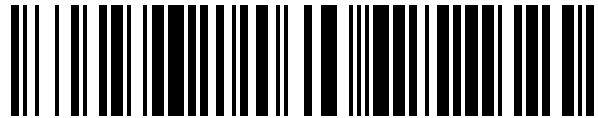


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **1 264 624**

21 Número de solicitud: 202032734

51 Int. Cl.:

**F24S 23/70** (2008.01)

12

SOLICITUD DE MODELO DE UTILIDAD

U

22 Fecha de presentación:

**18.12.2020**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**08.04.2021**

71 Solicitantes:

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID  
(100.0%)**

**Avda. Ramiro de Maeztu, nº 7  
28040 MADRID (Madrid) ES**

72 Inventor/es:

**MARTÍNEZ-VAL PEÑALOSA, Jose María;  
ABÁNADES VELASCO, Alberto;  
MUÑOZ ANTÓN, Javier;  
GONZÁLEZ PORTILLO, Luis Francisco;  
SAN MILLÁN RODRIGO, Julio y  
CANO NOGUERAS, Javier**

74 Agente/Representante:

**UNGRÍA LÓPEZ, Javier**

54 Título: **PLANTA SOLAR QUE COMPRENDE UNA TORRE CENTRAL Y UN CAMPO DE  
HELIOSTATOS, Y HELIOSTATO DE USO EN DICHA PLANTA SOLAR**

**ES 1 264 624 U**

## DESCRIPCIÓN

### PLANTA SOLAR QUE COMPRENDE UNA TORRE CENTRAL Y UN CAMPO DE HELIOSTATOS, Y HELIOSTATO DE USO EN DICHA PLANTA SOLAR

5

#### SECTOR DE LA TÉCNICA

La invención pertenece al campo técnico de la energía solar térmica y es de aplicación, especialmente aunque sin carácter limitativo, en instalaciones solares térmicas capaces de alcanzar concentraciones de radiación con una intensidad mayor que la natural, en un factor  
10 100 y superior.

#### PROBLEMA TÉCNICO A RESOLVER y ANTECEDENTES DE LA INVENCÓN

La radiación solar que llega a nuestro planeta, posee una intensidad baja, siendo habitualmente inferior a 1,4 kW por metro cuadrado orientado al sol. Tal aportación  
15 energética es muy buena para nuestra vida, y particularmente para la meteorología de nuestro medio ambiente, pero es demasiado baja para extraer de ella flujos de calor a temperatura suficiente para realizar aplicaciones industriales.

Para poder materializar dichas aplicaciones industriales, por ejemplo, con agua hirviendo a  
20 100 bar de presión y 311 °C, el flujo calorífico debe ser mucho más alto que el obtenible a partir de la radiación solar que incide directamente sobre nuestro planeta, por ejemplo, del orden de 150 kW/m<sup>2</sup>. En vista de ello, una solución conocida en el estado de la técnica consiste en concentrar la radiación solar original utilizando para ello medios ópticos, típicamente de reflexión.

25

Si el factor de concentración que se busca es muy inferior a 100, los medios ópticos de reflexión pueden diseñarse para que concentren la radiación solar en un solo eje, como sucede, por ejemplo, con los concentradores cilindro-parabólicos; pero si el flujo térmico requerido exige factores de concentración por encima de 100, es necesario emplear medios  
30 ópticos que concentren la radiación solar en dos ejes diferentes, típicamente denominados eje de azimut (o giro en el plano horizontal del lugar) y de eje elevación.

Un ejemplo público de medios ópticos capaces de concentrar la radiación solar en dos ejes diferentes son los heliostatos de la planta solar de la empresa "Gemasolar", ubicada en  
35 Fuentes de Andalucía, Provincia de Sevilla (España) y de los cuales puede encontrarse

información en <https://es.wikipedia.org/wiki/Gemasolar>; y con mayor precisión en <http://www.poweroilandgas.sener/es/proyecto/gemasolar>.

5 Dicha planta solar de Gemasolar es del tipo de torre central y comprende un conjunto de medios ópticos reflectores, llamados helióstatos, con capacidad de seguimiento y concentración solar en dos ejes, que reflejan la luz del sol y la concentran sobre un receptor central instalado en una torre.

10 Aunque algunos de los heliostatos de Gemasolar están dispuestos a lo largo de un radio que emana de la base de la torre, la superficie de éstos ( $120 \text{ m}^2$ ) y la separación que han de guardar entre ellos, no permite aprovechar ciertas propiedades geométricas. Existe por tanto en el sector, la necesidad de mejorar la disposición de los heliostatos en la planta solar para optimizar su capacidad de concentración de la radiación solar.

15 Lo más habitual en las plantas solares de torre central es disponer los heliostatos en pistas circulares alrededor de la torre, formando un campo de heliostatos, como se divulga en la solicitud de patente estadounidense US201562200570 (o en la correspondiente solicitud PCT WO2017024038).

20 Uno de los problemas graves en esta tecnología es perder el enfoque al sol a lo largo de su movimiento diurno, y estacional; lo cual obliga en general a disponer de un procedimiento digitalizado que parte de la posición del sol, bien sea medida, bien sea dada por tablas astronómicas, y llega a determinar el valor que deben tener los ángulos azimutales y de elevación, o cenitales, para que el enfoque al sol sea correcto. De ahí que existan algunos  
25 documentos, como el MX2013014689, que divulgan métodos para corregir la deriva que van experimentando los heliostatos en cuanto a sus resultados de enfoque.

Por otro lado, cuanto mayor es el tamaño del heliostato, más barato suele salir su estructura por metro cuadrado de espejo. Esa tendencia tiene -no obstante- un límite, a partir del cual  
30 el heliostato es excesivamente grande y los requisitos estructurales necesarios para soportar la acción de la gravedad y los efectos del viento resultan notablemente costosos. Los heliostatos de grandes dimensiones pueden presentar además, problemas de enfoque, pues las vibraciones y oscilaciones que aparecen en sus extremos pueden dar lugar a la aparición de perturbaciones de enfoque muy severas.

35

Los heliostatos pequeños tienen la ventaja de menores exigencias estructurales, pero presentan el inconveniente de que para cubrir la superficie de la planta solar destinada a los medios ópticos reflectores es necesario construir un elevado número de heliostatos diferentes. Por ejemplo en la planta de Gemasolar, la superficie especular de un heliostato es de  $120 \text{ m}^2$ , que aproximadamente corresponden a 120 teselas de espejo, cada una de las cuales recibe un pequeño giro en el montaje para centrar el enfoque.

Se podría pensar en heliostatos de  $6 \text{ m}^2$ , para aliviar el esfuerzo estructural, pero ello significaría 20 veces más heliostatos en número, lo cual sólo compensa si se encuentra un modo de mejorar el enfoque global de toda la luz reflejada, que es más sencilla de tratar en pequeñas unidades, sin hacer más caro todo.

Existe, por tanto, la necesidad de diseñar una planta solar cuyo campo de heliostatos tenga una configuración que reduzca la necesidad de dispositivos de enfoque y que, además, los heliostatos que forman dicho campo sean de montaje barato, fácil instalación sobre el terreno y de sencilla orientación de enfoque.

## EXPLICACIÓN DE LA INVENCION

Un primer objeto de la presente invención, se refiere a una planta solar que comprende una torre central y un conjunto de heliostatos, estando provista la torre central de un receptor destinado a recibir la radiación solar reflejada por los heliostatos y dotado de una parte activa de altura total  $\Delta H$  comprendida entre una altura inferior ( $H_0$ ) y una altura superior ( $H_1$ ), estando la planta solar **caracterizada** por que:

los heliostatos están dispuestos alrededor de la torre central formando radios que parten del punto central de la base de la torre y definen agrupaciones isócronas en las cuales:

- la línea de enfoque del primer heliostato de cada agrupación isócrona discurre desde el centro de dicho primer heliostato hasta el punto de altura inferior del receptor;
- la línea de enfoque del último heliostato de cada agrupación isócrona discurre desde el centro de dicho ultimo heliostato al punto de altura superior;
- las líneas de enfoque del primer heliostato y las líneas de enfoque del último heliostato de cada agrupación isócrona son paralelas entre sí; y
- para cada agrupación isócrona se cumple la relación:

$$\frac{H_0}{R_{10}} = \frac{H_1}{R_{11}}; (\dots); \frac{H_0}{R_{n0}} = \frac{H_1}{R_{n1}}$$

donde

( $R_{10}$ ) es la distancia desde el origen de radios al centro del primer heliostato de la primera agrupación isócrona de un radio predefinido;

5 ( $R_{11}$ ) es la distancia desde el origen de radios al centro del último heliostato de la primera agrupación isócrona de dicho radio;

( $R_{n0}$ ) es la distancia desde el origen de radios al centro del primer heliostato de la n-ésima agrupación isócrona de dicho radio; y

10 ( $R_{n1}$ ) es la distancia desde el origen de radios al centro del último heliostato de la n-ésima agrupación isócrona de dicho radio.

La planta solar objeto de la invención, es una estructura con dos grados de libertad, que corresponden a los dos giros que hay que hacer para el enfoque sobre la parte activa del receptor, que está en lo alto de la torre central; y dicha parte activa está comprendida entre  
 15 una altura  $H_0$  y una altura, mayor,  $H_1$ ; tomando como 0 el origen del sistema tridimensional de referencia que se adopte para expresar las prescripciones de la invención.

La distribución de los heliostatos alrededor de la torre central, se hace siguiendo radios seleccionados al efecto, y dentro de todos los heliostatos instalados siguiendo un radio  
 20 determinado, se denomina agrupación isócrona a una pluralidad de ellos, consecutivos, y que tienen el mismo ángulo de visual al receptor central, siendo dicho ángulo el formado por una recta horizontal que va desde el punto central del heliostato, al eje vertical del receptor central; y otra recta, llamada recta de enfoque, que va desde dicho punto central del heliostato, a un punto del eje vertical del receptor central, a una altura que corresponde a la  
 25 denominada zona activa del receptor; formando ambas rectas un plano vertical, que contiene al eje vertical del receptor central, y el punto central de todos y cada uno de los heliostatos que forman parte de una agrupación isócrona dada; siendo paralelas entre sí las rectas de enfoque de todos sus heliostatos, yendo la del heliostato más cercano a la torre, desde el punto central de su travesero hasta el punto de la parte activa del receptor a la  
 30 altura  $H_0$ , y yendo la del heliostato más lejano a la torre, desde el punto central de su travesero hasta el punto de la parte activa del receptor a la altura  $H_1$ .

El enfoque de los heliostatos de una agrupación isócrona se determina para todos a la vez, usando la definición esencial del campo y de la torre central, que son fijas, y la posición del sol, que varía, y se caracteriza por sus tres cosenos directores,  $c_x$ ,  $c_y$ , y  $c_z$ .

5 Ya se ha expuesto que las plantas solares según la presente invención, los heliostatos se despliegan en una distribución a lo largo de radios virtuales que parten del punto central de la base de la torre, en cuya parte superior está el receptor, cuya parte activa, donde se concentra verdaderamente la radiación reflejada, está a una altura que va desde  $H_0$ , que es su cota inferior, hasta  $H_1$ , que es su cota superior, siendo  $\Delta H$  la altura de la parte activa;

10 agrupándose en grupos, que denominamos agrupaciones isócronas, los heliostatos que están a lo largo de un mismo radio virtual y tienen paralelas las líneas de enfoque, que son las que van desde el centro del heliostato, a un punto dado de una línea vertical virtual, en la parte activa del receptor, especificándose que, para una determinada agrupación isócrona de heliostatos radialmente dispuestos (a la que designaremos con la referencia genérica  $n$ ),

15 el primero de dichos heliostatos ellos tiene su línea de enfoque ( $LE_{n0}$ ) desde su centro al punto de altura  $H_0$  y el último heliostato de la agrupación isócrona tiene su línea de enfoque ( $LE_{n1}$ ) desde su centro al punto de altura  $H_1$ ; cumpliéndose que, si  $R_{n0}$  es la distancia desde el origen de radios al centro del primer heliostato de dicha agrupación isócrona, y  $R_{n1}$  es la distancia desde el origen de radios al centro del último heliostato del agrupación isócrona, el

20 cociente  $H_0/R_{n0}$  es igual a  $H_1/R_{n1}$ ; y ambas líneas de enfoque son paralelas.

De acuerdo con la nomenclatura empleada, si la agrupación isócrona seleccionada es la primera (es decir, es la más próxima a la torre central a lo largo de un determinado radio), entonces  $n=1$ ; si la agrupación isócrona seleccionada es la segunda, entonces  $n=2$ , si la

25 agrupación isócrona seleccionada es la tercera, entonces  $n=3$  y así sucesivamente.

En una realización preferida de la invención el segmento de radio comprendido entre el primer heliostato y el último heliostato de al menos una agrupación isócrona está dividido en  $m$  partes iguales, estando alojado un heliostato diferente al final de cada una de dichas

30 partes.

Gracias a esta distribución de heliostatos dentro de la agrupación isócrona es posible alojar  $m-1$  heliostatos intermedios, al final de cada parte, y en todos ellos conservar constante el cociente  $H/R$ , que equivale a que todas las líneas de enfoque de los heliostatos de una

35 agrupación isócrona sean paralelas entre sí. Como además también lo son entre sí los rayos solares que inciden en el centro de cada heliostato, los planos generados por cada línea de enfoque y el citado rayo solar, son también paralelos entre sí; y la bisectriz del ángulo de

reflexión, estará contenida en dicho plano; y será la recta que marque la normal a la posición del heliostato, que en principio podemos asociar a una plancha virtual plana, cuyo centro coincide con el pivote central de giro bidimensional, coincidiendo la normal a dicha plancha con la mencionada bisectriz.

5

Para determinar el vector unitario o dirección tridimensional de la bisectriz, basta calcular el ángulo azimutal y el ángulo de elevación (o su complementario, que es el ángulo cenital) para lo cual la invención se expresa en un sistema cartesiano tridimensional, en el cual se emplea como plano  $x$ , y el plano horizontal del lugar, con el eje  $x$  apuntando al Este; y el eje  $y$  apuntando al Norte, y siendo su normal el eje  $z$ , que apunta al cenit local.

10

Se emplea en esta descripción la geografía del hemisferio norte, en la cual el campo de heliostatos queda al norte del receptor, cuya parte activa mira al norte; y en la mayor parte del recorrido solar diurno, el sol está más al sur que el plano vertical Este-Oeste. Sólo en verano, a primeras horas de la mañana o a últimas de la tarde, se tiene al sol al norte de dicho plano vertical que contiene al paralelo local.

15

Preferiblemente, en las plantas solares según la presente invención, el enfoque de los heliostatos de una agrupación isócrona se determina para todos a la vez, usando la definición esencial del campo y de la torre central, que son fijas, y la posición del sol, que varía, y se caracteriza por sus tres cosenos directores,  $c_x$ ,  $c_y$ , y  $c_z$ . Interesa determinar, a partir de ellos, la traza del Sol en el plano  $y=0$ , teniendo en cuenta que el rayo en cuestión incidirá en el punto central del heliostato, que está situado en las coordenadas  $(x_0, y_0, 0)$ . A su vez, el punto del receptor de torre en el que tiene que incidir la radiación reflejada desde el punto central del heliostato de referencia, es  $(0, 0, z_0)$ .

20

25

El sol tendrá una marca o traza en el plano horizontal, de ecuación  $z=0$ , que coincidirá con las coordenadas del punto central del heliostato,  $x_0$  e  $y_0$ .

30

Queda por determinar la traza solar al atravesar el plano vertical que contiene al paralelo, esto es  $y=0$ ; para lo cual hacen falta los cosenos directores de la luz solar tal como nos llega al lugar. Téngase en cuenta que el avance de la luz a lo largo de cada eje, es proporcional a su coseno director; y que el avance a lo largo del eje  $y$ , va desde  $y=0$  a  $y=y_0$ .

35

Así pues, se tiene que la cota  $z_s$  de la traza solar es

$$z_s = y_0 \cdot C_z / C_y$$

y el valor de la abscisa Este Oeste.

$$x_s = x_0 + y_0 \cdot C_x / C_y$$

- 5 Para determinar la bisectriz (o más exactamente sus cosenos directores) se tiene en cuenta que ésta arranca en el centro del heliostato, y va hasta una traza en el plano  $y=0$  que está en el segmento de línea recta que une el punto focal del receptor con la traza solar, siendo las distancias desde la traza de la bisectriz a uno y otro punto, proporcionales a las distancias desde cada punto extremo del segmento, al punto central del heliostato. Ello es aplicable a cada coordenada por separado.

La distancia desde el punto focal hasta el centro del heliostato, que denominamos DB, es

$$DB = (x_0^2 + y_0^2 + z_0^2)^{1/2}$$

- 15 Y la distancia desde la traza solar al centro del heliostato, DC

$$DC = ((x_s - x_0)^2 + y_0^2 + z_s^2)^{1/2}$$

Las coordenadas de la traza de la bisectriz en el plano  $y=0$ , son, además de ésta ( $y_b=0$ ),

$$20 \quad z_b = z_0 + (z_s - z_0) \cdot (DB / (DB + DC))$$

$$x_b = x_s \cdot (DB / (DB + DC))$$

La distancia del centro del heliostato a la traza de la bisectriz, que denominamos LB, obedece a

$$25 \quad LB = ((x_b - x_0)^2 + y_0^2 + z_b^2)^{1/2}$$

Y los cosenos directores son

$$B_x = (x_b - x_0) / LB$$

$$B_y = y_0 / LB$$

$$B_z = z_b / LB$$

30



Y a partir de ellos, quedan establecidos los ángulos que se han de llevar a cabo para el enfoque. Para ello se define en primer lugar la posición de referencia, posición 0 de todos los heliostatos, que es perfectamente vertical, mirando al sur. El azimut es por tanto 0° en esa posición, y la elevación también es 0°, pues la normal al espejo es una horizontal.

5

El azimut se considera negativo cuando el giro de la normal del espejo señala hacia la parte del Este, y positivo en el caso opuesto.

10 De este modo, en una realización preferida de la invención, en al menos una agrupación isócrona, el azimut de enfoque (Az) y el ángulo de elevación (Ae) de los heliostatos que componen dicha agrupación isócrona vienen determinados por:

$$Az = \text{arc tg} ((x_0 - x_b)/y_0),$$

y

15  $Ae = \text{arc tg} ( z_b / ( (x_b - x_0)^2 + y_0^2 )^{1/2} )$

*donde*

$x_0$  es la abscisa (coordenada en la dirección Este-Oeste) del punto central del heliostato de la agrupación isócrona que se esté considerando,

20  $x_b$  es la abscisa de la traza, en el plano virtual  $y=0$ , de la bisectriz del ángulo de reflexión en el centro de dicho heliostato,

$y_0$  es la ordenada, en dirección Norte-Sur, del punto central del heliostato de la agrupación isócrona considerado,

y

25  $z_b$  es la cota de la traza, en el plano virtual  $y=0$ , de la bisectriz del ángulo de reflexión en el centro de dicho heliostato.

La invención aprovecha estas propiedades trigonométricas para incorporar los mecanismos con los que efectuar los giros, azimutal y de elevación, requeridos en cada momento.

30

Un segundo aspecto de la presente invención, se refiere a un heliostato de uso en una planta solar como las descritas anteriormente. Dicho heliostato comprende:

- un báculo central vertical rotatorio, insertado por su extremo inferior en una vaina cilíndrica hincada en tierra, y que finaliza por su extremo superior en una horquilla doble abierta hacia arriba;
- 5 - un travesero principal alojado en la horquilla doble abierta hacia arriba, que está unido a una pluralidad de largueros, sobre los cuales están fijos unos módulos de espejos, estando dispuestos los módulos de espejos a un lado y otro del plano de simetría central del heliostato, donde se encuentra el báculo vertical;
- unos medios de giro dispuestos en la zona central del travesero, seleccionados entre una rueda central fija a la parte central del travesero y un par de brazos perpendiculares al  
10 travesero y fijos en él, estando configurados dichos medios de giro para girar con el travesero cuando dicho travesero gira sobre la doble horquilla; y
- una plataforma horizontal solidaria al báculo central en su parte inferior, estando dicha plataforma horizontal configurada para girar con el báculo central y para apoyarse en su parte periférica en una pluralidad de ruedas de giro libre, cuyos ejes de giro están apoyados  
15 en una estructura en horquilla provista de un tallo hincada en tierra, o apoyados en una pieza de cimentación, de forma que la arista superior de todas las ruedas está dispuesta a la misma altura.

En esta realización particular de la invención, el centro del heliostato coincide con el punto  
20 central de su travesero.

El método de accionamiento de los giros de cada heliostato puede ser, -preferiblemente- eléctrico o mecánico. En caso de que el accionamiento sea eléctrico (designado como "montaje eléctrico"), cada heliostato está provisto de al menos un motor eléctrico; mientras  
25 que caso de que el accionamiento sea mecánico (designado como "montaje mecánico") todos los heliostatos de una agrupación isócrona están provistos de un actuador acimutal (encargado del giro acimutal) y de un actuador cenital (encargado de permitir el giro de elevación o cenital), estando provistos además cables de transmisión mecánica desde cada actuador hasta cada heliostato de la agrupación isócrona. En esta realización de la  
30 invención, el actuador azimutal está preferiblemente situado en el la línea del radio de la agrupación isócrona en una posición más cercana a la torre central que el primer heliostato de dicha agrupación isócrona, y el actuador cenital está situado en una posición más alejada de la torre central que el último de los heliostatos de dicha agrupación isócrona.

35 En el montaje mecánico, hay un actuador que permite realizar los giros azimutales de los heliostatos de una agrupación isócrona y un actuador que permite realizar los giros

cenitales. Tales actuadores funcionan preferiblemente, bien por motor eléctrico controlado, bien por presión en circuito hidráulico.

Asimismo, preferiblemente en el montaje mecánico:

- 5 - el actuador azimutal está unido a un cable de tracción dextrógiro, y un cable de tracción levógiro, que actúan de forma antagonista entre sí; y
- el actuador cenital está unido a un cable agonista y un cable antagonista que actúan de forma antagonista entre sí, estando cada uno de dichos cables unido a un brazo perpendicular al travesero (de los medios de giro); estando configurado el cable agonista para elevar la normal de los módulos de espejos; y estando extremo libre el cable antagonista unido a un muelle (o dinamómetro) de elongación fijado a la parte trasera de la plataforma, de modo que la acción del muelle está configurada para llevar al heliostato a una posición de descanso, de defensa contra meteoros y contra la producción de reflejos indebidos.
- 10

15

En esta realización del heliostato según la presente invención, si se deja sin tensión el cable agonista, la acción del muelle antagonista resulta dominante, y al contraerse del todo el muelle, los espejos quedan en la posición de descanso, horizontales, mirando hacia abajo; y precisamente el cable antagonista se monta poniendo a los espejos en la posición de descanso, y el muelle sin tensión, y el cable se une por uno de sus extremos al muelle, y por el otro al extremo del brazo antagonista, de tal modo que queden sus sucesivos segmentos rectos, pero sin tensión mecánica; y será el muelle el que entre en tensión y se alargue, cuando comience a tirar el cable del actuador, agonista; manteniendo la tensión en ese cable hasta alcanzar, con el antagonismo del muelle, el giro cenital en dicha normal, que es el necesario para que coincida la normal con la bisectriz de enfoque.

20

25

30

A lo largo de la presente descripción se sobreentiende que el primer heliostato de una agrupación isócrona es aquel que está más cerca de la torre central, mientras que el último heliostato de una agrupación isócrona es aquel que está más alejado de la torre central.

En el montaje eléctrico del heliostato puede usarse un sólo motor eléctrico, que alternativamente, y por medio de un embrague, salte a atender los giros azimutales y cenitales. Asimismo, en otra realización de la invención, el heliostato puede comprender:

- un motor eléctrico acimutal anclado en el suelo, provisto de con una polea de arrastre que se mueve solidariamente con una cadena o correa, que a su vez es solidaria en su giro con una rueda horizontal fijada al pilar o al báculo rotatorio central; y
  - un motor eléctrico cenital, dispuesto en la parte trasera de la plataforma y conectado a la
- 5 rueda vertical fija a la parte central del travesero, mediante una correa o cadena.

### **EXPLICACIÓN DE LAS FIGURAS**

Las figuras, en general, no están a escala, pues los tamaños relativos de los elementos son muy dispares; pero son representativas de la invención y de sus principios de funcionamiento.

10

La figura 1 muestra esquemáticamente el sistema de coordenadas que caracteriza la reflexión un heliostato de una planta solar según la presente invención;

La figura 2 muestra el triángulo fundamental de la reflexión, en el plano creado por el rayo incidente y el reflejado en un heliostato de una planta solar según la presente invención;

15 La figura 3 muestra el perfil simplificado de una planta solar según la presente invención, a lo largo de uno de sus radios;

La figura 4 es una vista en planta que muestra de forma esquemática y simplificada (sólo en un sector), la distribución radial de heliostatos en una planta solar según la presente invención;

20 La figura 5 es una vista esquemática parcial a lo largo de un radio de una planta solar según la presente invención, que muestra la separación que debe haber entre heliostatos sucesivos de una misma agrupación isócrona, para evitar bloqueos de la radiación reflejada. Se incluye una referencia (no a escala) a la ubicación de la torre central;

25 La figura 6 es una vista de perfil de una primera realización de un heliostato según la presente invención, con montaje eléctrico de dos motores, uno azimutal y el otro cenital;

La figura 7 es una vista en planta del heliostato de la figura 6;

La figura 8 es una vista de perfil de una segunda realización de un heliostato según la presente invención, en posición de reposo y con montaje mecánico;

30 La figura 9 es el heliostato de la figura anterior, en el giro donde se produce la mayor elevación, casi mirando al cenit;

La figura 10 corresponde al heliostato de la figura 8, en una posición de trabajo;

La figura 11 es una vista en planta del heliostato de la figura 8, de montaje mecánico;

La figura 12 muestra un detalle de la parte superior del báculo central, donde se asienta el travesero principal de un heliostato según cualquiera de las reivindicaciones 6 a 11.

Para facilitar la comprensión de las figuras de la invención, y de sus modos de realización, a continuación se relacionan los elementos relevantes de la misma:

1. Receptor de la torre central;
- 5 2. Punto central de la base de la torre central que se toma como origen del sistema de coordenadas espaciales, (x, y, z);
3. Heliostato. La ubicación del punto (3) corresponde al centro de giro bidimensional de dicho heliostato, que en los heliostatos según la presente invención coincide con el centro del travesero (30) del heliostato;
- 10 4. Punto que representa la traza del Sol en el plano vertical que pasa por el origen de coordenadas (2) y es perpendicular al meridiano local, o línea Norte-Sur, y corresponde a la ecuación  $y=0$ . Dicha traza es la intersección de dicho plano  $y=0$  con el rayo solar central que incide, en un momento dado, en el heliostato caracterizado por el punto 3;
- 15 5. Punto que marca la intersección con el plano  $y=0$ , de la bisectriz del ángulo formado por las rectas que van del punto 3 al punto 1, y del punto 3 al punto 4, con vértice en el punto 3, lógicamente. El punto 5' es la proyección del punto 5 sobre el eje de las x (eje 8, 8');
- 20 6. Eje z, vertical sobre el punto 2, y en el cual se encuentra el punto 1, a una altura genérica H (que se precisa para diversos casos);
7. Eje de coordenadas y, que va en dirección Sur-Norte;
8. Eje x, que marca la tangente local del paralelo en el punto 2, y va desde el Oeste (referenciado con 8') al Este (8);
9. Radio sobre el que se dispone un conjunto de heliostatos;
- 25 10. Parte activa del receptor de la torre central;
11. Agrupación isócrona. Representa el conjunto de heliostatos a lo largo de un radio, cuyos espejos tienen paralelas sus líneas de enfoque sobre la parte activa (10) del receptor (1) de la torre central;
- 30 12. Vaina encastrada en el terreno destinada a alojar el pilar giratorio central (14) del heliostato (3);
13. Bola o cojinete que permite el giro del pilar giratorio (14);
14. Pilar o báculo vertical giratorio del heliostato, ubicado en la parte central del mismo;
15. Zapata o pieza de cimentación que soporta una rueda invertida (17);

16. Estructura que soporta a la rueda invertida (17) y se apoya fijamente en una pieza o zapata (15);
17. Ruedas invertidas sobre las que gira la plataforma horizontal del heliostato;
18. Motor eléctrico (o motor azimutal) que permite el giro azimutal de la parte giratoria del heliostato (pilar, más estructura, más espejos);
19. Zapata o pieza de cimentación en la que asienta el motor acimutal (18);
20. Cadena o correa de transmisión desde el motor 18 al disco fijo (28) en el pilar giratorio (14);
21. Plataforma o plancha horizontal que gira con el pilar (14);
22. Estructura soporte del motor de elevación (23);
23. Motor de elevación (o motor cenital), que eleva los espejos del heliostato, en sentido cenital;
24. Correa de transmisión desde el motor cenital (23) al disco vertical (27) fijo al travesero principal (30) de la estructura del heliostato;
25. Largueros de la estructura del heliostato en la que asientan los espejos (al menos, hay uno a cada lado del plano central de simetría del heliostato) estando contenida en dicho plano la bisectriz del enfoque (línea LB);
26. Espejos del heliostato;
27. Disco vertical fijo al travesero principal (30) de la estructura, con el que se realiza el movimiento cenital, pues dicho travesero gira sobre la horquilla del pilar giratorio (14);
28. Disco horizontal fijo al pilar (14) que gira por acción de la correa o cadena (20) del motor azimutal (18).
29. Circunferencia en la que se inscribe el movimiento cenital de los espejos del heliostato y su estructura (panel orientable);
30. Travesero principal de la estructura del heliostato;
31. Circunferencia virtual en la que se inscribe el movimiento cenital de los brazos posteriores del heliostato, que sólo existen en el montaje puramente mecánico;
32. Actuador azimutal de una agrupación isócrona, que se sitúa más cerca de la torre central, que el más cercano de los heliostatos de dicha agrupación;
33. Disco horizontal fijo al pilar (14) que gira por acción de la correa de tracción levógira (34) o dextrógira (35) proveniente de un actuador azimutal que sirve para toda la

agrupación isócrona; en el montaje mecánico dichas correas se extienden de un heliostato al siguiente;

- 34. Correa de tracción levógira del disco (33);
- 35. Correa de tracción dextrógira del disco (33);
- 5 36. Actuador del giro de elevación (o actuador cenital) de una agrupación isócrona. En el montaje mecánico, dicho actuador se sitúa más lejos de la torre central, que el más lejano de los paneles de dicha agrupación;
- 10 37. Guía por donde se canaliza el cable de tensión mecánica del giro cenital (39), que va desde el actuador (36) a cada uno de los heliostatos de una agrupación isócrona (11);
- 38. Pasa-cable con entrada y salida en trompeta, por donde se canaliza el cable de tensión mecánica (39) del movimiento cenital del heliostato;
- 39. Cable de tensión mecánica que tira del brazo agonista (40);
- 15 40. Brazo posterior del heliostato o brazo agonista, que sólo existe en el montaje puramente mecánico, y sirve para efectuar el movimiento cenital de enfoque alzando la normal al panel, de todos los heliostatos al unísono, de una misma agrupación isócrona;
- 20 41. Brazo posterior del heliostato o brazo antagonista, que sólo existe en el montaje puramente mecánico, y sirve para contrarrestar la tensión del brazo agonista, en el movimiento cenital de enfoque, de todos los heliostatos al unísono, de una misma agrupación isócrona);
- 42. Cable que une el extremo libre del brazo antagonista (41) con el extremo libre del muelle antagonista (44).
- 43. Estructura soporte, con polea, del cable 42;
- 25 44. Muelle antagonista para situar fijamente la elevación cenital del enfoque;
- 45. Patas de la horquilla superior del báculo central (14) donde se encuentran las hendiduras para montar el eje del travesero principal (30). Por el espacio entre dichas patas ha de pasar el brazo antagonista (41) en su giro acompañando al panel en su movimiento de elevación para enfoque;
- 30 46. Hendiduras de las patas de la horquilla;
- 47. Terreno;
- 48. Torre central;
- 49. Normal a los espejos del heliostato;

50. Bisectriz de enfoque. Para que el heliostato esté enfocado, la normal a los espejos (49) ha de coincidir con esta bisectriz;

5 Además de las etiquetas numéricas, se utilizan otras alfabéticas, que comienzan con A, si son ángulos:

Aa : semi-ángulo de la bisectriz en el punto 3 (figura 2);

Ab : ángulo, en el punto 4, opuesto al lado DB;

Ac : ángulo en el punto 1, opuesto al lado DC;

Ad : ángulo auxiliar, en la figura 2, para determinar la traza de la bisectriz;

10 Ae: ángulo de elevación de la normal (49) a los espejos del heliostato, para producir el enfoque correcto;

Av: ángulo de la línea de enfoque, sobre el radio. ( $Av_1$  y  $Av_n$  representan en la figura 3 dos valores concretos de Av que corresponden, respectivamente, la primera agrupación isócrona de heliostatos y a la agrupación n-ésima de heliostatos en un determinado radio);

15 Az: ángulo azimutal, que indica el giro horizontal que tiene que adoptar la normal (49) a los espejos del heliostato, cuando están correctamente enfocados. Se mide desde la dirección Sur (mirando al sur). Es negativo si la desviación es hacia el Este, y positivo si es hacia el Oeste.

En cuanto a distancias, longitudes o alturas, se tiene:

20 DA : distancia entre el punto 1 y el punto 4;

DB : distancia entre el punto 1 y el punto 3;

DC : distancia entre el punto 3 y el punto 4;

Dp: altura física del panel orientable del heliostato, que gira sobre su centro, barriendo un círculo de diámetro Dp;

25 Dr1: distancia entre el punto (1) y la recta bisectriz;

Dr2: distancia entre el punto (4) y la recta bisectriz;

LB: longitud de la bisectriz, desde su origen en (3) hasta su traza en (5) en el plano  $y=0$ ;

LE= línea de enfoque que va desde el punto central (3) hasta el correspondiente de incidencia en el receptor. A veces va sub-indicada, para referirse a un caso particular, así

30  $LE_{10}$  y  $LE_{n0}$  son -respectivamente- las líneas de enfoque del primer heliostato de la primera agrupación isócrona y del primer heliostato de la agrupación isócrona n-ésima. De forma similar,  $LE_{11}$  y  $LE_{n1}$  son -respectivamente- las líneas de enfoque del último heliostato de la primera agrupación isócrona y del último heliostato de la agrupación isócrona n-ésima;



$H_0$ : altura inferior, o altura del punto más bajo de la parte activa del receptor;

$H_1$ : altura superior, o altura del punto más alto de la parte activa del receptor;

$R_{10}$ : distancia radial en la que se encuentra el punto central del primer heliostato de la primera agrupación isócrona, identificada por ( $A_{v1}$ );

5  $R_{11}$ : distancia radial en la que se encuentra el punto central del último heliostato de la primera agrupación isócrona, identificada por ( $A_{v1}$ );

$R_{n0}$ : distancia radial en la que se encuentra el punto central del primer heliostato de la  $n$ -ésima agrupación isócrona, identificada por ( $A_{vn}$ );

10  $R_{n1}$ : distancia radial en la que se encuentra el punto central del último heliostato de la  $n$ -ésima agrupación isócrona, identificada por ( $A_{vn}$ );

De: altura total de los espejos más estructura, que es el diámetro del círculo (29).

### **MODO DE REALIZACIÓN DE LA INVENCION**

15 Para la correcta materialización de la invención, es preciso tener en cuenta las propiedades que se desprenden de una disposición de los heliostatos en campo radial, esto es, agrupados por agrupaciones isócronas 11 que ofrecen características geométricas uniformes, y que en particular presentan los mismos valores de orientación azimutal y cenital en un momento dado. De ahí que sea muy importante analizar cómo se constituye el campo, y qué ventajas aporta de cara a la construcción de los heliostatos, que además han de  
20 consumir recursos modestos y baratos, dada la necesidad de reducir costes en esta fuente de energía.

25 Para ello en las figuras 1 y 2 se exponen las relaciones básicas entre los elementos geométricos de la planta solar según la presente invención, que son esencialmente los heliostatos 3 y el receptor 1, a una cierta altura, más el sol. Téngase en cuenta que en teoría, la máxima concentración de la radiación solar que se puede conseguir con concentración bidimensional es un factor 46.000 (en números redondos) que baja a 215 para la concentración en un solo eje, que es la más común. Pero las aplicaciones térmicas disponibles, como las que utiliza aceite sintético como fluido calorífero, y ciclo de Rankine en  
30 la generación de potencia, no requieren flujos térmicos por encima de 50 kW/m<sup>2</sup>, lo que justifica que las instalaciones cilindro-parabólicas, las más extendidas hoy día, no pasen de un factor máximo de 100, y en la media de la zona útil de concentración no se supere 70.

35 Asimismo, la figura 3 muestra el perfil simplificado de una planta solar según la presente invención, a lo largo de uno de sus radios 9. La figura 4 es, a su vez, una vista en planta

que muestra de forma esquemática y simplificada (sólo en un sector), cómo se distribuyen radialmente los heliostatos 3 definiendo agrupaciones isócronas 11 en una planta solar según la presente invención.

5 Además, la figura 5 es una vista esquemática parcial a lo largo de un radio 9 de una planta solar según la presente invención, que muestra la separación que debe haber entre heliostatos 3 sucesivos de una misma agrupación isócrona 11, para evitar bloqueos de la radiación reflejada. Se incluye una referencia (no a escala) a la ubicación de la torre central 48.

10

Aunque las aplicaciones de torre central 48 deben estar destinadas al desarrollo y explotación de ciclos de mayor temperatura, y más eficientes, y con mejores prestaciones de arranque y transitorios, no parece necesario subir de  $300 \text{ kW/m}^2$ , lo que hace innecesarios factores de concentración por encima de 500; por ejemplo, 250. Eso se logra concentrando sobre  $1 \text{ m}^2$  de superficie de receptor, la superficie total de espejos que reflejara  $250 \text{ m}^2$  de sección recta orientada al sol. Esto implica tener en cuenta el efecto coseno tanto en incidencia en el espejo, en reflexión, como en incidencia en el receptor, lo cual habría que calcular en valores medios anuales según la latitud. Como valores medios para  $35\text{-}40^\circ$  de latitud se puede tomar como serie de esos cosenos 0,7, 0,8 y 0,75, cuyo producto da 0,42.

15

20 Es decir, sería necesario disponer de  $600 \text{ m}^2$  por  $\text{m}^2$  de receptor; y si se cuenta que la parte activa de la torre podría tener 10 m de altura, habría que ubicar  $6.000 \text{ m}^2$  en el sector circular asignado a ese metro de longitud horizontal de receptor; al que se le podría asignar 0,2 radianes de apertura de sector, entre radios de corona circular de 200 a 500 m. Este trapecoide (con dos lados curvos) tendría algo más de  $20.000 \text{ m}^2$ , lo que supondrá un factor de llenado de 0,3 (superficie de espejo sobre superficie de planta).

25

Esto es muy fácil de lograr con heliostatos pequeños (sobre todo, en altura) con menos de  $10 \text{ m}^2$  de espejos por unidad. Esto presenta una enorme ventaja, y es que al ser pequeño el peso útil suspendido (el de los espejos) la parte estructural resulta muy liviana, y su coste asociado se reduce.

30

La contrapartida es que se necesita un sistema de enfoque para cada heliostato, y si éstos son muchos, se dispara esa partida. En las Figs. 6 a 11 se dan distintos ejemplos de posibles realizaciones de heliostatos según la presente invención accionados tanto eléctricamente (Figs. 6 y 7), como mecánicamente (Figs. 8 a 11).

35

Como prototipo de heliostato 3, en dichas figuras se ilustra uno de cuatro módulos de espejo 26, dos a cada lado; y en cada lado, uno por encima del travesero y otro colgando de él, apoyados por atrás en dos largueros por cada lado, encajados además con los cuadros de combar los espejos con la curvatura adecuada, para lo cual pueden seguirse las prescripciones dadas en la patente ES2596294 B2, "Dispositivo para combar placas planas y procedimiento de uso" (de la cual es inventor el primer autor de esta solicitud). Los módulos de espejo son de 1,5 m de alto por 1 de ancho. Su espesor es de 3 mm, con una densidad de 2,8 g/cm<sup>3</sup>. Eso da una masa por módulo de 12,6 kg; lo que significa un peso útil colgado por cada lado de 25,2 kg (con un total de 50,4).

Los elementos estructurales son en las realizaciones de la invención aquí mostradas los siguientes, en el montaje mecánico:

Báculo central (14): pieza cilíndrica de 125 mm de diámetro exterior, con 4 mm de espesor, 3 m de altura; masa de 36 kg;

Vaina de hincar a tierra (12): 1m, 155 mm de diámetro exterior= 18 kg;

Plataforma horizontal (21): 2,2 m de diámetro, 1mm espesor + radios y nervios= 44 kg;

Travesero (30): 2m pieza de sección rectangular de 70x50 mm, 3mm de espesor, 10 kg;

Largueros y marcos (25): 36 m de piezas de sección 40x30 mm, espesor 2 mm, 54 kg

Disco horizontal (28): 2 kg

Brazos posteriores (40, 41): 4 kg

Montaje de polea (43) y muelle antagonista (44); 12 kg

Ruedas invertidas (17): 5, con peso total de 8 kg

Masa total estructural: 188 kg

Masa total por heliostato (3), aproximadamente 240 kg

Respecto de los grandes paneles habituales, el peso estructural puede reducirse mucho, pues hay que recordar que para un peso lineal en travesero, constante, la relación entre la flecha de deformación en una viga, y la longitud de la viga, aumenta según la longitud al cubo, lo que obliga a usa estructuras soporte más pesadas, que aumentan a su vez el peso lineal total a soportar, lo que en definitiva sobrecarga el peso, el montaje y el precio.

La contrapartida es que aumenta el número de heliostatos, y por ende el de equipos de enfoque, lo cual hay que compensarlo con unos tipos de equipos, bien eléctricos, bien mecánicos, mucho más simples. En concreto, en el caso mecánico, el enfoque de toda una agrupación isócrona de heliostatos sincronizados se hace con un actuador por tipo de giro, más cables y poleas, lo cual es muy simple y barato.

Téngase en cuenta que los cables a utilizar en el montaje mecánico, son como los de las bicicletas, y deben asimismo ir guiados por manguitos.

5 La fuerza que han de transmitir es la necesaria para superar la oposición del muelle antagonista, y la de giro de los espejos, aunque éstos irán montados equilibradamente, y su momento de inercia al giro será muy moderado, Téngase en cuenta que la masa suspendida del travesero, según lo dicho en el ejemplo escogido, es de unos 120 kg, que ocupan unos 6 m<sup>2</sup> de superficie, dando una densidad superficial de 20 kg/m<sup>2</sup>, que es un valor modesto.

10 Asimilando los espejos y sus estructuras a dos planchas de 3x1 metros, el momento de inercia geométrico respecto del eje del travesero es la doceava parte del producto de la base por el cubo de la altura, lo que lleva a 4,5 m<sup>4</sup>; y el momento de inercia másico se puede estimar suponiendo distribución uniforme de peso en la totalidad de las planchas, de modo que al multiplicar la última cifra por 20 kg/m<sup>2</sup> se obtiene un valor de 90 kg·m<sup>2</sup>.

15

El par que se necesite para moverlo depende de la aceleración angular que haya que dar. Si pensamos en un giro unitario (discontinuo) de recorrer 2 mili-radianes, la mitad en movimiento uniformemente acelerado en 2 segundos, y la otra mitad desacelerando en otros 2 s, la aceleración angular a imprimir es de  $0,5 \cdot 10^{-3}$  radianes/s<sup>2</sup>. El par necesario sería este último valor, multiplicado por 90; lo que da 0,045 N·m, que es un valor muy modesto, que exige relativamente poco, mecánicamente hablando. Si este par se ha de dar con un brazo de 5 cm, la fuerza requerida sería algo menor de 1 N.

25 La elongación del muelle (44) requeriría una fuerza igual al producto de su constante elástica por la deformación máxima, que es el incremento de longitud del cable 42 en el segmento que va desde el extremo del brazo a la polea (en su punto tangente) en la figura 8, hasta la longitud desde dicho punto al extremo del brazo antagonista en su posición más extrema, figura 9, que en este caso representa un giro de 166°.

30 Las dimensiones relevantes en el ejemplo propuesto son:

-longitud del brazo antagonista= 1,1 m

-longitud de cable (42) desde fin de brazo a la polea, posición de descanso= 0,9m

-longitud del muelle (44) recogido, = 40 cm

-longitud de cable en el lado del muelle, recogido = 2,60 m (3,00 m si se cuenta el muelle)

-giro máximo del brazo =  $166^\circ$  (ángulo suplementario =  $14^\circ$ )

-longitud de cable en la posición de máxima elevación,  $L_{\max} = (a^2 + c^2)^{1/2}$

$$a = 1,1 \sin 14^\circ = 0,266$$

$$c = b + 0,9$$

$$5 \quad b = 1,1 + 1,1 \cos 14^\circ = 2,17$$

$$L_{\max} = 3,08 \text{ m}$$

$$\text{Elongación} = 2,18 \text{ m}$$

10 Lo disponible como cable para pasar por la polea desde la posición de descanso a la máxima elongación es 2,40 m (suponiendo que dejamos 20 cm para el anclaje del muelle a la plataforma (21); es decir, pasaría casi todo el cable, menos 22 cm.

Con estas cifras, es obligado ir a un muelle espiral que gobierne un tambor de cable, que se suelta a medida que se supera la fuerza del muelle.

15

Queda por justificar que todos los heliostatos de una agrupación sincronizada tienen las mismas condiciones de enfoque, para una posición del sol, que es lo mismo que demostrar que son iguales los valores de  $A_z$  y  $A_e$ , que corresponden a:

$$A_{z_0} = \arctg \left( \frac{(x_0 - x_{b0})}{y_0} \right)$$

20 Y el ángulo de elevación,  $A_e$ ,

$$A_{e_0} = \arctg \left( \frac{z_{b0}}{((x_b - x_0)^2 + y_0^2)^{1/2}} \right)$$

Para ello, previamente, es necesario demostrar que son válidas las coordenadas de la situación de la traza de la bisectriz en el plano  $y=0$ ; lo cual se encuentra expuesto en la figura 2, que muestra el plano formado por los rayos de incidencia y reflexión. Se puede

25 escribir

$$\frac{D_{r1}}{D_{r2}} = \frac{\text{seno}(Aa) \cdot DB}{\text{seno}(Aa) \cdot DC}$$

Por otra parte, usando el ángulo  $A_d$  a uno y otro lado de la bisectriz, se aprecia que los segmentos en los que se divide la base del triángulo, a un lado y otro de la traza de la bisectriz, son proporcionales a  $D_{r1}$  y  $D_{r2}$ ; es decir, proporcionales a las longitudes de los lados adyacentes del triángulo, por lo que cabe escribir

$$30 \quad z_{b0} = z_0 + (z_{s0} - z_0) \cdot (DB_0 / (DB_0 + DC_0))$$

$$x_{b0} = x_{s0} \cdot (DB_0 / (DB_0 + DC_0))$$

y a su vez las coordenadas de la traza solar son

$$z_{s0} = y_0 \cdot C_z / C_y$$

$$x_{s0} = x_0 + y_0 \cdot C_x / C_y$$

- 5 En un momento dado, los cosenos directores de la luz solar son los mismos para todos los heliostatos de una agrupación sincrónica. De un heliostato a otro cambian las coordenadas del punto focal, que ahora denominamos  $(0, 0, z_1)$  y las del punto central del heliostato, que son  $(x_1, y_1, 0)$ .

Por pertenecer a la misma radial, se cumple

$$\frac{y_1}{x_1} = \frac{y_0}{x_0} = r$$

- 10 Y por la definición de puntos de enfoque que se ha prescrito

$$\frac{z_0}{\sqrt{x_0^2 + y_0^2}} = \frac{z_1}{\sqrt{x_1^2 + y_1^2}}$$

Y si tenemos en cuenta la ecuación anterior, con la proporcionalidad entre x e y, queda

$$\frac{z_0}{x_0} = \frac{z_1}{x_1}$$

Estas proporcionalidades sugieren referirlas a una relación de ampliación como

$$x_1 = mx_0$$

Y a partir de ella, podemos escribir

$$y_1 = my_0$$

$$z_1 = mz_0$$

$$z_{s1} = y_1 \cdot C_z / C_y = mz_{s0}$$

- 15  $x_{s1} = x_1 + y_1 \cdot C_x / C_y = mx_{s0}$

Para el plano que pasa por  $x_1, y_1$  todas las distancias y segmentos quedan ampliados en un factor  $m$ , respecto del plano que pasa por  $x_0, y_0$ .

Los valores de la traza de la bisectriz ahora son

$$z_{b1} = z_1 + (z_{s1} - z_1) \cdot (DB_1 / (DB_1 + DC_1))$$

- 20  $x_{b0} = x_{s0} \cdot (DB_1 / (DB_1 + DC_1))$

El cociente  $(DB_1 / (DB_1 + DC_1))$  vale lo mismo que  $(DB_0 / (DB_0 + DC_0))$  pues la  $m$  afecta igual a numerador y denominador. De modo que queda

$$z_{b1} = mz_{b0}$$

$$x_{b1} = mx_{b0}$$

- 25 El valor del ángulo azimutal es

$$Az_1 = \text{arc tg} ((x_1 - x_{b1})/y_1) = Az_0$$

pues la  $m$  afecta por igual al numerador y denominador del argumento del arco tangente. Y análogamente pasa con el ángulo de elevación

$$Ae_1 = \text{arc tg} ( z_{b1}/((x_1 - x_1)^2 + y^2)^{1/2}) = Ae_0$$

- 5 Así pues, todos los heliostatos de una misma agrupación isócrona se mueven según los mismos valores de giro azimutal y cenital, lo cual es la base geométrica de la invención.

- 10 Una vez descrita de forma clara la invención, se hace constar que las realizaciones particulares anteriormente descritas son susceptibles de modificaciones de detalle siempre que no alteren el principio fundamental y la esencia de la invención.

## REIVINDICACIONES

1 – Planta solar que comprende una torre central (48) y un conjunto de heliostatos (3), estando provista la torre central (48) de un receptor (1) destinado a recibir la radiación solar reflejada por los heliostatos (3) y dotado de una parte activa (10) de altura total ( $\Delta H$ ) comprendida entre una altura inferior ( $H_0$ ) y una altura superior ( $H_1$ ), estando la planta solar **caracterizada** por que:

los heliostatos (3) están dispuestos alrededor de la torre central formando radios (9) que parten del punto central (2) de la base de la torre y definen agrupaciones isócronas (11) en las cuales:

- la línea de enfoque ( $LE_{10}$ ,  $LE_{n0}$ ) del primer heliostato de cada agrupación isócrona (11) discurre desde el centro de dicho primer heliostato hasta el punto de altura inferior ( $H_0$ ) del receptor (1);
- la línea de enfoque ( $LE_{11}$ ,  $LE_{n1}$ ) del último heliostato de cada agrupación isócrona (11) discurre desde el centro de dicho ultimo heliostato al punto de altura superior ( $H_1$ );
- las líneas de enfoque ( $LE_{10}$ ,  $LE_{n0}$ ) del primer heliostato y las líneas de enfoque del último heliostato ( $LE_{11}$ ,  $LE_{n1}$ ) de cada agrupación isócrona (11) son paralelas entre sí; y
- para cada agrupación isócrona se cumple la relación:

$$\frac{H_0}{R_{10}} = \frac{H_1}{R_{11}}; (\dots); \frac{H_0}{R_{n0}} = \frac{H_1}{R_{n1}}$$

donde

( $R_{10}$ ) es la distancia desde el origen de radios al centro del primer heliostato de la primera agrupación isócrona (11) de un radio (9) predefinido;

( $R_{11}$ ) es la distancia desde el origen de radios al centro del último heliostato de la primera agrupación isócrona (11) de dicho radio (9);

( $R_{n0}$ ) es la distancia desde el origen de radios al centro del primer heliostato de la n-ésima agrupación isócrona (11) de dicho radio (9);

( $R_{n1}$ ) es la distancia desde el origen de radios al centro del último heliostato de la n-ésima agrupación isócrona (11) de dicho radio (9).



2 – Planta solar según la primera reivindicación, en la que el segmento de radio comprendido entre el primer heliostato ( $R_{10}$ ,  $R_{n0}$ ) y el último heliostato ( $R_{11}$ ,  $R_{n1}$ ) de una agrupación isócrona está dividido en  $m$  partes iguales, estando alojado un heliostato diferente al final de cada una de dichas partes.

5

3 – Planta solar según cualquiera de las reivindicaciones anteriores en la que, en al menos una agrupación isócrona (11) de heliostatos, el azimut de enfoque ( $Az$ ) y el ángulo de elevación ( $Ae$ ) de los heliostatos (3) que componen dicha agrupación (11) están determinados por:

10

$$Az = \text{arc tg} ((x_0 - x_b)/y_0), y$$

$$Ae = \text{arc tg} (z_b / ((x_b - x_0)^2 + y_0^2)^{1/2});$$

donde

15  $x_0$  es la abscisa (coordenada en la dirección Este-Oeste) del punto central del heliostato de la agrupación isócrona considerado,

$x_b$  es la abscisa de la traza, en el plano virtual  $y=0$ , de la bisectriz del ángulo de reflexión en el centro de dicho heliostato,

20  $y_0$  es la ordenada, en dirección Norte-Sur, del punto central del heliostato de la agrupación isócrona,

y

$z_b$  es la cota de la traza, en el plano virtual  $y=0$ , de la bisectriz del ángulo de reflexión en el centro de dicho heliostato.

25 4 – Heliostato (3) de uso en una planta solar según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, que comprende:

- un báculo central vertical rotatorio (14), insertado por su extremo inferior en una vaina cilíndrica (12) hincada en tierra, y que finaliza por su extremo superior en una horquilla doble (45, 46) abierta hacia arriba;

30 - un travesero principal (30) alojado en la horquilla doble (45, 46) abierta hacia arriba, que está unido a una pluralidad de largueros (25), sobre los cuales están fijos unos módulos de espejos (26), estando dispuestos los módulos de espejos (26) a un lado y otro del plano de simetría central del heliostato, donde se encuentra el báculo central (14);

5 - unos medios de giro dispuestos en la zona central del travesero, seleccionados entre una rueda central (27) fija a la parte central del travesero y un par de brazos (40, 41) perpendiculares al travesero y fijos en él, estando configurados dichos medios de giro para girar con el travesero principal (30), cuando dicho travesero (30) gira sobre la doble horquilla (45, 46); y

10 - una plataforma horizontal (21) solidaria al báculo central (14) en su parte inferior, estando dicha plataforma horizontal (21) configurada para girar con el báculo central (14) y para apoyarse en su parte periférica en una pluralidad de ruedas (17) de giro libre, cuyos ejes de giro están apoyados en una estructura en horquilla (16) provista de un tallo hincada en tierra, o apoyados en una pieza de cimentación (15), de forma que la arista superior de todas las ruedas (17) está dispuesta a la misma altura.

15 5 – Heliostato (3) según la reivindicación 4, que comprende además, un actuador acimutal (32), un actuador cenital (36) y cables de transmisión mecánica dispuestos entre dicho heliostato (3) y cada actuador (32, 36).

20 6 – Heliostato (3) según la reivindicación 5, en el que el actuador acimutal (32) está situado en el radio (9) de la agrupación isócrona (11) en una posición más cercana a la torre central que el primer heliostato de dicha agrupación isócrona (11), y en el que actuador cenital (36) está situado en una posición más alejada de la torre central que el último de los heliostatos de dicha agrupación isócrona (11).

7 – Heliostato (3) según cualquiera de las reivindicaciones 5 y 6, en el que:

25 - el actuador azimutal (32) está unido a un cable de tracción dextrógiro (35), y un cable de tracción levógiro (34), que actúan de forma antagonista entre sí; y

30 - el actuador cenital (36) está unido a un cable agonista (39) y un cable antagonista (42) que actúan de forma antagonista entre sí, estando cada uno de dichos cables (39, 42) unido a un brazo (40, 41) perpendicular al travesero (30); estando configurado el cable agonista (39) para elevar la normal (49) de los módulos de espejos (26); y estando extremo libre el cable antagonista (42) unido a un muelle de elongación (44) fijado a la parte trasera de la plataforma (21), de modo que la acción del muelle (44) está configurada para llevar al heliostato (3) a una posición de descanso, de defensa contra meteoros y contra la producción de reflejos indebidos.

35 8 – Heliostato (3) según la reivindicación 4, que comprende:

- un motor eléctrico acimutal (18) anclado en el suelo (19), provisto de con una polea de arrastre que se mueve solidariamente con una cadena o correa (20), que a su vez es solidaria en su giro con una rueda horizontal (28) fijada al pilar (12) o al báculo rotatorio central (14); y
- 5 - un motor eléctrico cenital (23), dispuesto en la parte trasera de la plataforma (21), y conectado a la rueda vertical fija (27) mediante una correa o cadena (24).

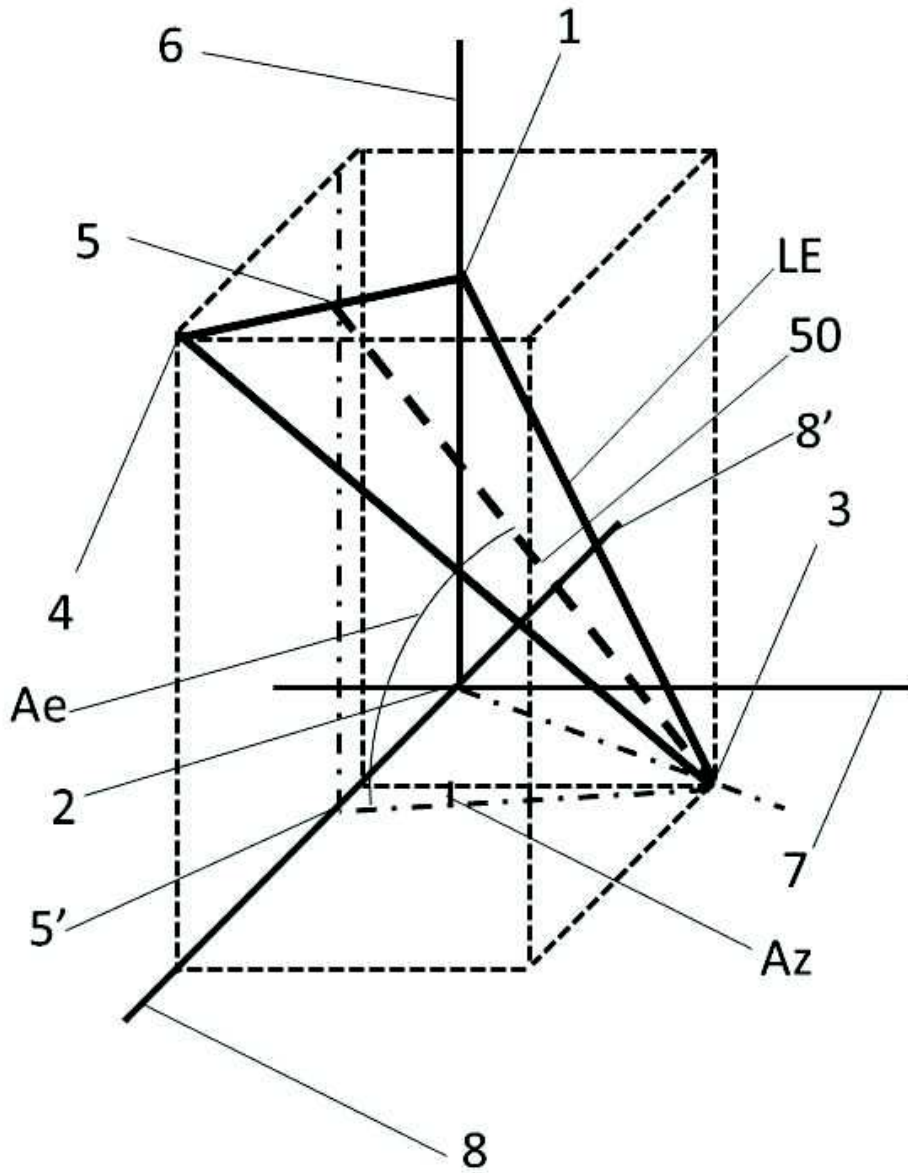


Fig. 1

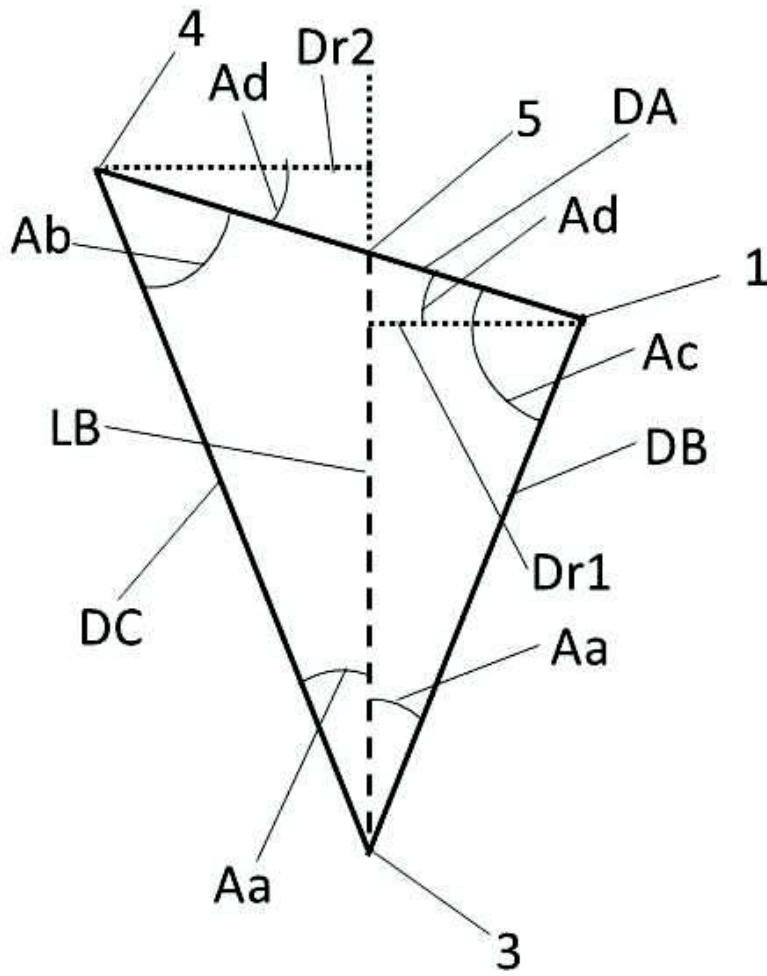


Fig. 2

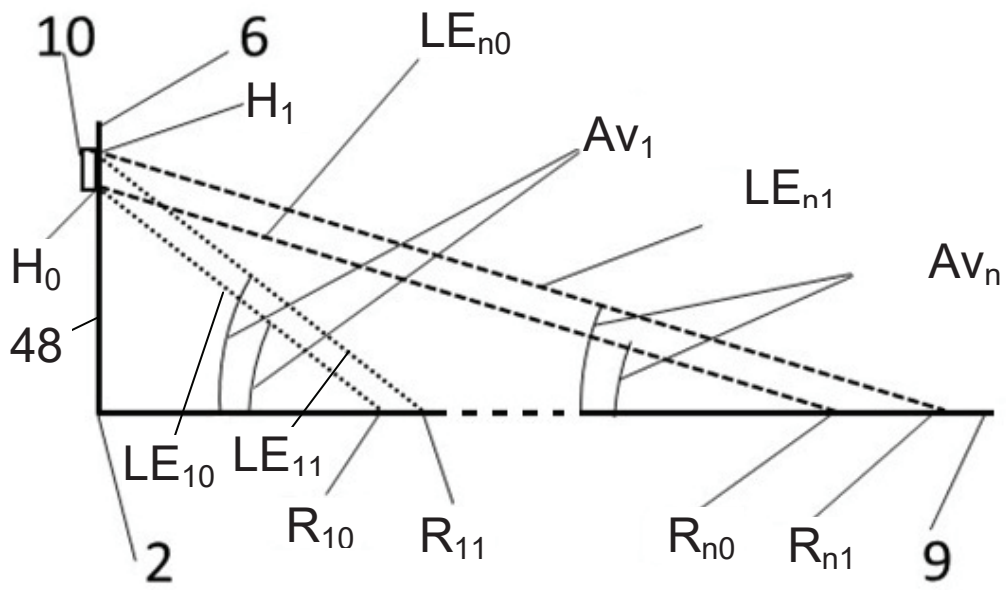


Fig. 3

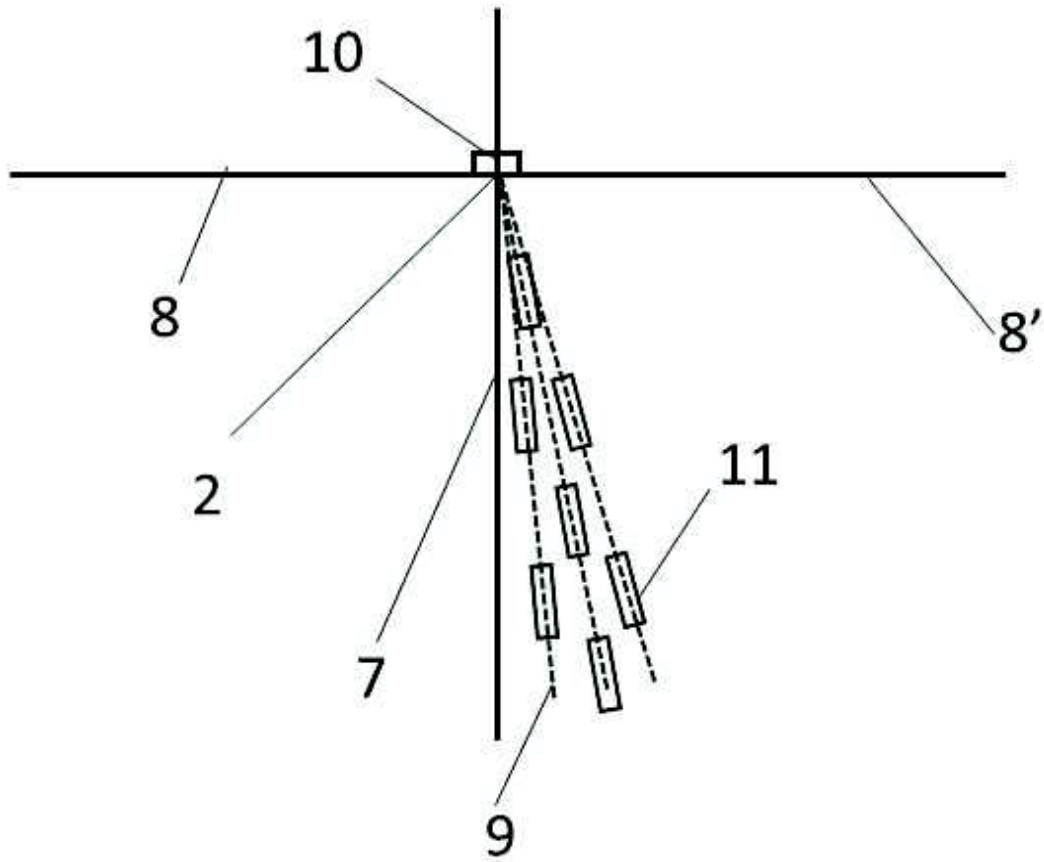


Fig. 4

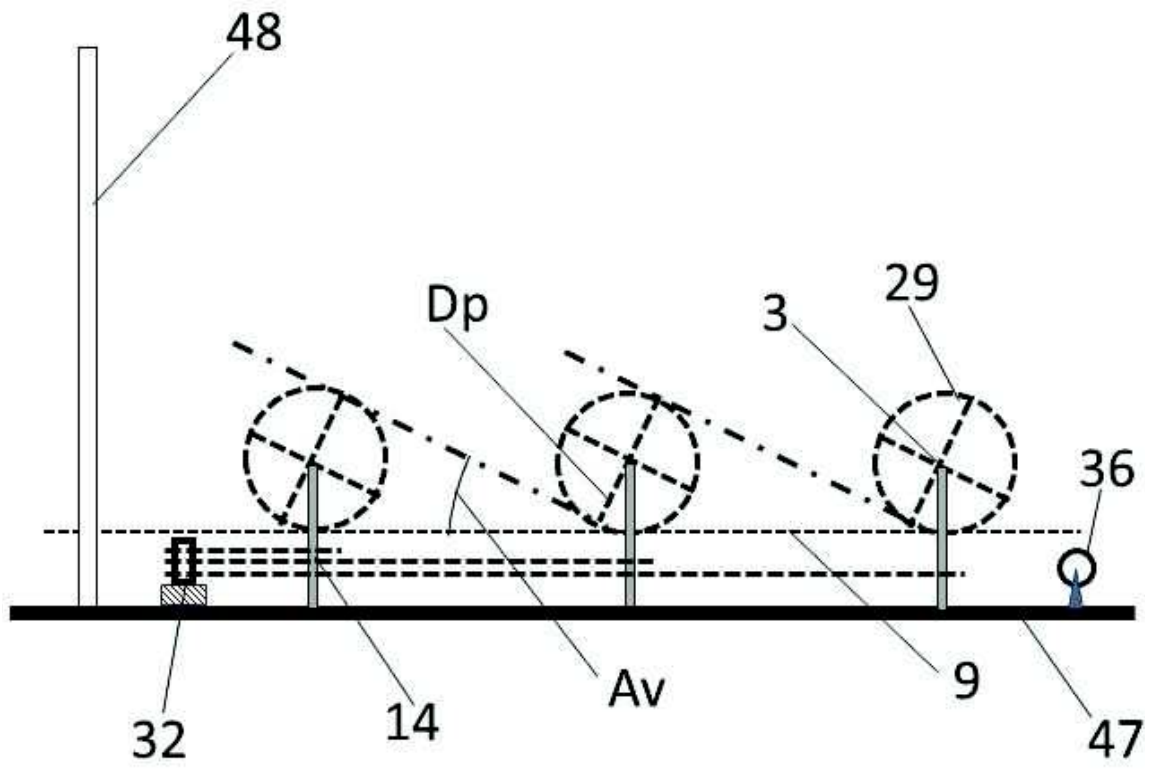


Fig. 5



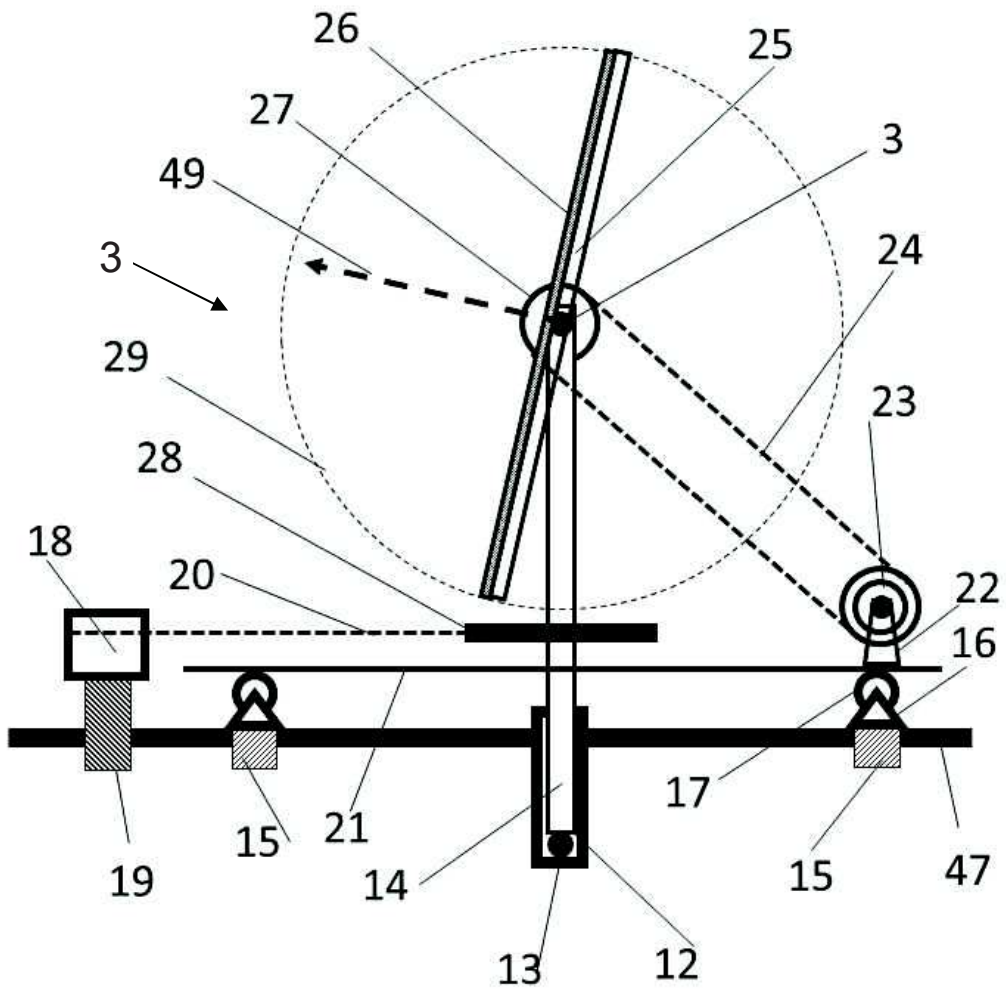


Fig. 6

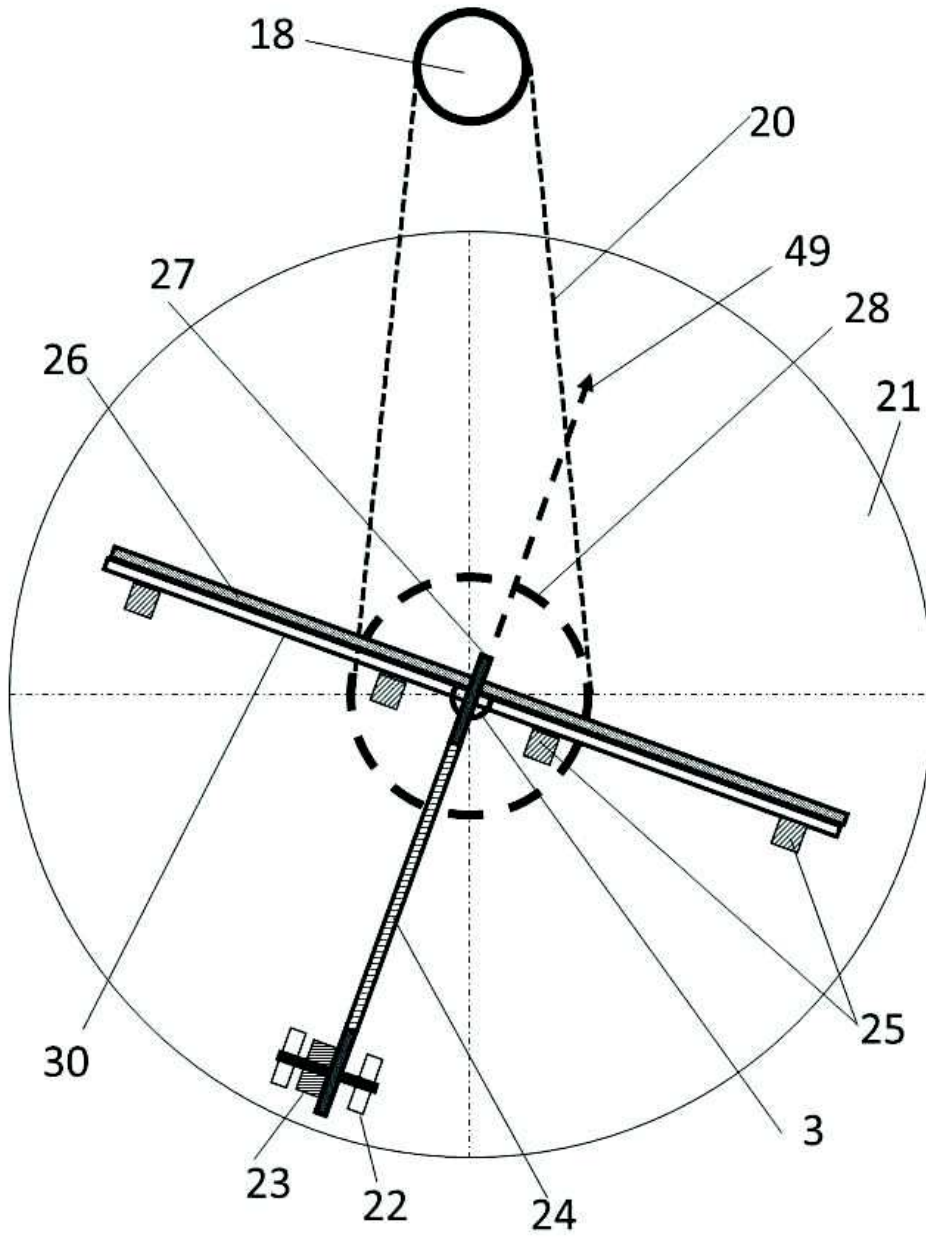


Fig. 7

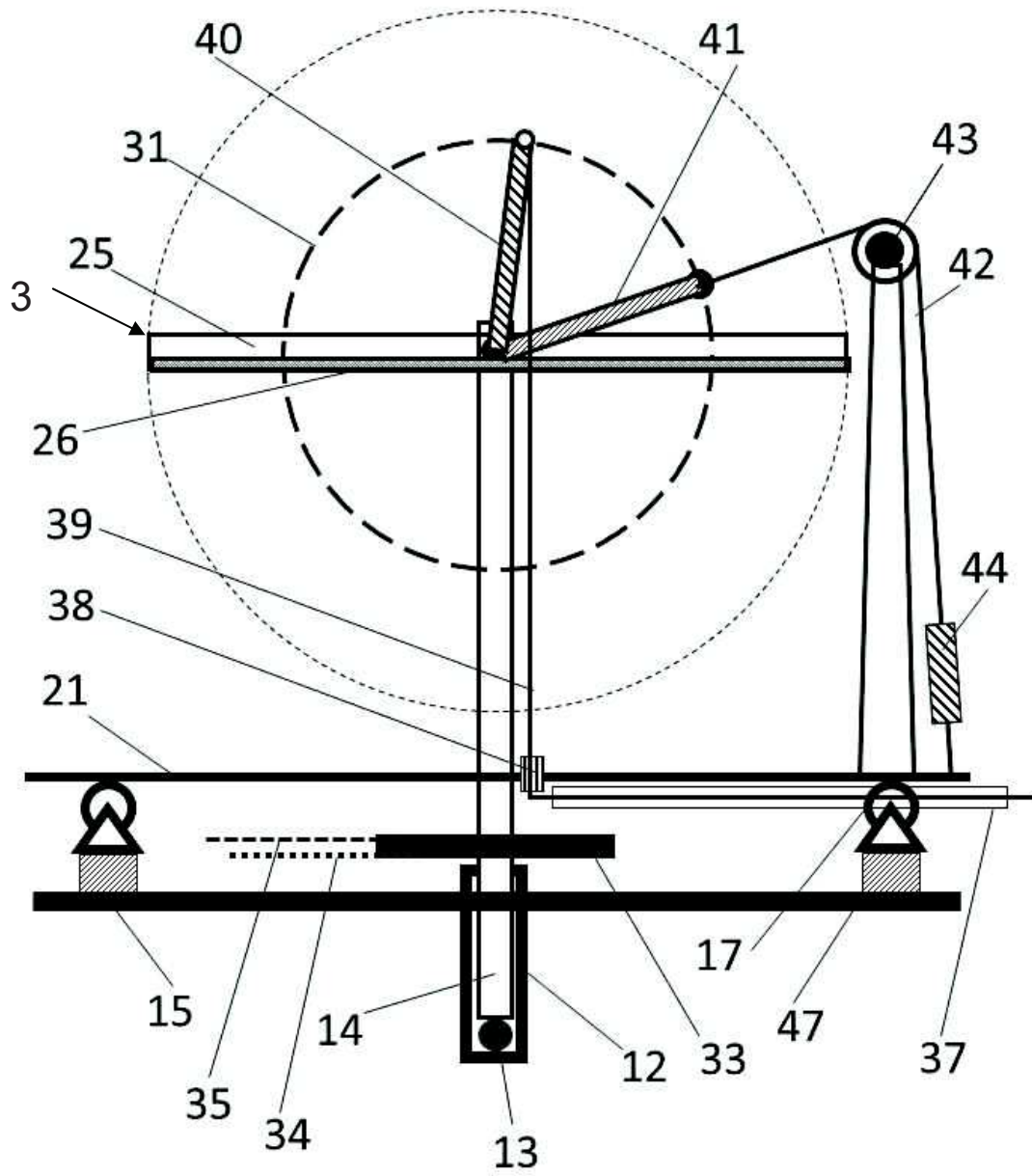


Fig. 8

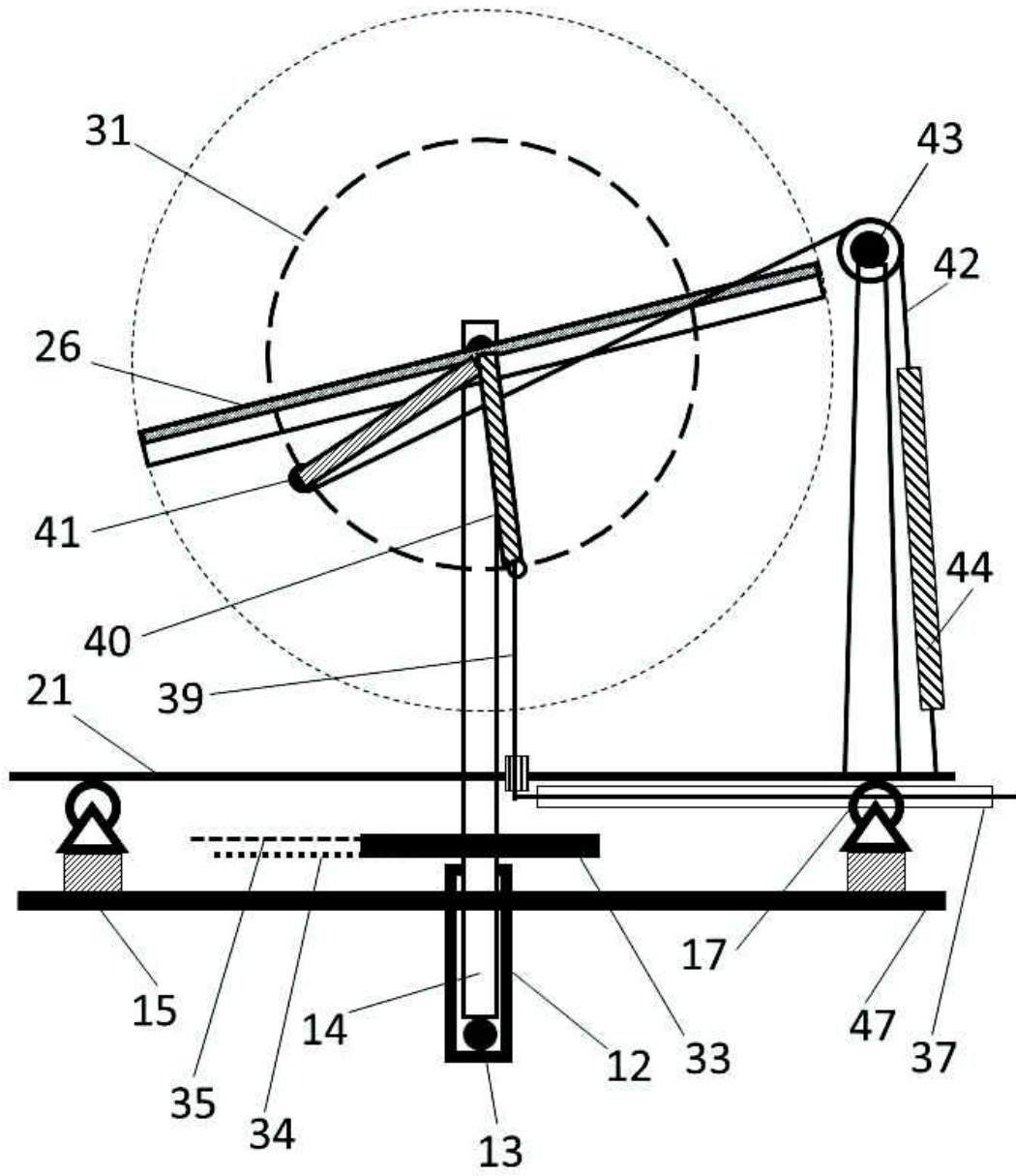


Fig. 9

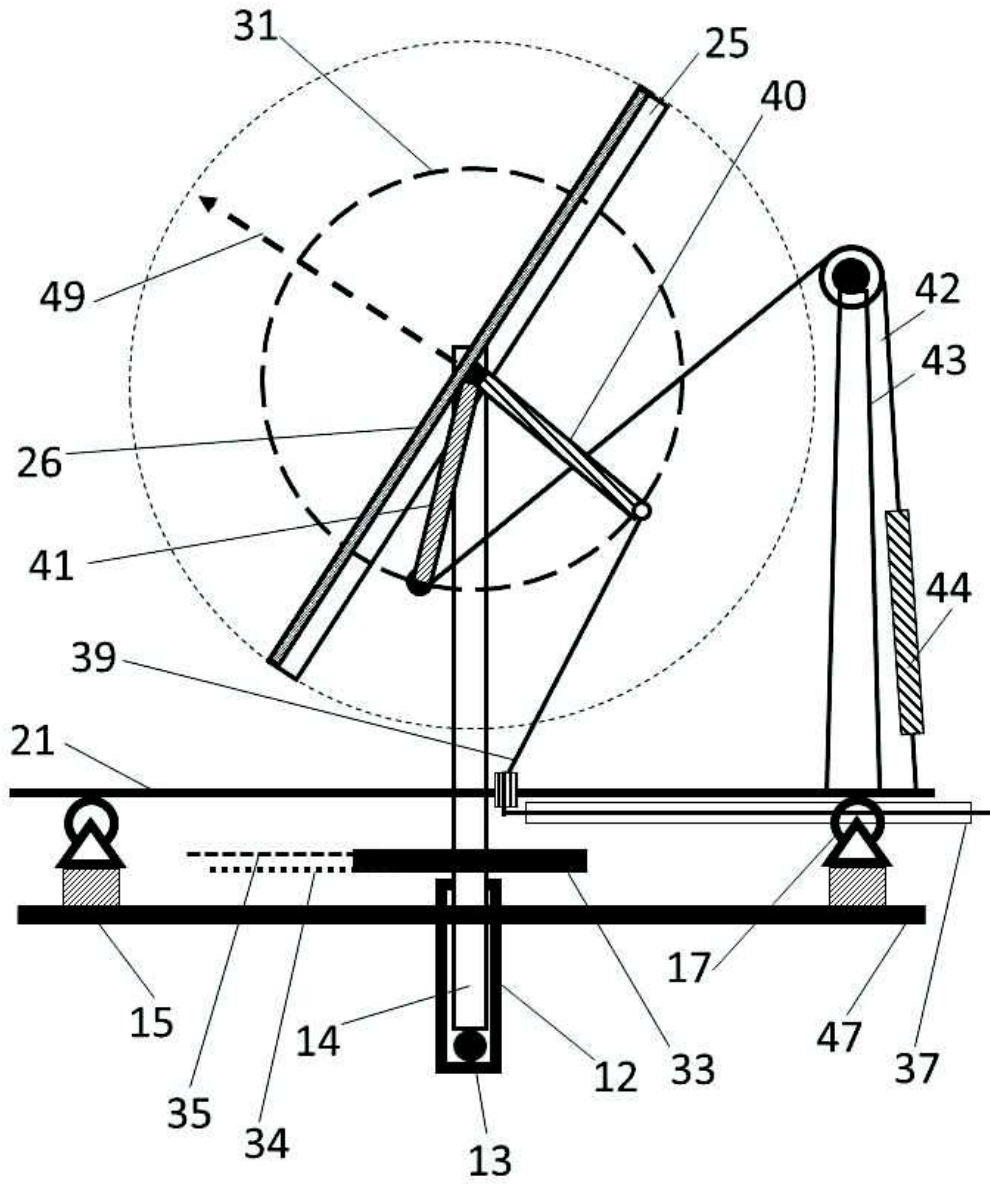
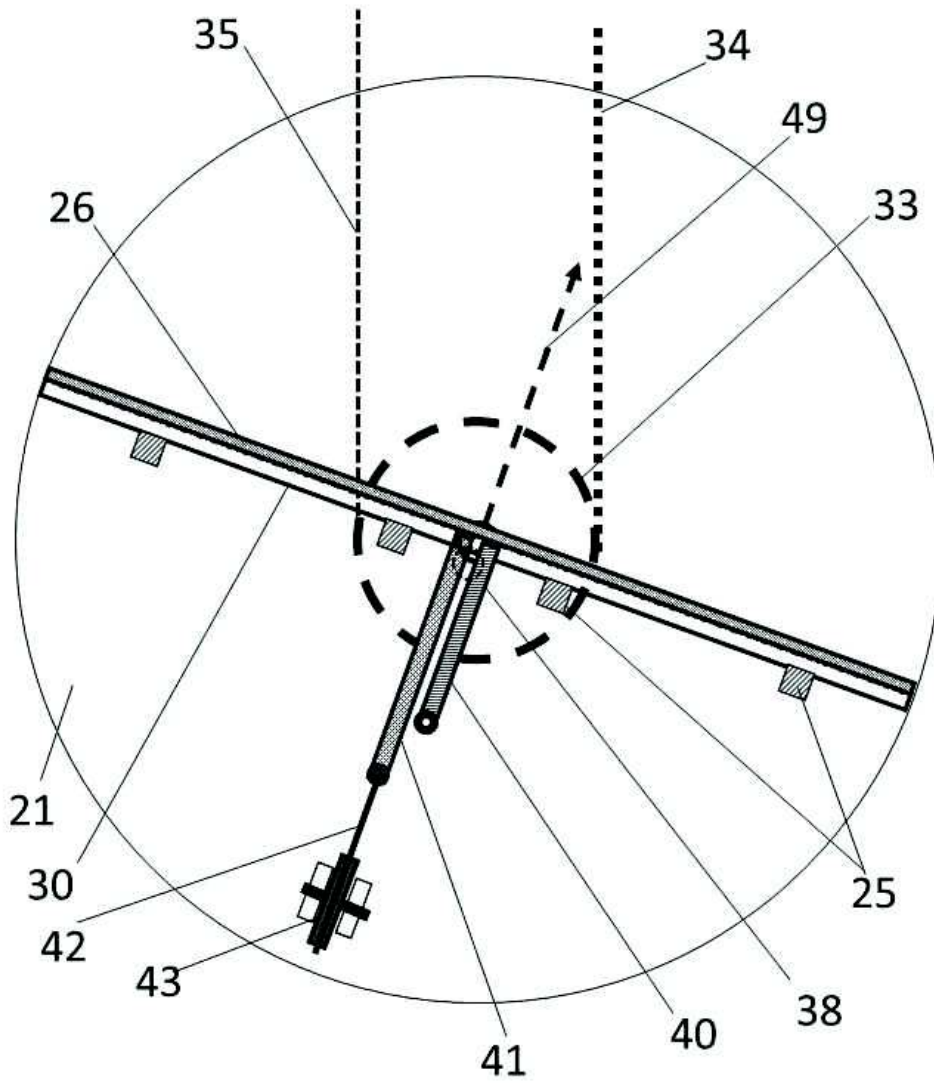


Fig. 10



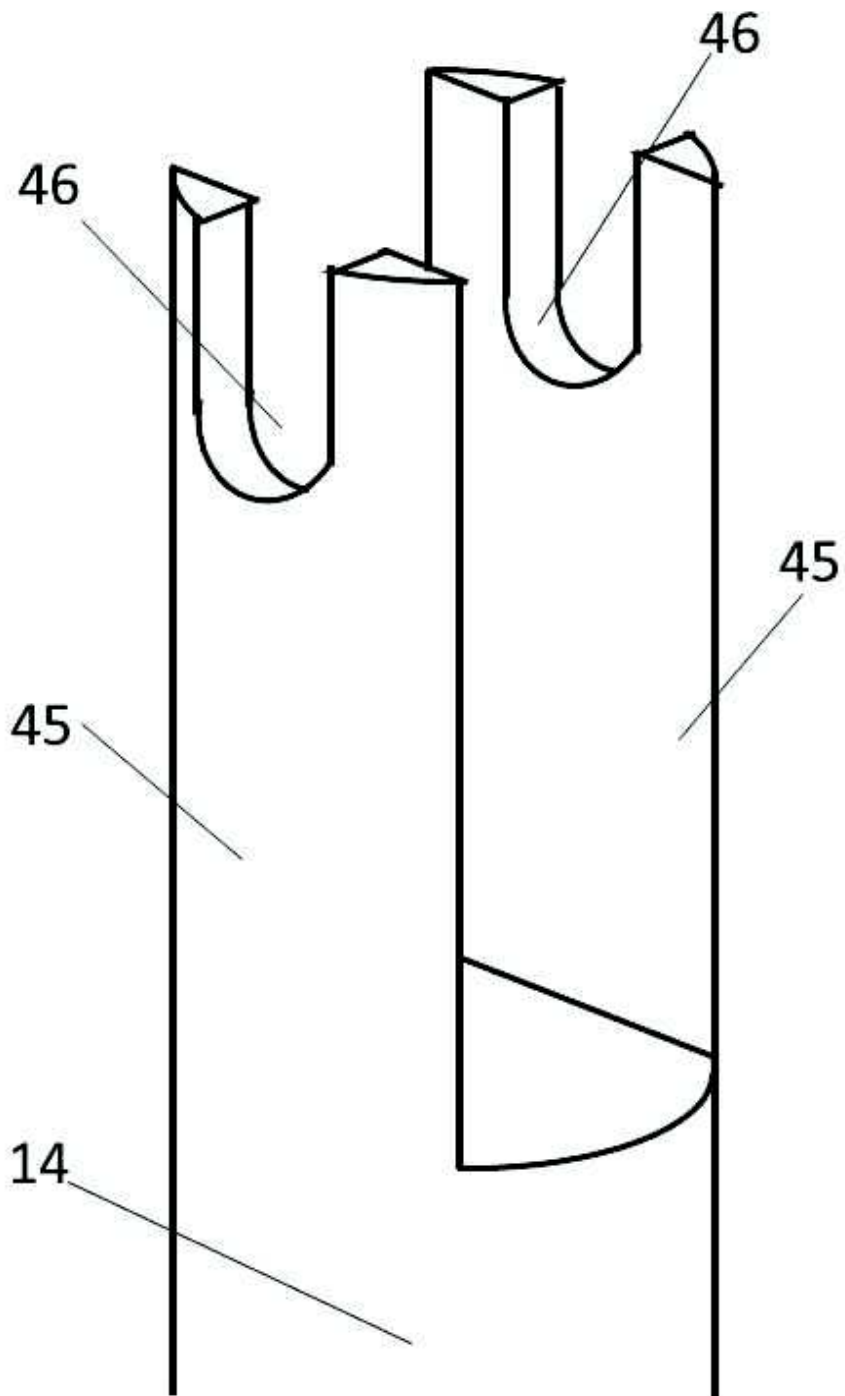


Fig. 12