasadas transversales son sustancialmente horizontales y el conjunto de tubos define así una trayectoria de flujo de fluido que es horizontal y ascendente.

Según una realización de la invención, se proporciona un receptor térmico solar concentrado según la invención y donde el conjunto incluye una disposición de montaje para montar el conjunto tubular en un soporte o recinto que a su vez está montado en una torre solar, estando configurada la disposición de montaje para permitir el movimiento transversal y hacia arriba/hacia abajo de los tubos en el conjunto debido a la contracción y expansión térmica, incluyendo la disposición de montaje medios de separación para evitar que los tubos adyacentes se toquen, pero manteniéndolos en una posición casi de contacto.

Según otra realización de la invención, se proporciona un receptor térmico solar concentrado según la invención, incluyendo el receptor una cubierta térmicamente aislante móvil entre una posición abierta donde la superficie receptora de energía térmica solar está expuesta para recibir el flujo solar y una posición cerrada donde la superficie receptora de energía térmica solar está cubierta para bloquear o reducir la incidencia del flujo solar en los tubos o para reducir la pérdida de calor del conjunto de tubos en condiciones en las que la incidencia del flujo solar se reduce sustancialmente o es inexistente.

50 La entrada de fluido comprende un cabezal de entrada operativamente inferior y la salida de fluido comprende un cabezal de salida operativamente superior, definiendo el conjunto de tubos en combinación la superficie de recepción de energía térmica concentrada y extendiéndose entre un cabezal de entrada y un cabezal de salida.

El conjunto de tubos define una ruta de flujo de fluido que es predominantemente transversal y ascendente, o monótona.

El componente transversal es sustancialmente horizontal, y el componente vertical o longitudinal puede ser vertical en

- 5 al menos un plano. El conjunto puede incluir una disposición de montaje para montar el conjunto tubular en un soporte o recinto que a su vez está montado en una torre solar, estando configurada la disposición de montaje para permitir el movimiento transversal y hacia arriba/hacia abajo de los tubos en el conjunto debido a la contracción y expansión térmica, incluyendo la disposición de montaje medios de separación para evitar que los tubos adyacentes se toquen, pero manteniéndolos en una posición casi de contacto.
- La disposición de montaje puede comprender al menos dos vigas de soporte alargadas que están alineadas longitudinal o verticalmente con respecto a el conjunto de tubos y que llevan enlaces móviles que montan los componentes del tubo transversal en los soportes para permitir el movimiento transversal y hacia arriba/hacia abajo de los mismos.
- 10 Las vigas de soporte pueden tener la forma de conductos en los que los enlaces están montados de forma giratoria y deslizante, los enlaces a su vez están montados de forma giratoria en lengüetas en los componentes del tubo que se extienden transversalmente, los enlaces están separados por espaciadores deslizantes.
- Las longitudes de cada uno de los tubos en el conjunto pueden ser sustancialmente similares, y la resistencia al flujo de cada tubo puede ser sustancialmente similar para proporcionar un tiempo de permanencia similar del fluido conductor del calor.
- 15 El receptor puede incluir una cubierta térmicamente aislante móvil entre una posición abierta donde la superficie de recepción de energía solar térmica está expuesta para recibir flujo solar y una posición cerrada donde la superficie de recepción de energía solar térmica está cubierta para bloquear o reducir la incidencia de flujo solar en los tubos.
- 20 El conjunto de tubos puede comprender una pluralidad de tubos de múltiples pasadas que se extienden uno al lado del otro en un conjunto paralelo y en serpentina desde un colector de entrada del cabezal de entrada hasta un colector de salida del cabezal de salida.
- El número de tubos paralelos y el número de pasadas por tubo suelen estar en relación inversa entre sí, de modo que el número total de pasadas de tubos transversales, ya sea desde el mismo tubo o desde tubos diferentes, sigue siendo sustancialmente el mismo.
- 25 El conjunto de tubos puede ser sustancialmente coplanario para proporcionar una superficie de recepción de energía coplanaria. Mientras que los tubos en el conjunto coplanario están dispuestos de tal manera que los tubos adyacentes casi se tocan, al tiempo que permiten el juego entre los tubos, ciertos tubos pueden doblarse fuera del plano cuando un radio de curvatura en el plano sería demasiado pequeño para permitir la flexión sin una deformación o un adelgazamiento excesivo del tubo.
- 30 La configuración general del conjunto puede ser una configuración de cartelera que sea cuadrada o rectangular.
- El conjunto de tubos puede definir una superficie curva o multifacética.
- El conjunto de tubos puede definir una superficie cilíndrica o semicilíndrica, en cuyo caso la torre solar está total o parcialmente rodeada respectivamente por helióstatos.
- 35 El conjunto de tubos puede definir un tronco de cono invertido, o parte de este, en un ángulo óptimo desde la vertical para recibir una concentración de flujo solar óptima.
- Al menos uno de los cabezales de entrada o salida puede tener un montaje flotante que le permita moverse en concierto con la expansión y contracción térmica del conjunto de tubos.
- 40 El cabezal de entrada inferior puede estar provisto de un montaje flotante y el cabezal de salida superior puede estar provisto de un montaje fijo para montarlo en un bastidor o carcasa, con las vigas de soporte ancladas de forma móvil al bastidor o carcasa de soporte.
- La cubierta puede incluir un lado adecuado para resistir la radiación incidente alta y una disposición de montaje para mantener el lado orientado hacia la fuente o la radiación incidente alta en las posiciones abierta y cerrada y en el movimiento entre ellas.
- 45 Convenientemente, cuando la cubierta está en la posición abierta, está ubicada inmediatamente debajo del receptor para proporcionar protección contra la radiación incidente alta a la parte de la estructura de soporte del receptor inmediatamente debajo del receptor y detrás de la cubierta.
- Los medios de montaje pueden incluir un montaje de tipo articulación de cuatro barras para montar de forma móvil la cubierta en la estructura de soporte o torre.
- 50 La puerta aislante puede configurarse para reducir la pérdida de calor convectivo y radiativo del conjunto de tubos, en un sistema donde el fluido de transferencia de calor no se drena de los tubos cuando no hay flujo solar en los tubos.
- El fluido conductor del calor puede ser sodio y los tubos pueden construirse a partir de una aleación de acero inoxidable

tal como 230 o 625 o una aleación a base de níquel tal como Inconel.

La descripción se extiende a un conjunto de torre térmica solar concentrada que incluye una torre térmica solar y un receptor térmico solar concentrado del tipo descrito montado en una porción superior de la torre.

La torre puede pivotar entre una posición vertical y una posición prona para permitir el mantenimiento de la misma.

5 La descripción incluye una torre solar de energía solar concentrada que incluye al menos un receptor térmico solar del tipo definido anteriormente.

10 La descripción también puede incluir una instalación solar térmica concentrada que incluye al menos un conjunto de torre solar térmica concentrada del tipo definido, un conjunto de heliostatos dispuestos alrededor del receptor y ajustables para enfocar la radiación solar en el receptor, y un medio de control para controlar el funcionamiento del receptor para evitar su sobrecalentamiento, siendo operables los medios de control para abrir y cerrar la cubierta.

Otros aspectos de la presente descripción y realizaciones adicionales de los aspectos descritos en los párrafos anteriores resultarán evidentes a partir de la siguiente descripción, dada a modo de ejemplo y con referencia a los dibujos adjuntos.

Breve descripción de los dibujos

15 Otros aspectos de la presente descripción y realizaciones adicionales de los aspectos descritos en los párrafos anteriores resultarán evidentes a partir de la siguiente descripción, proporcionada a modo de ejemplo únicamente con referencia a los dibujos adjuntos.

La Figura 1 muestra una vista esquemática de un sistema CSP que incluye un receptor térmico solar según la presente descripción;

20 La Figura 1A muestra una vista en perspectiva del receptor térmico solar montado en una torre;

La Figura 1B muestra una vista frontal del receptor térmico solar y la torre de la Figura 1A;

La Figura 1C muestra una vista en planta superior del receptor térmico solar y la torre de las Figuras 1A y 1B;

La Figura 1D muestra una vista lateral del receptor térmico solar y la torre;

La Figura 1E muestra una vista lateral en sección transversal a lo largo de las líneas 1E-1E de la Figura 1B;

25 La Figura 1F muestra un detalle de la conexión del cabezal de salida superior;

La Figura 1G muestra un detalle de la conexión del cabezal de salida inferior; la Figura 2A muestra una vista en perspectiva detallada del receptor térmico solar de la Figura 1A;

La Figura 2B muestra una vista trasera del receptor térmico solar;

La Figura 2C muestra una vista en planta superior del receptor térmico solar;

30 La Figura 2D muestra una vista lateral del receptor térmico solar;

La Figura 3A muestra una vista lateral detallada de una viga de soporte del receptor térmico solar,

La Figura 3B muestra una vista final detallada de la viga de soporte de la Figura 3A;

La Figura 4A muestra una vista en perspectiva de una segunda realización de un receptor térmico solar montado en una parte superior de una torre en una posición abierta;

35 La Figura 4B muestra una vista en perspectiva del receptor térmico solar y la torre de la Figura 4A en la posición cerrada;

La Figura 5A muestra una vista lateral en sección transversal de una cubierta de receptor térmico solar o puerta;

La Figura 5B muestra una vista frontal transversal de la puerta del receptor solar de la Figura 5A;

40 La Figura 6 muestra una vista en perspectiva de un accionador giratorio para abrir y cerrar la puerta a través de una disposición de poleas;

La Figura 7 muestra un conjunto de torre térmica solar típico con un receptor térmico solar montado en el lado superior y un accionador giratorio unido a la base de la torre;

La Figura 7A muestra un detalle de una base de la torre de la Figura 7;

La Figura 8A muestra una vista parcialmente esquemática en perspectiva de una realización adicional de un receptor térmico solar con un conjunto de puerta alternativo en la posición abierta;

La Figura 8B muestra una vista lateral parcialmente esquemática del receptor térmico solar de la Figura 8A con el conjunto de puerta en una posición intermedia, y

5 La Figura 8C muestra una vista lateral parcialmente esquemática del receptor térmico solar de la Figura 8A con el conjunto de puerta en una posición cerrada.

Descripción detallada de las realizaciones

10 Con referencia primero a la Figura 1, un sistema CSP 100 incluye un conjunto de heliostatos 102-1, 102-2, 102-N (colectivamente un conjunto 102) para reflejar la luz solar hacia un módulo receptor térmico solar 104 en una torre 105. En su forma más simple, cada helióstato 102-x incluye un miembro de soporte 106 y un miembro reflectante 108 soportado por el miembro de soporte 106. El miembro de soporte 106 está sujeto al suelo 150 y, por lo tanto, está destinado a ser estacionario, mientras que el miembro reflectante 108 es giratorio de manera ajustable o controlable con respecto al miembro de soporte 106. La rotación relativa se desea en dos escenarios. El primer escenario es compensar el movimiento del sol durante el día para facilitar que la energía solar continua se dirija hacia el módulo receptor de energía solar 104. La segunda es calibrar la dirección del helióstato o la orientación del helióstato.

20 Con referencia ahora a las Figuras 1A-1D, se muestra un receptor térmico solar 10 montado dentro de un bastidor o recinto rectangular en forma de caja 12 que define una cavidad receptora, que está en ángulo hacia adelante en un ángulo de aproximadamente veinte grados desde la vertical para estar en una orientación óptima para recibir energía solar concentrada del conjunto de heliostatos 102. A su vez, la carcasa está montada en un lado superior de la torre solar 14 a través de puntales superiores 15A y lengüetas inferiores 15B. Se apreciará que el bastidor puede extenderse a uno o más de otros lados de la torre dependiendo de la ubicación del conjunto de heliostatos. Un conducto o tubería de entrada 16 conduce desde la base de la torre a un cabezal de entrada inferior 18 del receptor térmico solar 10. Un conducto o tubería de salida superior 20 se extiende desde un cabezal de salida superior 22 y conduce de manera similar a la base de la torre. Un conjunto de tubos 24 se extiende entre un colector de entrada del cabezal de entrada 18 y un colector de salida del cabezal de salida 22 en una configuración en serpentina. El conjunto de tubos está inclinado de manera similar hacia adelante a unos veinte grados de la vertical, con los cabezales de entrada y salida 18 y 20 alineados verticalmente.

30 Como se representa claramente en las Figuras 2A a 2D, el conjunto en serpentina de tubos 24 comprende diez tubos individuales 26.1, 26.2, 26.3, 26.4, 26.5, 26.6, 26.7, 26.8, 26.9 y 26.10 que se extienden en paralelo desde el colector de entrada 18A y el cabezal de entrada 18 hasta un colector de salida 22A del cabezal de salida 22. Cada uno de los tubos tiene un componente horizontal principal que comprende seis pasadas horizontales 26a, 26b, 26c, 26d, 26e y 26f unidas por un componente menor en ángulo hacia arriba que comprende cinco pasadas parcialmente verticales 26g, 26h, 26j, 26k y 26m, con los tubos en transición de horizontal a parcialmente vertical y de vuelta en curvas fuertemente redondeadas 27. Como se desprende de las Figuras 2A-2D, la cara del receptor es uniplanaria, con los tubos dispuestos de modo que casi se tocan sujetos a juego entre los tubos para minimizar la penetración de calor radiante en la cavidad y el respaldo detrás de los tubos, así como para maximizar la absorción de calor radiante en la superficie expuesta de recepción de calor solar de los tubos. Típicamente, la distancia entre los tubos adyacentes es de alrededor de 1,5 mm, pero se apreciará que esto puede variar, por ejemplo, de alrededor de 1 mm a 3-4 mm, con una separación suficiente para garantizar que los tubos adyacentes no se toquen ni permitan que el calor excesivo penetre en el respaldo.

45 La mayoría de las curvas en los tubos son coplanarias con la cara del receptor, como se muestra en 28. Sin embargo, cuando el radio de curvatura de retorno requerido es más pequeño de lo que se puede lograr, en la ubicación 30, por ejemplo, algunos de los tubos (26.9 y 26.10) se doblan fuera del plano como se muestra en 32, 34 y 36. Los tubos planos externos a su vez se doblan hacia atrás en una configuración uniplanaria con los tubos restantes del receptor en las ubicaciones 40, por ejemplo. Los tubos están diseñados para garantizar una resistencia sustancialmente igual en cada tubo, de modo que el caudal a través de cada tubo sea similar. El tiempo de permanencia del fluido a través de cada tubo también es similar debido a que la mayoría de los tubos tienen sustancialmente la misma longitud. Los tubos 26.9 y 26.10 son ligeramente más largos debido a las curvas adicionales fuera del plano, pero esto se compensa en virtud de que las partes parcialmente protegidas fuera del plano no absorben tanto calor.

50 Se puede ver claramente cómo en los colectores de entrada y salida 18A y 22A los tubos alternos se extienden desde lados opuestos de los cabezales de entrada y salida para permitir que se realice suficiente espacio para las conexiones del colector de entrada y salida, con los tubos de número par que tienen porciones reentrantes que les permiten fusionarse de nuevo en el receptor uniplanario.

55 Los tubos se montan juntos en un par paralelo de vigas de soporte tubulares 42 y 44, cuyos detalles se muestran más claramente en las Figuras 3A y 3B. Se apreciará que se puede proporcionar una viga de soporte o tres o más, dependiendo del grado de soporte requerido. Cada uno de los soportes incluye una tubería o conducto central 46 que está rodeado por una serie de ménsulas de soporte en forma de anillo 48 separados por espaciadores de anillo 50. Las ménsulas de soporte y los espaciadores pueden deslizarse hacia arriba y hacia abajo en los conductos. Las

ménsulas de soporte están formadas con lóbulos con aberturas 52 que a su vez están montados por pasadores 54 a lengüetas 56 que están soldadas a tubos adyacentes 26.1, 26.2, 26.3 y 26.4. Si bien solo se muestra un par en la Figura 3A, debe apreciarse que todas las lengüetas del tubo están acopladas a sus respectivos lóbulos de manera idéntica mediante su propio pasador dedicado. Las ménsulas de soporte se transportan de forma giratoria en los conductos 46 y los pasadores 54 montan de forma similar los lóbulos 52 de forma giratoria en las lengüetas 56. Esta disposición de montaje permite tanto el movimiento horizontal como vertical o hacia arriba y hacia abajo de los tubos debido a la expansión y contracción térmica tanto paralela como perpendicular a los ejes horizontales, de modo que los tubos permanecen horizontales y alineados con la cara del receptor, además de poder expandirse o contraerse verticalmente. Los espaciadores 50 entre los soportes o enlaces anulares aseguran que el paso vertical del tubo se mantenga con suficiente separación para garantizar que los tubos adyacentes no se toquen.

Los soportes de tubo 42 y 44 están montados en el recinto 12 usando una serie de barras de unión que incluyen barras de unión 68 que se extienden hacia adentro que se extienden a la base del recinto 12 y barras de unión 69 que se extienden hacia arriba que se extienden al bastidor horizontal superior del recinto. Las barras de unión están equipadas con acoplamientos universales 70 para permitir cierta libertad de movimiento durante la expansión y contracción del conjunto de tubos.

Haciendo referencia ahora a las Figuras 1E, 1F y 1G, el cabezal de salida superior 22 se muestra atornillado rígidamente a un soporte de montaje en forma de L 60 que se extiende desde la carcasa 12 a través de las lengüetas de montaje 62. El cabezal de entrada inferior 18 está montado a su vez en una viga transversal 64 transportada en la base del conjunto de tubos 24 a través de la lengüeta de montaje 66 de modo que pueda flotar en relación con el recinto 12. Esto permite que el conjunto de tubos se expanda y contraiga libremente con variaciones térmicas en relación con el recinto sin ejercer tensiones indebidas sobre el conjunto de tubos o los colectores de entrada y salida. Las barras de unión 68 y 69 proporcionan seguridad de montaje adicional al tiempo que permiten la libertad de movimiento requerida, con todo el conjunto del tubo suspendido dentro del recinto.

En la realización particular, los tubos tienen un diámetro externo de 26,7 mm y un diámetro interno de 23,4 mm, con un espesor de pared resultante de 1,65mm. La altura total del conjunto de tubos es de 1,73m y el ancho del conjunto de cada cabezal es de aproximadamente 2,2 m, con el ancho entre los componentes verticales externos de aproximadamente 1,8 m. Se apreciará que todas estas dimensiones pueden variar ampliamente, dependiendo del tamaño diana deseado, el tipo de fluido de transferencia de calor que se transporta, los materiales utilizados y otras variables. Los intervalos de dimensión típicos son los siguientes, pero no se limitan a estos intervalos:

El intervalo de diámetro exterior del tubo suele ser de 20 mm-40 mm, 25-30 mm o 26-28 mm.

La altura y el ancho del conjunto suelen ser de 1,5 m x 1,5 m en el caso de un receptor plano de hasta 9 m de diámetro y de 20 m de altura en el caso de un receptor cilíndrico, aunque esto podría ser de tan solo 1 m de diámetro y 1,5 m de altura (5 m²).

Sin embargo, el tamaño total del receptor está determinado por la entrada total de calor de campo del conjunto de helióstatos circundante, la necesidad de gestionar el límite de flujo deseado de -1500 kW/m² en cualquier punto del receptor y la necesidad de minimizar el derrame de flujo. El intervalo de dimensiones de altura o anchura puede variar de 1,3 a 20,0 m². Los receptores no necesitan ser cuadrados, pero las dimensiones cuadradas cubrirían receptores de 2 - 400 m². Un tamaño preferido de receptor cuadrado está en el intervalo de 10-15 m², típicamente 13 m² (3,7 m de ancho por 3,7 m de alto).

Sin limitarse a la teoría, con el fin de minimizar el gradiente de tensión térmica, es deseable que los tubos se fabriquen lo más delgados posible mientras se mantiene su integridad estructural. Teniendo en cuenta el material utilizado y el diámetro del tubo, se contemplan espesores de tubo de 1,8 mm a 1 mm. En particular, para un diámetro externo del tubo de 25-27 mm, se contempla un espesor de 1,1-1,3 mm o 1,2 mm.

Se seleccionaron materiales adecuados para el receptor para permitir condiciones de funcionamiento de temperatura alta y variable y sujetos a fluencia y fatiga. Se encontró que las aleaciones de acero inoxidable 230 y 625 eran aleaciones potencialmente viables basadas en una evaluación de la vida útil utilizada en condiciones de fluencia de 1000 horas, con temperaturas de pared media en la región de 650C, pero que también se podrían utilizar otras aleaciones de acero inoxidable, tales como 316H, 347H, así como aleaciones a base de níquel, tales como Inconel.

Se apreciará que el número de pasadas, así como el número de tubos, puede variar, y que los soportes pueden disponerse de modo que la cara del receptor pueda ser plana, curva o multifacética, dependiendo de la aplicación. Por ejemplo, se puede usar un solo tubo con, digamos, 60 pasadas, 2 tubos con 30 pasadas, 3 tubos con 20, 4 con 15, 5 con 12, 6 con 10, 10 con 6 o 20 con 3. En cada caso, la duración óptima del calentamiento a una temperatura deseada de, por ejemplo, 600C debe equilibrarse con un flujo pasante óptimo.

Se apreciará que el conjunto de tubos se extiende desde el cabezal de entrada operativamente inferior 18 hasta el cabezal de salida operativamente superior 22 para definir una trayectoria de flujo de fluido que es horizontal o hacia arriba (es decir, monótona), y en ninguna ubicación hacia abajo, para facilitar la salida o ventilación natural de gases a través del cabezal de salida y evitar o al menos reducir la formación o acumulación de bolsas de gas, así como para garantizar una resistencia al flujo relativamente uniforme y un flujo de fluido constante. A caudales bajos con

configuración de flujo ascendente/descendente vertical, los efectos de flotabilidad pueden conducir a un estancamiento local del flujo en uno o más tubos.

Con referencia ahora a las Figuras 4A-4B, se muestra una segunda realización de un receptor térmico solar 10A montado dentro de un bastidor o recinto rectangular en forma de caja 12A que define una cavidad receptora, que está en ángulo hacia adelante en un ángulo de aproximadamente veinte grados desde la vertical para estar en una orientación óptima para recibir energía solar concentrada desde el conjunto de helióstatos 102. El conjunto de heliostatos puede incluir heliostatos en términos generales del tipo descrito en la solicitud de patente internacional publicada WO2015143494 a nombre del solicitante, pero no se limita a esto. El recinto está montado a su vez en un lado superior de una torre solar 14 a través de puntales superiores 15A y orejetas inferiores (no mostradas). Se apreciará que el bastidor puede extenderse a uno o más de otros lados de la torre dependiendo de la ubicación del conjunto de helióstatos. Un conducto o tubería de entrada 16 conduce desde la base de la torre a un cabezal de entrada inferior (no se muestra) del receptor térmico solar 10A. Un conducto o tubería de salida superior 18 se extiende desde un cabezal de salida superior y conduce de manera similar a la base de la torre. El conducto o tubería de entrada 16 y el conducto o tubería de salida 18 pueden aislarse y protegerse al revestirse con aislamiento de tubería seccional (por ejemplo, lana mineral hilada) y cubrirse con una capa de superficie exterior resistente a la intemperie (por ejemplo, lámina de acero galvanizado).

Un conjunto de tubos 19 se extiende entre un colector de entrada del cabezal de entrada y un colector de salida del cabezal de salida en una configuración en serpentina. El conjunto de tubos está inclinado de manera similar hacia adelante a unos veinte grados de la vertical. El conjunto de tubos 19 es similar al conjunto de 24 de la primera realización.

Un conjunto de puerta aislante 20A comprende un bastidor 22A que tiene una parte de bastidor delantero 24A que lleva una puerta 26A y una parte de bastidor trasero 28A que lleva un contrapeso 30A. El bastidor está montado de forma pivotante en un eje 32A a través de un par de soportes verticales 34A. El eje 32A a su vez está soportado por un par de muñones 36A que están montados en la porción superior del cierre 12 del receptor. Extendiéndose hacia atrás desde los soportes verticales 34A hay pares de brazos de extensión tubulares 38A, 40A que forman el bastidor trasero 28A. El contrapeso 30A está atornillado entre los extremos más posteriores de los brazos de extensión 38A.

Extendiéndose hacia adelante desde los soportes verticales 34A hay un par interno de brazos de extensión 40A que están montados en un extremo superior de la puerta y un par externo de brazos de extensión 42A que están montados en orejetas de conexión con aberturas 44A ubicadas a mitad de camino a lo largo de la cara exterior de la puerta 26A. Una barra transversal 47A se extiende entre los montantes 34A. La cara exterior de la puerta 26A, así como los brazos de extensión 40A, 42A, están equipados con placas refractarias 48A formadas a partir de un compuesto de conjunto de sílice reforzada de alta resistencia u otros materiales rígidos resistentes a la temperatura adecuados para proporcionar protección contra la radiación solar concentrada. La parte frontal de la estructura 12A está equipada de manera similar con placas o tableros refractarios 48AA.

La composición del conjunto de puerta aislante se puede determinar más claramente a partir de las Figuras 5A y 5B. Debajo de los tableros refractarios 48A hay una lámina resistente a la intemperie 50A formada de acero galvanizado. Esto cubre las mantas de fibra cerámica 52A que incluyen una capa externa más gruesa 52AA en la región de 50 mm de espesor y una capa interna 52BB ubicada dentro de un bastidor de puerta 54A, en la región de la mitad del espesor de la capa externa, todo el conjunto de la manta se mantiene junto con la malla de acero inoxidable 56A que está atada al bastidor de la puerta 54A. En un ejemplo, las mantas de fibra cerámica 52A pueden ser mantas de fibra de alúmina-silicato, aunque se apreciará que pueden formarse a partir de cualquier otro material aislante resistente a la temperatura y al calor adecuado, así como combinaciones de dichos materiales.

El conjunto de puerta 20A pivota entre una posición abierta indicada en la Figura 4A y una posición cerrada indicada en la Figura 4B donde los bordes exteriores de la puerta forman un ajuste perfecto dentro de la cavidad receptora contra el conjunto de tubos 20A, protegiendo así eficazmente los tubos 19 de la radiación solar. El conjunto de puerta se mueve entre las posiciones abierta y cerrada mediante un cable sin fin que se extiende sobre la polea 58 que está ranurada en el eje 32A. Como alternativa a la disposición de cable y polea, se pueden usar varios otros tipos de actuadores, incluyendo disposiciones de cremallera y piñón, y actuadores o accionamientos lineales que actúan entre la puerta y la torre y son eléctricos, hidráulicos o neumáticos.

Como se muestra en las Figuras 6 y 7, el cable sin fin 60A se extiende alrededor de una polea de accionamiento 62A que a su vez es accionada por un accionador giratorio 64A que incorpora una caja de engranajes y un mecanismo de embrague (no se muestra). Se proporciona un primer conjunto de interruptores de límite exteriores 66A y 66B ajustables a lo largo de las ranuras exteriores 67A y 67B para limitar el recorrido de la puerta entre las posiciones abierta y cerrada, que corresponde a una rotación de 110°. Los interruptores de límite exteriores 66A y 66B representan las posiciones abiertas y cerradas de la puerta, respectivamente. Un segundo conjunto de interruptores de límite internos 66C y 66D también son ajustables en las respectivas ranuras internas 67C y 67D para ajustar la velocidad del accionador giratorio 64A. Para suavizar el impacto del arranque y la parada mientras el conjunto de puerta funciona, por ejemplo, el actuador funciona a una velocidad reducida hasta que cruza el primero de los interruptores de límite interiores 66C, en cuyo punto el actuador giratorio 64A aumenta su velocidad. Cuando se pasa el segundo de los interruptores de límite interiores 66D, el actuador giratorio 64A reduce nuevamente su velocidad y mantiene esta velocidad reducida hasta que el segundo de los interruptores de límite exteriores 66B activa el actuador para que se

detenga. El cable sin fin 60A se tensa mediante un par de poleas auxiliares 68A. La longitud del cable 60B que se mueve hacia abajo al abrir la puerta puede tensarse adicionalmente con uno o más contrapesos (no se muestran).

El accionador 64A puede comprender cualquier motor principal, incluido un accionador de aire comprimido, un motor eléctrico o de combustión interna o similares. El actuador está configurado a su vez para recibir señales de control desde un mando a distancia. Se apreciará que la puerta puede abrirse o cerrarse en respuesta a una cantidad de dichas señales, incluido el control directo del operador o la apertura y cierre automáticos en respuesta a uno o más sensores, tales como sensores infrarrojos o cámaras o sensores de flujo, que detectan condiciones que requieren, por ejemplo, el cierre de la puerta. Estos podrían incluir el sobrecalentamiento o enfriamiento del receptor, que se mediría por la temperatura del sodio que sale del receptor, un bloqueo o restricción en el flujo de sodio u otro fluido de transferencia de calor que se desplaza a través del conjunto tubular, un corte de energía o condiciones climáticas extremas.

La Figura 7 muestra una vista en perspectiva de un conjunto de torre solar típico 400 con un receptor térmico solar 10A montado en la parte superior de la torre de la manera descrita anteriormente y el accionador giratorio 64A unido a la base 140 de la torre, con el cable sin fin 60A tensado entre la polea de accionamiento y la polea 58. El montaje de torre 400 puede estar equipado con una o más regiones diana en forma de una placa rectangular 402 para permitir que los heliostatos individuales se apunten y calibren utilizando una cámara para analizar la imagen del sol reflejada por el heliostato en la diana.

Haciendo referencia ahora a la Figura 7A, la base de la torre está formada con placas base 404A y 404B que están atornilladas a un zócalo de hormigón. Las placas base 404A están atornilladas a los pies 406A correspondientes de la torre, y las placas base 404B están montadas de forma pivotante a los pies 406B correspondientes mediante pasadores de muñón 408. Para facilitar el mantenimiento, los pies 406A se desatornillan de las placas base 404A correspondientes y la torre se baja a una posición horizontal pivotando en los pasadores de muñón 408. En esta realización, las tuberías de entrada y salida 16 y 18, que están cubiertas con aislamiento, se mueven a una posición donde se extienden adyacentes a una cara trasera de la torre a aproximadamente 1-1.5 metros del poste de esquina 210 de la torre, de modo que se puede acceder fácilmente cuando están en la posición bajada. Se apreciará que las tuberías 16 y 18 se pueden desconectar en la base una vez que el sodio se haya enfriado y solidificado para permitir que la torre se mueva hacia abajo. Los elementos trazadores de calor en forma de cables aislados de minerales (no mostrados) se extienden a lo largo y en contacto directo con las tuberías 16 y 18 debajo del aislamiento para permitir que el sodio solidificado se recaliente hasta un punto de fusión superior a 98 °C después de que la torre se haya elevado y las tuberías se hayan vuelto a conectar.

Las Figuras 8A a 8C muestran una realización alternativa de un conjunto de puerta 70 que comprende una puerta 72 equipada con un enlace de cuatro barras que incluye barras superiores 74A y 74B y barras inferiores 76A y 76B. Las barras superiores 74A y 74B están montadas en sus extremos superiores en puntos de pivote 78 a una parte superior de la torre 105 en lados opuestos de la misma. Los extremos inferiores de las barras superiores se montan en los puntos de pivote 80 en los lados superiores de la puerta 72. Las barras inferiores están apuntadas de manera similar en los puntos de pivote 82 a los lados inferiores de la puerta 72, con extremos opuestos de las barras montadas en la torre 105 o una parte extendida de la misma (no se muestra) en los puntos de pivote 84.

Como se desprende de las Figuras 8A a 8C, la puerta se muestra pivotando en las barras desde la

posición abierta de la Figura 8A a la posición cerrada de la Figura 8C donde la puerta 72 cubre completamente el receptor 88. La puerta se puede mover entre las posiciones abierta y cerrada utilizando diversos medios, incluida una disposición de poleas que actúa sobre las barras superiores y/o inferiores, o un accionamiento o accionador lineal que actúa sobre las barras superiores o inferiores, y que funciona eléctrica, hidráulica o neumáticamente. También se puede utilizar una disposición de cremallera y piñón curvada para pivotar las barras superiores o inferiores hacia arriba y hacia abajo. Como alternativa al enlace de cuatro barras, la puerta 72 también se puede configurar para correr sobre un par de pistas que siguen una trayectoria similar al lugar de la puerta en el enlace de cuatro barras.

Una ventaja de estas disposiciones sobre una puerta que pivota desde el bastidor superior del receptor es que en la posición abierta la puerta protege la porción de la torre más cercana al receptor del exceso de radiación térmica solar del conjunto de helióstatos, evitando la necesidad de un revestimiento refractario adicional. Además, la carga adicional en los soportes del receptor se evita mediante la disposición de montaje separada de la puerta. En una realización, sin embargo, las partes superior e inferior del cerco de la puerta pueden estar formadas con pestillos (no se muestran) con los que la parte más superior de la puerta 72 puede acoplarse a través de pestillos complementarios (no se muestran) para aumentar la estabilidad de la puerta en las posiciones abierta y cerrada. Una ventaja adicional es que es el mismo lado de la puerta el que está expuesto a la radiación térmica solar en todo momento, con el resultado de que este lado expuesto de la puerta puede configurarse específicamente para resistir una alta radiación térmica.

En el caso del receptor, se pueden utilizar diferentes configuraciones de tubos, aunque no forman parte de la presente invención, incluyendo la configuración de serpentina predominantemente transversal como se ejemplificó anteriormente, u otras configuraciones en las que el flujo de fluido a través de los tubos es predominantemente transversal y ascendente (es decir, monotónico) desde una entrada inferior hasta una salida superior.

Se descubrió que, por norma general, la vida útil del receptor podría extenderse distribuyendo el flujo de calor de

manera uniforme y disponiendo los tubos receptores en un patrón serpentino, a diferencia de un conjunto de múltiples tubos de un solo pasada donde los tubos eran predominantemente verticales o verticales.

- 5 También se puede utilizar una amplia variedad de fluidos de transferencia de calor, incluidas sales fundidas, metales líquidos, como sodio, y agua/vapor. En las realizaciones particulares, el sodio fue el fluido de transferencia de calor preferido debido a su alta conductividad térmica, lo que le permite calentarse relativamente rápido, y su capacidad de calor relativamente alta a altas temperaturas. El amplio intervalo de temperatura donde permanece un líquido (98 °C a 883 °C), proporciona un techo suficiente por encima de las temperaturas de funcionamiento en el intervalo de 500 °C a 600 °C en caso de sobrecalentamiento, así como una temperatura de solidificación más baja, en comparación con la sal, que se ha utilizado tradicionalmente.
- 10 Se entenderá que la invención descrita y definida en esta memoria descriptiva se extiende a todas las combinaciones alternativas de dos o más de las características individuales mencionadas o evidentes a partir del texto o los dibujos. Todas estas diferentes combinaciones constituyen diversos aspectos alternativos de la invención.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un receptor térmico solar concentrado (10; 10A) para recibir energía térmica solar concentrada desde un conjunto de concentración de reflectores solares (102), comprendiendo el receptor un conjunto de tubos de una sola capa (24; 19) configurado para transportar un fluido de transferencia de calor y que define en combinación una superficie de recepción de energía térmica solar concentrada expuesta, teniendo el conjunto de tubos (24; 19) una entrada de fluido que se comunica con al menos un conducto de entrada (16) y una salida de fluido que se comunica con al menos un conducto de salida (20), comprendiendo la entrada de fluido un cabezal de entrada operativamente inferior (18) y comprendiendo la salida de fluido un cabezal de salida operativamente superior (22), y extendiéndose el conjunto de tubos (24; 19) entre el cabezal de entrada (18) y el cabezal de salida (22);

10 caracterizado por que

 el conjunto de tubos (24; 19) está dispuesto en una configuración en serpentina, y el conjunto tiene pasadas o componentes predominantemente transversales (26a-f), teniendo cada tubo del conjunto un componente vertical o longitudinal (26g-m) entre pasadas o componentes transversales sucesivos (26a-f), de tal manera que, en funcionamiento, las componentes o pasadas transversales son sustancialmente horizontales y el conjunto de tubos (24; 19) define así una trayectoria de flujo de fluido que es horizontal y ascendente.
- 20 2. Un receptor térmico solar concentrado (10; 10A) según la reivindicación 1, donde el conjunto incluye una disposición de montaje para montar el conjunto tubular en un soporte o recinto que a su vez está montado en una torre solar (14), estando configurada la disposición de montaje para permitir el movimiento transversal y hacia arriba/hacia abajo de los tubos en el conjunto debido a la contracción y expansión térmica, incluyendo la disposición de montaje medios de separación (50) para evitar que los tubos adyacentes se toquen pero manteniéndolos en una posición casi de contacto.
- 25 3. Un receptor térmico solar concentrado (10; 10A) según la reivindicación 2, donde la disposición de montaje comprende al menos una viga de soporte (42, 44) que lleva soportes móviles (48) que montan los componentes de tubo transversal (26a-f) a la al menos una viga de soporte (42, 44) para permitir el movimiento transversal y hacia arriba/hacia abajo de la misma.
- 30 4. Un receptor térmico solar concentrado (10; 10A) según la reivindicación 3, donde la al menos una viga de soporte (42, 44) incluye al menos dos vigas de soporte (42, 44) alineadas longitudinal o verticalmente, y los montajes móviles (48) comprenden enlaces (48), donde los enlaces (48) están montados de forma giratoria y deslizable a las vigas de soporte (42, 44), los enlaces (48) a su vez están montados de forma giratoria a las lengüetas (56) en los componentes de tubo transversal (26a-f) y separados por los medios de separación que incluyen espaciadores deslizables (50).
- 35 5. Un receptor térmico solar concentrado (10; 10A) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el conjunto de tubos (24; 19) comprende una pluralidad de tubos de múltiples pasadas (26.1-26.10) que se extienden uno al lado del otro en un conjunto paralelo y en serpentina desde un colector de entrada (18A) del cabezal de entrada (18) a un colector de salida (22A) del cabezal de salida (22).
- 40 6. Un receptor térmico solar concentrado (10; 10A) según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 5, donde al menos uno de los cabezales de entrada o salida (18, 22) tiene un montaje flotante que le permite moverse en concierto con la expansión y contracción térmica del conjunto de tubos (24; 19), el cabezal de entrada inferior (18) está provisto del montaje flotante y el cabezal de salida superior (22) está provisto de un montaje fijo para montar el cabezal superior en la porción superior de un bastidor o recinto de soporte.
- 45 7. Un receptor térmico solar concentrado (10; 10A) según la reivindicación 5, donde las longitudes de cada uno de los tubos (26.1-26.10) en el conjunto son sustancialmente similares, y la resistencia al flujo de cada tubo es sustancialmente similar para proporcionar un tiempo de permanencia similar del fluido conductor del calor.
- 50 8. Un receptor térmico solar concentrado (10; 10A) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el conjunto de tubos (24; 19) es sustancialmente coplanario para proporcionar una superficie de recepción de energía coplanaria continua, con algunos de los tubos (26.9, 26.10) doblados fuera del plano cuando un radio de curvatura en el plano es demasiado pequeño, de modo que los tubos coplanarios adyacentes casi se tocan, al tiempo que permiten el juego entre los tubos (26.1-26.10).
- 55 9. Un receptor térmico solar concentrado (10A) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el receptor incluye una cubierta térmicamente aislante (20A; 70) móvil entre una posición abierta donde la superficie receptora de energía térmica solar está expuesta para recibir flujo solar y una posición cerrada donde la superficie receptora de energía térmica solar está cubierta para bloquear o reducir la incidencia de flujo solar en los tubos (26.1-26.10) o para reducir la pérdida de calor del conjunto de tubos (19) en condiciones donde la incidencia de flujo solar se reduce sustancialmente o no existe.
10. Un receptor térmico solar concentrado (10A) según la reivindicación 9, que incluye un bastidor de soporte (12A) que se extiende alrededor de la superficie de recepción de energía solar térmica, y donde la cubierta (20A; 70) es móvil entre la posición cerrada donde se extiende sobre la superficie y al menos parte del bastidor (12A), y una posición

abierta donde permite que la superficie esté completamente expuesta a la radiación solar térmica, incluyendo el receptor un accionador para mover la cubierta entre las posiciones abierta y cerrada, y al menos un sensor para activar el accionador en respuesta a una condición detectada.

11. Un receptor térmico solar concentrado (10A) según la reivindicación 9 o la reivindicación 10, donde:

5 la cubierta (20A) puede pivotar alrededor de un eje paralelo a un extremo superior del receptor, y la cubierta (20A) incluye un contrapeso (30A) para facilitar la apertura y el cierre de la cubierta, o

10 la cubierta (70) incluye un lado adecuado para resistir la radiación de alta incidencia y una disposición de montaje configurada para mantener el lado orientado hacia la fuente de radiación de alta incidencia en las posiciones abierta y cerrada y en movimiento entre ellas, y donde, cuando la cubierta está en la posición abierta, está ubicada inmediatamente debajo del receptor para proporcionar protección contra la radiación de alta incidencia a esa parte de la estructura de soporte del receptor inmediatamente debajo del receptor y detrás de la cubierta.

12. Un receptor térmico solar concentrado (10A) según la reivindicación 11 cuando la cubierta (70) incluye un lado adaptado para resistir la radiación de alta incidencia, donde el montaje incluye uno de un montaje de tipo de articulación de cuatro barras para montar de forma móvil la cubierta (70) a la estructura de soporte o torre (14), o un conjunto de pistas transportadas sobre la estructura de soporte o torre (14), estando la cubierta (7) equipada con rodillos o similares para desplazarse a lo largo del conjunto de pistas.

13. Un receptor térmico solar concentrado (10A) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores 9 a 12, donde la cubierta aislante (20A; 70) está configurada para reducir la pérdida de calor por convección y radiación del conjunto de tubos (24; 19), en un sistema donde el fluido de transferencia de calor no se drena de los tubos cuando no hay flujo solar en los tubos.

14. Un receptor térmico solar concentrado (10; 10A) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde:

el fluido conductor del calor es sodio y los tubos están contruidos a partir de una aleación de acero inoxidable tal como 230 o 625 o una aleación a base de níquel tal como Inconel; y/o

25 el conjunto de tubos (24; 19) define al menos una de una superficie curva, una superficie multifacética, una superficie cilíndrica o semicilíndrica y un tronco de cono invertido o parte del mismo, en un ángulo óptimo desde la vertical para recibir la concentración de flujo solar.

15. Un conjunto de torre térmica solar concentrada (400) que incluye una torre térmica solar (14) y un receptor térmico solar concentrado (10; 10A) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores montado en una parte superior de la torre, donde la torre (14) puede pivotar entre una posición vertical y una posición prona para permitir el mantenimiento de la misma.

30

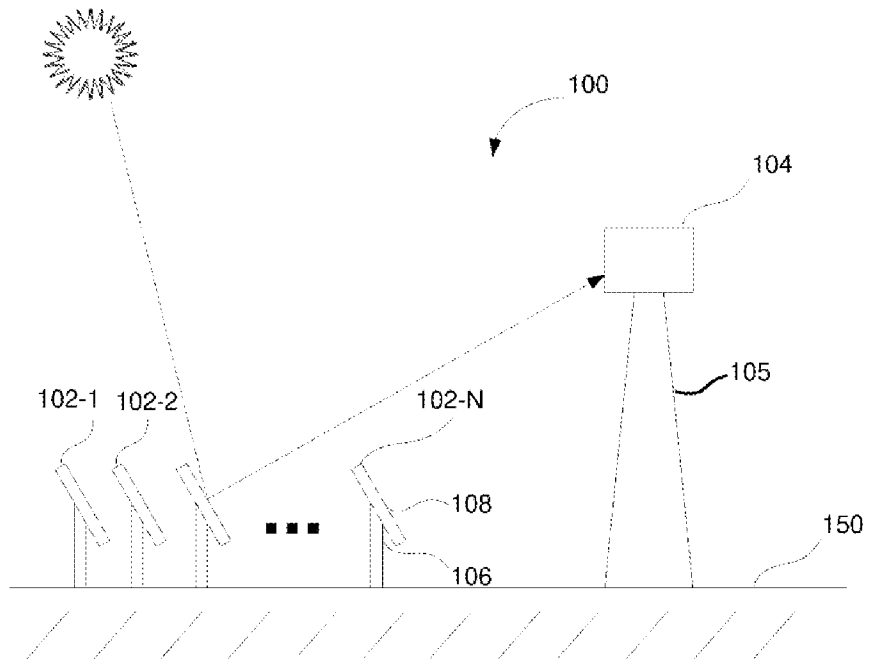


Fig. 1

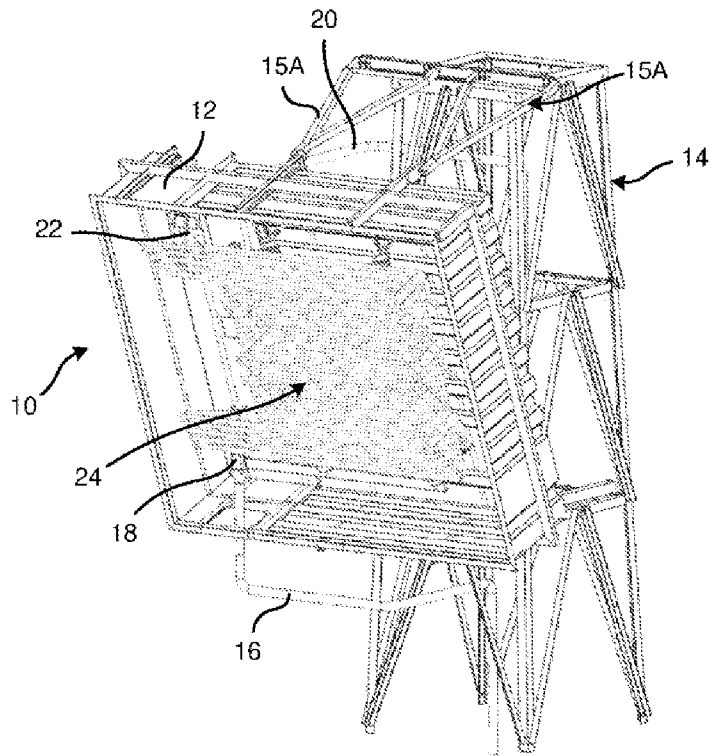


Fig 1A

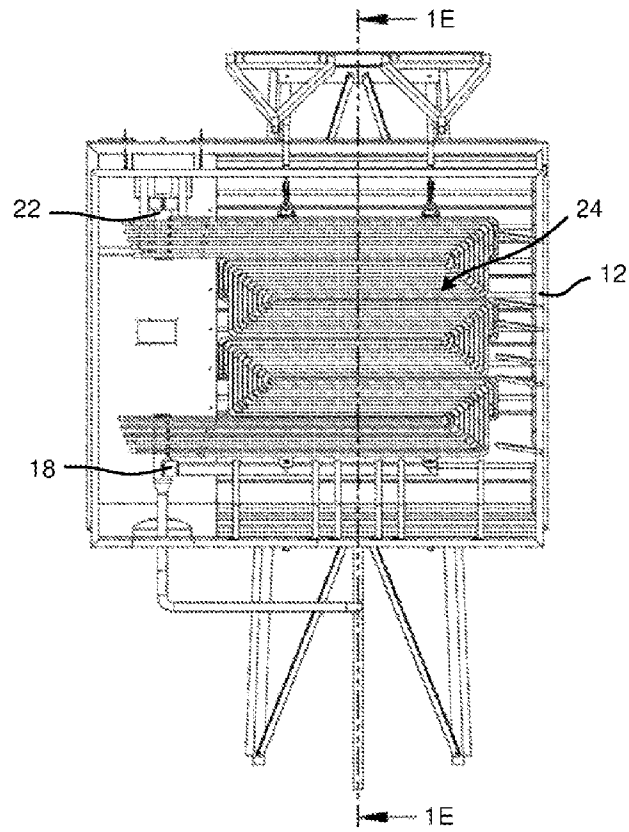


Fig 1B

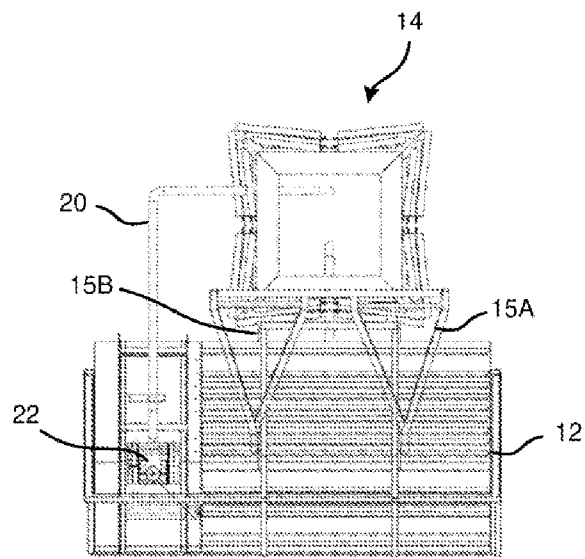


Fig 1C

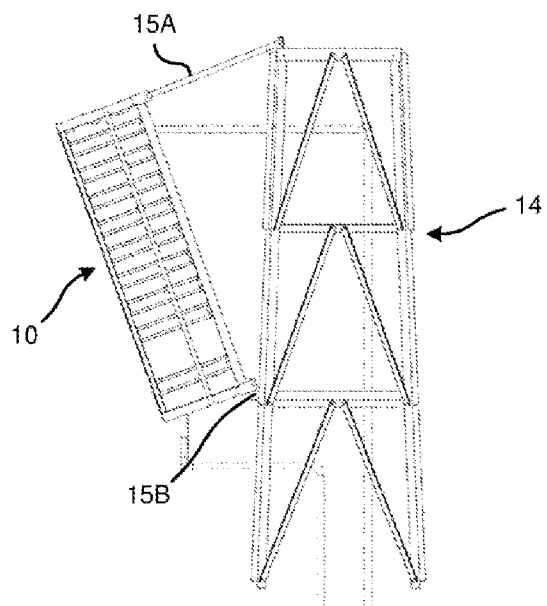


Fig 1D

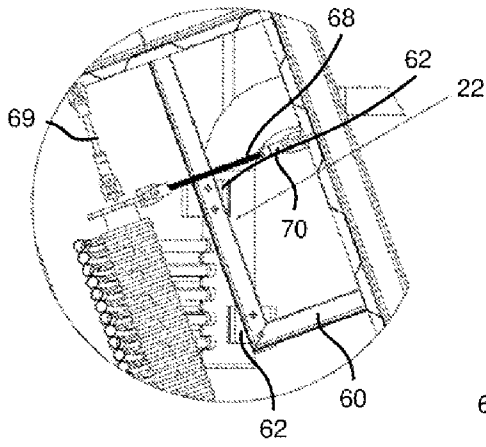


Fig 1F

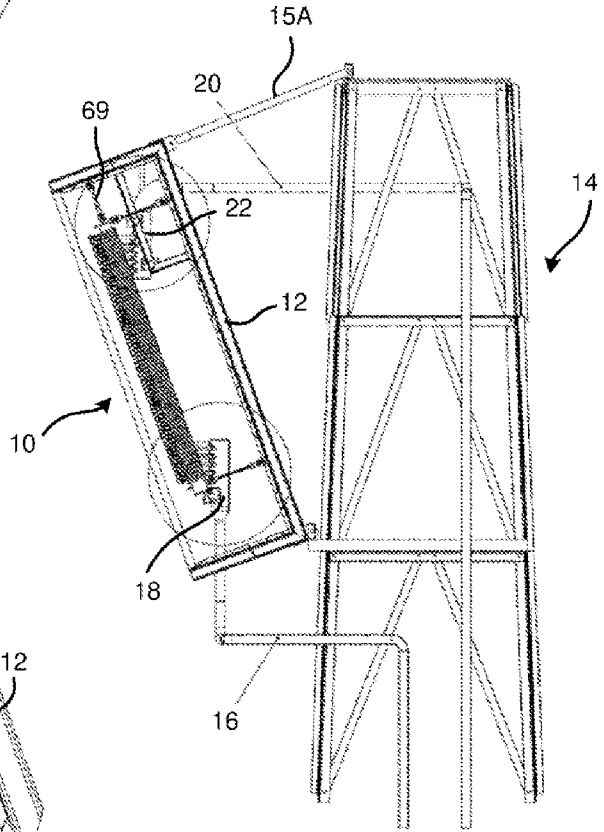


Fig 1E

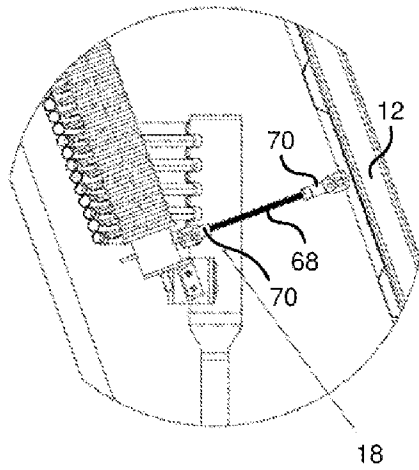


Fig 1G

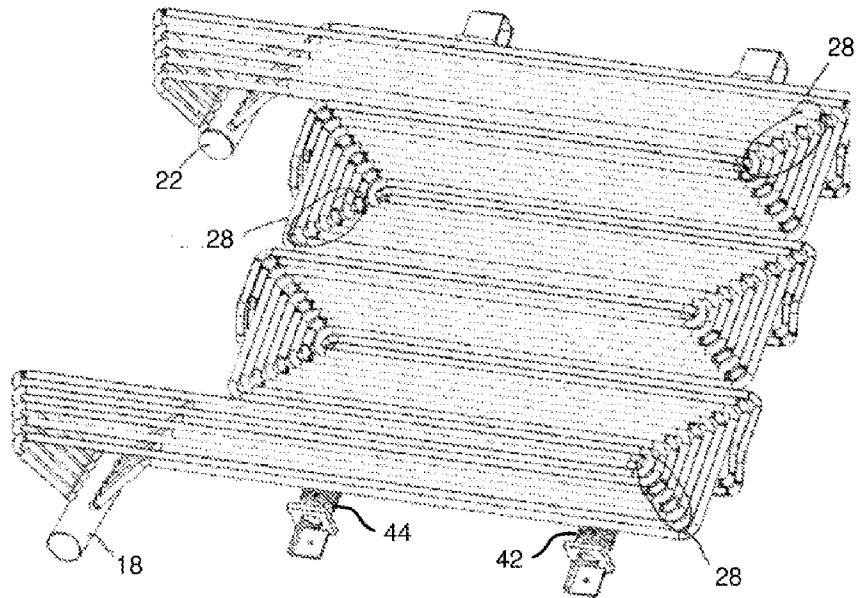


Fig 2A

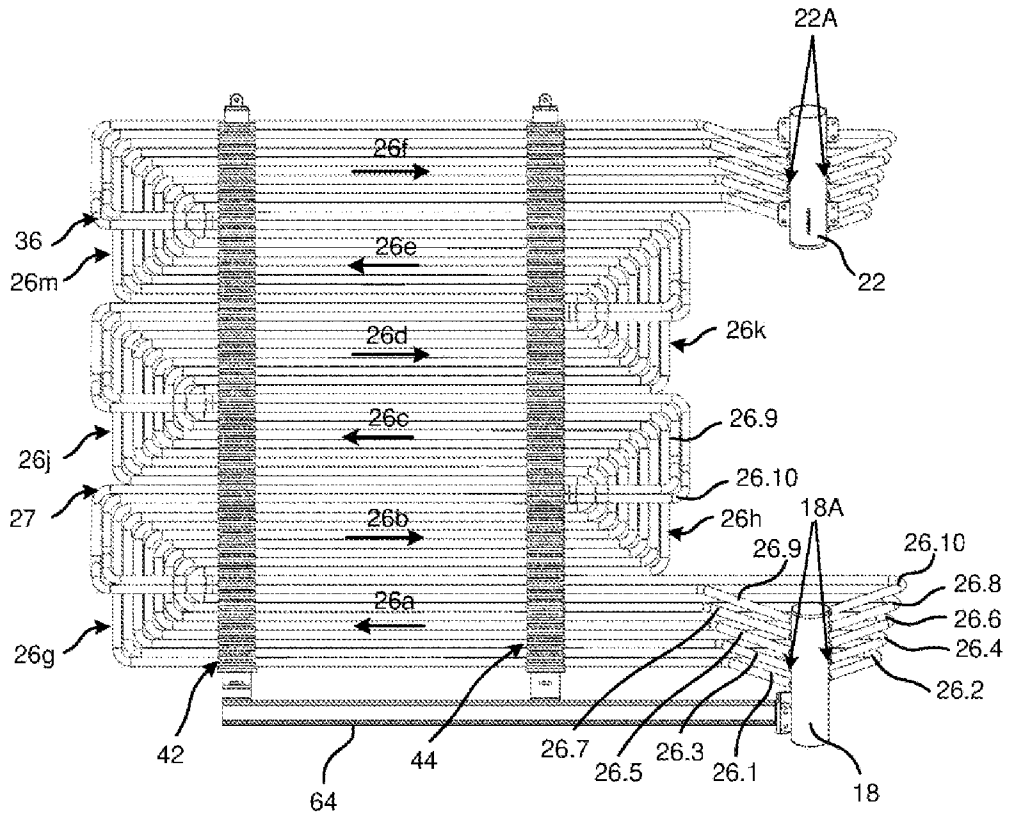


Fig 2B

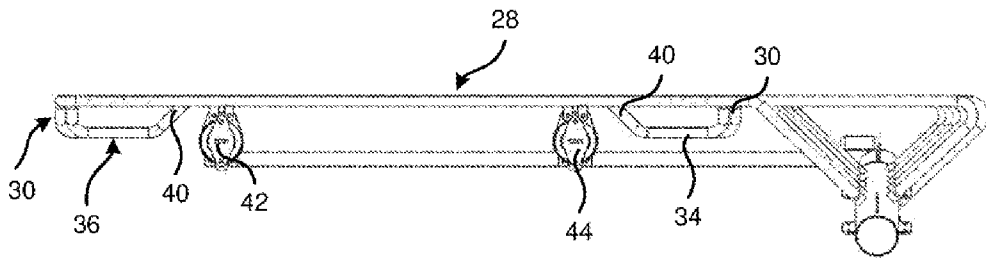


Fig 2C

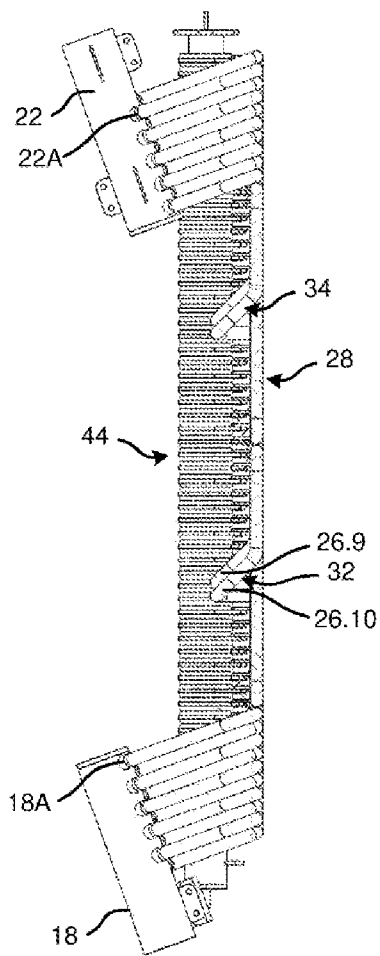


Fig 2D

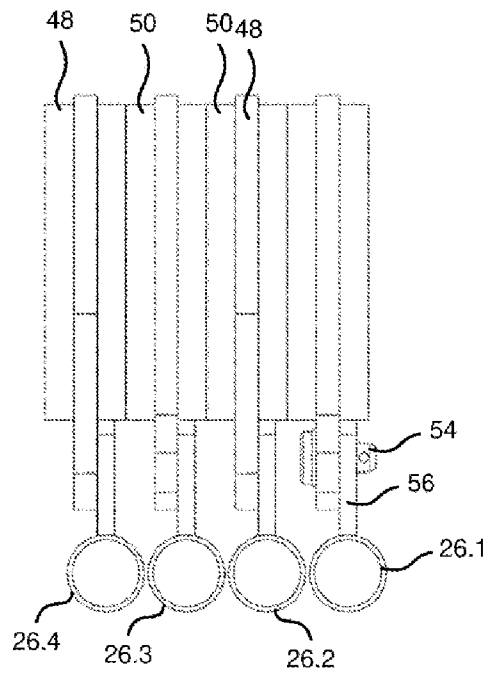


Fig 3A

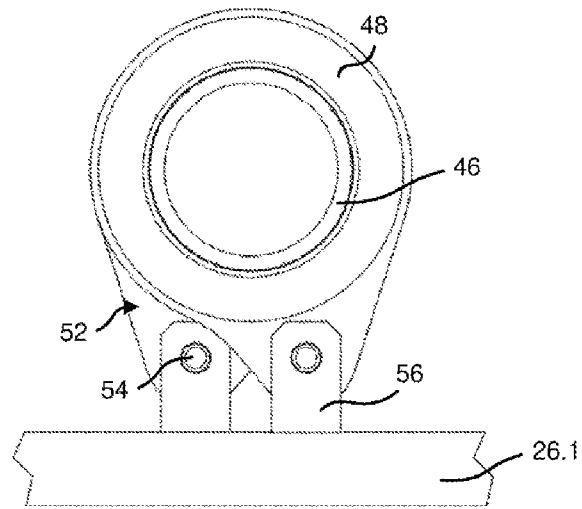


Fig 3B

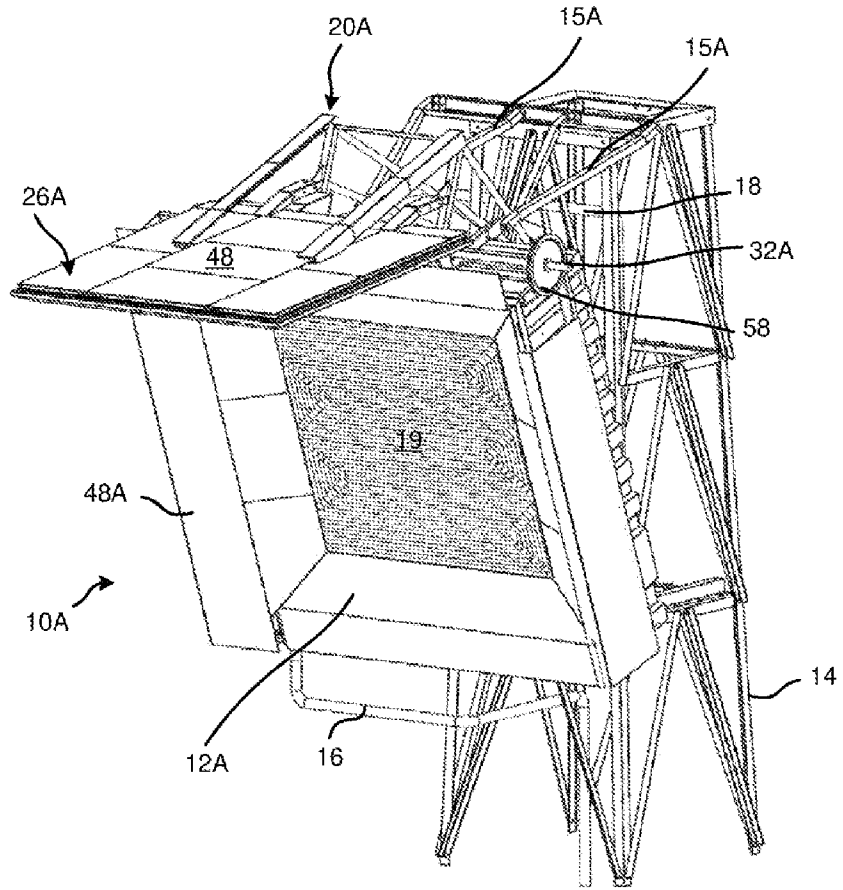


Fig 4A

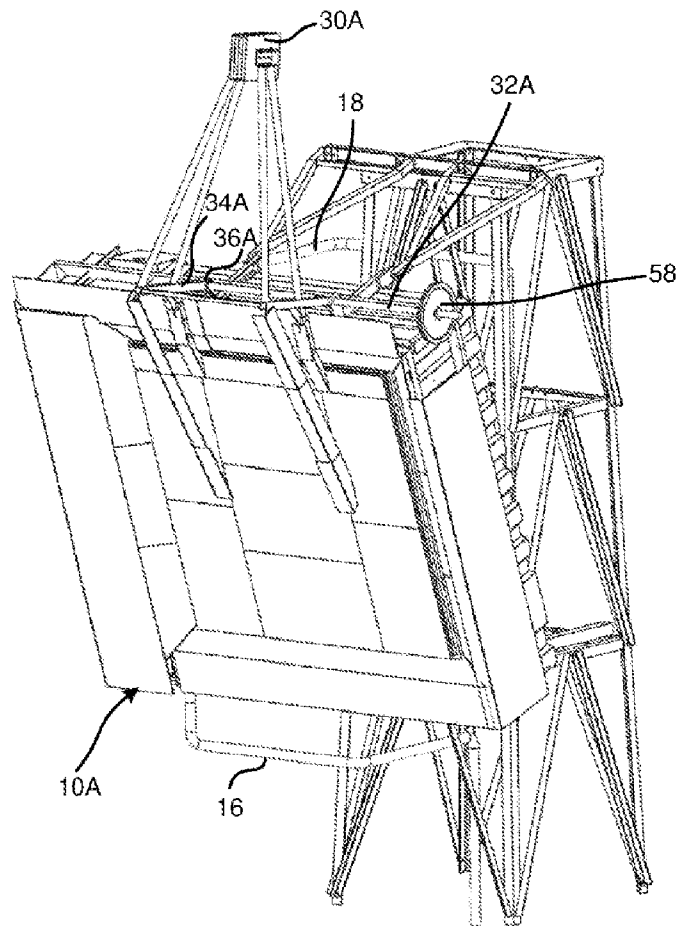


Fig 4B

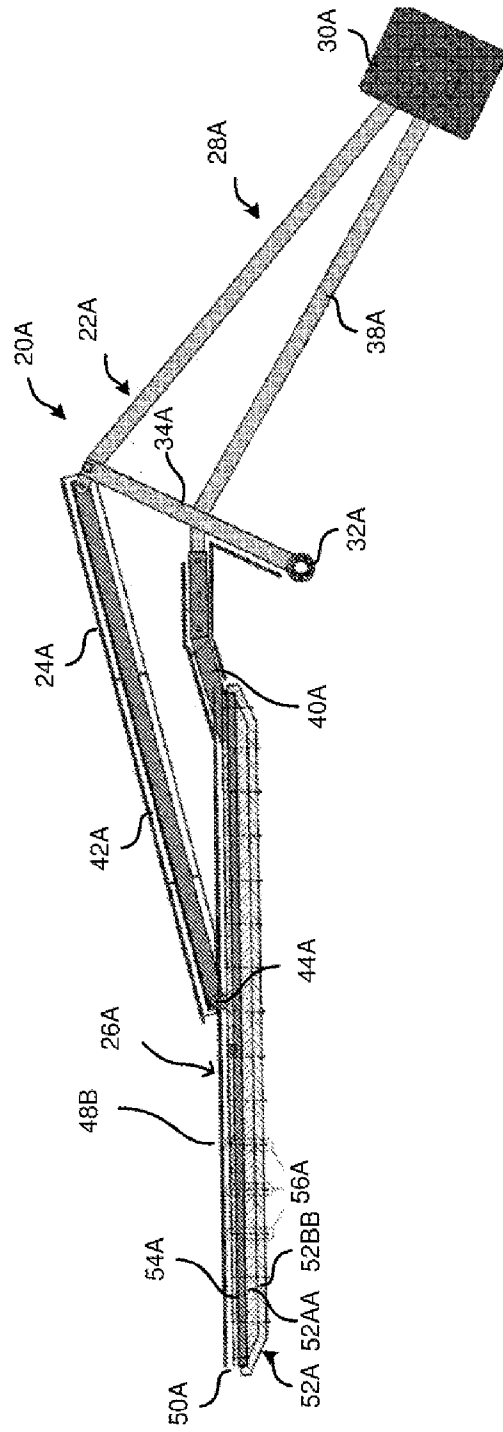


Fig 5A

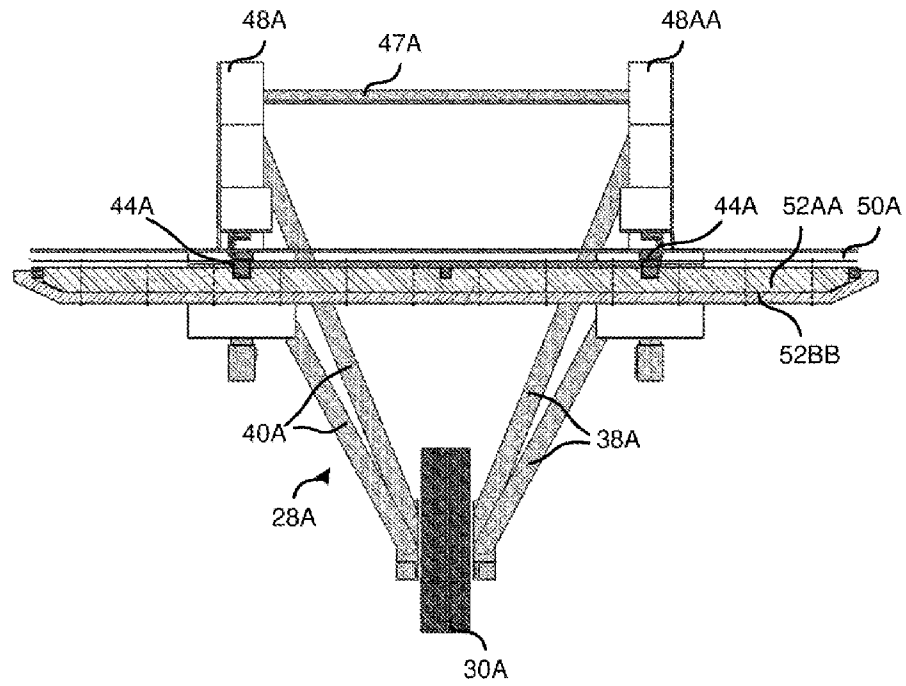


Fig 5B

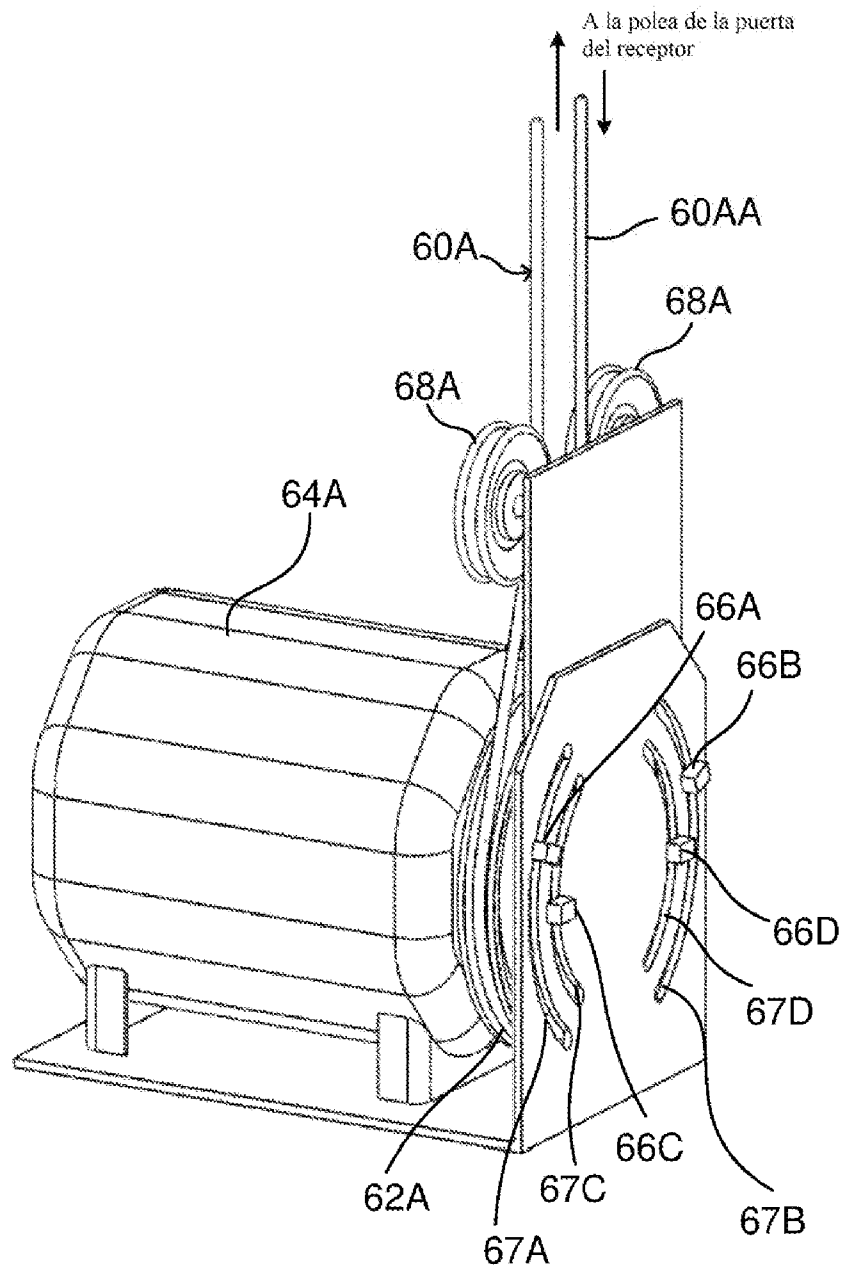


Fig 6

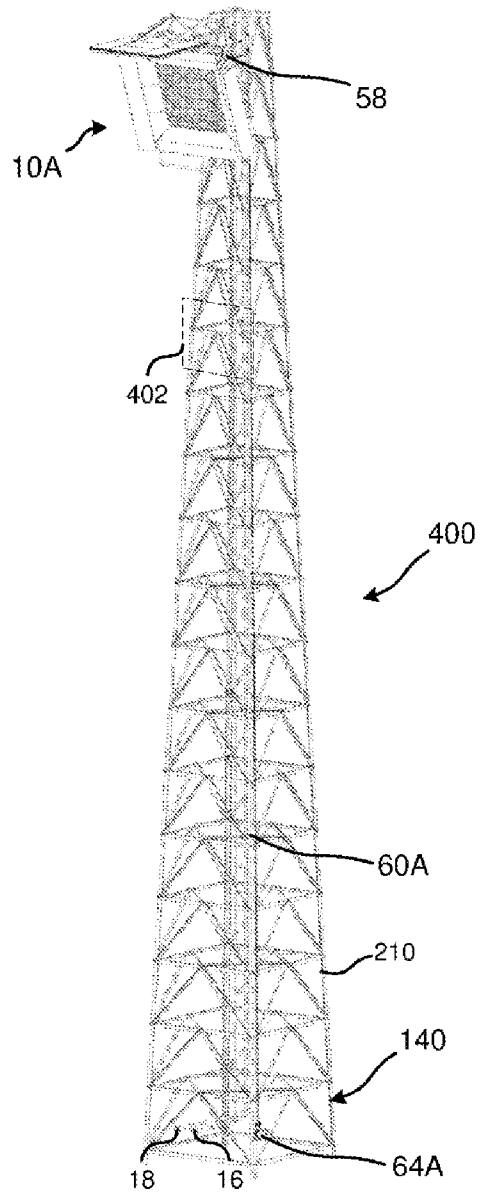


Fig 7

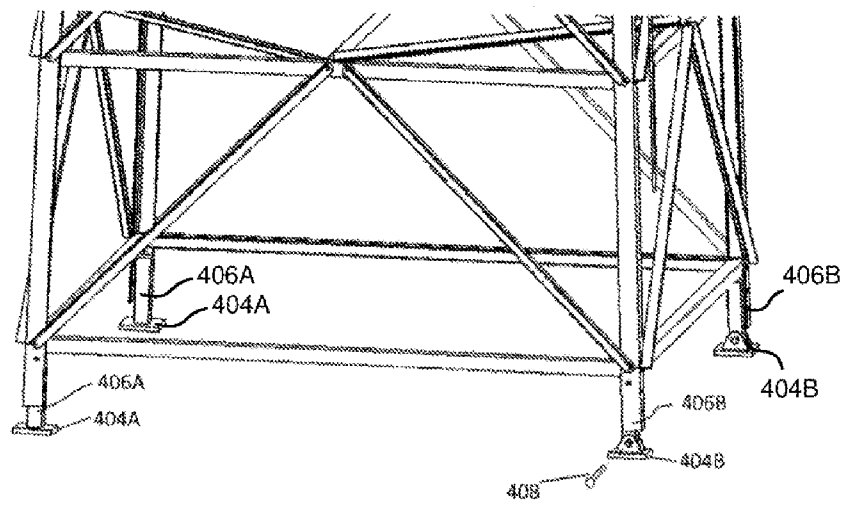


Fig 7A

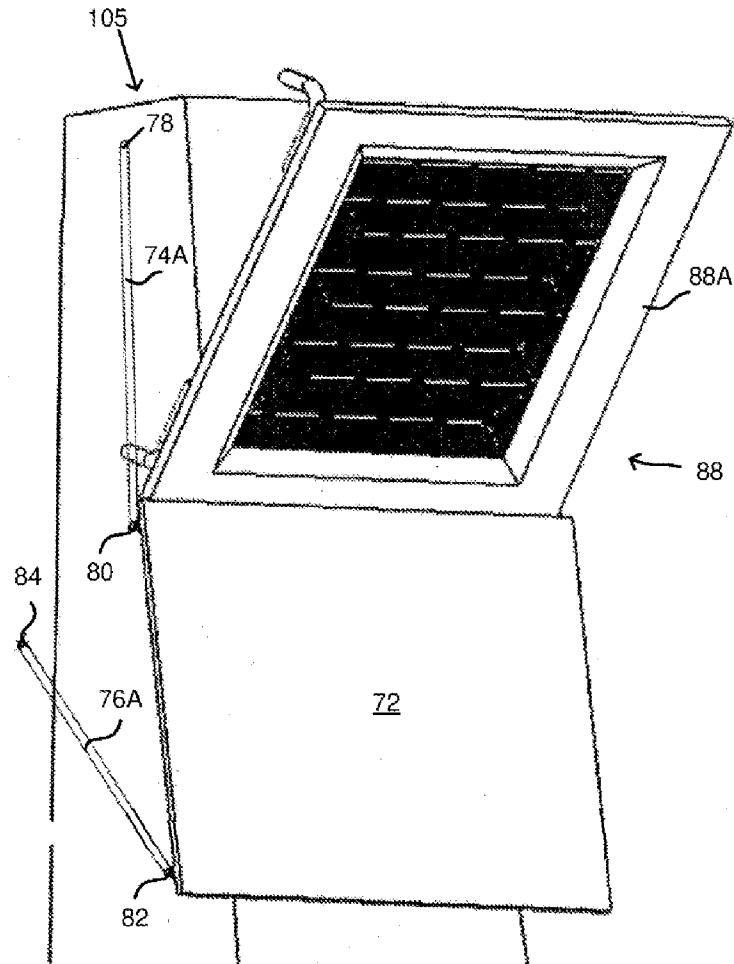


Fig 8A

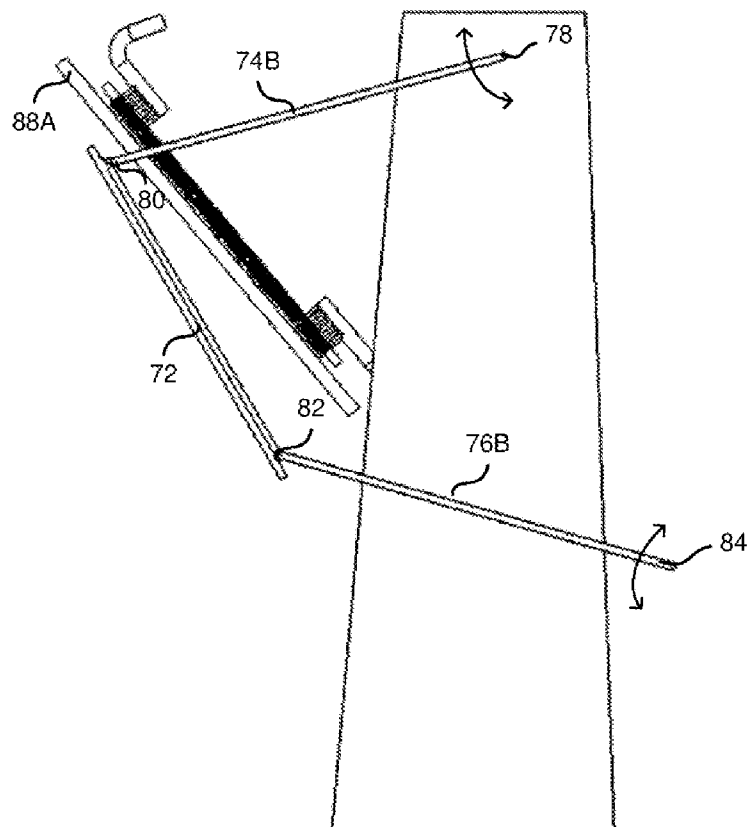


Fig 8B

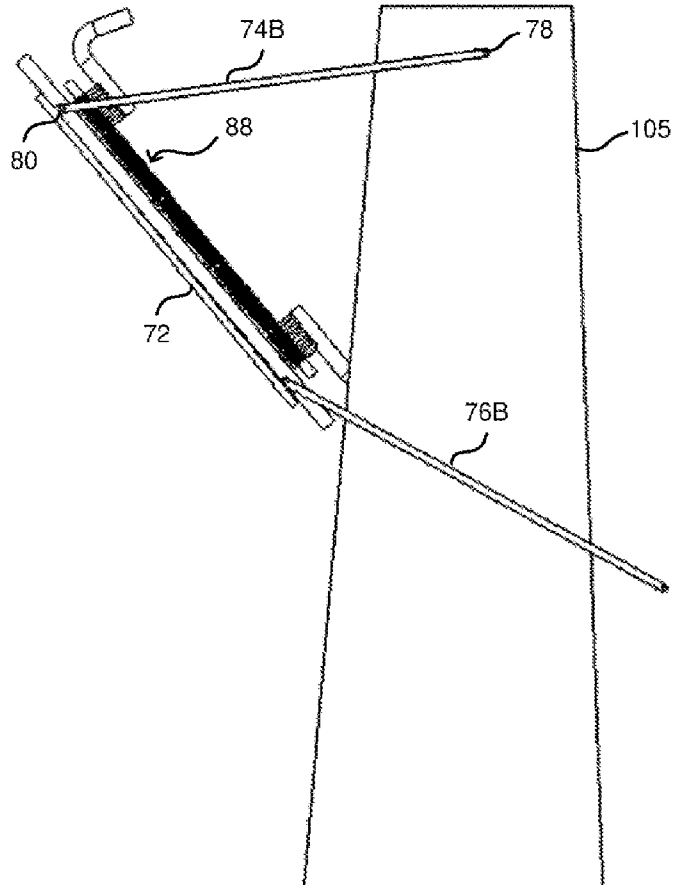


Fig 8C