

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 421 107**

51 Int. Cl.:

C03B 23/025 (2006.01)

C03B 23/035 (2006.01)

F24J 2/08 (2006.01)

F24J 2/10 (2006.01)

F24J 2/38 (2006.01)

H01L 31/052 (2006.01)

F24J 2/54 (2006.01)

F24J 2/12 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.05.2009 E 09747261 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.04.2013 EP 2282976**

54 Título: **Procedimiento de fabricación de reflectores parabólicos grandes para un aparato deconcentración solar**

30 Prioridad:

12.05.2008 US 127298

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
28.08.2013

73 Titular/es:

**ARIZONA BOARD OF REGENTS ON BEHALF OF
UNIVERSITY OF ARIZONA (100.0%)
220 W. Sixth St.
Tucson, AZ 85721, US**

72 Inventor/es:

**ANGEL, ROGER P y
OLBERT, BLAIN H**

74 Agente/Representante:

BOTELLA REYNA, Antonio

ES 2 421 107 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

Procedimiento de fabricación de reflectores parabólicos grandes para un aparato de concentración solar

5 **Antecedentes de la invención**

El cambio climático se reconoce como un problema importante que ha recibido una atención considerable. Como consecuencia de la generación a nivel mundial de energía de combustibles fósiles, se acumulan grandes cantidades de gases de efecto invernadero en nuestra atmósfera. Muchos expertos consideran que si no se hace algo pronto para retrasar o incluso revertir esta acumulación, nuestro clima y el mundo en el que vivimos sufrirán consecuencias catastróficas. Los expertos predicen que un aumento en las temperaturas globales de apenas unos grados derretirá el hielo polar, y tendrá como resultado un aumento suficiente en el nivel de los mares para situar muchas ciudades costeras bajo el agua. Algunos científicos predicen también la extinción de muchas especies de plantas y animales. A la vista de estos y otros efectos adversos importantes de la quema de combustibles fósiles para generar energía, existe una necesidad importante de un procedimiento de fabricación económica de reflectores parabólicos de vidrio para su uso en un aparato que pueda generar energía de una manera rentable sin la adición significativa de gases de efecto invernadero importantes a la atmósfera.

La presente invención se dirige a un procedimiento de fabricación de reflectores parabólicos de vidrio a partir de láminas económicas de vidrio flotado de calidad suficiente de manera que dichos reflectores puedan usarse en un sistema de conversión solar para generación de electricidad a través de procedimientos fotovoltaicos o térmicos, o para convertir energía solar en energía química por reacciones térmicas o fotoquímicas.

La eficacia de conversión fotovoltaica también puede mejorarse en luz altamente concentrada. Sin embargo, los sistemas anteriores para el uso de luz solar concentrada han dejado un espacio importante para la mejora. Es poco probable que los sistemas de energía solar tengan un impacto significativo en la reducción de los gases de efecto invernadero en la atmósfera hasta que la electricidad pueda generarse usando energía solar a un coste que sea competitivo con la electricidad generada por la quema de combustibles fósiles. El coste es crítico para sistemas de energía solar. De hecho, el coste no puede exagerarse, dado que es tan importante que el coste en solitario puede señalar la diferencia entre el éxito y el fracaso. En la medida en que la electricidad de generación solar cueste más que la electricidad generada por la quema de combustibles fósiles, existen pocas probabilidades de que la energía solar vaya a tener un impacto significativo en la reducción de los gases de efecto invernadero en nuestra atmósfera. Desde hace tiempo se siente la necesidad de un procedimiento de fabricación de un sistema de conversión solar que tenga un coste total del sistema bajo y que sea capaz de generar electricidad a un coste que sea competitivo con la electricidad generada por la quema de combustibles fósiles.

A partir del documento US-2004/0.107.731-A1 se conoce un procedimiento para formar vidrio o cerámicas de vidrio para la preparación de sustratos de espejos, en el que se prepara un cuerpo conformado a partir de una pieza de vidrio de borosilicato mediante combadura por la fuerza de la gravedad en un molde de cerámica de vidrio de queatita a temperaturas superiores a 600° C. El uso de un molde de cerámica de vidrio de queatita se necesitaba para ajustar el coeficiente de expansión térmica del vidrio de borosilicato, debido a la conducción térmica directa entre el molde y el vidrio. El molde de cerámica de vidrio de queatita estaba casi libre de poros, ya que los poros en la superficie del molde posiblemente producirían defectos perjudiciales en el sustrato del vidrio durante la combadura, y se requería una alta precisión para un espejo de rayos X.

Sin embargo, la fabricación de moldes de cerámica de vidrio de queatita es muy cara. Además, el uso de piezas de vidrio de borosilicato aumentaba los costes adicionalmente. Un molde de cerámica de vidrio de queatita tendría un coeficiente de expansión térmica diferente al de vidrio flotado a base de cal y sosa con bajo contenido en hierro, y no sería adecuado para preparar reflectores parabólicos a partir de láminas de vidrio flotado. Las piezas de vidrio de borosilicato no serían deseables debido a su alto coste.

A partir del documento GB-770.097 se sabe básicamente que las envolturas de vidrio de los tubos de rayos catódicos pueden prepararse colocando una placa de vidrio en una matriz y calentándola hasta que la placa se combe debido a su peso. Se aplica un calor suficiente de manera que la placa adopte una forma similar a la parte correspondiente de la matriz, mientras que el borde también puede adoptar en parte la forma de la matriz, con lo cual se ejerce una fuerza en el borde por medio de rodillos de manera que se proporciona al recipiente enteramente la forma de la matriz. El objeto es preparar un recipiente de vidrio curvado hacia el exterior con paredes perpendiculares que pueda unirse con la parte lateral cónica de un tubo de rayos catódicos para preparar un tubo de imagen para televisión en color.

La matriz empleada tiene forma convexa en lugar de cóncava, y el centro de la placa de vidrio debe ponerse en contacto con la matriz antes de que se produzca la combadura alrededor de los bordes de la placa de vidrio. Si la placa se precalienta suficientemente para hacer que se combe antes de que la placa se coloque en contacto con la matriz, la placa se combará en la dirección equivocada en el centro bajo la influencia de la gravedad que es la dirección opuesta a la deseada. Sin embargo, existe un riesgo de agrietamiento si la placa de vidrio en frío entra en contacto con una matriz caliente, lo que representa un problema en funcionamiento continuo. No se proporciona ningún medio para limitar el movimiento lateral de las esquinas de la placa de vidrio mientras se calienta la placa de vidrio.

10 El estado general de la técnica se muestra adicionalmente en los documentos JP-63-021.229-A, JP-58-194.751-A y WO-2005/042.420-A. Sin embargo, ninguno de estos documentos desvela un medio para limitar el movimiento lateral de las esquinas de una placa de vidrio mientras la placa de vidrio se calienta y se comba con el fin de forzar a que la lámina de vidrio se estire mientras se comba.

15 Un objetivo central de la presente invención implica proporcionar un procedimiento de fabricación y un aparato para generar electricidad u otras formas de energía solar a bajo coste. El coste es de importancia crítica, pues de lo contrario es improbable que los sistemas de conversión solar desplacen a un porcentaje elevado de plantas de generación eléctrica convencionales que generan electricidad con la quema de combustibles fósiles. La presente invención incluye un procedimiento de fabricación que facilita un coste total del sistema bajo para conversión solar.

20 Con el fin de tener un impacto discernible en la minimización del cambio climático provocado por gases de efecto invernadero en nuestra atmósfera, se necesita un procedimiento de fabricación para hacer económicamente reflectores de vidrio destinados a su uso en un sistema de conversión solar que puedan suministrar radiación solar altamente concentrada a unidades de conversión de alta eficacia al mínimo coste por unidad de potencia. Un objetivo de la presente invención es proporcionar un procedimiento de fabricación que permite el uso de vidrio flotado a bajo coste para tales reflectores de vidrio. Otro objetivo de la presente invención es proporcionar un procedimiento de fabricación que es capaz de tasas de producción rápidas y de alta velocidad. La presente invención incluye un procedimiento económico de fabricación que es capaz de producir reflectores de vidrio hechos de vidrio flotado a bajo coste y a una velocidad suficientemente rápida para dar cabida a la salida completa de una línea de producción de fábrica de vidrio flotado convencional en un procedimiento de fabricación continuo.

25 El coste de los sistemas de conversión solar que usan reflectores en forma de disco se reduce al mínimo mediante el uso de materiales económicos, como vidrio flotado. Los reflectores individuales en forma de disco adoptan la forma de un monolito de vidrio grande, en oposición a una matriz de segmentos discretos en tope. La construcción monolítica simplifica la fabricación e integración de reflectores de vidrio, y reduce al mínimo el número de puntos de soporte por área unidad para un grosor de vidrio y una masa por unidad de área (densidad de superficie) dados.

30 La presente descripción incluye un procedimiento de fabricación para reflectores de vidrio plateados adecuado para su uso en un aparato para suministrar luz solar concentrada para la producción de energía eléctrica por unidades de conversión.

Los reflectores de plato se hacen preferentemente como monolitos grandes de vidrio flotado con bajo contenido en hierro, de reverso plateado, de manera que cada reflector parabólico se apoya en una estructura de refuerzo abierta.

45 Los reflectores de vidrio de reverso plateado se prefieren para esta invención debido a las funciones estructurales y protectoras superiores del vidrio, y a la reflectancia muy alta de la plata. El vidrio también se prefiere debido a su rigidez y estabilidad química y dimensional, manteniendo la figura verdadera del reflector en un intervalo amplio de escalas espaciales. La construcción monolítica del vidrio se prefiere debido a que el reflector grande es estructuralmente más eficiente cuando se hace como un monolito en lugar de como una configuración de segmentos más pequeños, y los monolitos de vidrio grandes pueden fabricarse en volumen muy alto a bajo coste, de acuerdo con un procedimiento de fabricación descrito en la presente memoria descriptiva. La plata es un material reflectante preferido, pero otros materiales como, por ejemplo, aluminio pueden sustituir a la plata con alguna degradación en el rendimiento. La longevidad y la estabilidad de reflectores de vidrio de reverso plateado proporcionan características de durabilidad buenas en aplicaciones solares expuestas a condiciones meteorológicas a la intemperie. El vidrio de cal y sosa con bajo contenido en hierro es un material preferido debido a su absorbancia de energía solar baja. Sin embargo, los expertos en la materia observarán que puede sustituirse por otros materiales sin alejarse del espíritu de la invención. Aunque en la descripción que se ofrece a continuación se usa la palabra "vidrio", a menos que se considere de otro modo deberá entenderse que para la presente invención se prefiere vidrio flotado de cal y sosa con bajo contenido en hierro.

Los reflectores son preferentemente de un tamaño óptimo relativamente grande y monolíticos, para facilitar tanto la fabricación como el coste con un coste mínimo por área unitaria. Una característica importante del diseño es que los platos reflectores monolíticos se proporcionan con un borde laminado, para incrementar la rigidez y reducir el número de puntos de soporte, y reducir así adicionalmente el coste de fabricación e instalación de cada monolito de vidrio. Un borde laminado proporciona ventajas estructurales, y no ha sido aprovechado previamente en el modelado de platos reflectores solares de vidrio. Los reflectores están hechos de vidrio preferentemente de 4 mm de grosor aproximadamente, y soportados en un refuerzo abierto por apoyos separados con preferencia aproximadamente cada medio metro. El reflector está unido preferentemente al apoyo con un adhesivo compatible. Los platos tienen una forma parabólica u otra figura cóncava, optimizados según el diseño del generador o unidad convertidora seleccionada para su uso cerca del foco.

Para reducir al mínimo el coste por unidad de área del reflector y su estructura, los platos del reflector de vidrio monolítico individuales se optimizan en tamaño usando determinados compromisos de coste y beneficio, y se hacen preferentemente del mayor tamaño posible que sea consistente con otras consideraciones importantes. La presente invención proporciona ventajosamente ahorros económicos importantes al permitir que los platos del reflector de vidrio se preparen con una anchura completamente estándar de producción de vidrio flotado, en general de aproximadamente 3,3 m, que se prefiere encarecidamente. Cada gran reflector hexagonal o cuadrado tiene la ventaja de que es adecuado para unirse a un soporte de refuerzo de acero ligero y rígido. Por tanto, el refuerzo puede usarse para soportar platos reflectores de vidrio monolítico, en los que dicho refuerzo proporciona en su superficie superior una estructura de dieciséis puntos en una retícula de cuatro por cuatro para la fijación de un monolito sustancialmente cuadrado de aproximadamente 4 mm de grosor, y puede ser útil un refuerzo que se extienda por debajo para formar cuatro nudos en un cuadrado, para fijarse a las esquinas inferiores de una celda unitaria de un marco espacial de elevación rectangular. Para un reflector cuadrado preferido formado por vidrio de 3,3 m de anchura, el área activa es de aproximadamente nueve metros cuadrados, y así la energía solar concentrada suministrada a cada punto del plato es normalmente de 8 kW aproximadamente (1.000 vatios por metro cuadrado de insolación y una reflexividad media superior al 90%). Las unidades de conversión más apropiadas para su uso con esta forma de realización preferida de un plato de un reflector de vidrio son aquellas que pueden funcionar con eficacia a un nivel de potencia de entrada de 8,5 kW aproximadamente por unidad.

Los reflectores de vidrio plateado para incorporar en un concentrador solar para su uso en las realizaciones descritas anteriormente, y que tienen utilidad en otras realizaciones alternativas, se pueden fabricar según un procedimiento de bajo coste que usa vidrio flotado. Este procedimiento contribuye a reducir, de una manera significativa, el coste total de un sistema de energía solar.

De acuerdo con la presente invención, el punto de partida para el procedimiento de fabricación del reflector es vidrio flotado. El vidrio flotado se prefiere encarecidamente debido a su alta calidad y bajo coste. El vidrio flotado también emplea tecnología contrastada que puede permitir la producción de reflectores de vidrio en un volumen muy grande. Con el fin de tener un impacto importante en la reducción de gases de efecto invernadero y de la contaminación de carbono en la atmósfera, es deseable tener un procedimiento para fabricar reflectores de vidrio para sistemas de conversión de energía solar a un coste suficientemente bajo y a un volumen suficientemente alto para facilitar la producción en masa de sistemas para la generación de niveles de electricidad de muy alta potencia. El procedimiento aquí descrito puede integrarse ventajosamente en una línea de producción de vidrio flotado, de manera que el vidrio caliente recién formado a partir de la línea de producción de vidrio flotado se puede modelar antes de que se temple y se enfríe. El procedimiento de fabricación según la presente invención proporciona la capacidad de usar la salida completa de una fábrica de vidrio flotado para producir reflectores solares de vidrio preparados según un procedimiento o línea de producción continuo. El procedimiento de fabricación se diseña así para trabajar a velocidad muy alta, por ejemplo permitiendo fabricar un nuevo reflector de vidrio cada diez segundos, y tiene capacidad para admitir la velocidad de producción típica de una fábrica de vidrio flotado para láminas de 3,3 metros cuadrados por 4 mm de grosor. El procedimiento de fabricación puede realizarse alternativamente fuera de línea a una velocidad más lenta si se desea, pero la capacidad de las altas velocidades de producción de acuerdo con el procedimiento de fabricación descrito ofrece una ventaja importante proporcionada por la presente invención.

La primera etapa en el procedimiento de fabricación comprende cortar una cinta de vidrio flotado formada recientemente y todavía caliente pero rígida en piezas de tamaño del reflector. Esto se sigue de la etapa consistente en colocar cada pieza de tamaño del reflector de vidrio encima de un molde de cuerpo completo. A continuación se calienta cada pieza de tamaño del reflector de vidrio luego mientras sus esquinas se limitan frente a un movimiento lateral. Dado que la pieza dimensionada del reflector de vidrio se reblandece en el entorno calentado, el vidrio se comba y se estira, tocando y conformando el perímetro del molde y haciendo descender libremente para tomar la

forma aproximada del reflector parabólico, mientras se mantiene su acabado liso especular. Las restricciones de esquina se proporcionan para evitar la formación de arrugas, al obligar al vidrio a estirarse en todas partes mientras se comba. La pieza dimensionada para el reflector de vidrio adopta la forma deseada del plato cuando alcanza y toca ligeramente el cuerpo completo del molde. Este procedimiento consigue el objetivo del modelado preciso de la pieza dimensionada para el reflector de vidrio sin deteriorar significativamente la suavidad óptima de la superficie anterior o posterior del vidrio. Se usa preferentemente un molde de acero inoxidable con ranuras y crestas mecanizadas en él, de manera que se defina exactamente la figura mientras se proporciona la ventaja de mantener la fracción del área de vidrio perdida por el contacto con el molde muy por debajo del 1%. Mientras la pieza dimensionada para el reflector de vidrio todavía está blanda y se está formando el plato cóncavo, se usan herramientas de perfilar en los bordes del vidrio para presionar de nuevo el vidrio de manera que forme bordes laminados contra un borde redondeado del molde. Tan pronto como se completa la formación, la pieza dimensionada para el reflector de vidrio puede enfriarse rápidamente para reforzar el punto en el que puede retirarse del molde sin distorsión importante. En una línea de producción continua, el molde puede redirigirse al inicio de la línea de producción y reciclarse para formar el siguiente reflector. Es deseable reducir al mínimo el ciclado térmico del molde, debido a que el ciclado térmico podría acortar el tiempo de vida del molde. El procedimiento de fabricación desvelado consigue el resultado deseable de reducir al mínimo el ciclado térmico del molde mediante el uso de ranuras y crestas en la superficie operativa del molde correspondiente para la pieza de vidrio que se está moldeando, y las ranuras reducen al mínimo la conducción térmica desde el vidrio al molde. De acuerdo con un procedimiento de fabricación preferido, el ciclado térmico del molde se reduce adicionalmente al recubrir la superficie del molde operativa próxima a la pieza de vidrio que se está moldeando de manera que sea altamente reflectante para los flujos de radiación térmica que se experimentan durante el calentamiento y el enfriamiento.

La transferencia de calor por radiación es un procedimiento preferido para calentar y enfriar una pieza de vidrio flotado que se está moldeando, con el fin de alcanzar las velocidades rápidas deseadas de producción. Preferentemente muchos moldes estarán en uso simultáneamente, configurados por ejemplo en una línea de producción, para mantenerse con una velocidad de fabricación típica de producción de lámina de vidrio flotado. El ciclo del molde según un procedimiento de fabricación preferido comprende: colocar una lámina de vidrio de tamaño del reflector en una relación correspondiente con un molde; calentar la lámina de vidrio por calentamiento por radiación rápido para reblandecer la lámina de vidrio; mantener la lámina de vidrio en un entorno calentado hasta que la lámina de vidrio se forma en un reflector por combadura, estiramiento y asentamiento de la lámina de vidrio a través del molde; modelar los bordes de la lámina de vidrio; enfriar la lámina de vidrio por enfriamiento por radiación rápido; retirar el reflector de vidrio formado para temple y enfriamiento; y devolver el molde para volverlo a cargar. El procedimiento de fabricación descrito es capaz de producción rápida de reflectores de vidrio, y se adapta para alcanzar un tiempo de procesamiento estimado de tres minutos aproximadamente para la terminación de estas etapas. Las ventajas de la velocidad de producción ofrecidas por el procedimiento de fabricación descrito se vuelve más visible al considerar que una nueva lámina de vidrio puede procesarse en un reflector de vidrio formado aproximadamente cada diez segundos, al usar veinte o más moldes en una línea de producción de acuerdo con la presente invención. En dicha línea de producción que usa veinte moldes, una longitud de la línea de producción de aproximadamente 100 metros proporciona varios minutos de procesamiento térmico antes de que un molde se devuelva, basándose en una longitud de la línea de producción que es aproximadamente veinte o más veces la separación entre moldes.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La Figura 1 es una vista en perspectiva de una matriz de reflectores montados en un soporte móvil con un sistema de seguimiento de doble eje, y que tiene unidades convertidoras solares distribuidas.

La Figura 2 muestra una vista lateral de una forma de realización según la Figura 1, vista a lo largo del eje de elevación del sistema de seguimiento de doble eje.

La Figura 3 muestra una vista superior de una forma de realización según la Figura 1 vista a lo largo del eje óptico, tal como se observa desde la dirección del sol.

La Figura 4 es una vista en perspectiva ampliada (parcial) de una forma de realización según la Figura 1, que muestra un reflector parabólico y una unidad convertidora especialmente preferida que tiene una lente esférica.

La Figura 5 es una vista en perspectiva de la lente esférica de vidrio especialmente preferida para su uso en el punto focal de una unidad convertidora solar de acuerdo con la presente invención, y que muestra una matriz preferida especialmente de reflectores concentrados secundarios colocados adecuadamente con relación a la lente esférica

de vidrio, con toda la estructura de soporte retirada para mayor claridad.

La Figura 6 es una vista desde arriba de una pluralidad de matrices de reflectores de acuerdo con la forma de realización preferida mostrada en la Figura 1, en una configuración adecuada para un parque solar.

5

La Figura 7 es una vista en perspectiva de una forma de realización alternativa montada en un soporte móvil con un sistema de seguimiento de doble eje.

La Figura 8 muestra una vista lateral de una forma de realización según la Figura 7 con un sistema de seguimiento de doble eje ajustado a un ángulo de elevación bajo, visto a lo largo del eje de elevación.

10

La Figura 9 muestra una vista lateral de una forma de realización según la Figura 7 con un sistema de seguimiento de doble eje ajustado a 45° para el ángulo de elevación, visto a lo largo del eje de elevación.

La Figura 10 muestra una vista lateral de una forma de realización según la Figura 7 con un sistema de seguimiento de doble eje ajustado a un ángulo de elevación alto, visto a lo largo del eje de elevación.

15

La Figura 11 muestra una forma de realización según la Figura 7 cuando apunta al horizonte vista a lo largo del eje óptico, que muestra los detalles de una base de pedestal y soporte acimutal.

20

La Figura 12 muestra una forma de realización alternativa que apunta al horizonte vista a lo largo del eje óptico, que muestra los detalles de una base de pedestal y soporte acimutal.

La Figura 13 es una vista en perspectiva de una forma de realización según la Figura 7 que muestra los detalles de arrastres de elevación y acimut.

25

La Figura 14 es una vista en perspectiva de una forma de realización según la Figura 7 que muestra los detalles de un arrastre de cadena de acimut.

La Figura 15 es una vista en perspectiva que muestra los detalles de un soporte de elevación para una forma de realización según la Figura 7.

30

La Figura 16 es una vista desde arriba de una pluralidad de matrices de reflectores según una forma de realización mostrada en la Figura 12, en una configuración adecuada para un parque solar.

35

La Figura 17 es una vista en perspectiva de una pluralidad de matrices de reflectores según una forma de realización mostrada en la Figura 12, en una configuración adecuada para un parque solar.

La Figura 18 es una vista desde la dirección del sol de una pluralidad de matrices de reflectores según una forma de realización mostrada en la Figura 12, en una configuración adecuada para un parque solar.

40

La Figura 19 es una vista en perspectiva de una forma de realización de una unidad de conversión solar única, que muestra los detalles de una estructura para soportar una unidad convertidora encima de un reflector cuadrado.

La Figura 20 es una vista en perspectiva de una forma de realización alternativa de una unidad de conversión solar única, que muestra los detalles de una estructura alternativa que soporta una unidad convertidora encima de un reflector hexagonal.

45

La Figura 21 es una vista en perspectiva de una forma de realización preferida de una unidad reflectante para su uso en una unidad de conversión solar según una forma de realización de la invención, que muestra un reflector de vidrio y su estructura de soporte.

50

La Figura 22 es una vista en perspectiva de la estructura de soporte para un reflector de vidrio monolítico según la forma de realización ilustrada en la Figura 21, que muestra las riostras y nudos de soporte con el reflector de vidrio retirado.

55

La Figura 23 es una vista desde arriba de la estructura de soporte para un reflector de vidrio monolítico de acuerdo con la forma de realización ilustrada en la Figura 21, que muestra los detalles de la estructura de tipo cuna de puntos de soporte y las riostras y nudos de soporte superiores mostrados en la Figura 22.

- La Figura 24 es una vista en perspectiva de un mapa de contornos para una deflexión calculada bajo una carga de gravedad g axial para un grosor de 4 mm, que muestra el cambio en el ángulo de la pendiente a través de la superficie de un reflector de vidrio provocado por la desviación de la pendiente de la carga.
- 5
- La Figura 25 es una vista en sección transversal de una pieza de vidrio plano que se modelará como un reflector para su uso en las formas de realización ilustradas en la Figura 1 y la Figura 7.
- La Figura 26 es una vista en sección transversal de la pieza de vidrio según la Figura 25, colocada en un molde.
- 10
- La Figura 27 es una vista en sección transversal de una pieza de vidrio después de la etapa mostrada en la Figura 26, en la que la pieza de vidrio se ha reblandecido por calor transferido por radiación y se ha modelado parcialmente en el molde.
- 15
- La Figura 28 es una vista en sección transversal de una pieza de vidrio después de la etapa mostrada en la Figura 27, en la que la pieza de vidrio se ha conformado completamente según la forma del molde.
- La Figura 29 es una vista en sección transversal de una pieza de vidrio moldeada después de la etapa mostrada en la Figura 28, en la que la pieza de vidrio se está enfriando por transferencia por radiación.
- 20
- La Figura 30 es una vista en sección transversal de la pieza de vidrio moldeada según la Figura 29, en la que la pieza moldeada de vidrio se ha retirado del molde.
- La Figura 31 es una vista en perspectiva que muestra un molde cuadrado con una lámina plana de vidrio mantenida encima del molde.
- 25
- La Figura 32 es una vista en perspectiva que muestra un molde cuadrado con una lámina parcialmente curva de vidrio suspendida encima del molde.
- La Figura 33 es una vista en perspectiva que muestra un molde cuadrado con una lámina de vidrio completamente formada apoyada en el molde, con los soportes de esquina todavía en su lugar.
- 30
- La Figura 34 es una vista en perspectiva que muestra un molde cuadrado con una lámina de vidrio completamente formada apoyada en el molde y los soportes de esquina retirados.
- 35
- La Figura 35 es una vista desde arriba en sección transversal parcial de un molde cuadrado que muestra el armazón de soporte subyacente y los soportes de esquina.
- La Figura 36 es una vista en perspectiva en sección transversal parcial de un molde cuadrado que muestra los soportes de esquina y algunos paneles frontales unidos.
- 40
- La Figura 37 es una vista en detalle en sección transversal de un soporte de esquina que sostiene una lámina plana de vidrio antes del modelado.
- La Figura 38 es una vista en detalle en sección transversal de un soporte de esquina que sostiene una lámina de vidrio parcialmente formada.
- 45
- La Figura 39 es una vista en detalle en sección transversal de un soporte de esquina que sostiene una lámina de plato de vidrio apoyada en el molde con los soportes de esquina todavía en su lugar.
- 50
- La Figura 40 es una vista en detalle en sección transversal de una lámina de plato de vidrio apoyada en el molde con los soportes de esquina retirados.
- La Figura 41 es una vista en perspectiva en sección transversal parcial que detalla una sección en el borde de un molde, con una herramienta de perfilar situada encima del molde.
- 55
- La Figura 42 es una vista en perspectiva en sección transversal parcial que detalla una sección en el borde de un molde con el vidrio parcialmente modelado en su lugar.

La Figura 43 es una vista en perspectiva en sección transversal parcial que detalla una sección en el borde de un molde con el vidrio en su lugar y formado en un borde laminado por una herramienta de perfilar.

La Figura 44 es una vista en perspectiva en sección transversal parcial que detalla una sección de vidrio curva y formada con un borde laminado por el procedimiento de moldeado según la presente invención.

La Figura 45 es un diagrama esquemático que muestra una vista en sección transversal de una superficie del molde con ranuras y crestas.

10 La Figura 46 es un diagrama esquemático que muestra una vista en sección transversal del molde con vidrio modelado que toca las crestas.

Las Figura 47 es una vista en sección transversal de un molde ondulado que detalla el vidrio modelado apoyado en las crestas después de la terminación del modelado.

15

La Figura 48 es un diagrama esquemático que ilustra una pluralidad de moldes para el modelado de reflectores de vidrio en una línea de producción adaptada para fabricar reflectores de vidrio a una tasa de producción correspondiente a la tasa de salida de una línea de producción de vidrio flotado.

20 La Figura 49 es un diagrama esquemático de un sistema de control eléctrico para un seguidor solar de doble eje.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE FORMAS DE REALIZACIÓN PREFERIDAS

La presente invención se dirige a un procedimiento para la fabricación de grandes reflectores parabólicos **1** que se usarán en una aplicación de energía solar. Antes de proceder a una descripción detallada del procedimiento de fabricación, se describe primero el generador de energía solar en el que se usan los grandes reflectores parabólicos **1**.

La Figura 1, la Figura 2 y la Figura 3 ilustran una forma de realización que comprende una pluralidad de celdas reflectantes unitarias **34** con grandes reflectores parabólicos **1** mantenidos coaxiales en un armazón rígido **100**. En el ejemplo ilustrado, se muestra una matriz de veintisiete celdas reflectantes unitarias **34** en una retícula rectangular que tiene tres filas por nueve columnas, si bien pueden usarse otras configuraciones y ordenamientos con una pluralidad de concentradores configurados en otras diversas configuraciones. Es deseable tener la capacidad de apuntar la matriz de reflectores **1** hacia el sol conforme el sol se mueve por el cielo durante el día. Para lograrlo, el eje común de los reflectores **1** se orienta hacia el sol mediante un seguidor de doble eje **107**. En esta forma de realización de ejemplo, un carro plano **101** gira sobre una pista circular **102** en el suelo para dotar al armazón **100** que soporta los reflectores parabólicos **1** de rotación acimutal. El movimiento de elevación se proporciona mediante dos anillos en C **103** fijos al armazón rígido **100**, que giran sobre un eje virtual **110** en las ruedas superiores **104** por encima y adyacentes a las ruedas del carro **105**. Los soportes diagonales para el anillo de elevación **109** y las diagonales en la estructura **48** proporcionan rigidez. En esta forma de realización preferida, los reflectores parabólicos **1** son casi cuadrados o sustancialmente cuadrados con esquinas recortadas **106**, con el fin de reducir al mínimo el área reflectante que de otra manera podría perderse, y se disponen en un armazón rígido **100** de simetría cuadrada o rectangular, de manera que casi toda de la luz solar interceptada por la matriz completa de celdas reflectantes unitarias **34** se suministra al foco parabólico **28** respectivo de cada uno de los reflectores **1**.

45

La Figura 4 y la Figura 5 son vistas en perspectiva de una celda reflectante unitaria **34** con un convertidor en la forma de un generador fotovoltaico **4** y un reflector parabólico **1**. La luz solar que entra en el sistema entra como rayos o radiación solar entrante **2** que es reflejada por el espejo **1**. El espejo **1** se modela de manera que los rayos o la radiación solar reflejada **3** se dirigen hacia el foco **28**, en el que se sitúa un generador fotovoltaico **4**, que incluye en esta ilustración una lente esférica **5**. El espejo **1** tiene preferentemente una superficie reflectante sustancialmente parabólica que refleja en la máxima medida posible la luz solar **2** y que se concentra en la posición del generador **4**. El espejo **1** se forma preferentemente con un recubrimiento de plata delgado en el reverso del vidrio con bajo contenido en hierro. Sin embargo, aunque no se prefiere, puede proporcionarse como una alternativa un espejo de recubrimiento frontal, y los recubrimientos reflectores alternativos pueden usarse en el vidrio con otros recubrimientos metálicos o dieléctricos. Además, el espejo puede fabricarse con materiales alternativos que proporcionan no obstante la reflexión deseada de luz solar hacia el generador **4**. Aunque el reflector **1** es preferentemente de manera sustancial de configuración parabólica, pueden emplearse también otras superficies curvas con alguna degradación en el rendimiento. Se prefiere un reflector en forma parabólica **1**, debido a que reflejará los rayos entrantes paralelos **2** en un punto focal **28**. Dado que la radiación solar entrante no está

50

55

exactamente en forma de rayos paralelos **2**, las formas alternativas de la superficie reflectante **1** pueden usarse para reflejar los rayos **3** a un punto **28** en el cual se sitúa el generador **4**. Sin embargo, se considera que la combinación de elementos que comprenden el espejo **1** de la forma de realización preferida descrita en la presente memoria descriptiva proporciona un compromiso óptimo entre coste y rendimiento. En una forma de realización preferida en la que el reflector **1** es sustancialmente parabólico, la desviación de la forma de la superficie reflectante con respecto a la forma parabólica deseada puede caracterizarse como errores de la pendiente superficial en la superficie reflectante del espejo parabólico primario **1**, y cualquier convertidor que aproveche plenamente la estructura ilustrada debería proporcionar cierta tolerancia para tales errores así como cierta tolerancia para errores de apuntamiento del seguidor. Esta es una característica deseada para alcanzar un grado de rentabilidad económica en la fabricación y el funcionamiento.

En la vista en perspectiva de la Figura 5 se muestra un ejemplo de un convertidor, en la forma de un generador fotovoltaico **4**, para su uso en el foco **28** del espejo parabólico **1**. El generador **4** comprende la lente esférica **5** y tiene una pluralidad de reflectores secundarios **45** situados concéntricamente alrededor de la lente esférica **5**, en el que la pluralidad de reflectores secundarios **45** dirigen la luz concentrada a una pluralidad de celdas fotovoltaicas concentradoras **15** como se muestra en la Figura 5. Las celdas fotovoltaicas **15** generan electricidad directamente a partir de la radiación solar. La estructura, función y operación del generador de la Figura 5 y otros generadores fotovoltaicos de este tipo se describe en más detalle en la solicitud n° de serie 12/463.016, presentada junto con este documento, titulada "Photovoltaic Generator with a Spherical Imaging Lens for Use with a Paraboloidal Solar Reflector," de Roger P. Angel.

La luz solar concentrada **3** que pasa a través de la lente esférica **5** forma una imagen del reflector parabólico primario **1** en una superficie en forma esférica cóncava **9** en la que los reflectores secundarios **45** se ubican en una posición concéntrica con la lente esférica **5**. La Figura 5 muestra solo la lente esférica **5**, diodos de derivación **30** y una multiplicidad de celdas fotovoltaicas cuadradas **15** colocadas inmediatamente detrás de los reflectores secundarios en la forma de tramas reflejadas **45** con entradas aproximadamente cuadradas. Toda la estructura restante se omite con fines de claridad. La pluralidad de celdas fotovoltaicas **15** se conectan eléctricamente juntas en serie para combinar la energía eléctrica producida por cada celda **15** en una salida total de electricidad del generador **4**. El generador **4** incluye un sistema (no mostrado) para enfriar activamente las celdas **15** por agua bombeada a un radiador, para su enfriamiento convectivo en el aire.

Un aspecto importante del generador **4** es que la intensidad de la radiación solar **3** a través de todas las celdas fotovoltaicas **15** se estabiliza por acción de la lente esférica **5** frente a errores de apuntamiento del seguidor **107**, para un diseño que es tolerante a errores de la pendiente superficial en la superficie reflectante del espejo parabólico primario **1**. Incluso si el seguidor **107** no apunta directamente al sol, la intensidad de luz de la imagen formada por la lente esférica **5** en la entrada a los reflectores prismáticos **45** permanece relativamente constante y proporciona igual iluminación procedente de todas de las celdas **15** para un intervalo importante de errores de apuntamiento. Otro aspecto importante del generador **4** es la acción de los reflectores secundarios **45** en tolerancia mejorada adicional para defectos de apuntamiento y en espacios sustanciales abiertos entre celdas adyacentes **15**. Los espacios proporcionados entre celdas adyacentes **15** permiten la colocación de diodos de derivación **30** y la interconexión por cableado en estrecha proximidad a las celdas **15**, sin interferencia para su entrada óptica o para sus salidas eléctricas y térmicas. Así el generador **4** de la Figura 5 proporciona la entrada de energía solar alta del concentrador de la estructura ilustrada, tanto por estabilización de flujo, de manera que se asegure la salida de alta potencia de muchas celdas **15** conectadas en serie, como por una trayectoria térmica clara para extraer el calor residual de una matriz cerrada de celdas intensamente iluminadas **15**.

La Figura 2 ilustra el soporte de elevación y el arrastre del armazón rígido **100** según la Figura 1, en una vista que se observa a lo largo de la dirección del eje de elevación **110** perpendicular al plano del dibujo, y que pasa a través del centro del arco del anillo en C **103**. La rotación alrededor de este eje de elevación **110** se define por el movimiento de los anillos en C **103** en sus ruedas de soporte **104**, no por ningún apoyo físico en el eje **110**. Los anillos en C **103** se fijan mediante riostras en el plano **109** que se unen a nudos **11** de las celdas reflectantes unitarias **34** en el armazón rígido **100**. La Figura 3 ilustra el armazón rígido **100** según la Figura 1 tal como se ve a lo largo de la dirección del eje óptico, y muestra el modo en que los reflectores parabólicos sustancialmente cuadrados **1** se aglomeran de forma eficaz en el armazón rígido o marco espacial **100** para capturar la mayor cantidad de la luz solar **2** incidente posible en el marco espacial de elevación **100**.

La Figura 4 ilustra una forma de realización preferida de un termosifón para la eliminación pasiva de calor residual del generador **4**. El calor en el generador **4** lleva a ebullición un líquido de trabajo, provocando que el vapor eleve el tubo de termosifón **39** a una estructura convectiva **24** con enfriamiento de aire situado en el cuadrante superior de

las abrazaderas de soporte diagonales **38**. En la forma de realización preferida ilustrada, la estructura convectiva **24** se mantiene en una orientación encima del generador **4** sobre el intervalo completo de los ángulos de elevación contemplados en la práctica para el eje de elevación **110**, de manera que el líquido condensado regresará al generador **4** por efecto de la gravedad. Esto proporciona un diseño rentable económicamente para la circulación de líquido de enfriamiento en el tubo de termosifón **39** y la estructura convectiva **24** sin agregar el coste adicional y el mantenimiento de una bomba.

La Figura 6 ilustra cuantitativamente una colocación preferida de múltiples unidades de seguidor **107** de esta forma de realización, dispuestas en una retícula de triángulos equiláteros, dimensionadas para permitir la separación para la rotación acimutal completa sin posibilidad de colisión. Es ventajosa una relación preferida de tres entre la longitud horizontal proyectada y la altura proyectada, tal como se muestra en este ejemplo ilustrado, debido a que esta relación reduce al mínimo el auto-ensombrecimiento en la elevación del sol baja durante la mañana y la tarde, y también reduce al mínimo la carga de viento. Las filas dadas se orientaron en la dirección norte-sur, cuando la luz solar llega desde el oeste o desde el este, de modo que no existe pérdida de auto-ensombrecimiento para elevaciones solares superiores a $\text{tg}^{-1}(1/3) = 18,4^\circ$ grados, y solo 1/3 de las celdas unitarias estarían ensombrecidas para una elevación solar de $12,3^\circ$. La relación entre área del reflector y área de tierra para la colocación ilustrada es de aproximadamente el 25%. Debido a que en esta forma de realización preferida todos los reflectores **1** son coplanarios y están en una estructura de refuerzo abierta **100**, la carga de viento puede reducirse al mínimo al colocar el seguidor **107** en la posición de apuntamiento al cénit con el reflector plano horizontal en caso de vientos muy intensos. Las vías de mantenimiento **112** se muestran dispuestas cada dos filas en una dirección. De esta manera se proporciona, mediante la rotación adecuada de elevación y acimut, un acceso sencillo para el servicio frontal o posterior para todos los seguidores **107**.

En la Figura 7 se muestra una segunda forma de realización de la estructura de generación de energía solar preferida actualmente. Esta forma de realización alternativa comprende una pluralidad de grandes reflectores parabólicos **1** mantenidos coaxiales en un armazón rígido **50**, pero con una matriz más pequeña de ocho celdas unitarias **34** en una configuración de dos filas **51** y **52** y cuatro columnas. Con el fin de orientar la matriz de reflectores **1** hacia el sol, el eje común de los reflectores **1** se orienta hacia el sol mediante un seguidor de doble eje con soportes de altitud sobre acimut. Tal como se muestra en la Figura 11, el movimiento acimutal se proporciona mediante un soporte de eje vertical **78** y **79** fijado en una montura de pedestal **67**. La matriz de los reflectores se hace girar en elevación mediante un soporte de elevación de eje horizontal **58** establecido encima del soporte acimutal **78** y **79**.

En la forma de realización alternativa mostrada en la Figura 7, los reflectores **1** son preferentemente de manera general cuadrados o sustancialmente cuadrados con esquinas recortadas, y cada reflector **1** está alojado en una celda reflectante unitaria **34**, tomando la forma de un prisma recto, con base cuadrada con suministro para soportar un generador unitario **4** cerca del foco **28**. Tal como se muestra más claramente en la Figura 11 (que es una vista a lo largo del eje óptico), el marco espacial de elevación **50** se configura de manera que el contorno tal como se aprecia desde el sol es rectangular y casi toda de la luz solar interceptada por la matriz completa se dirige al foco **28** de la pluralidad de los reflectores **1**.

El desplazamiento anterior/posterior de las dos filas escalonadas **51** y **52** se ilustra más claramente en las vistas a lo largo del eje de elevación mostradas en la Figura 8, la Figura 9 y la Figura 10. En la Figura 8, el ángulo de elevación está bajo, en la Figura 9 el ángulo de elevación es de 45° , y en la Figura 10 el ángulo de elevación es alto. La fila superior de las celdas **51** se fija hacia delante y la fila inferior **52** se posiciona detrás de manera que el borde inferior frontal de la fila superior **51** coincide con el borde superior trasero de la fila inferior **52**, y se proporciona un elemento estructural común **53** en el armazón **50**. Este elemento estructural común **53** se hace coincidente con el eje de elevación, y pasa cerca del centro de gravedad de la estructura de elevación completa tal como se detalla en la Figura 7. El marco espacial de elevación **50** se completa con la adición de elementos de refuerzo anteriores y posteriores **56** y **57**, respectivamente, entre la fila superior **52** de celdas y la fila inferior **51**. Los elementos de refuerzo anteriores **56** unen las esquinas frontales superiores **14** de las dos filas **51** y **52** de las celdas, y los elementos de refuerzo traseros **57** unen las esquinas traseras inferiores **11**.

Con referencia a la Figura 7, al escalonar las dos filas **51** y **52** de celdas **34**, el marco espacial **50** se equilibra naturalmente sobre el eje de elevación y así queda sustentado de manera eficiente por un pedestal central **67**. Por otra parte, la energía necesaria para mover o hacer girar el armazón rígido **50** en elevación se reduce al mínimo. Una segunda ventaja de las filas escalonadas **51** y **52** de las celdas **34** es que la sección transversal perpendicular a las filas **51** y **52** del marco espacial resultante **50**, que incluye las riostras de refuerzo del perímetro **56** y **57**, se eleva al máximo en dos dimensiones. Esto tiene como resultado una alta rigidez frente a la desviación sobre el soporte

- central **58**, sin importar cuál pueda ser el ángulo de elevación. Aunque la estructura en esta forma de realización de ejemplo tiene cuatro unidades reflectantes **34** en la fila superior **52** y cuatro unidades reflectantes **34** en la fila inferior **51**, también será evidente para los expertos en la materia tras conocer esta descripción que filas escalonadas de diferentes longitudes, por ejemplo dos o seis, pueden proporcionar buenos resultados en la práctica, dependiendo de la fuerza del viento de supervivencia y apropiadas para un lugar dado, y dependiendo de los costes de fabricación predominantes. Por ejemplo, la Figura 12 ilustra una forma de realización alternativa similar a la mostrada en la Figura 7 y la Figura 11, pero con seis unidades reflectantes **34** en cada una de las dos filas escalonadas **51** y **52**.
- 10 Volviendo a la forma de realización mostrada en la Figura 7 y la Figura 11, el soporte del eje de elevación **58** en esta forma de realización se conecta con el marco espacial de elevación **50** por medio de dos nudos en el eje estructural central, cuyos detalles pueden describirse mejor con referencia a la Figura 11. El espacio para el soporte **58** se crea mediante la inclusión de una celda central estrecha **59** en la fila inferior **51** de cuatro celdas reflectantes unitarias **34**, y por la inclusión de una celda central estrecha **60** en la fila superior **52**. La Figura 15 muestra que la alta eficacia
- 15 estructural se consigue porque se forman los nudos de elevación reforzados **61** y **62** que soportan los extremos del soporte de elevación **58** como una parte inherente del marco espacial rígido **50** que soporta y une los reflectores **1**. Para mayor claridad, la Figura 11 muestra solo algunas de las riostras que soportan el soporte de elevación **58**. La Figura 15 muestra en detalle que los dos extremos del soporte de elevación **58** se sustentan en los dos nudos muy rígidos **61** y **62** formados en la intersección de las riostras de esquina de las cuatro celdas reflectantes unitarias interiores **34**. No se necesitan elementos de acero adicionales para reforzar este soporte **61** y **62**, o para colocar el
- 20 soporte de elevación **58** en el centro de gravedad. Los elementos de unión **56** y **57**, mostrados por ejemplo en la Figura 9, refuerzan las dos líneas de celdas para completar la estructura de elevación completa que gira en torno al soporte de elevación **58** en el pedestal central **67**.
- 25 En la Figura 13 se muestra un arco de arrastre de elevación **63**. El arco de arrastre de elevación **63** se une de forma segura en un lado de las celdas centrales estrechas **59** y **60** (mostrado en la Figura 7) de los dos nudos inferiores **64** y **65** (mostrados en la Figura 9), proporcionando movimiento en un intervalo de 90° desde apuntamiento del cénit al horizonte tal como se muestra al comparar la Figura 8, la Figura 9 y la Figura 10. En las formas de realización
- 30 ilustradas, el arco de arrastre **63** tiene un radio igual a la anchura y la profundidad de las celdas unitarias **34**, que son las mismas en la forma de realización ilustrada.
- El soporte acimutal para la forma de realización mostrada en la Figura 7 y en la Figura 11 adopta la forma de un pedestal central **67** que gira sobre un vástago vertical fijo **66**. La carga axial se toma de un soporte de empuje **78** colocado en la parte superior del pedestal central **67**, o en la parte superior del vástago **66**. Las cargas laterales se
- 35 toman preferentemente de dos soportes de pivote de plástico **78** y **79**, uno en la parte superior y otro en la parte inferior del vástago **66**. El arrastre de acimut actúa a través de una gran rueda de arrastre de 360° **68** unida al extremo inferior del pedestal central **67**. En el ejemplo ilustrado, la rueda de arrastre **68** se muestra con el mismo radio grande que el arrastre de elevación. Sin embargo, la presente invención no está tan limitada, y los expertos en la materia observarán que puede usarse otro radio para la rueda de arrastre **68**.
- 40 Con referencia a la Figura 13, un arrastre preferido para movimientos acimutales en una forma de realización preferida actualmente se realiza mediante una cadena accionada eléctricamente **70**, que se muestra en más detalle en la Figura 14. Con el fin de hacer girar el marco espacial **50** alrededor del vástago acimutal **66**, una fuerza de arrastre actúa a través de una cadena de arrastre acimutal **70** extendida alrededor de y unida de forma segura a la
- 45 rueda acimutal **68**. Puede usarse una rueda dentada de cilindro **74** para ajustar o mantener una tensión deseada en la cadena de arrastre **70**. En el ejemplo ilustrado mostrado en la Figura 14, la rueda acimutal **68** se sustenta en los rayos **76**. El arco de arrastre de elevación **63** (mostrado en la Figura 13) y la rueda de arrastre de acimut **68** se construyen preferentemente de forma sencilla y a bajo coste a partir de los canales estructurales curvos **77** tal como se ilustra en la Figura 14.
- 50 Un arrastre preferido para los movimientos de elevación en las formas de realización ilustradas se realiza mediante una cadena accionada eléctricamente **69**, tal como se muestra en la Figura 13. La cadena de arrastre **69** usada para el arrastre de elevación puede ser similar a la cadena de arrastre **70** usada para el arrastre de acimut mostrada en la
- 55 Figura 14. En el arrastre de elevación, actúa una fuerza de arrastre a través de una cadena de arrastre de elevación **69** unida a los extremos del arco de elevación **63**, con el fin de hacer girar el marco espacial **50** alrededor del soporte de elevación **58**. La cadena de elevación **69** está unida de forma segura a los extremos del arco **63**. La fuerza de arrastre se aplica a la cadena de arrastre de elevación **69** mediante una rueda dentada que gira a través de un motor eléctrico y una caja de engranajes, similar a la rueda dentada **71** y el motor eléctrico y la caja de engranajes **73** mostrados en la Figura 14 para el arrastre de acimut. El arco de elevación **63** se sustenta mediante un refuerzo

pequeño **75**.

Como se muestra en la Figura 14, el momento de arrastre se aplica a la cadena de arrastre de acimut **70** por una rueda dentada **71** que gira por medio de un motor eléctrico y una caja de engranajes **73**. Con el fin de reducir al mínimo la tensión en la cadena **70** e incrementar la relación de transmisión general, el radio de la rueda de arrastre de acimut **68** se hace grande. Se necesita al menos una rueda dentada de rodillo tensor **74** en el arrastre de la cadena, de manera que el acoplamiento de la cadena **70** en la rueda dentada de arrastre **71** sea mayor que 120 grados. De esta manera se reduce tanto el desgaste en la cadena **70** como la posibilidad de que la cadena **70** se combe sobre el diente de la rueda dentada de arrastre **71** para un par de torsión alto. En una aplicación para energía solar, la velocidad a la cual deben moverse el arrastre de acimut y el arrastre de elevación con el fin de seguir el movimiento del sol es relativamente lenta, y el mecanismo de arrastre puede beneficiarse de las elevadas reducciones de las relaciones mecánicas, y permitir el uso de motores de arrastre de menor coste **73**. En la práctica pueden obtenerse reducciones preferidas de las relaciones mecánicas de aproximadamente 100 a 1, casi un orden de magnitud mayor que para un arrastre de cadena tradicional con ruedas dentadas. Preferentemente el rodillo tensor **74** o el extremo de la cadena **70** se tensarán por medio de un mecanismo de tensión por resorte. Aunque no se muestra en detalle, los expertos en la materia observarán que la cadena de arrastre de elevación **69** es accionada por una disposición similar, y el radio del arco de arrastre de elevación **63** se hace grande por las mismas razones por las que la rueda de arrastre de acimut **68** se proporciona con un radio grande. La cadena de arrastre de elevación **69** se tensa preferentemente mediante un mecanismo de tensión por resorte unido al extremo de la cadena **69**.

Tomado en conjunto, el uso de radios de arco grandes para la rueda de arrastre de acimut **68** y el arco de arrastre de elevación **63** para reducir la fuerza de arrastre requerida, junto con un arrastre de cadena con acoplamiento de muchos dientes de la rueda dentada **71**, tendrá como resultado una reducción del coste, la complejidad y el tamaño tanto de los elementos de arrastre de acimut como de los elementos de arrastre de elevación.

Durante el funcionamiento es deseable seguir el movimiento del sol de este a oeste por el cielo de manera que el armazón rígido **100** se apunte en la dirección de la radiación solar **2** que llega. Con referencia al diagrama esquemático de la Figura 49, el apuntamiento solar preciso puede conseguirse si el seguidor **107** está accionado por servomotor para las señales de error de elevación y acimut obtenidas de un sensor óptico de seguimiento solar **121**, unido rígidamente al armazón **100**. Una forma preferida del sensor de seguimiento solar **121** comprende una celda cuádruple de silicio iluminada por luz solar que pasa a través de un orificio encima de la celda cuádruple de silicio. Preferentemente la orientación se detecta también mediante un sensor de campo magnético y gravitacional **122** que no requiere luz solar. La Figura 49 ilustra esquemáticamente señales de sensores **121** y **122** conectados a un ordenador **120**. Las señales de control de arrastre del ordenador **120** se convierten en energía de arrastre por medio de una interfaz **125**, y la energía eléctrica es transportada por un cable de acimut **124** para el motor de arrastre de acimut **73** y por un cable de elevación **123** para el motor de arrastre de elevación **73**.

Preferentemente la orientación del armazón **100** hacia el sol se mantiene en condiciones nubosas por referencia a un sensor que proporciona datos de apuntamiento absolutos desde un transductor **122** que lee los campos gravitatorio y magnético, evitando así errores en el establecimiento de la base del pedestal **40**, el estiramiento de las cadenas **69** ó **70**, o la flexión frente a un viento constante e intenso. Alternativamente, pueden emplearse algoritmos de arrastre de telescopios convencionales para calcular la posición del sol, basándose en las coordenadas GPS de cada seguidor individual **107**, y usando una información exacta de fecha y hora proporcionada al ordenador **120**. La precisión puede mejorarse al sincronizar la posición calculada del sol, si fuera necesario, con la posición indicada por el sensor de seguimiento solar **121** cuando existe disponibilidad de luz solar, y dicha sincronización puede tener en cuenta de forma eficaz errores en el establecimiento de la base del pedestal **40**, el estiramiento de las cadenas **69** ó **70**, o la flexión frente a un viento constante e intenso. Pueden usarse los sistemas de arrastre controlados por ordenador convencionales similares a los sistemas GOTO de los telescopios convencionales para apuntar el armazón rígido **100** en la dirección correcta y para seguir el movimiento del sol, incluyendo codificadores que proporcionan información del ángulo de acimut e información del ángulo de elevación al ordenador **120**. Debe entenderse que la ilustración mostrada en la Figura 49 solo es esquemática, y que los componentes electrónicos de arrastre pueden estar unidos al armazón **100** o a otro lugar. Preferentemente la energía eléctrica para los motores de arrastre de elevación y acimut **73** y los sistemas de enfriamiento activos (si existieran) se suministrará a partir de una fuente de alimentación ininterrumpida. Puede obtenerse una fuente adecuada proporcionando convertidores fotovoltaicos en el lado que mira al sol de la celda central estrecha **60** de la fila superior, que puede usarse conjuntamente con baterías de almacenamiento.

En la Figura 11 y la Figura 12 se muestra en sección transversal un pedestal preferido para sustentar el soporte

acimutal para esta forma de realización. El pedestal adopta la forma de un refuerzo de acero triangular soldado **40** que se extiende en un orificio **41**, que puede perforarse en el suelo **42**, por ejemplo, con un taladro montado en el carro convencional. Alternativamente, el orificio puede excavararse mediante una serie de medios convencionales conocidos para los expertos en la materia. Después de la introducción del refuerzo o poste **40**, el orificio **41** se rellena preferentemente usando materiales secos económicos **43** como piedra triturada o terrenos de recubrimiento de minería, sin el uso de conglomerante de cemento. Las dimensiones del orificio y los refuerzos son de un tamaño tal que los materiales secos asumirán la carga concentrada relativa de los refuerzos **40** y la transferirán a un área de terreno **42** mucho mayor, para asegurar la supervivencia en viento intenso. Se prefiere roca no ligada en lugar de hormigón debido a que el coste y la huella de carbono son mucho más bajos. Por supuesto, los expertos en la materia observarán que puede usarse hormigón si normalmente el mayor coste de dicho material puede tolerarse en una aplicación en particular. Es aceptable algún movimiento de fijación pequeño del pedestal **40**, y puede tolerarse una baja precisión en la colocación inicial del pedestal **40**, ya que el arrastre del seguidor **111** usará un seguidor solar **121** y sensores absolutos como acelerómetros y/o frecuentemente sensores recalibrados o sincronizados para la colocación del armazón rígido **100**. Alternativamente, los expertos en la materia observarán que pueden usarse otros diseños de base de refuerzo sin alejarse del espíritu y el ámbito de la presente invención.

La Figura 16, la Figura 17 y la Figura 18 muestran una colocación preferida para la forma de realización de la matriz del plato **111** que se ilustra en la Figura 12. La Figura 16 muestra una vista desde arriba de una retícula triangular regular que permite holgura para la rotación acimutal completa sin posibilidad de colisión, similar al diseño ilustrado en la Figura 6. Las unidades montadas del poste, relativamente pequeñas, requieren muy poca gradación o preparación del sitio. Son adecuadas ventajosamente para instalación en terreno en pendiente así como en terreno plano, o en parcelas irregulares.

Dimensiones preferidas

Una consideración importante en el diseño de una forma de realización preferida es el tamaño y la fabricación de los reflectores parabólicos primarios **1**, especialmente dado que el coste es un factor importante. El presente ejemplo incluye una optimización del tamaño de los reflectores **1**. Para reflectores **1** hechos de vidrio estructural, de reverso plateado, se prefiere un tamaño de tres metros (3 m) aproximadamente como un tamaño generalmente óptimo. Este tamaño se prefiere dado que es el mayor tamaño que se puede preparar de un monolito único de vidrio plano fabricado por un procedimiento de flotado convencional. Los reflectores monolíticos **1** de este tamaño pueden proporcionar el coste más bajo por unidad de área para sistemas reflectores de seguimiento.

En funcionamiento, se montan preferentemente múltiples unidades de generador de plato **34** de aproximadamente 3 m de tamaño en cada seguidor **107**, para obtener el coste total más bajo por unidad de área. Cada reflector cuadrado **1** tiene un área reflectante de 9 m² aproximadamente. Para un flujo solar nominal de 1.000 W/m² y reflectancia del 94%, la energía solar nominal suministrada a cada unidad de convertidor **4** es de 8,5 kW aproximadamente.

Las estructuras de soporte **100** de acero para las formas de realización preferidas de seguidores de doble eje óptimos **107**, que tienen reflectores de vidrio **1** de 3 m de vidrio de 4 mm de grosor, debe proporcionar en la práctica un rendimiento satisfactorio. Para una forma de realización **1** de veintisiete reflectores, la masa de acero para todo el sistema, que incluye la pista fija, es de 34 kg por metro cuadrado de área colectora, y la deflexión es de un máximo de 0,1° cuando se apunta al cénit. Para la forma de realización **1** de ocho reflectores, la masa de acero para la montura completa **107**, que incluye el pedestal fijo, es de 25 kg por metro cuadrado de área colectora, y la deflexión máxima cuando se apunta al cénit es de 0,06°.

Detalles de un diseño estructural preferido para una celda convertidora/reflectante unitaria

Las formas de realización preferidas de la estructura ilustrada usan, como bloques de construcción, una pluralidad de celdas reflectantes unitarias **34**. Las celdas reflectantes unitarias **34** comprenden un plato reflector **1** para dirigir la energía a la región focal **28** y una estructura mecánica para soportar el plato **1** y para mantener la unidad convertidora **4** en alineación estricta cerca de la región focal **28**. Un elemento importante de la estructura mecánica es un refuerzo en forma de prisma recto cuya sección transversal y cuyas caras de extremo son preferentemente cuadradas o hexagonales, tal como se ilustra en la Figura 19 y la Figura 20. La Figura 19 muestra una celda unitaria **34** con sección transversal cuadrada, tal como se adopta en una forma de realización preferida descrita anteriormente, y la Figura 20 muestra una celda unitaria alternativa **34** que tiene una sección transversal hexagonal. Un espejo en forma de plato sustancialmente cuadrado (Figura 19) o hexagonal (Figura 20) **1** se sujeta de las esquinas **11** de la cara inferior del prisma por medio de una estructura de soporte de plato, que se describe más

adelante. El eje de plato **7** pasa a través del centro del plato o vértice **6**. Un convertidor compacto **4** que oscurece solamente una fracción pequeña del colector primario se sitúa por encima, centrado en el eje de plato **7**, y soportado desde las esquinas superiores **14** de la cara de prisma superior formada por los elementos **13**. La cara superior es del mismo tamaño que la formada por los elementos **10**, y es paralela a los mismos. Los centros de la cara superior e inferior se encuentran en el eje de plato **7**. El convertidor **4** se centra en el eje de plato **7**, y se soporta preferentemente en el extremo inferior de un elemento de soporte de convertidor axial central **18**. El elemento de soporte de convertidor **18** está sustentado preferentemente por elementos de tensión diagonal **17** desde las esquinas superiores **14**. Cuatro (Figura 19) o seis (Figura 20) elementos perpendiculares **16** unen los cuadrados superiores e inferiores. Preferentemente las caras laterales del prisma se sujetan por elementos diagonales **48**. El refuerzo de soporte de vidrio **12** cierra el lado inferior de la estructura y soporta el reflector parabólico primario **1**.

La colocación concéntrica del soporte de convertidor **18** es apropiada para formas de realización en las cuales el calor residual se elimina mediante un líquido de refrigeración bombeado activamente, en lugar de pasivamente por un termosifón **24**. En un sistema de enfriamiento activo, el líquido de refrigeración se distribuye a través de un intercambiador de calor que se puede situar directamente encima del generador **4** en la Figura 19 o la Figura 20, o en otra ubicación que no oscurece la luz del sol entrante, a la que llegan tuberías a lo largo de los soportes diagonales **17** y **18**.

La forma de realización más preferida del plato reflector **1** es un reflector de reverso plateado, asentado, único de vidrio flotado unido con un refuerzo de acero abierto. Una estructura de tipo cuna de nudos superiores bien separados del refuerzo mantiene la forma del reflector de vidrio **1** en escalas espaciales grandes frente a fuerzas de gravedad y el viento, a través de apoyos enlazados. Los nudos inferiores transfieren la carga a las esquinas inferiores **11** de una celda unitaria **34** del armazón de elevación principal **100**.

El refuerzo de soporte de vidrio **12** que une los reflectores de vidrio plateados **1** con los soportes de esquina **11** se optimiza de acuerdo con el tamaño, la forma y el grosor del reflector de vidrio **1** en cualquier forma de realización dada. El grosor de vidrio **1** se determina en gran medida por la necesidad para resistir los daños por granizo. En la práctica paneles de reverso plateado dimensionados de 4 mm de grosor sobre cuatro apoyos usados en sistemas térmicos de colector han producido resultados satisfactorios. Para platos reflectores más grandes **1**, los reflectores de vidrio **1** que tienen un grosor de 4 mm aproximadamente requieren un número mayor de soportes, distribuidos óptimamente de manera que la flexión bajo las fuerzas de gravedad y el viento no degrada significativamente las cifras ópticas. Preferentemente, los puntos de soporte que forman parte de un refuerzo abierto, grande y profundo se usan para reflectores de vidrio **1**, proporcionando máxima rigidez total para un coste de material y masa mínimos.

Un diseño reflector integrado preferido, mostrado en la Figura 21, comprende un reflector de vidrio de reverso plateado sustancialmente cuadrado **1** y que soporta el armazón del reflector. La Figura 22 es una vista en perspectiva detallada para mostrar el refuerzo o armazón de reflector **95** con el reflector de vidrio **1** retirado, que deja ver los dieciséis puntos de soporte del reflector **86**, **87** y **88** que sostienen el reflector de vidrio **1**. En la vista desde arriba de la Figura 23, forman una cuadrícula cartesiana aproximadamente cuadrada en un diseño de cuatro por cuatro. El refuerzo de reflector **95** está diseñado para fijarse en su base **96** con los cuatro puntos de esquina inferiores **11** de una celda de reflector unitaria **34**. Las cuatro riostras de base **10** de la celda unitaria **34** se combinan con dos diagonales de base **80** que confluyen en un centro de base **81**, para formar cuatro triángulos en el plano de la base. Tres riostras inclinadas **82** se levantan desde las esquinas de cada uno de los triángulos para formar cuatro tetraedros cuyos nudos superiores **83** son nudos principales que forman una estructura de tipo cuna para el reflector de vidrio **1**. Los otros cinco nudos superiores principales **84** y **85** se forman en las esquinas de dos armazones planos que se extienden desde las diagonales de base **80** y que comparten el elemento central común **97** que conecta **81** y **84**, en perpendicular al plano de la base. Estos dos armazones ortogonales se refuerzan mediante cuatro elementos diagonales **98** que conectan el centro de base **81** con nudos superiores **85**. La Figura 23 es una vista desde arriba que detalla justo la estructura superior de vigas basculantes y soportes de espejo **86**, **87** y **88**. Los dieciséis puntos de soporte de la estructura de tipo cuna comprenden cuatro soportes internos **86**, ocho soportes intermedios **87** y cuatro soportes de esquina externos **88**. Los cuatro puntos de la estructura de tipo cuna interiores y los cuatro exteriores, **86** y **88** respectivamente, se encuentran en riostras de la estructura de tipo cuna **89** que se extienden a través de los nudos **84**, **85** y **90**. Los nudos **83** y **90** en los extremos de las riostras **91** llevan los soportes intermedios **87**.

La Figura 24 muestra la deflexión de un reflector de vidrio **1** soportado por el armazón preferido ilustrado en la Figura 21, la Figura 22 y la Figura 23, tal como se calcula por análisis de elementos finitos. Las deflexiones se calcularon para un reflector parabólico **1** cuadrado de 3,3 m con una distancia focal de 1,7 m. El vidrio **1** es de 4 mm de grosor y tiene bordes laminados en el reverso a través de 90 grados con un radio de 25 mm. El refuerzo de soporte se

modeló con una profundidad central de 0,6 m, con riostras hechas de tubos de acero redondos de 5,08 cm (2 pulgadas) de diámetro y 0,038 cm (0,015 pulgadas) de grosor de pared. Otras secciones transversales podrían trabajar así, siempre que su área en sección transversal y su momento de inercia sean similares. Con referencia a la Figura 24, el peso del refuerzo para el ejemplo calculado tiene un valor medio de 3,5 kg por metro cuadrado de vidrio soportado. Esta densidad de área de acero es significativamente menor que la densidad de área del vidrio de 10,1 kg/m² para un grosor de 4 mm. El peso medio para un ensamblaje del reflector de 3 m completo es así de 13,6 kg/m² para un vidrio de 4 mm de grosor. En la Figura 24 se ilustra la deflexión bajo la carga de gravedad axial (o equivalente a una carga de viento normal de 48,28 km/h (30 mph)) calculada para este ejemplo. El mapa de contornos de la superficie muestra el cambio en el ángulo de inclinación causado por la carga. La Figura 24 muestra líneas de contorno **92** que tienen desviaciones de inclinación de 0,05 radianes. Las desviaciones en inclinación, causadas en gran parte por deflexiones de cizalla en la inmediación de los apoyos, en la mayor parte de la superficie suponen menos de 0,1 miliradianes, el nivel marcado por el contorno B. El contorno A corresponde a una desviación de inclinación de 0,05 radianes. Promediado para la superficie completa, el 90% de la luz colimada reflejada por el plato incide dentro de una imagen de diámetro de 0,2 grados, mientras que toda la luz se encuentra dentro de un diámetro de 0,4 grados.

Procedimiento preferido de fabricación para un reflector de vidrio grande, monolítico y acusadamente en forma de plato

En la Figura 25, la Figura 26, la Figura 27, la Figura 28, la Figura 29 y la Figura 30 se ilustra esquemáticamente en secuencia una secuencia preferida de operaciones de procedimientos para producir un reflector monolítico cóncavo **1** mediante el modelado de una lámina inicialmente plana de vidrio. Las operaciones de los procedimientos también se ilustran en perspectiva en la secuencia de la Figura 31, la Figura 32, la Figura 33 y la Figura 34. La Figura 25 muestra una lámina de vidrio **200**, que es plana al principio del procedimiento. La Figura 26 y la Figura 31 muestran la lámina plana **200** después de su colocación encima de un molde **201**. Un molde **201** tiene una superficie sustancialmente cóncava **204** y bordes laminados **203**. La lámina de vidrio **200** está soportada inicialmente encima del molde **201** desde sus esquinas, que se fijan temporalmente mediante soportes con bisagras en forma de L **202**. La Figura 27 y la Figura 32 ilustran el comienzo de una etapa de reblandecimiento y estiramiento. La temperatura de la lámina de vidrio **214** se incrementa preferentemente por calentamiento por radiación desde una superficie caliente **207** encima de la lámina de vidrio **214**. Preferentemente la superficie de radiación **207** es sustancialmente continua y tiene alta emisividad. Preferentemente la temperatura de la radiación vista por el vidrio **214** se puede incrementar o disminuir rápidamente, ya sea usando un radiador de temperatura variable **207** de baja inercia térmica o proporcionando un movimiento relativo entre el molde **201** y las superficies de radiación **207** de temperaturas diferentes. Preferentemente la temperatura se puede también hacer variar como una función de la posición espacial en el molde **201**, por ejemplo, proporcionando una temperatura más alta alrededor de los bordes **208** de la superficie de radiación **207** en comparación con la temperatura de la región central de la superficie de radiación **207**, con el fin de hacer los bordes **211** de la lámina de vidrio **214** más blandos que el centro de la lámina de vidrio **214**. Mientras la fuerza gravitatoria se puede usar exclusivamente para inducir la formación de la lámina de vidrio **200** en un plato cóncavo **212**, el procedimiento de conformación de la lámina de vidrio **200** en la forma **212** del molde **201** se puede acelerar mediante presión, por ejemplo por chorros de gas caliente dirigidos desde arriba, o por un diferencial de presión creado de otra forma como, por ejemplo, con una bomba de vacío.

Cuando la lámina de vidrio **212** se ha combado lo suficiente para hacer contacto extenso a lo largo de los bordes o lados **203** del molde **201**, como se muestra en la Figura 33, y el vidrio **212** tiene una forma ilustrada en la Figura 28, los soportes de esquina **202** se pueden retirar, tal como se muestra en la Figura 34. En esta etapa, pueden llevarse herramientas de perfilado de bordes **210** hasta un contacto mecánico con los bordes exteriores **211** de la lámina de vidrio **212** para presionar y curvar los bordes del vidrio **211** según una forma laminada deseada, tal como se muestra en la Figura 28. Además, una vez que la lámina de vidrio **214** se ha conformado y sellado contra el perímetro curvo **203** del molde **201** como se muestra en la Figura 27, puede ser deseable acelerar o controlar de otra manera el modelado de la lámina de vidrio en combadura **214** en una forma de plato **212** al reducir la presión de aire debajo del molde **201**. Para este fin, el molde **201** se puede construir tal como se muestra en la Figura 27, con un colector de vacío **205** por debajo, y que tiene orificios **206** en la superficie en comunicación fluida con el colector **205**. El procedimiento de modelado se puede acelerar a continuación reduciendo la presión en el colector **205** al hacer pasar aire a través de los orificios **206** y hacia el exterior del orificio de ventilación **209** mediante bombeo.

Una vez que el vidrio **212** ha hecho el contacto a través del cuerpo del molde **201** y sus bordes **203**, adoptando así la forma del molde, se inicia el enfriamiento rápido. La Figura 29 ilustra el procedimiento, realizado por radiación de la superficie superior del vidrio **212** en una superficie negra absorbente **213**, mucho más fría en ese momento que la superficie del vidrio **212**. También se puede usar convección forzada de aire frío a través de la superficie del vidrio

212 para acelerar la etapa de enfriamiento. Una vez que el vidrio **212** se ha enfriado lo suficiente para ser lo suficientemente rígido para la manipulación a corto plazo, se retira preferentemente del molde **201** tal como se muestra en la Figura 30 para el temple y el enfriamiento, dejando el molde **201** listo para modelar la siguiente pieza de vidrio **200**. A continuación se puede enfriar la pieza de vidrio **212** a temperatura ambiente a una tasa acelerada por convección de aire forzado.

Se puede construir un molde **201** con un armazón estructural subyacente mostrado en vista desde arriba en la Figura 35, con un cubrimiento en mosaico de placas mecanizadas de precisión que realizan el modelado superficial tal como se muestra en la vista en perspectiva en sección transversal de la Figura 36. Un material preferido para el molde **201** es acero inoxidable AISI 304. Se prepara un armazón estructural de tipo compartimentado **215** para un molde cuadrado **201**, ilustrado en la Figura 35, a partir de una matriz acanalada y entrelazada de placas modeladas de forma idéntica **215** y soldadas entre sí con nudos de cruce para lograr resistencia y rigidez. El perímetro del molde **203**, sobre el cual se laminarán los bordes de la lámina de vidrio **200**, se hace preferentemente de tubo redondo y está soldado al armazón estructural **215**. El radio del tubo se elige como el radio del borde laminado **211** que será moldeado. El tubo perimetral **203** puede tener esquinas cuadradas tal como se muestra o esquinas recortadas para producir un reflector de vidrio **1** tal como se muestra en la Figura 4. Con referencia a la Figura 35 y la Figura 36, la superficie de moldeo superpuesta **217** se puede ensamblar a partir de una pluralidad de segmentos liberados de tensiones y mecanizados por separado **217**, unidos rígidamente a la estructura en forma compartimentada con soporte **215**. Alternativamente, una cara de molde se puede conformar en una pieza a partir de un plato monolítico hidroconformado o preparado por centrifugación, mecanizado como una pieza única. Se puede destensar esta pieza y volverse a mecanizar según se requiera, antes de montar en un armazón de soporte **215** como el que se muestra en la Figura 35. Los segmentos **217** o la pieza única monolítica del plato de molde se pueden fijar al armazón **215** mediante soportes que adoptan la forma de dispositivos de colocación (no ilustrados). Estos dispositivos se usan para poner los segmentos alineados, con la ayuda de un dispositivo de metrología como, por ejemplo, un telémetro láser, no mostrado.

La Figura 37, la Figura 38, la Figura 39 y la Figura 40 ilustran en conjunto la acción de los soportes de esquina **202**, que se articulan alrededor de un eje horizontal **236** perpendicular al eje reflector, por lo que pueden oscilar pero no moverse radialmente hacia el interior. Este procedimiento de restricción asegura que, conforme la lámina de vidrio **214** se reblandece y se comba, el vidrio **214** se estirará, evitando así la tendencia de una lámina de soporte único **200** a formar arrugas por esfuerzos de alabeo compresivos cuando se comba en forma acusada de plato **212**. Los detalles de los soportes de esquina **202** y su funcionamiento se pueden describir con referencia a la Figura 37, la Figura 38, la Figura 39 y la Figura 40, todas las cuales muestran secciones transversales verticales tomadas a lo largo de una diagonal a través de los soportes. La Figura 37 muestra el soporte de esquina **202** antes del reblandecimiento de la lámina de vidrio **200**. El soporte comprende un soporte unido al molde **201** y una pieza de bisagra en forma de L **238** que se fija a una esquina del vidrio **200** y gira alrededor de una bisagra **236**. La Figura 37 muestra una lámina sustancialmente plana de vidrio **200** en posición en la pieza de bisagra **238**. La Figura 38 ilustra el soporte **202** cuando el vidrio **214** se comba parcialmente y se estira. La Figura 39 muestra el vidrio **212** cuando se comba completamente y se estira y toca el cuerpo completo del molde **201**, con el soporte **202** todavía en su lugar. La Figura 40 muestra el vidrio de conformación **212** después de la retirada de la pieza en forma de L **238** sujeta del soporte **202**. El borde reblandecido **219** del vidrio **212** se empieza a flexionar sobre el borde curvo **203** del molde **201**.

El funcionamiento de la herramienta de laminación de bordes **210** se muestra en vistas en perspectiva en la secuencia de la Figura 41, la Figura 42, la Figura 43 y la Figura 44. La Figura 41 muestra una vista en sección transversal de un segmento de placa de molde **217** con su perímetro de tubo **203**, y una vista en sección transversal de la herramienta de perfilado de bordes **210** suspendida encima del molde **201**. La Figura 40 y la Figura 42 muestran una vista en corte de una lámina de vidrio asentada **212**, todavía caliente y blanda, con un borde parcialmente asentado **219** formado al combarse bajo su propio peso. La Figura 43 muestra la herramienta de bordes **210** que hace contacto de presión estrecho con el vidrio **212** con el fin de formar el borde laminado **211**. La Figura 44 muestra el borde laminado terminado **211** del vidrio **212**. La calidad especular del borde de vidrio laminado **211** no es importante y así la herramienta de perfilado puede tener un acabado mecanizado liso convencional.

En una implementación preferida, ilustrada en la Figura 45, un molde **201** se hace con un perfil de superficie acanalada **218**, con el fin de reducir al mínimo el daño a la superficie de reverso especular del vidrio **212** por contacto con la superficie de molde. La superficie de la placa de moldeo **217** se somete a mecanizado final mediante pasadas de una fresa de escariar para crear ranuras cóncavas adyacentes **220** que se cruzan en las crestas **221**. El perfil de superficie de las crestas **222** define la forma que adoptará el vidrio **212**. Normalmente el molde **201** se mecanizará en un intervalo de +/- 10 micrómetros con respecto a la forma local del reflector **1**. Durante el modelado,

como se muestra en la Figura 46, la lámina de vidrio reblandecida **212** entra en contacto con la línea de crestas **221**, y se conecta entre ellas, adoptando su forma general según se define por el perfil de superficie en el punto más alto de las crestas. Dado que la fidelidad natural de la replicación es excelente, el vidrio asentado **212** adoptará la forma del molde **201** en escalas espaciales mayores que el espacio del orificio, y conservará la suavidad natural y la reflexión especular del vidrio flotado virgen **200** en escalas menores.

En la vista de detalle del contacto de molde de vidrio, mostrada en la Figura 47, el vidrio **212** se hunde ligeramente **224** entre las crestas **221**, de manera que la magnitud de la caída depende del tiempo de permanencia de contacto y de la viscosidad del vidrio a la temperatura de asentamiento. El procedimiento de modelado se optimiza de tal manera que la forma de plato **212** se conforma en gran parte por estiramiento libre y combadura antes de que el vidrio **212** toque ligeramente y quede en reposo en las crestas del molde **211**. El enfriamiento rápido para prevenir el hundimiento continuo entre las crestas se inicia en cuanto se establece el contacto a través del molde **201**. De esta manera, el deterioro del vidrio **212** se localiza en líneas estrechas de pequeñas vesículas a lo largo de las crestas **221**, y se reduce al mínimo el desgaste del molde **201**. Para este procedimiento, el área de recogida solar neta perdida por dispersión por daños de contacto en las crestas **221** y los errores de inclinación de superficie de las vesículas resultantes en el vidrio **212** se encuentran en un promedio no superior al 0,25% del área superficial de vidrio total, y en la práctica los ángulos de inclinación para hundimientos entre ranuras **221** que tienen una separación en el orden de uno a tres centímetros son normalmente de menos de 0,1 grados en valor cuadrático medio.

Una ventaja adicional de la superficie de molde ondulada **218** de la presente invención es que se reduce al mínimo la conducción térmica directa desde el molde **201** al vidrio **212** durante el ciclo térmico de modelado, al ser tan pequeña el área de la línea de contacto **221**. El calentamiento mínimo del molde **201** asegura que se reduce al mínimo el alabeo de forma causado por gradientes de temperatura. Otra ventaja es que los valles cóncavos **220** proporcionan también regiones **220** que recogen la contaminación de partículas pequeñas, manteniendo las partículas pequeñas evacuadas hacia la cresta **221** durante el hundimiento y reduciendo así las vesículas en el vidrio **212** que en caso contrario podrían formarse por las partículas salientes en la superficie **220** del molde **201**.

En una segunda alternativa preferida para reducir al mínimo el daño por contacto, se usan cojines de aire para prevenir cualquier contacto directo entre el vidrio **212** y el molde **201**. Una implementación preferida tiene un colector doble bajo la superficie del molde. Un colector se somete a presión mientras que el otro colector se somete a evacuación. El colector a presión suministra aire a los cojines de aire, mientras que el colector con evacuación extrae el aire a presión y asegura una presión general descendente. En esta forma de realización alternativa, los cojines están separados entre uno y cuatro centímetros, con orificios de evacuación intermedios.

La transferencia de calor al molde asentado **201** se reduce al mínimo preferentemente durante el ciclo térmico de modelado de vidrio, para reducir al mínimo el ciclado térmico y para mantener la temperatura en el molde **201** muy por debajo del límite de escala de óxido crítico de 800°C para ciclado térmico de acero inoxidable AISI 304. El gradiente de temperatura interna dentro de los segmentos de placa de moldeo y a través del molde **201** preferentemente se minimizará para reducir la tendencia al alabeo, de manera que se reproduzca vidrio **212** que tiene una forma adecuada y consistente. El molde **201** se recubre preferentemente para alta reflectividad a la radiación térmica transmitida y emitida por el vidrio **212**, con el fin de reducir al mínimo la absorción. El arqueo residual de las placas delanteras o láminas delanteras del molde se modera mediante elementos de sujeción ubicados a través del armazón rígido. Después de haber conformado una lámina de vidrio **200** en la configuración de plato deseada **212**, la cara del molde se llevará a equilibrio térmico y se repondrá la temperatura inicial preferida por convección de aire forzado antes de que se use para formar la siguiente lámina de vidrio **200**. La estructura subyacente permanece atérmica en la práctica y no experimenta distorsión térmica importante durante la pequeña exposición a la radiación del modelado.

Un procedimiento preferido para incrementar la reflectividad del molde consiste en cubrir la superficie con 10-50 micrómetros de una densa película metálica, resistente y de grosor uniforme, altamente reflectante y resistente a la abrasión que mantiene una alta reflectividad después de varios meses de uso a temperaturas de hasta 400°C. Se prefieren procedimientos de recubrimiento tales como deposición electrolítica o no electrolítica, pulverización catódica, electrodeposición térmica y de plasma, deposición de vapor y combinaciones de estos procedimientos. Los metales de deposición preferidos incluyen cromo, níquel y metales nobles tales como oro, platino, rodio y sus aleaciones refractarias tales como níquel-cromo, fósforo dopado con níquel, platino-rodio y platino-iridio.

Con el fin de suministrar una gran cantidad de reflectores de vidrio **1** al menor coste posible, el modelado de vidrio descrito anteriormente y un procedimiento de plateado del reverso se incorporarán preferentemente en una fábrica

de vidrio flotado, cuya producción de vidrio completa será en la forma de reflectores solares **1**. En la Figura 48 se muestra esquemáticamente un procedimiento continuo automático de acuerdo con esta invención, para proporcionar un procedimiento de modelado a la velocidad requerida para la integración en una fábrica de vidrio flotado. El vidrio flotado **231** se extrae del horno de fundición y baño de flotado de estaño **230** en el que el vidrio emerge como una cinta **231** a aproximadamente 600°C en un sistema de cinta transportadora **232**. En este caso el vidrio flotado **231** se corta en láminas cuadradas **200** mientras todavía está caliente. Un procedimiento preferido para cortar vidrio caliente **231** en las laminas **200** antes de la etapa de modelado en la línea de producción consiste en el sistema de marca y rotura, que es el más antiguo y menos costoso de todos los procedimientos de corte. Esto requiere que el vidrio **231** se enfríe de forma general o local en la región que se cortará en su intervalo de temperatura de fractura frágil, aproximadamente por debajo de 350°C. Un procedimiento preferido alternativo, que evita la necesidad de enfriar el vidrio **231** justo para cortarlo, es el corte por láser. Los sistemas de láser de alta energía adecuados para corte a velocidad elevada de una cinta de vidrio caliente **231** se desvelan en la patente de EE.UU. n° 3.885.943, para Chui, en la patente de EE.UU. n° 3.930.825, para Chui, y en la patente de EE.UU. n° 3.934.995, para French.

15 Las láminas de corte sustancialmente planas **200**, cortadas de cinta de vidrio **231** usando un aparato de corte **233** (por ejemplo, un dispositivo de corte láser o un dispositivo de marca y rotura), se enfrían hasta una rigidez que permite el manejo desde las esquinas por abrazaderas de esquina **202**. Una vez que se fija mediante las abrazaderas **202**, la lámina **200** se coloca encima de un molde de asentamiento **201**. El molde **201** y la lámina **200** entran a continuación en el túnel de modelado **207** en el que la energía radiante intensa de un cuerpo negro extendido a temperaturas en el intervalo de 800°C a 1.200°C incide en la superficie superior del vidrio **200** y lo lleva rápidamente a la temperatura de fusión resultante en una lámina de vidrio combado **214**. El modelado de vidrio caliente mediante las etapas descrito ya anteriormente se lleva a cabo en el túnel caliente. La combadura, el estiramiento y el moldeo del vidrio según la forma **212** se realizan rápidamente por gravedad, acelerado si se desea mediante la aplicación de presión. Las herramientas de perfilado de bordes **210** forman los bordes laminados **211**, incluyendo en las esquinas después de retirar las abrazaderas de esquina de la lámina **202**. Después de completar el modelado, el vidrio **212** entra en un túnel de enfriamiento **213**, en el que se enfría rápidamente por convección y radiación de calor hacia una superficie fría que absorbe la radiación. Cuando se ha enfriado lo suficiente hasta recuperar suficiente rigidez para mantener su forma, el vidrio conformado **212** se retira de su molde **201** y se transfiere a la cinta transportadora **213**, que traslada el vidrio **212** longitudinalmente para el temple y el enfriamiento.

30 Los moldes **201** se someten a ciclado **235** y se reintroducen en la línea de producción.

En el extremo descendente lejano de la línea de producción **234**, se aplica plata, preferentemente mediante procedimientos asistidos de plasma al vacío similares a los usados para depositar plata y capas dieléctricas en vidrio flotado en la fabricación de ventanas arquitectónicas de bajo E. Después de la práctica de fabricación de espejos convencional, la superficie plateada y los bordes delanteros del vidrio **212** se recubren con una barrera de oxidación de película de cobre, también preferentemente por deposición de plasma. Finalmente, la película de cobre y los bordes de espejo se recubren con polvo con un sello de polímero resistente a la intemperie. Los reflectores de vidrio terminados **1** son apilables, y se pueden apilar y expedir para su integración con los seguidores **107** y los convertidores de energía **4**, y para la instalación en emplazamientos de parques solares.

40 En una forma de realización alternativa de vidrio flotado, la cinta de vidrio **231**, después de ser cortada por el aparato de corte **233**, se suministra a dos o más líneas de modelado, para asegurar la producción continuada si una línea de producción se avería o si se ralentiza su funcionamiento. Además, puede proporcionarse una rama separada para enfriar y empaquetar las láminas de vidrio plano **200** en el caso en que todas las líneas de modelado se averíen. Las láminas de vidrio **200** pueden almacenarse para el modelado fuera de la línea.

El número de moldes **201** y la longitud de la línea de producción necesaria para soportar la producción continua a plena velocidad de la salida disponible de una fábrica de vidrio flotado dependen del tiempo de ciclo para cada molde **201**. Por ejemplo, en un procedimiento en el que el tiempo de ciclo es de doscientos segundos y la lámina nueva **200** que se procesará emerge del baño de flotado de estaño **230** cada diez segundos, entonces deberán usarse veinte moldes **201** de una vez. El procedimiento de fabricación de esta invención se diseña para reducir al mínimo el tiempo de ciclo del molde, y de esta manera reducir al mínimo el número de moldes **201** en uso en la línea de producción y el tamaño de la instalación. El tiempo de ciclo del molde se ajusta en gran medida por el equilibrio térmico y los factores de transferencia de calor. Por ejemplo, el equilibrio térmico y los tiempos de transferencia de calor que intervienen en el calentamiento y reblandecimiento del vidrio **214**, y el tiempo requerido para estiramiento y equilibrio térmico y enfriamiento para fabricar el vidrio **212** rígido de manera que pueda liberarse del molde **201** serán factores que afectan al tiempo de ciclo del molde.

La temperatura que se alcanzará para formar láminas de vidrio **200** se determina por la necesidad de realizar la

combadura y el estiramiento en un tiempo relativamente breve. Para determinar la velocidad del estiramiento del vidrio en la forma del plato **212** bajo gravedad, la energía potencial gravitatoria perdida con la combadura se compensa con la que se disipa al estirar el vidrio viscoso. Por ejemplo, para una lámina cuadrada **200** sujeta en sus esquinas **202** y con combadura bajo su propio peso por estiramiento de tipo membrana del vidrio, se ha mostrado que la magnitud de la combadura "s" en el centro se incrementa proporcionalmente con la raíz cúbica del tiempo "t" y la viscosidad "η" aproximadamente como

$$s = (cgp x^4 t / \eta)^{1/3}, \quad (1)$$

10 en la que "c" es una constante numérica (aproximadamente 0,044), "g" es la aceleración debida a la gravedad, "p" es la densidad del vidrio, "x" es la longitud expandida media de los soportes de molde y "η" es la viscosidad de cizalla. La viscosidad de cizalla del vidrio de cal y sosa comercial típico en el intervalo de temperatura de 500-700°C varía con la temperatura absoluta T como $\eta = \eta_0 \exp(B/T)$, en el que $\eta_0 = 1,6 \times 10^{-18}$ poise y $B = 5,8 \times 10^4$ K. Para el intervalo de temperatura de modelado preferido entre 650 C y 750°C, la viscosidad desciende desde $4,3 \times 10^9$ poise
15 (650°C) hasta 9×10^5 poise (750°C).

Como un ejemplo dimensionado específico de un reflector preferido de 3,1 m cuadrados, el tiempo para combadura hasta una magnitud preferida $s = 0,795$ m en el centro según la ecuación anterior es de aproximadamente 20 seg a 710°C, y varía en un factor de dos para cada diez grados de cambio de la temperatura. Así, la temperatura superior
20 para el procedimiento estará en la región de 710°C. En el otro extremo, la distorsión en la manipulación de un minuto se reduce hasta un nivel insignificante a temperaturas de menos de 500°C.

En el procedimiento descrito en esta invención, el calentamiento y enfriamiento entre estas temperaturas se realiza en gran medida por transferencia de radiación. Para calentamiento, se prefiere la radiación de un cuerpo negro
25 sustancialmente continuo a 800-1.200°C, dado que la radiación térmica a estas temperaturas es absorbida en gran medida por el vidrio. Así, una lámina de vidrio **200** de 4 mm de grosor puede calentarse desde temperatura ambiente hasta una temperatura media de 710°C en cincuenta segundos por radiación en un lado desde un cuerpo negro a 900°C, y en veinte segundos desde un cuerpo negro a 1.200°C. Si el vidrio **200** está más caliente al inicio del calentamiento, se necesita menos tiempo.

30 Después de un calentamiento por radiación rápido, el vidrio **214** está mucho más caliente y, así, menos viscoso en el lado calentado. La constante de tiempo para equilibrio por conducción a través de una lámina de vidrio de cal y sosa es de aproximadamente noventa segundos para un grosor de 3 mm, de treinta y cuatro segundos para 4 mm y de cincuenta y tres segundos para 5 mm. Se prefiere algún grado de equilibrio ya que el vidrio **212** adopta la forma del
35 molde y los bordes **211** son laminados. Cuando se ha completado el laminado, el vidrio **212** se enfriará desde 710°C aproximadamente hasta 500°C aproximadamente por radiación en una superficie absorbente fría **213**, necesitando cincuenta segundos aproximadamente para una lámina de 4 mm, y seguido de treinta segundos aproximadamente para equilibrio a 500°C antes de la retirada.

40 Un ciclo de molde para modelar un vidrio de 4 mm de grosor según las operaciones anteriores tomadas en secuencia puede incluir, por ejemplo, cincuenta segundos para calentar por radiación a 900°C, veinte segundos para combadura, treinta segundos para equilibrio, fraguado en el molde y modelado de bordes, cincuenta segundos para devolver el molde **201** para la recarga, para un total de 240 segundos. Para un ciclo de tiempo de vidrio de diez segundos, están en uso veinticuatro moldes cada vez, y la parte de procesamiento térmico, modelado en caliente y
45 enfriamiento requerirá 180 segundos. Para una separación entre moldes de cuatro metros, y así una velocidad de línea de 0,4 m/seg, la longitud de la línea de modelado será de setenta y dos metros aproximadamente.

Durante el desarrollo del procedimiento de alto volumen anterior, los reflectores de vidrio **1** pueden fabricarse fuera de la línea a una velocidad más lenta a partir de las láminas de vidrio frías apiladas **200**. Las etapas iniciales son
50 diferentes, y requieren la manipulación de las láminas de vidrio frío **200** de forma segura y llevadas al molde de asentamiento **201** sin ruptura. Las láminas frías **200** se escogen de una pila vertical con un dispositivo de elevación al vacío de copa múltiple que sostiene el vidrio **200** en todos lados en que está plano con algunos mm y en estado de baja tensión. La lámina **200** se colocará a continuación en la posición horizontal, y fija desde las esquinas usando mordazas de esquina **202** en la estructura de manipulación. El dispositivo de manipulación al vacío se libera para
55 descargar la lámina **200** y el vidrio se relaja ligeramente en su estado sujeto. El procedimiento de carga de láminas y las mordazas de esquina sin traslado **202** mantienen la resistencia a la tracción máxima por debajo del límite de seguridad de 3,5 MPa.

Las láminas de vidrio **200** que se cargan de esta manera en estructuras de manipulación se transportarán a través

de un túnel de precalentamiento convencional hasta una temperatura máxima de aproximadamente 500°C. Desde este punto, la lámina de vidrio **200** que usa sus estructuras de manipulación se acopla con el molde de modelado **201** tal como se indica en la Figura 26 y el procedimiento continúa según se describe anteriormente.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento continuo automatizado para fabricar reflectores monolíticos cóncavos (1) para un sistema de conversión solar calentando una lámina de vidrio (200) colocada sobre un molde (201), haciendo
5 combarse el vidrio en un molde bajo la fuerza de la gravedad, **caracterizado porque** se proporciona un procedimiento que comprende las etapas de:

proporcionar un molde (201) que tiene una superficie con ranuras cóncavas adyacentes (220) que se intersecan en crestas (221) que forman una superficie de molde ondulada (218), de manera que el perfil de la superficie ondulada
10 (222) define la forma que adoptará el vidrio (212) cuando una lámina de vidrio (200) se calienta y se comba durante el proceso de modelado, y en el que la superficie de molde ondulada (218), el molde (201) tienen una superficie sustancialmente cóncava (204) y bordes laminados (203);

colocar la lámina de vidrio (200) encima del molde (201);

15

irradiar la superficie superior del vidrio (200) con energía radiante intensa para llevar rápidamente el vidrio (200) a la temperatura de fusión con lo que se obtiene una lámina de vidrio en combadura (214), en la que la combadura y el estiramiento del vidrio se consiguen rápidamente por gravedad, hasta que la lámina de vidrio reblandecido (212) entra en contacto con la línea de crestas (221), y se coloca entre ellas, y la lámina de vidrio reblandecido (212)
20 adopta su forma general tal como se define por el perfil de superficie en el punto más alto de las crestas (221);

laminar los bordes (219) del vidrio (212) para conformar el borde curvo (203) del molde (201);

en cuanto se crea un contacto en el interior del molde (201), y el vidrio (212) toca ligeramente y descansa en las
25 crestas del molde (211), enfriar rápidamente el vidrio para evitar el hundimiento continuado entre las crestas (221); y

reducir al mínimo la conducción térmica desde el molde (201) al vidrio (212) durante el ciclo térmico de modelado usando la superficie del molde ondulada (218) para limitar el área de contacto (221) entre el vidrio (212) y el molde (201), y recubrir la superficie del molde (201) con un recubrimiento de alta reflectancia.

30

2. El procedimiento continuo automatizado para fabricar reflectores monolíticos cóncavos (1) para un sistema de conversión solar según la reivindicación 1, seguido por una etapa consistente en:

usar un procedimiento de plateado en el reverso para fabricar los reflectores de vidrio (1).

35

3. El procedimiento continuo automatizado para fabricar reflectores monolíticos cóncavos (1) para un sistema de conversión solar según la reivindicación 1, **caracterizado además por** la etapa consistente en:

limitar las esquinas de la lámina de vidrio flotado durante el calentamiento para asegurar que cuando la lámina de
40 vidrio (214) se reblandece y se comba, el vidrio (214) se estirará, y evitar la tendencia a arrugarse durante la combadura.

4. El procedimiento continuo automatizado para fabricar reflectores monolíticos cóncavos (1) para un sistema de conversión solar según la reivindicación 1, **caracterizado además por** la etapa consistente en:

45

acelerar el modelado de la lámina de vidrio en combadura (214) en una forma de plato (212) reduciendo la presión del aire por debajo del molde (201).

5. El procedimiento continuo automatizado para fabricar reflectores monolíticos cóncavos (1) para un sistema de conversión solar según la reivindicación 4, **caracterizado además por** la etapa consistente en:

50

limitar las esquinas de la lámina de vidrio flotado durante el calentamiento para asegurar que cuando la lámina de vidrio (214) se reblandece y se comba, el vidrio (214) se estirará, y evitar la tendencia a arrugarse durante la combadura.

55

6. El procedimiento continuo automatizado para fabricar reflectores monolíticos cóncavos (1) para un sistema de conversión solar según la reivindicación 1, **caracterizado además por** la etapa consistente en:

retirar el vidrio (212) del molde (201) una vez que el vidrio (212) se ha enfriado suficientemente para enrigidecerse lo

suficiente para su manipulación a corto plazo.

7. El procedimiento continuo automatizado para fabricar reflectores monolíticos cóncavos (1) para un sistema de conversión solar según la reivindicación 6, **caracterizado además por** la etapa consistente en:

5

llevar la cara del molde al equilibrio térmico y hacerle recuperar la temperatura de inicio mediante convección por aire forzado antes de que el molde (201) se use para modelar la siguiente lámina de vidrio (200).

8. El procedimiento continuo automatizado para fabricar reflectores monolíticos cóncavos (1) para un sistema de conversión solar según la reivindicación 1, **caracterizado además por** la etapa consistente en:

10

recoger la contaminación de pequeñas partículas en los valles cóncavos (220) entre las crestas (221) en la superficie del molde (201).

9. El procedimiento continuo automatizado para fabricar reflectores monolíticos cóncavos (1) para un sistema de conversión solar según la reivindicación 3, **caracterizado además por** la etapa consistente en:

15

recoger la contaminación de pequeñas partículas en los valles cóncavos (220) entre las crestas (221) en la superficie del molde (201).

20

10. Un molde (201) usado en un proceso continuo automatizado de fabricación de un reflector monolítico cóncavo (1) calentando una lámina de vidrio (200) colocada encima del molde (201) con energía radiante intensa que incide en la superficie superior del vidrio (200) y lleva rápidamente el vidrio a una temperatura de fusión que produce como resultado una lámina de vidrio en combadura (214), haciendo combarse la lámina de vidrio (200) en el molde (201) usando la fuerza gravitatoria para impulsar el modelado de la lámina de vidrio (200) en la forma (212) del molde (201), y en el que el vidrio (212) se enfría rápidamente por convección y por radiación del calor hacia el exterior, **caracterizado porque:**

25

el molde (201) tiene una superficie sustancialmente cóncava (204), teniendo la superficie del molde ranuras cóncavas adyacentes (220) que se intersecan con crestas (221) que forman una superficie de molde ondulada (218), de manera que el perfil de la superficie de las crestas (222) define la forma que adoptará el vidrio (212) cuando una lámina de vidrio (200) se calienta y se comba durante el proceso de modelado, y en el que la superficie de molde ondulada (218) reduce al mínimo la conducción térmica directa desde el molde (201) al vidrio (212) durante el ciclo térmico de modelado, al ser tan pequeña el área de la línea de contacto (221); y,

35

la superficie de molde lobulada (218) tiene además regiones (220) en valles cóncavos (220) entre las crestas (221) que pueden recoger la contaminación de pequeñas partículas, manteniendo las pequeñas partículas evacuadas hacia las crestas (221) durante el hundimiento y reduciendo así la formación de vesículas en el vidrio (212) que en caso contrario podrían originarse por las partículas salientes de la superficie (220) del molde (201), en el que el perfil de superficie acanalado (218) del molde (201) reduce al mínimo los daños en el reverso de la superficie especular del vidrio (212) por contacto con la superficie del molde.

40

11. El molde según la reivindicación 10, **caracterizado además porque:**

45 el molde (201) está recubierto para conseguir alta reflectividad para la radiación térmica transmitida y emitida por el vidrio (212).

12. El molde según la reivindicación 11, **caracterizado además porque:**

50 el molde (201) está recubierto con cromo.

13. El molde según la reivindicación 11, **caracterizado además porque:**

el molde (201) está recubierto con níquel.

55

14. El molde según la reivindicación 11, **caracterizado además porque:**

el molde (201) está recubierto con una aleación de níquel-cromo.

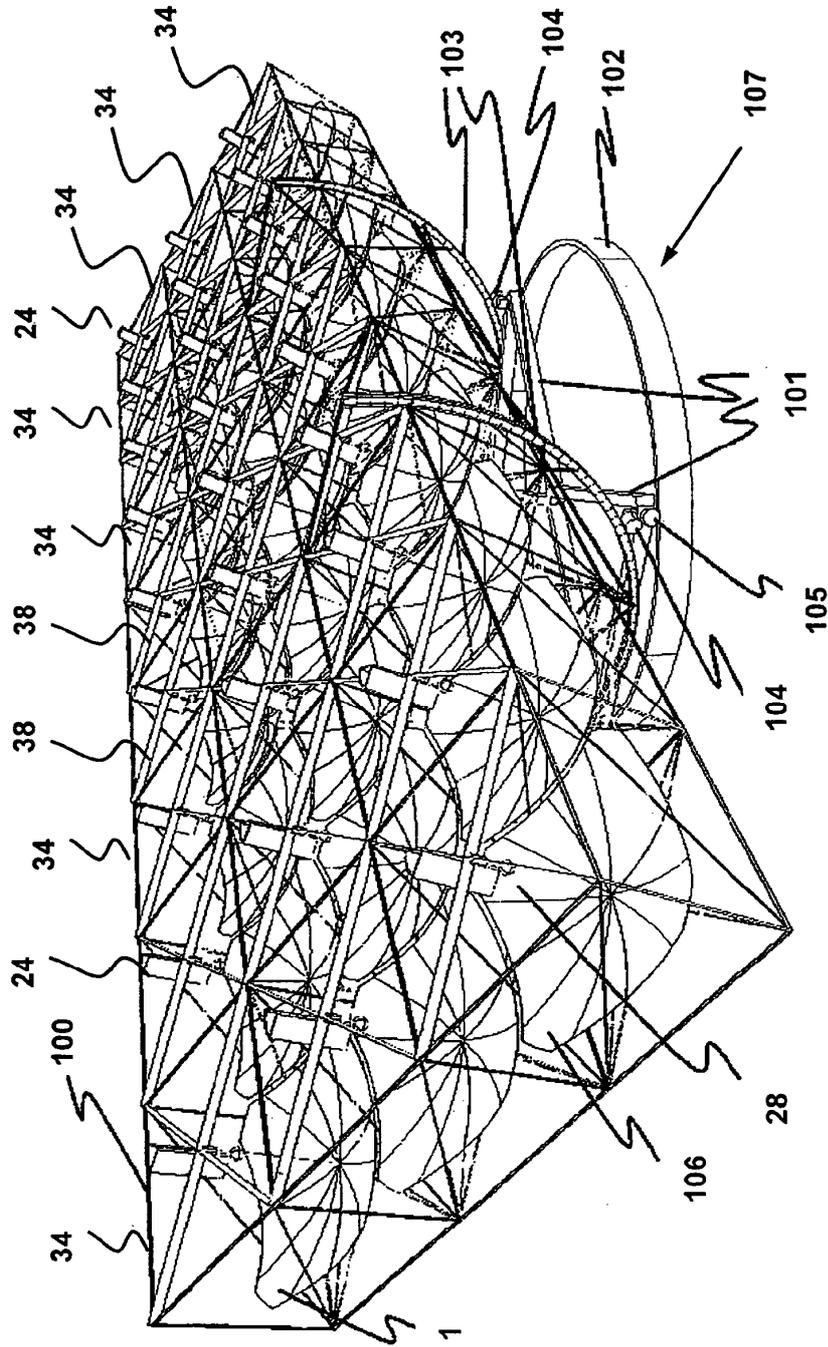


Fig. 1

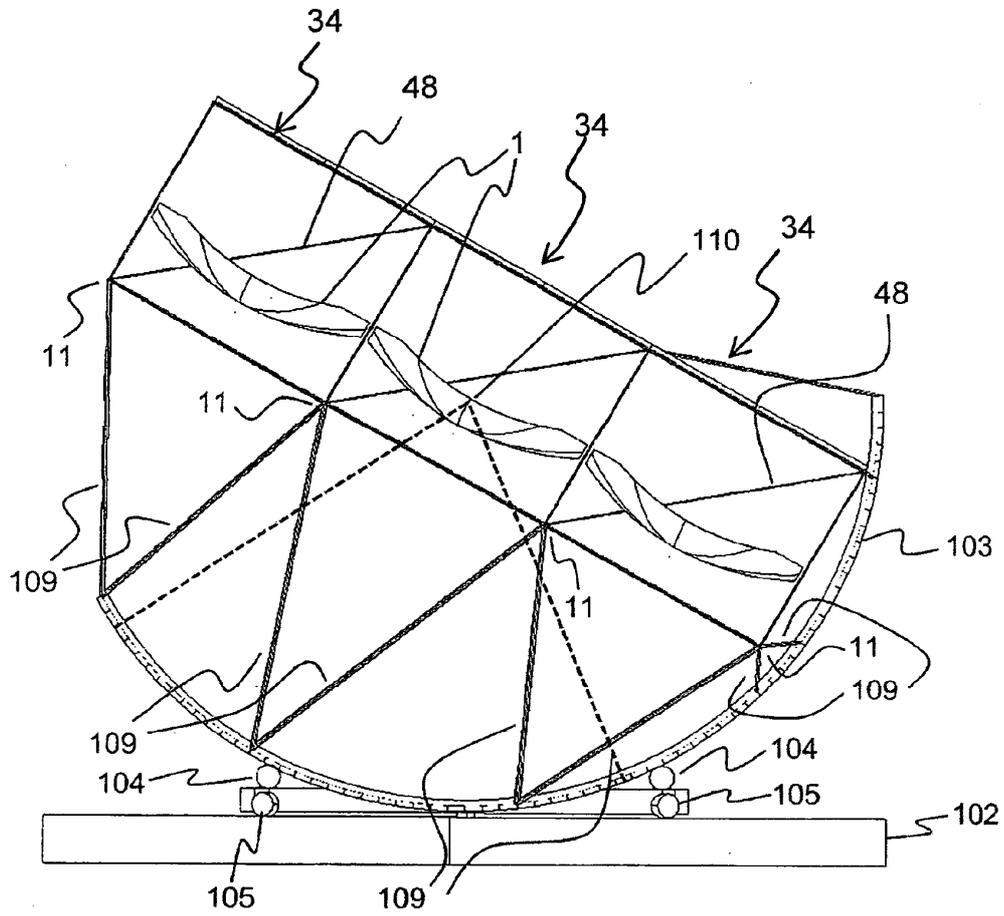


Fig. 2

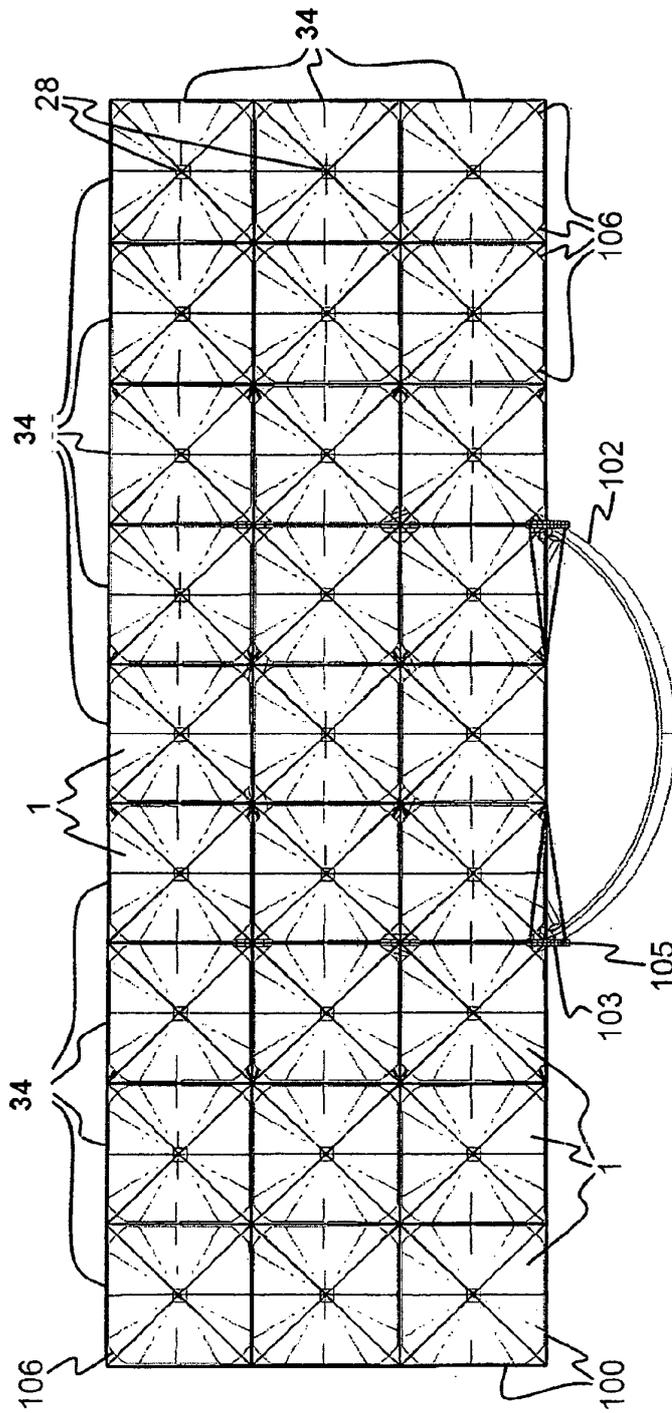


Fig. 3

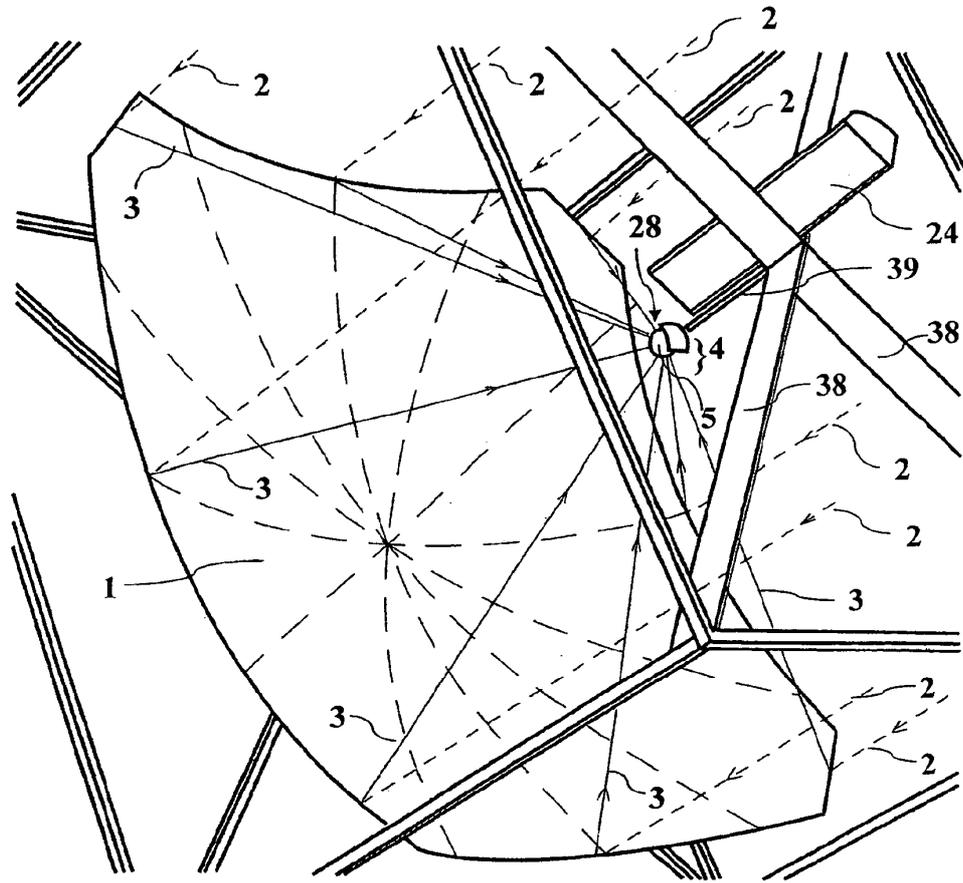


Fig. 4

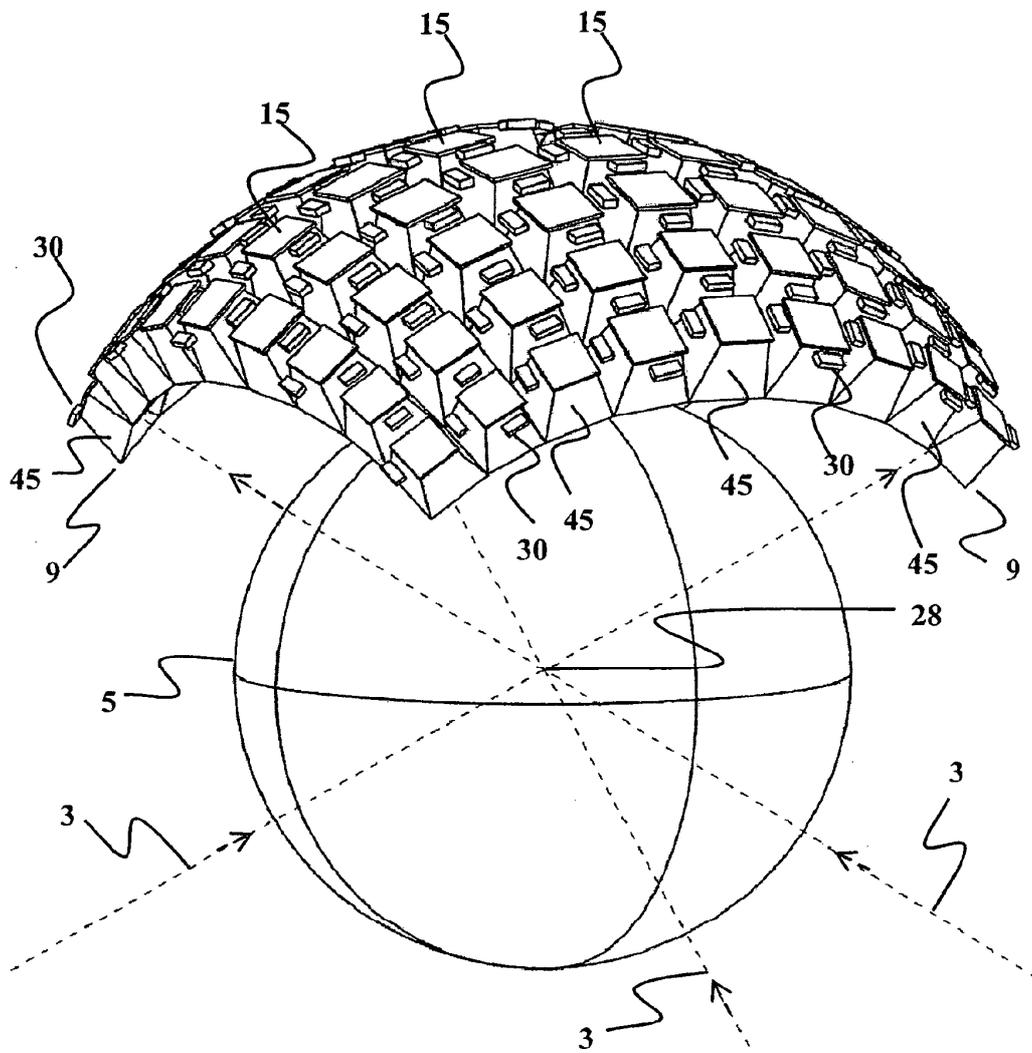


Fig. 5

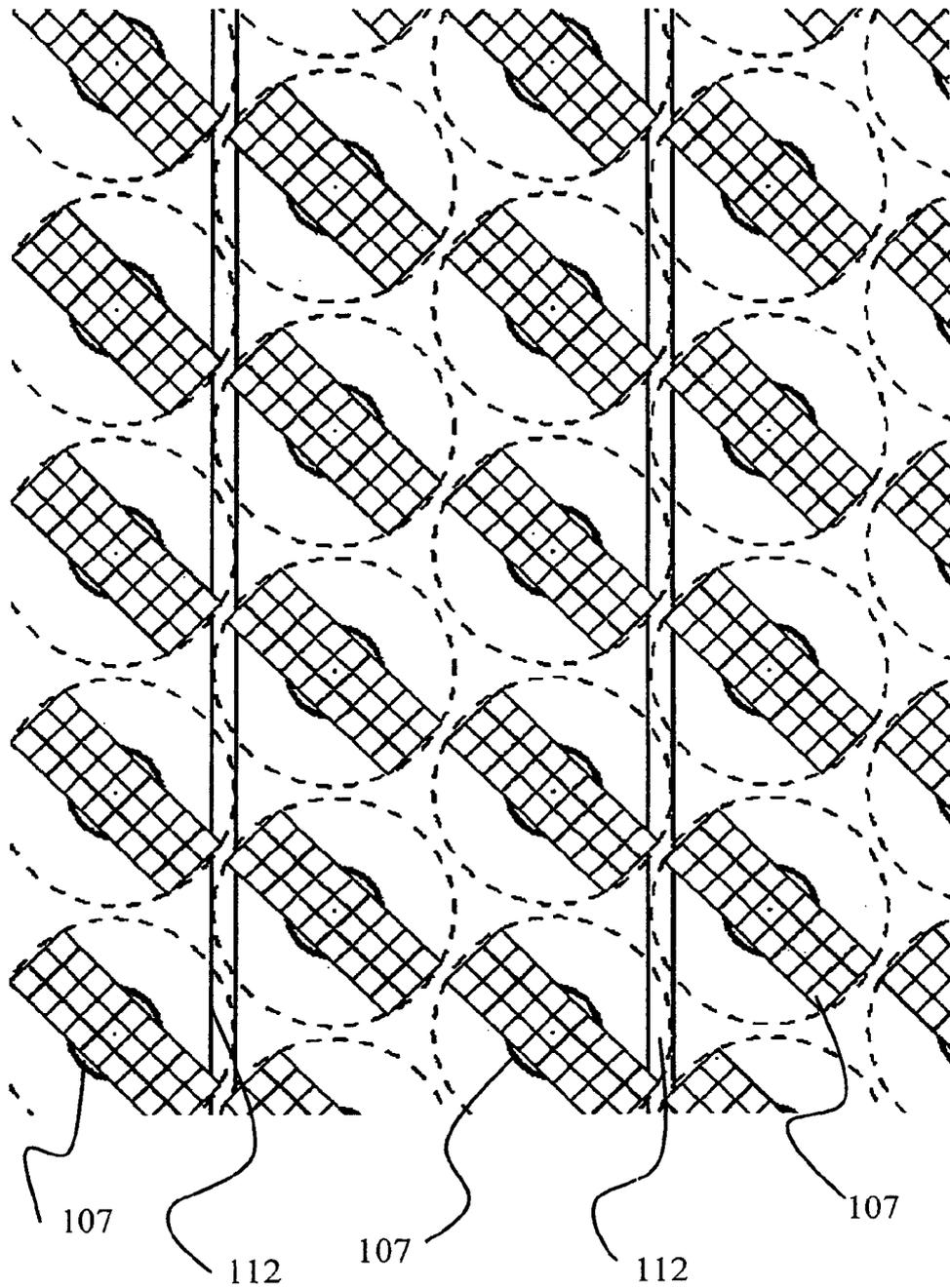


Fig. 6

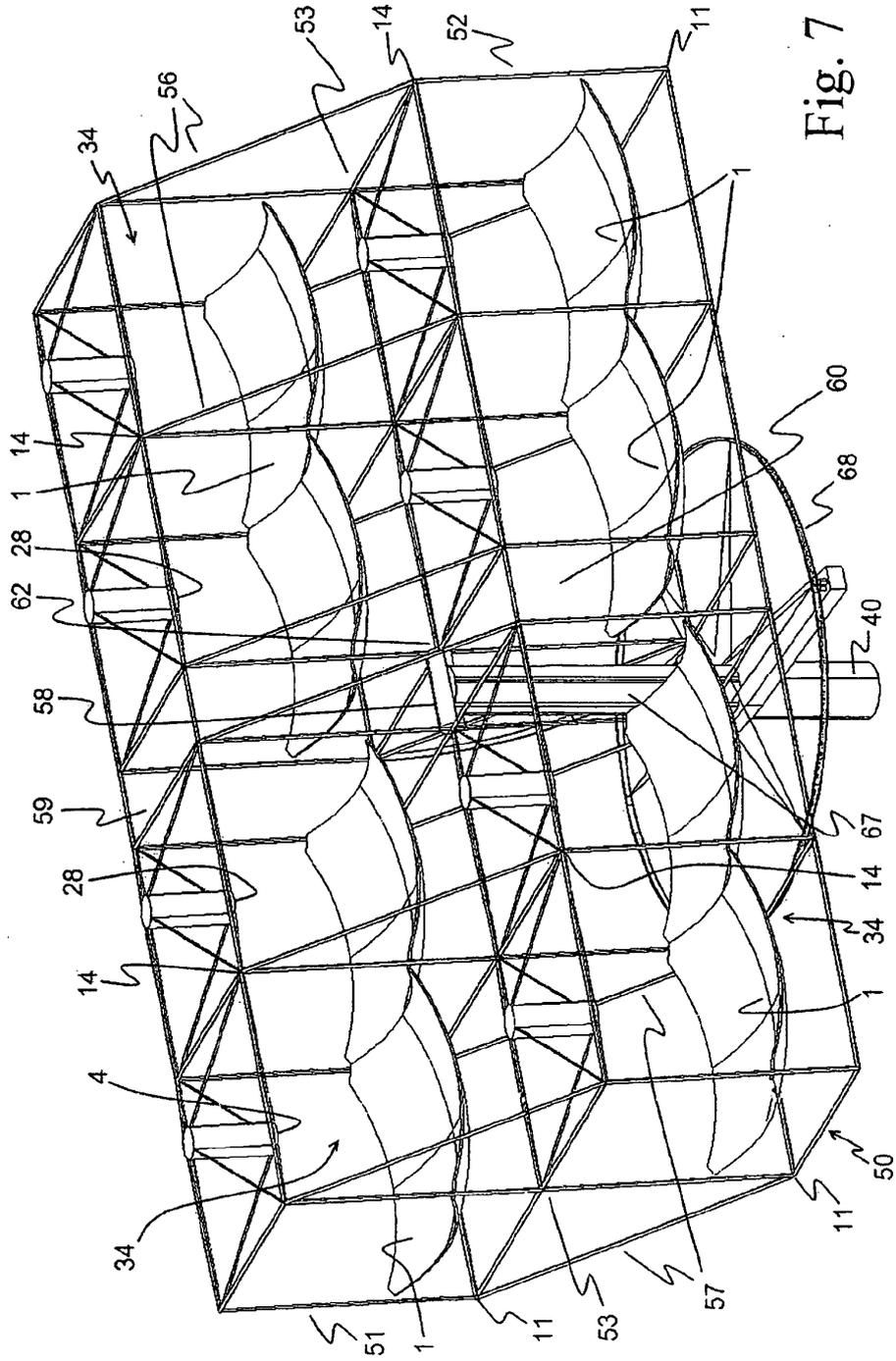


Fig. 7

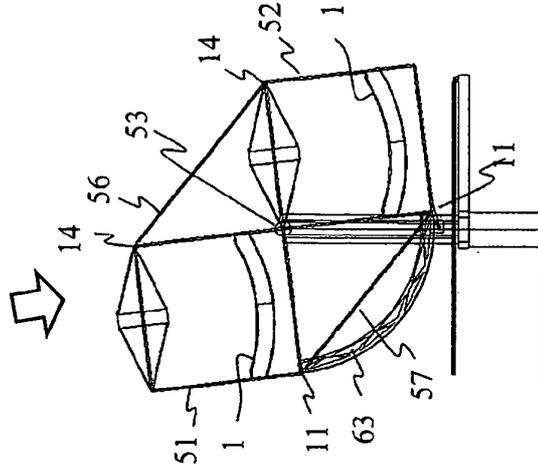


Fig. 8

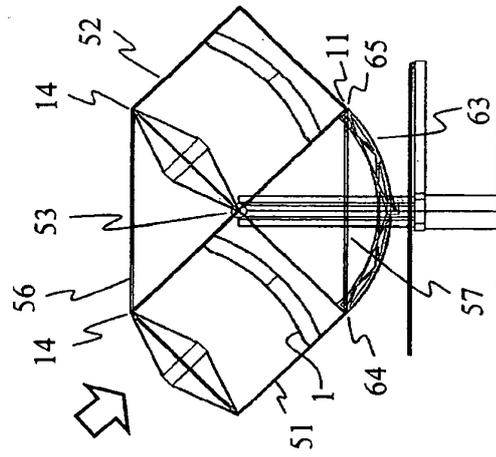


Fig. 9

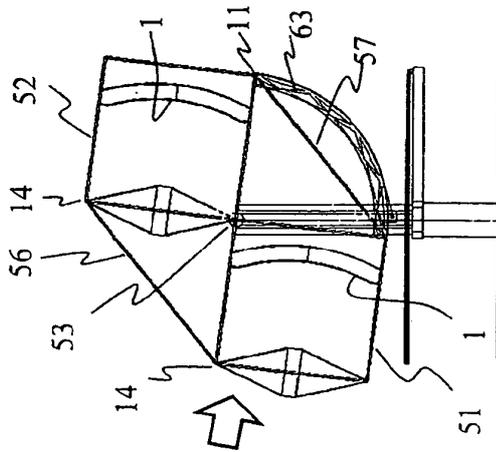


Fig. 10

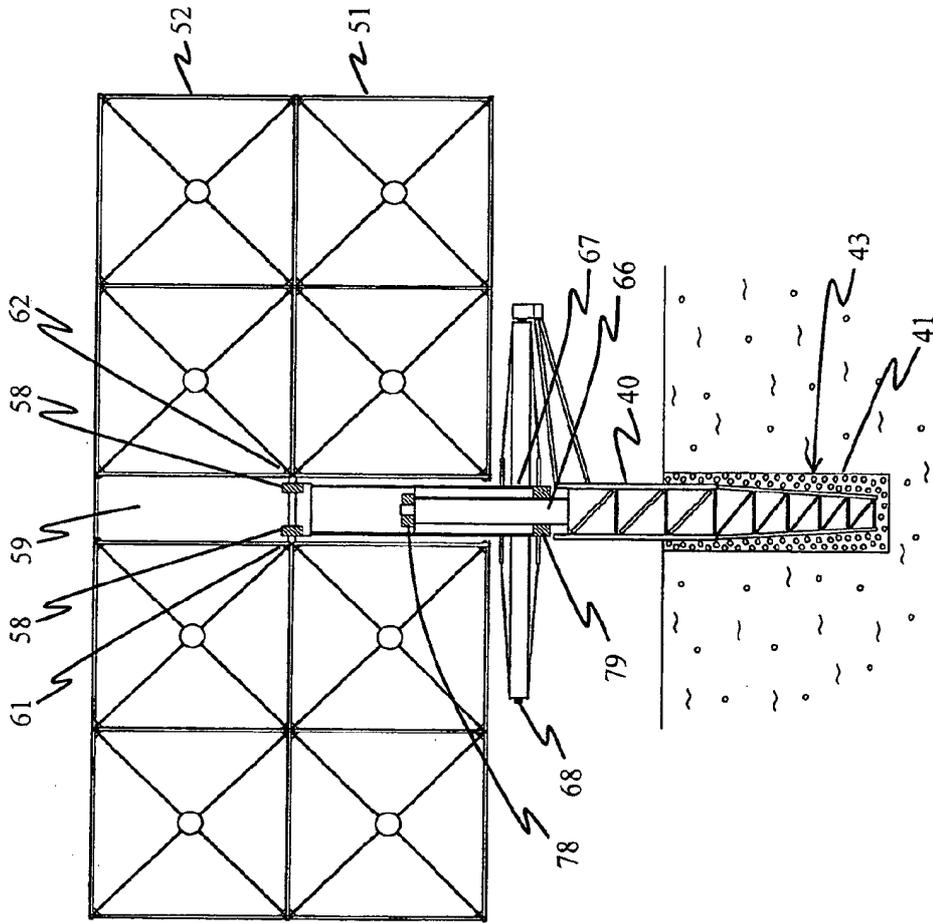


Fig. 11

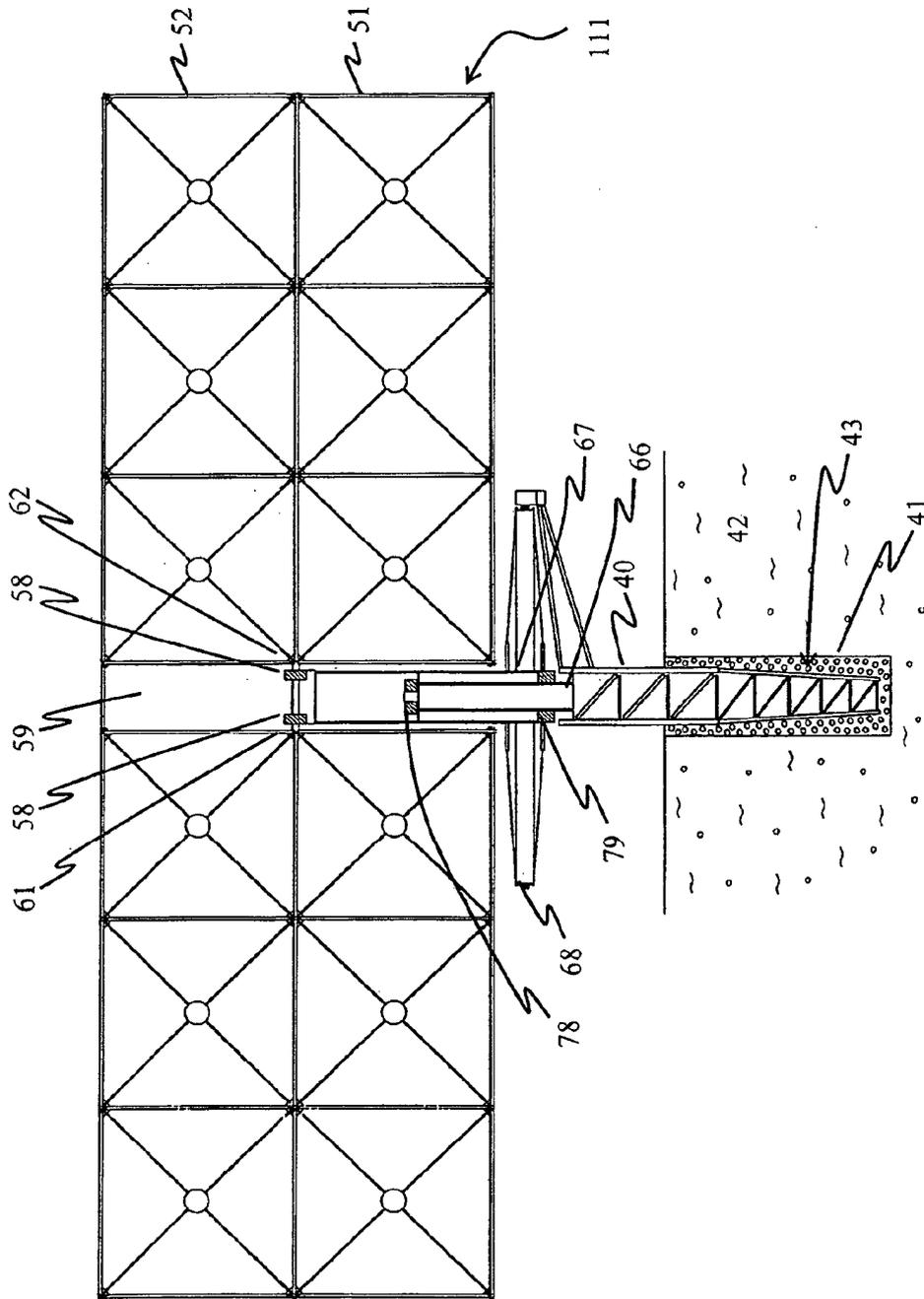


Fig. 12

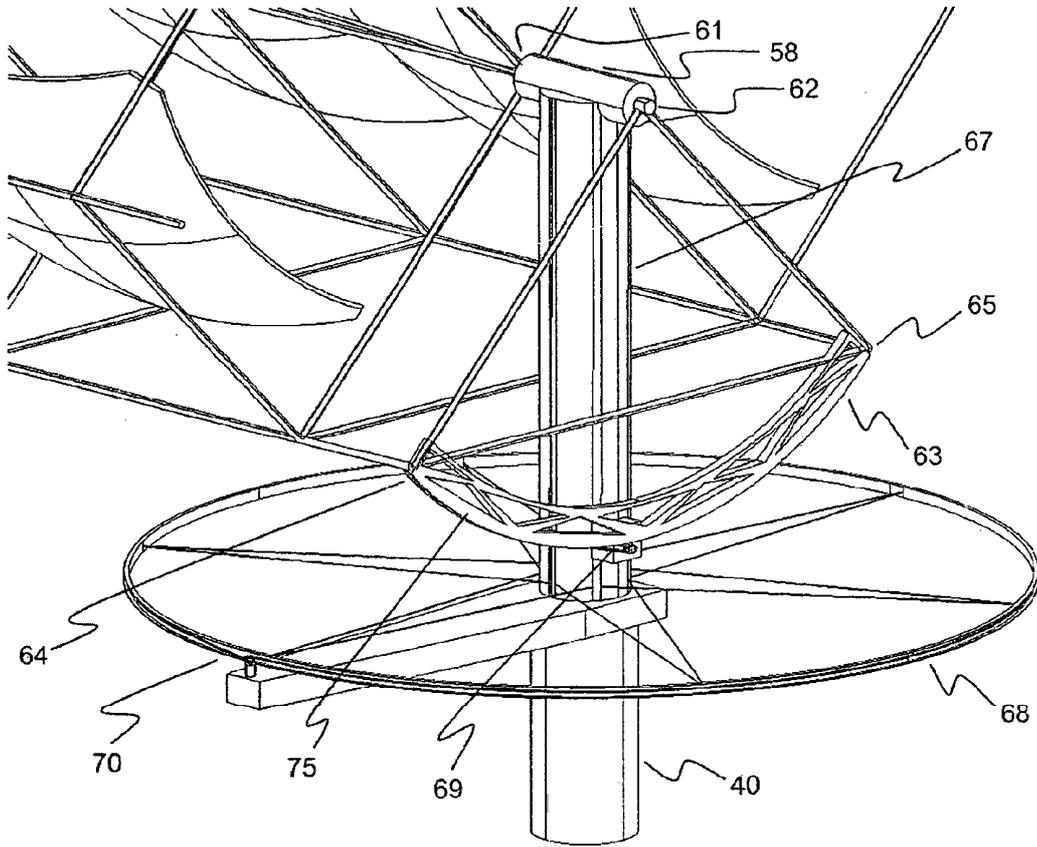


Fig. 13

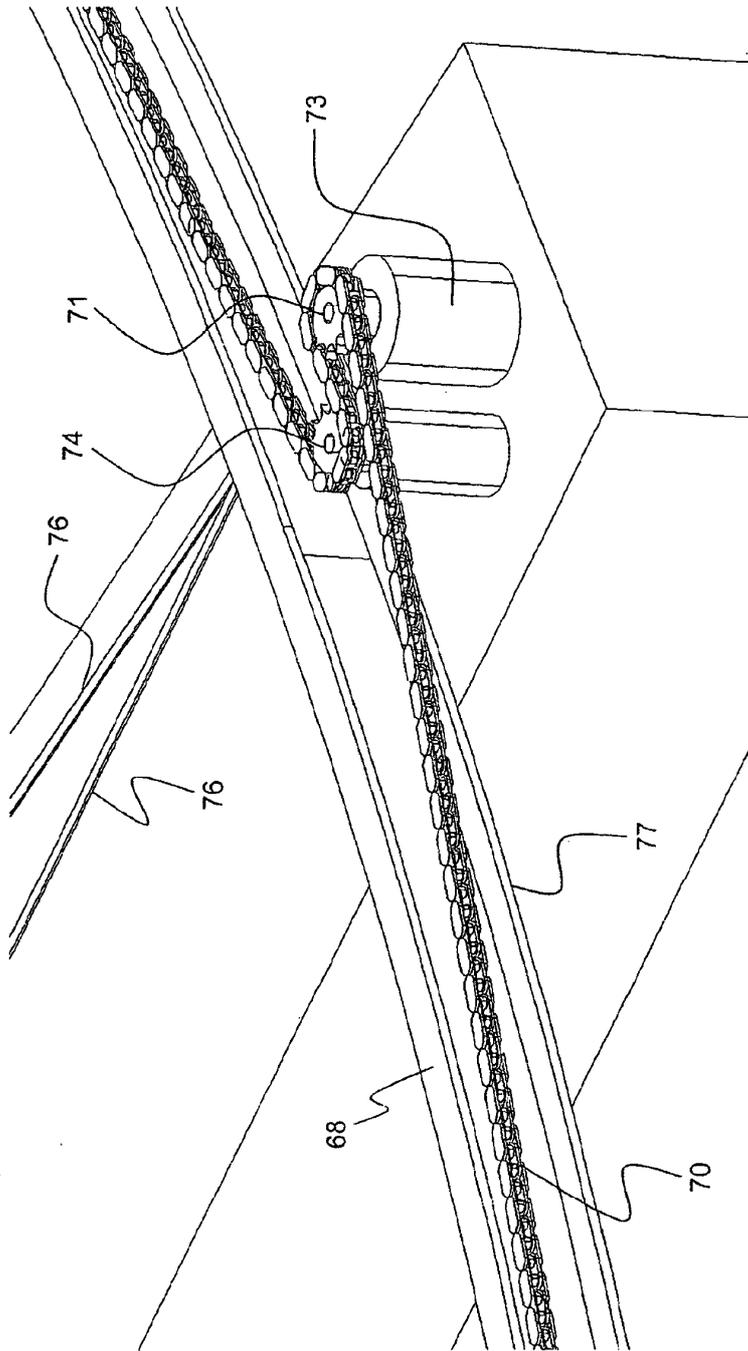


Fig. 14

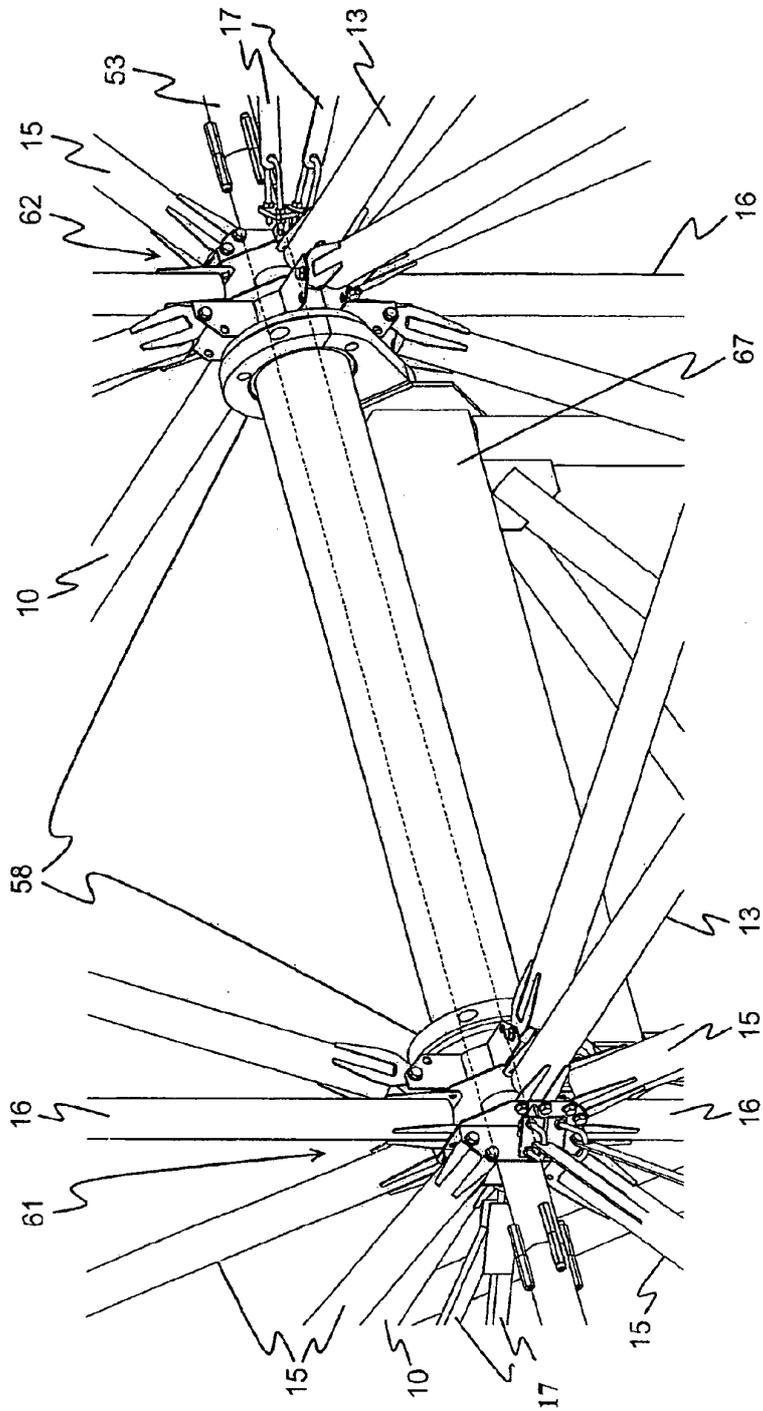


Fig. 15

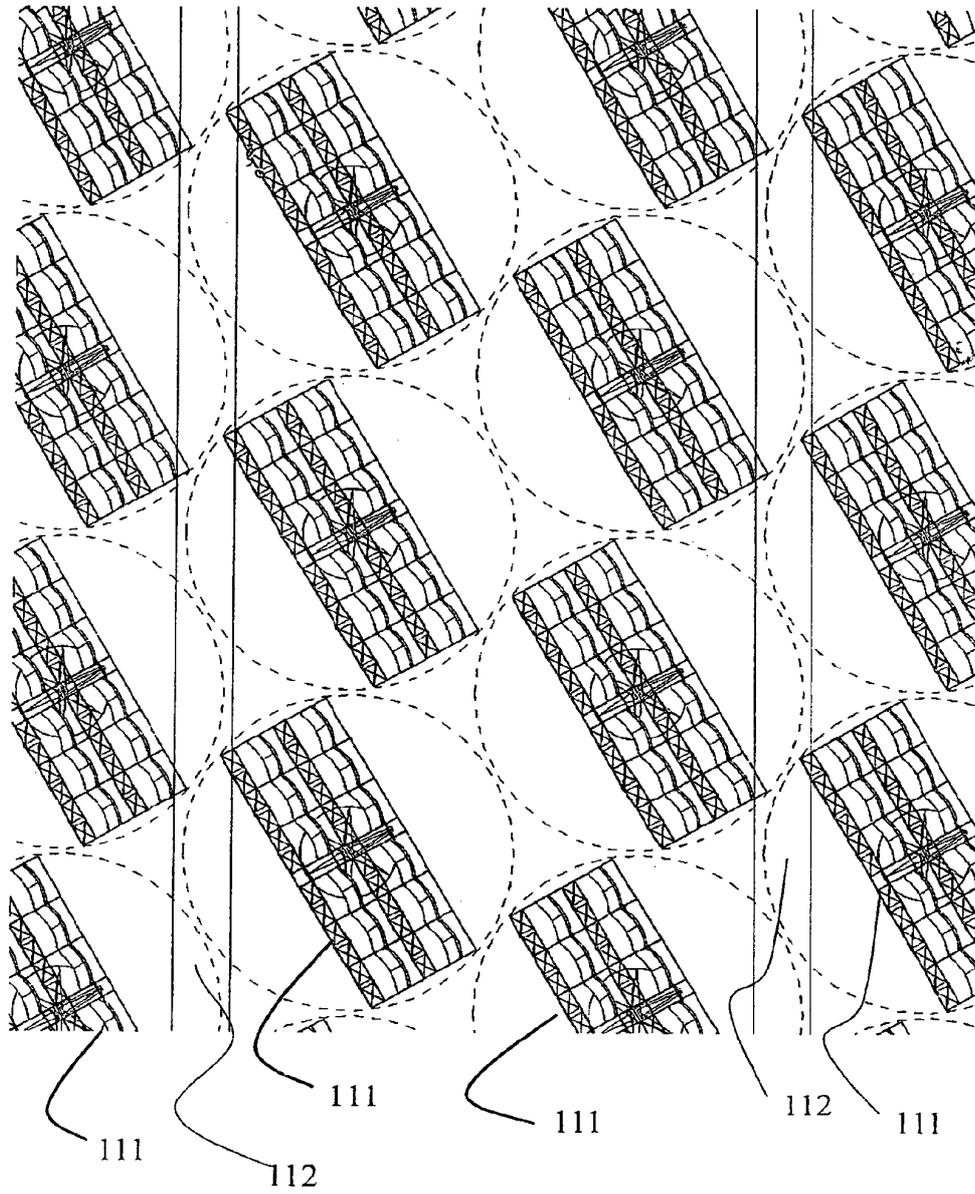


Fig. 16

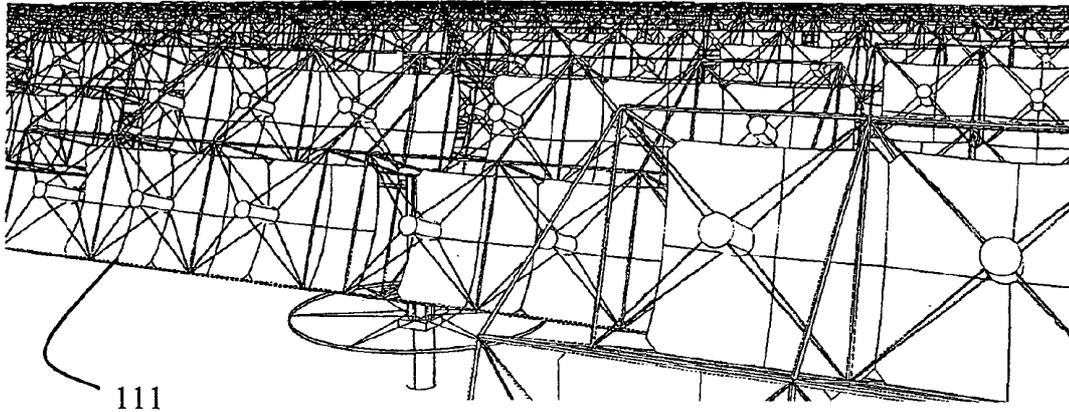


Fig. 17

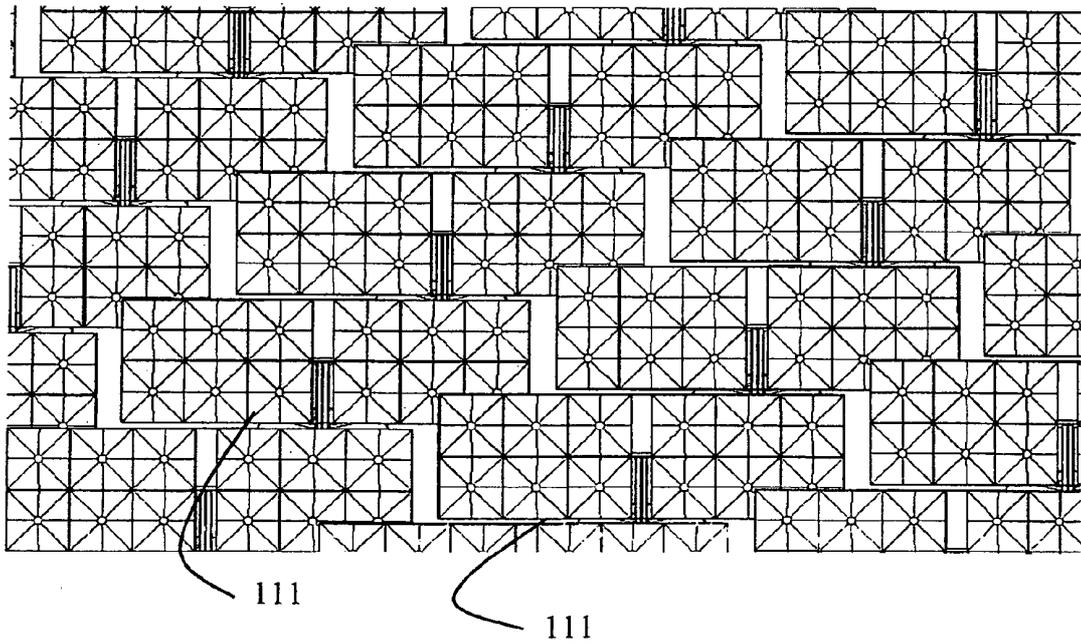


Fig. 18

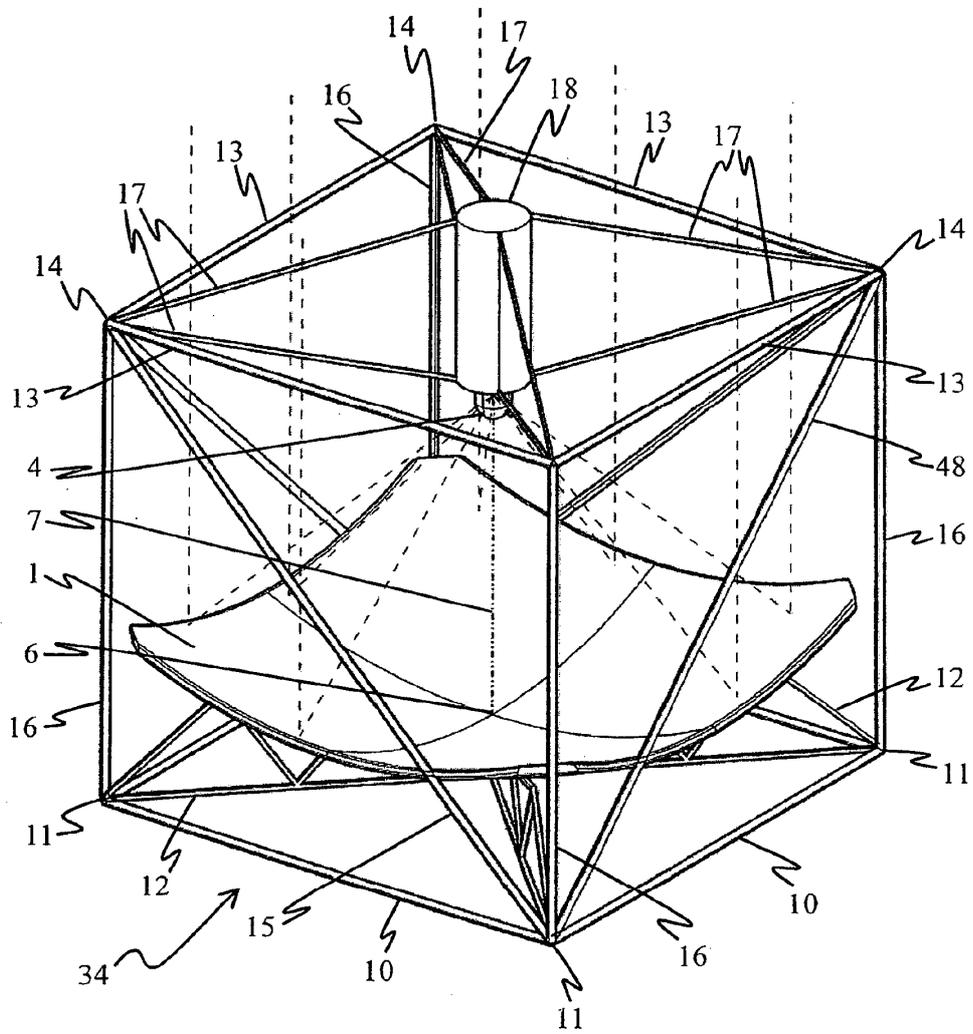


Fig. 19

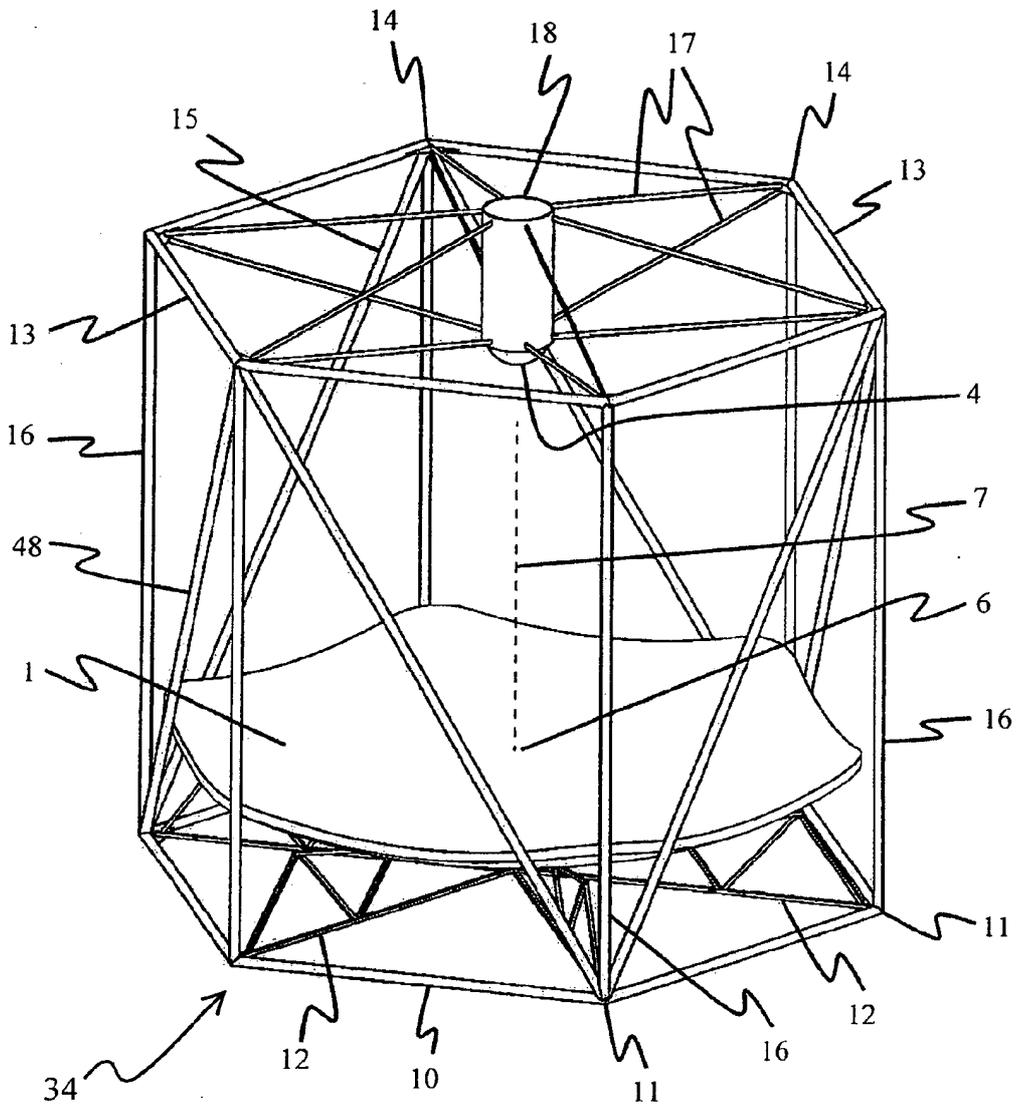


Fig. 20

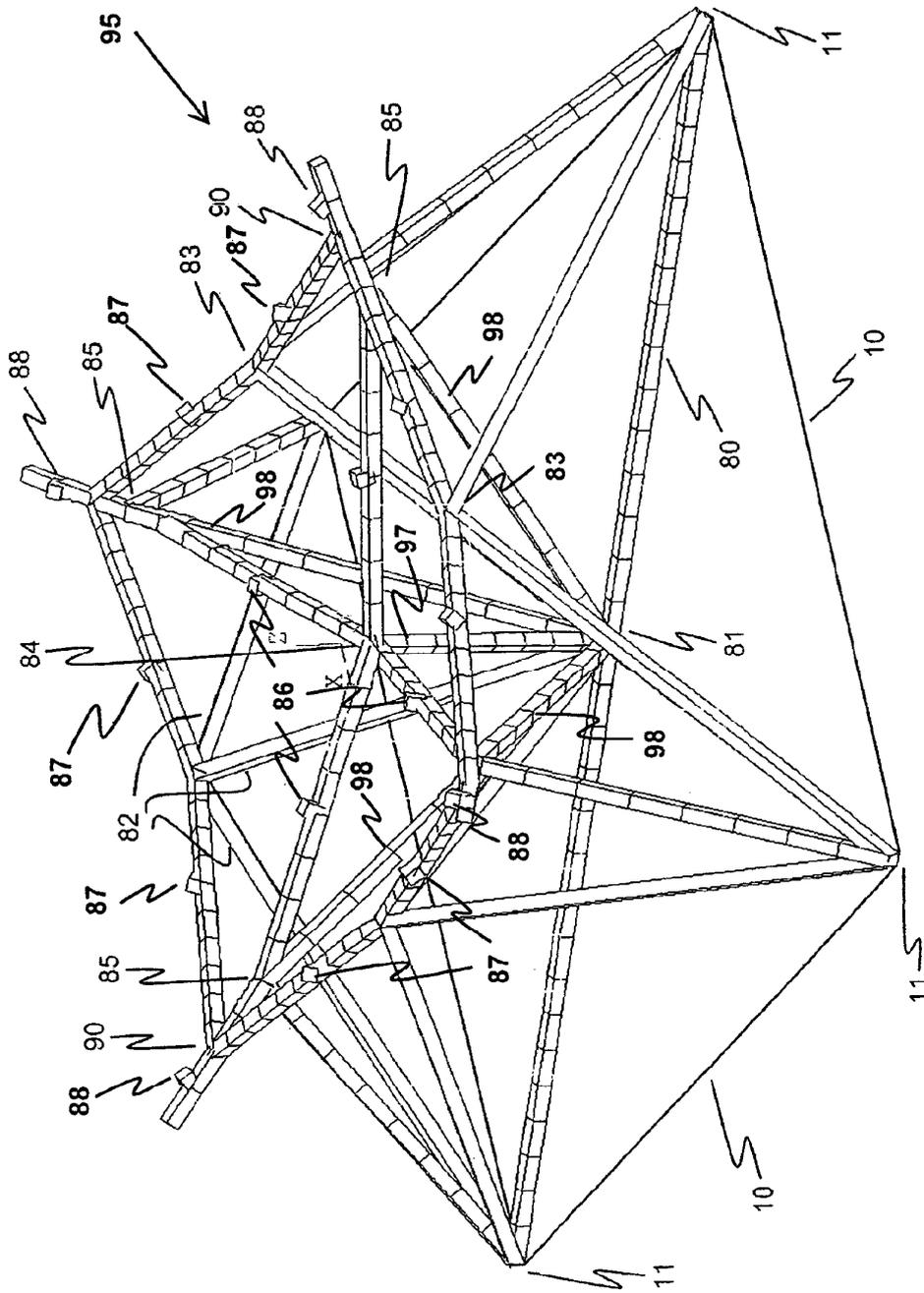


Fig. 22

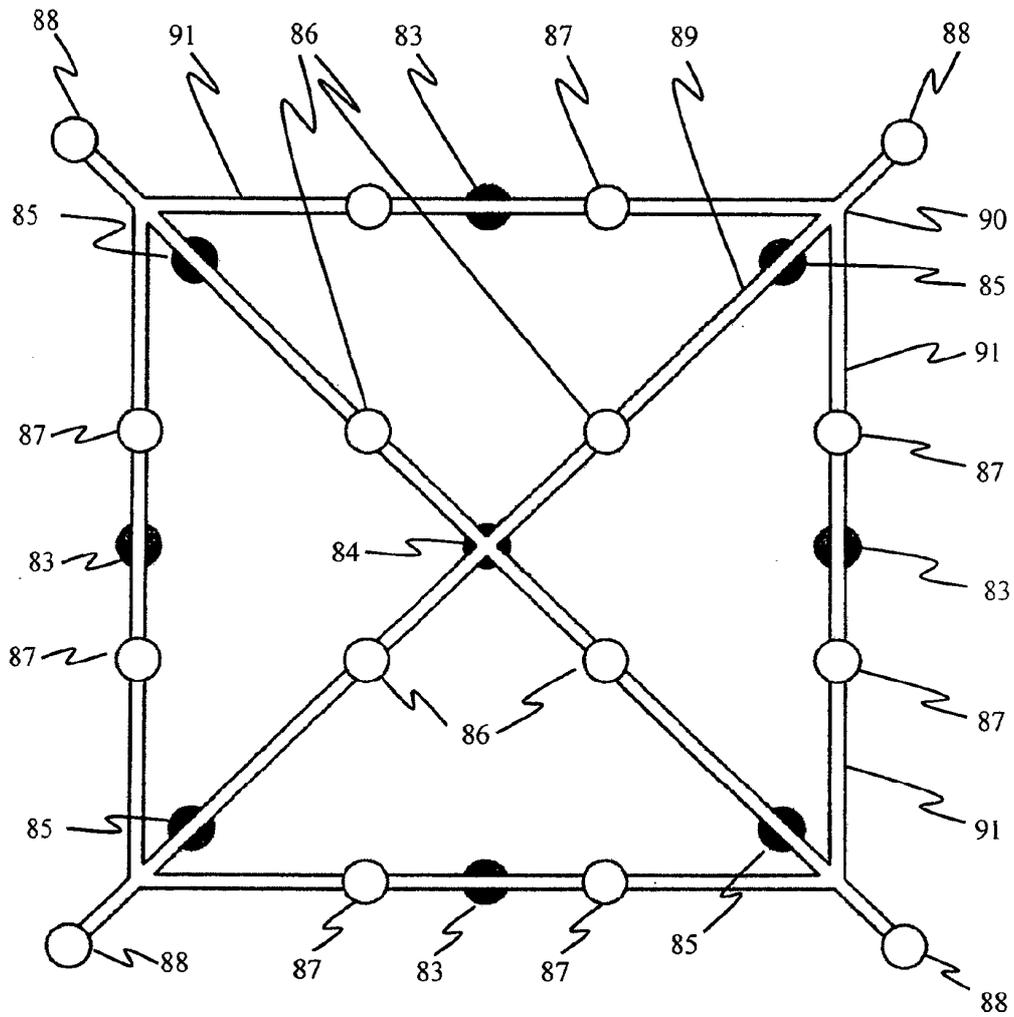


Fig. 23

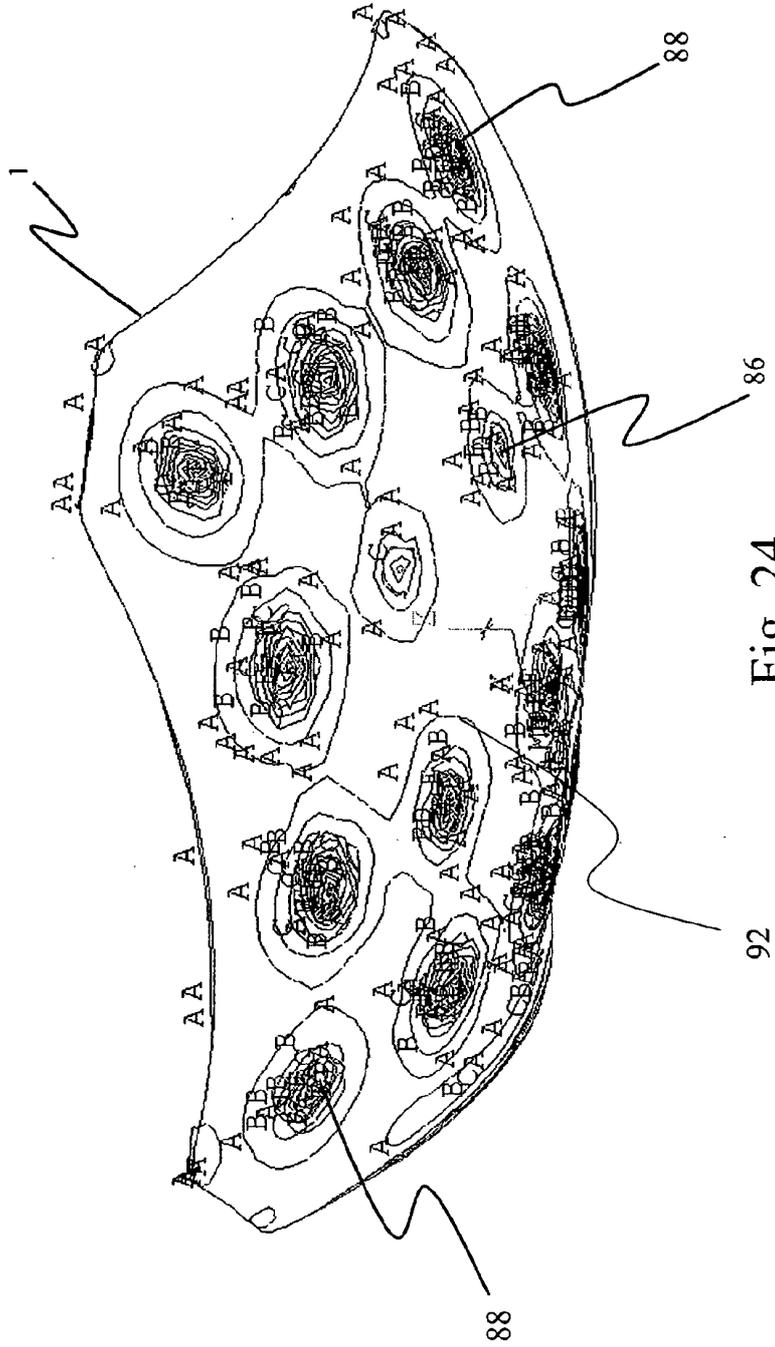


Fig. 24

Fig. 25

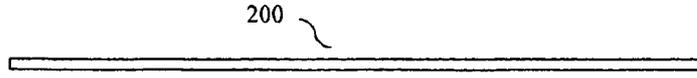


Fig. 26

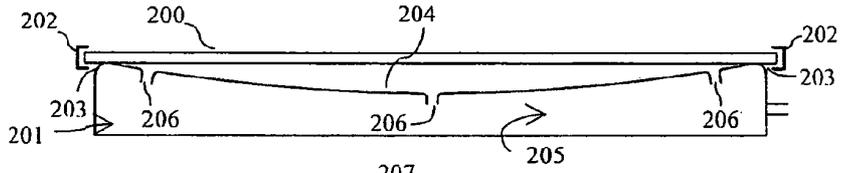


Fig. 27

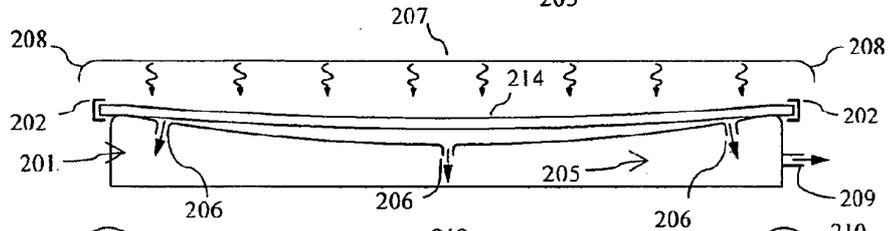


Fig. 28

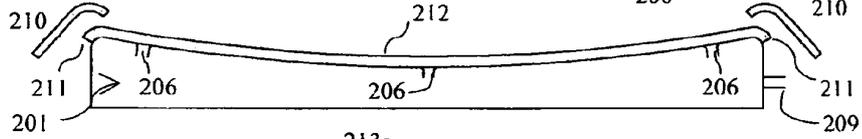


Fig. 29

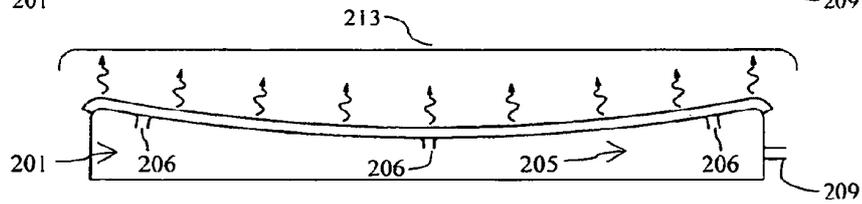
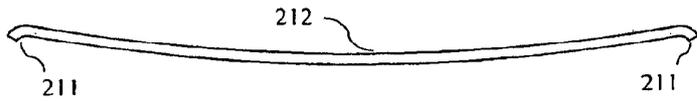


Fig. 30



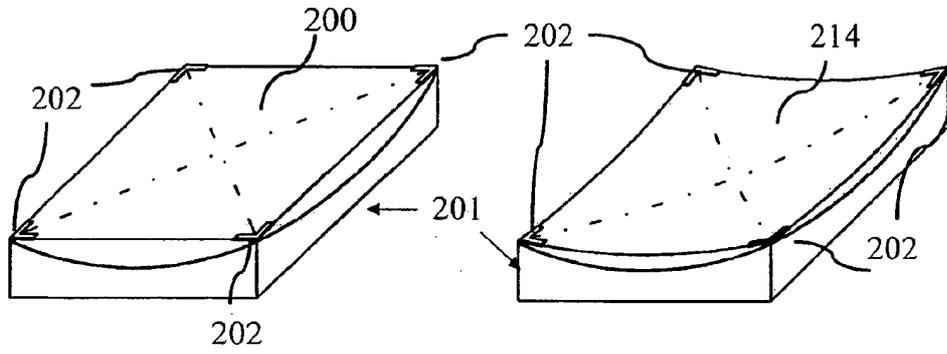


Fig. 31

Fig. 32

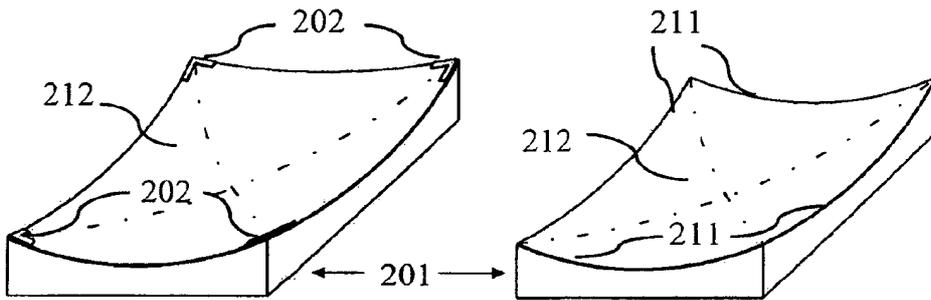


Fig. 33

Fig. 34

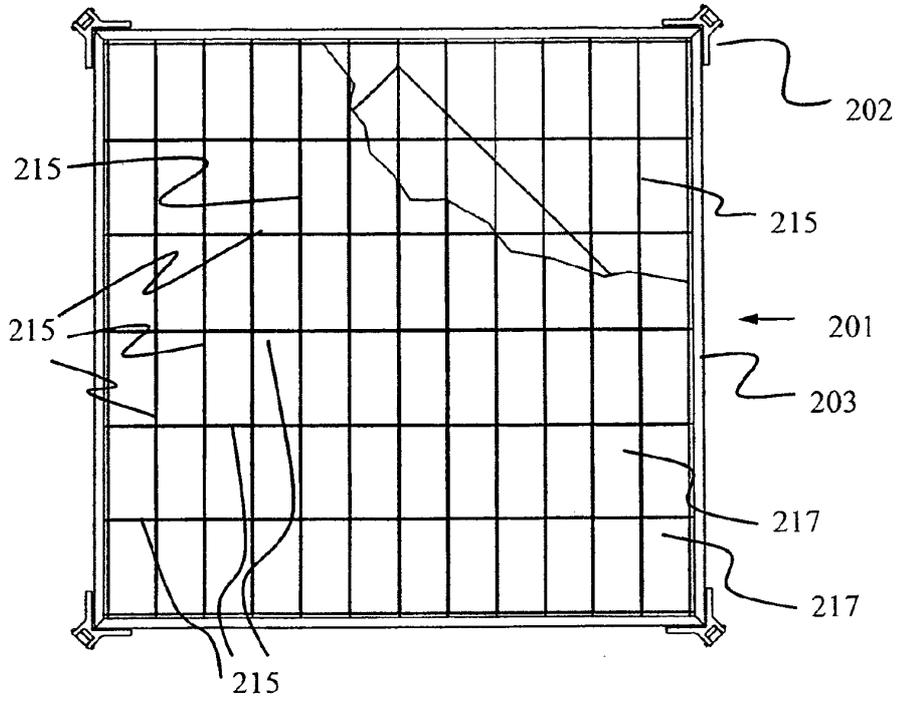


Fig. 35

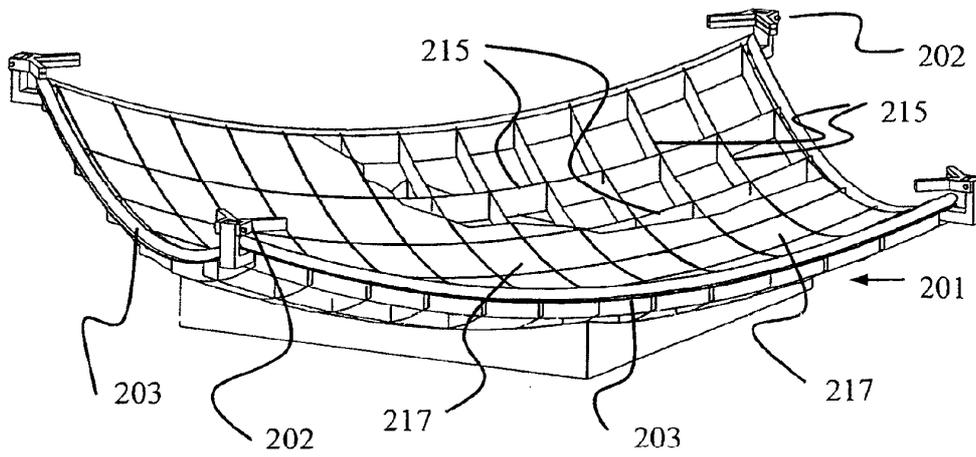


Fig. 36

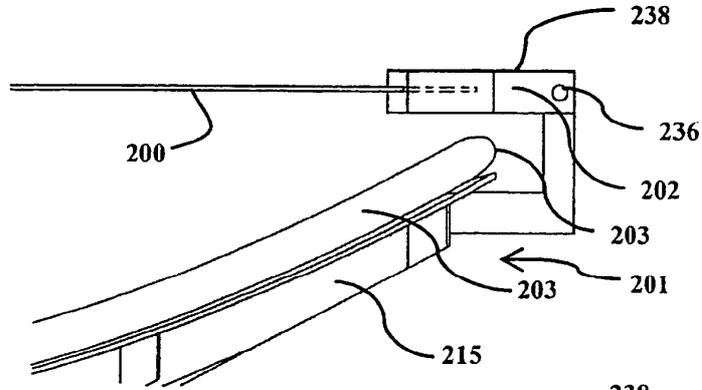


Fig. 37

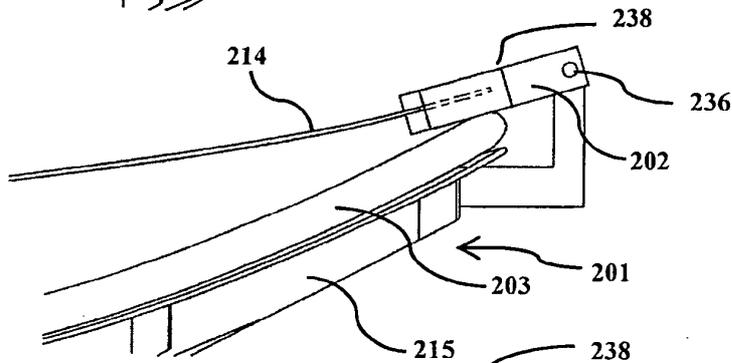


Fig. 38

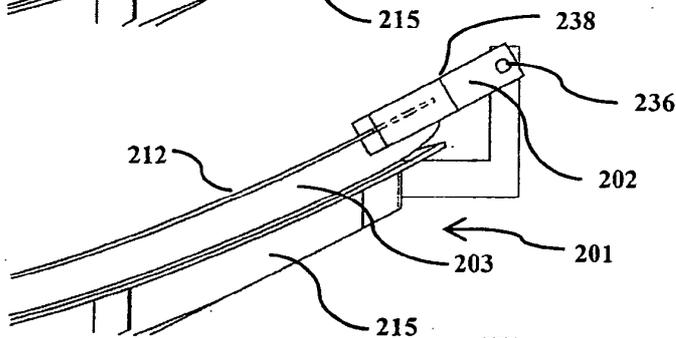


Fig. 39

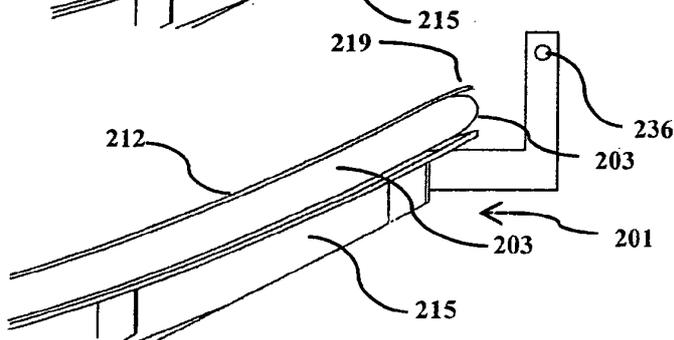


Fig. 40

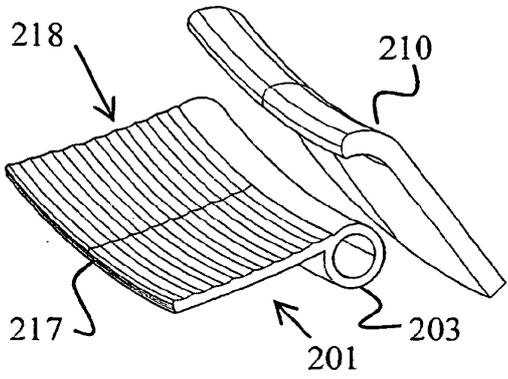


Fig. 41

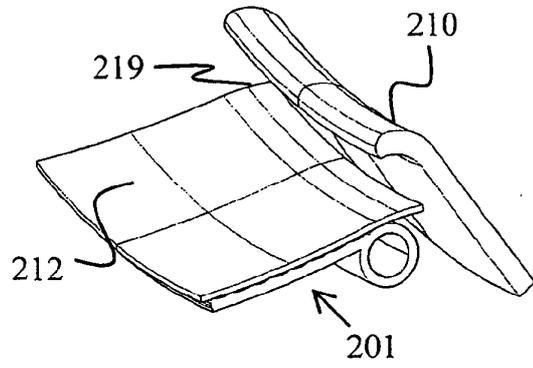


Fig. 42

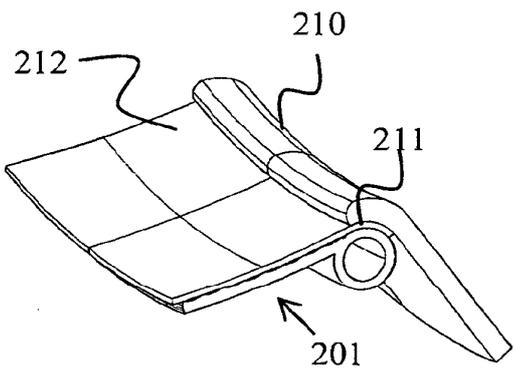


Fig. 43

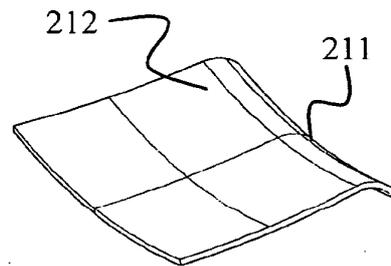
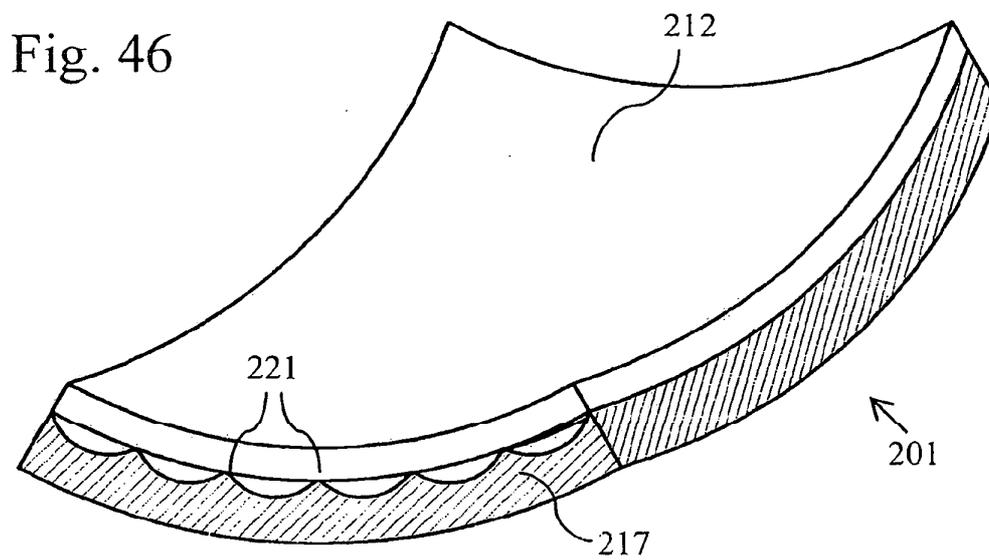
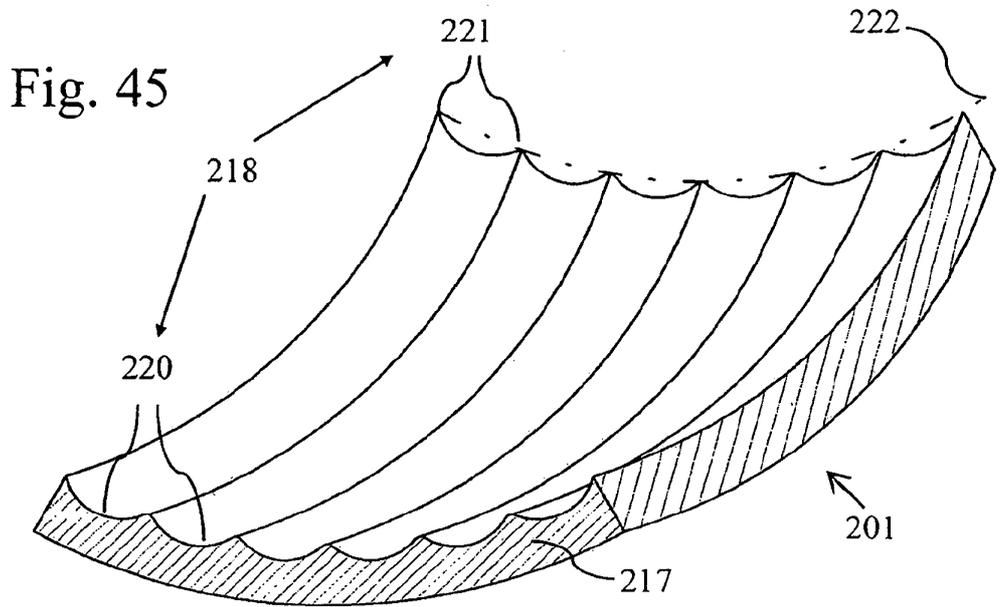


Fig. 44



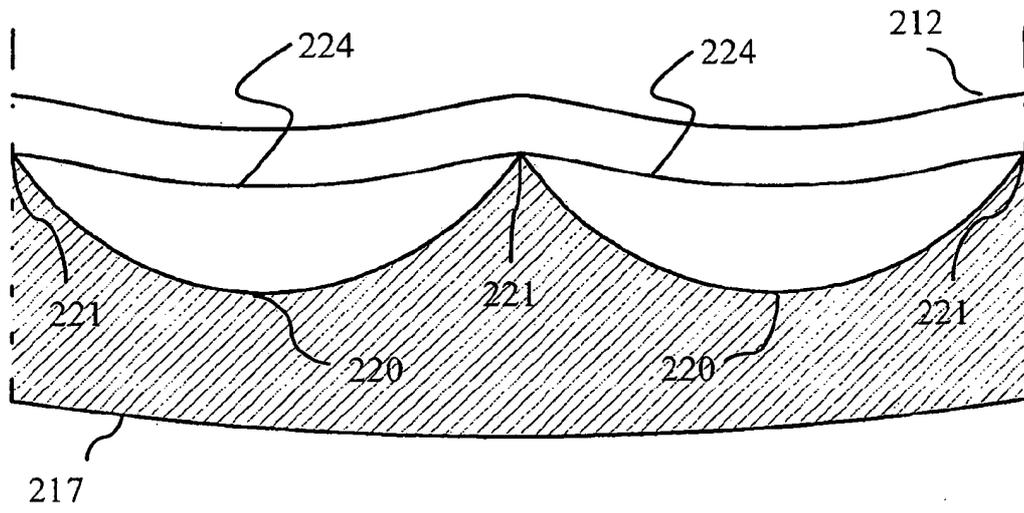


Fig. 47

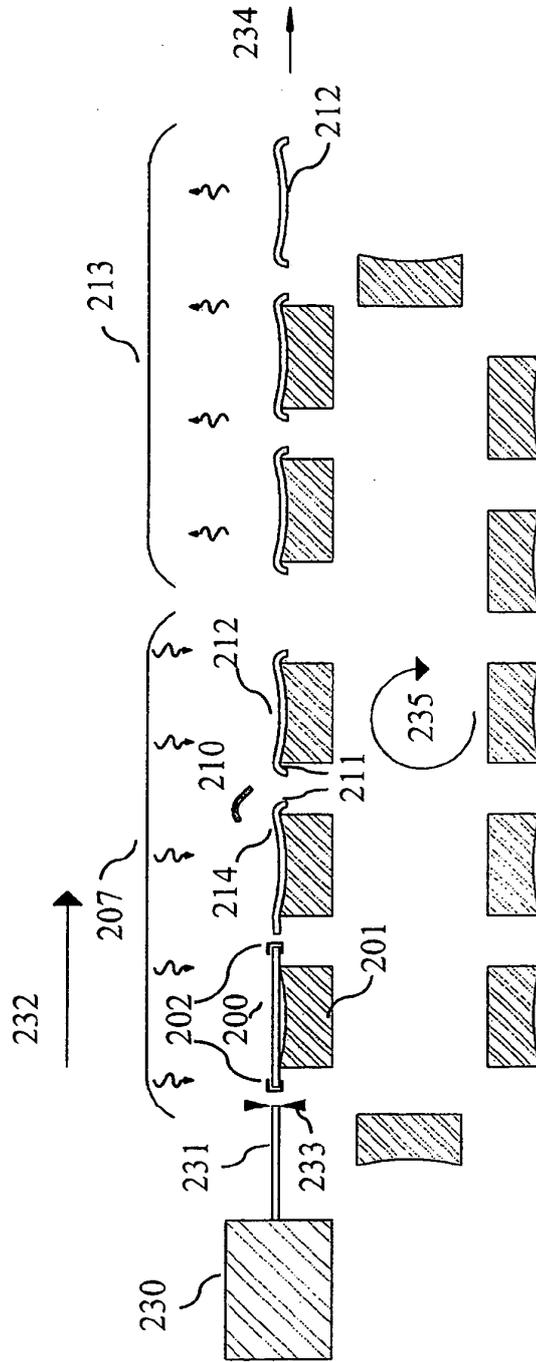


Fig. 48

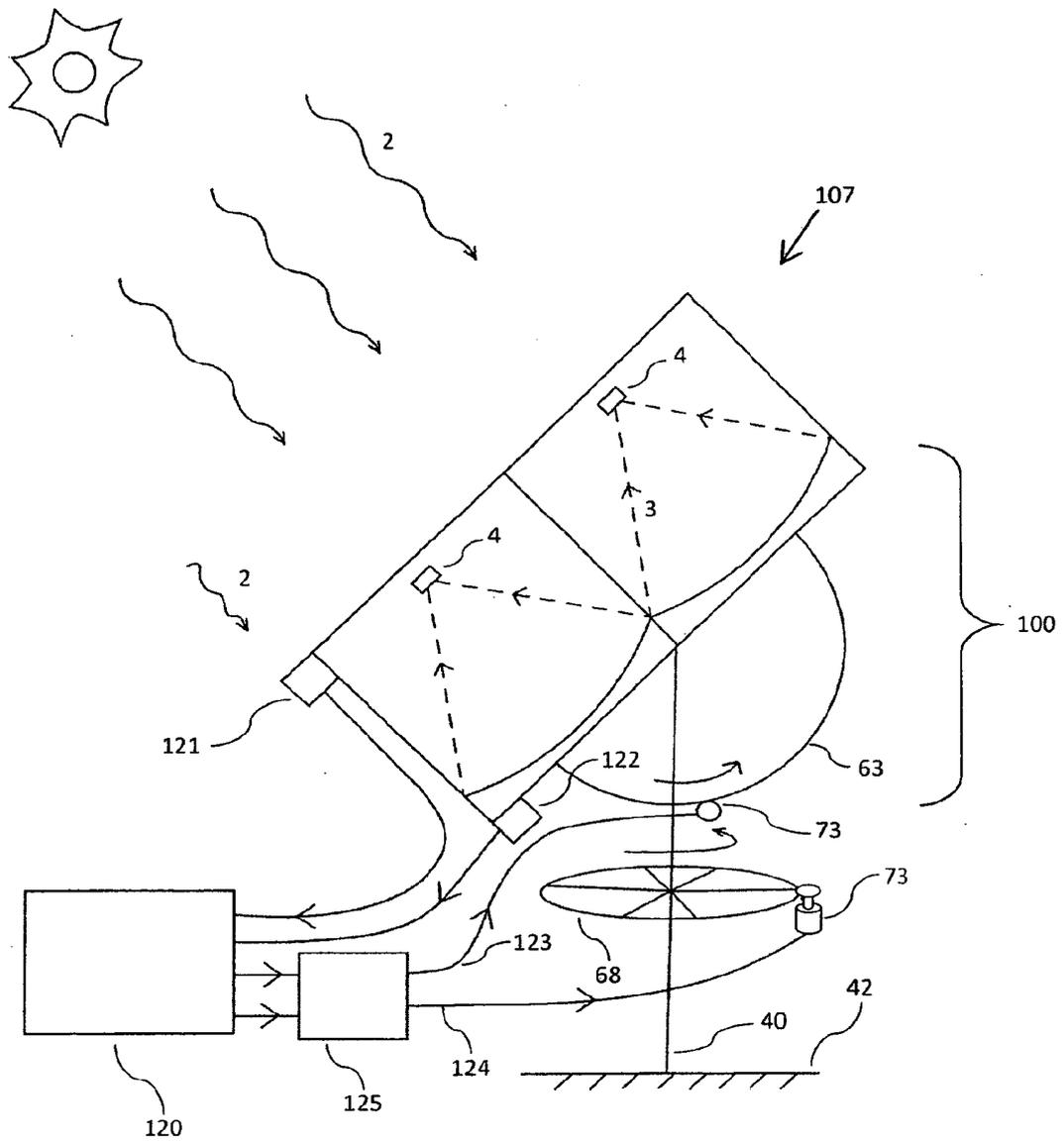


Fig. 49