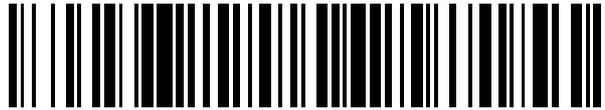


19



OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 726 474**

21 Número de solicitud: 201930606

51 Int. Cl.:

F24S 20/20	(2008.01)
F24S 50/80	(2008.01)
F24S 50/20	(2008.01)
F03G 6/06	(2006.01)
H02S 50/00	(2014.01)
B64C 39/02	(2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

01.07.2019

43 Fecha de publicación de la solicitud:

04.10.2019

71 Solicitantes:

**CENTRO DE INVESTIGACIONES ENERGÉTICAS, MEDIOAMBIENTALES Y TECNOLÓGICAS (CIEMAT) (100.0%)
Avda Complutense, 40
28040 Madrid ES**

72 Inventor/es:

MONTERREAL ESPINOSA, Rafael

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

54 Título: **SISTEMA PARA MEDIR RADIACIÓN SOLAR CONCENTRADA Y VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO QUE LO COMPRENDE**

57 Resumen:

Sistema para medir radiación solar concentrada y vehículo aéreo no tripulado que lo comprende. El sistema para medir radiación solar concentrada que comprende una estructura tubular reflectante que comprende unos primeros medios de acoplamiento para un dron, un primer segmento (14), un segundo segmento (20) y unos segundos medios de acoplamiento entre ambos segmentos (14, 20); una pluralidad de radiómetros (12) instalados longitudinalmente en el primer segmento; una unidad de adquisición de datos (18) para registrar las medidas tomadas por la pluralidad de radiómetros (12). El vehículo aéreo no tripulado (10) incorpora el sistema y permite medir la radiación solar en el centro del receptor solar (2).

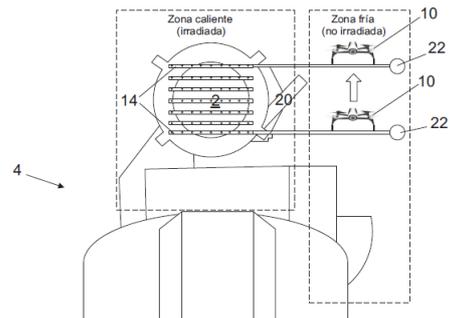


Fig. 3

DESCRIPCIÓN

**SISTEMA PARA MEDIR RADIACIÓN SOLAR CONCENTRADA Y VEHÍCULO
AÉREO NO TRIPULADO QUE LO COMPRENDE**

5

Campo técnico de la invención

La invención pertenece a los sistemas asociados a las centrales de energía termosolar de concentración. En particular, se relaciona con las técnicas para la medición de la radiación en centrales solares de tipo torre.

10

Antecedentes de la invención o Estado de la Técnica

Una central solar de tipo torre usa una torre colectora para recibir luz solar concentrada que se usa habitualmente para calentar un fluido de trabajo con el que mover unas turbinas con las que generar electricidad. Usa un conjunto de espejos generalmente curvos, de larga distancia focal y móviles (llamados heliostatos) para enfocar los rayos del sol sobre una torre (el blanco). La energía solar termal concentrada es vista como una solución viable para generar de una fuente energía renovable y libre de polución.

En plantas solares de tipo torre o receptor central de carácter experimental (pequeña potencia), se tienen constancia de sistemas de medida de flujo de radiación solar concentrada mediante el uso de dispositivos electro-mecánicos instalados en las inmediaciones del receptor solar, y que comportan la intervención de mecanismos móviles con radiómetros y/o blancos lambertianos apoyados por sistemas de video. Estos sistemas son complejos respecto de su montaje, instalación, control, protección, operación y mantenimiento. Son, asimismo, bastante caros. En ningún caso ha sido posible utilizarlos en grandes plantas comerciales de producción tipo torre. Algunos de estos dispositivos se describen en los artículos y publicaciones:

[1] Neumann A. and Monterreal, R. Advanced Flux Measurement System for Solar Tower Plants. 7th International Symposium on Solar Thermal Concentrating Technologies. Moscow, Russia. September 26-30, 1994.

[2] ES2249957B1 Patente: Dispositivo de medida de potencia radiante para superficies extensas.

[3] Shiel, W. Hermes Measurements. SSPS Technical Report 4 (1983)

[4] Durish, W. and Shelders, Ch. Radiation Input Measurements with the Flux Analyzing System FAS. IAE-SSPS Central Receiver System Midterm Workshop, April 1983. Tabernas, Spain.

[5] Thalhammer, E.E. and Phipps, G.H. Scatterplate Flux Mapping for Solar Concentrators. Solar Energy Research Institute (SERI) TR-255-1432 (1982).

[6] Becker, M; Bäte, J. and Diessner, F. Device for the Measurements of Heat Flux Distribution (HFD) near the receiver aperture plane of the Almería CRS Solar Power Station. DFVLR Interner Bericht (1981).

[7] Brinner, A. and Shiel, W. Advanced Sodium Receiver (ASR) Performance with the HERMES Measuring System at the IEA SSPS Central Receiver System. Proc. Of 1986 Int. Congress on Renewable Energy Sources. Madrid.

En plantas solares de tipo torre o receptor central de carácter comercial (gran potencia), no hay constancia de la implementación de un sistema de medida de alto flujo de radiación solar hasta la fecha. No se conoce ningún documento de patente ni tampoco ninguna publicación científica referida a vehículos aéreos no tripulados utilizados para la medida del flujo de radiación solar concentrada en plantas solares de receptor central. Los antecedentes conocidos se restringen a la utilización de drones en instalaciones solares para otros usos, tales como la detección de fallos en el funcionamiento de paneles solares fotovoltaicos o el reposicionamiento de los helióstatos en plantas de receptor central.

- GB2546564 divulga técnicas para detectar defectos en conjuntos de paneles solares.

- CN106644399 divulga técnicas de corrección heliostática utilizando un dron.

- ES2604554 divulga un procedimiento para la medición de heliostatos.

Otros documentos relacionados son:

- Lock, JC et al. "An Investigation Into Multi-Dimensional Prediction Models to Estimate the Pose Error of a Quadcopter in a CSP Plant Setting". Solarpaces 2015: International Conference on Concentrating Solar Power and Chemical Energy Systems; Colección: AIP Conference Proceedings; Vol: 173, Nº: 130012, 2016.

- Prah, C et al. "Airborne shape measurement of parabolic trough collector fields". Solar Energy, Vol.: 91, Pág.: 68-78, May 2013.

- Matsuoka, R et al. "Measurement of large-scale solar power plant by using images acquired by non-metric digital camera on board UAV". Revista: XXII ISPRS Congress, Technical Commission I; Colección: International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences; Vol.: 39-B1, Pág.: 435-440, 2012.

Breve descripción de la invención

La medida de radiación solar concentrada en centrales solares de torre (o receptor solar) presenta grandes dificultades.

5 Esta medida es de importancia capital en el conocimiento del rendimiento energético de la planta, pues cuantifica la cantidad de combustible solar aportado por el campo de heliostatos para ser finalmente transformado en energía eléctrica por la planta.

Las dificultades para la medida son esencialmente tres:

a) el alto factor de concentración de la energía solar que es aportada al receptor solar
10 por el campo de heliostatos (del orden de megavatios/m²);

b) el emplazamiento del receptor (en una torre de altura comprendida entre 100m-150m); y

c) las grandes dimensiones del propio receptor solar (del orden de decenas de m²).
Todo ello conlleva la dificultad, cuando no la imposibilidad, de la instalación, protección
15 pasiva por daños colaterales de la radiación concentrada (aislamiento, refrigeración, etc.), mantenimiento de equipos de medida, tales como radiómetros o blancos móviles, así como mecanismos de arrastre y posicionamiento, equipos de refrigeración activa, adquisición de datos, etc.

La invención propone una solución para estos problemas de acuerdo con el sistema
20 de la reivindicación 1. En concreto, se establece un sistema para medir radiación solar concentrada que incorpora:

- una estructura reflectante longitudinal, generalmente tubular, que incluye unos
primeros medios de acoplamiento para acoplarse a un vehículo aéreo no tripulado, un
primer segmento, un segundo segmento y unos segundos medios de acoplamiento
25 entre dichos segmentos;

- varios radiómetros instalados longitudinalmente en el primer segmento que está más
alejado del vehículo aéreo no tripulado;

- el sistema incluye una unidad de recogida de la información producida por los
radiómetros.

30 Esta unidad de recogida de la información puede implementarse en una realización como una unidad de adquisición de datos para registrar las medidas tomadas por los radiómetros. Las señales eléctricas procedentes de los radiómetros pueden almacenarse en el propio vehículo no tripulado para volcarlas posteriormente y realizar el adecuado procesamiento de datos para la planta solar bajo estudio.

35 Preferentemente, este almacenamiento temporal se realiza en dicha unidad de adquisición de datos a bordo del vehículo aéreo no tripulado.

Alternativamente, existe otra opción. En una realización diferente, se puede incluir un repetidor de señal, de modo que las señales eléctricas procedentes de los radiómetros no se almacenan a bordo del vehículo no tripulado, sino que se replican y se transmiten vía inalámbrica (e.g. wifi o similar) hacia un sistema general de procesamiento de datos de la planta solar.

Opcionalmente, un contrapeso unido al extremo del segundo segmento más próximo al vehículo aéreo no tripulado para así equilibrar el centro de gravedad de los elementos anteriores en la posición donde se encuentran los primeros medios de acoplamiento.

Alternativamente al empleo de un contrapeso en la estructura soporte longitudinal, es posible utilizar estructuras soporte lo suficientemente ligeras como para reducir el momento de su propio peso sobre el dron. Estructuras metálicas tipo celosía o de otros materiales que aporten ligereza y rigidez, como la fibra de carbono o similares, siempre que dispongan de un recubrimiento térmico adecuado que las proteja de la alta radiación solar concentrada, son adecuadas para el propósito de la invención.

Opcionalmente, la unidad de adquisición de datos puede implementar comunicación inalámbrica.

Opcionalmente, los radiómetros se distribuyen de forma equidistante.

La invención propone también un vehículo aéreo no tripulado (comúnmente denominado dron) que lleve instalado un sistema como el indicado en las líneas anteriores para medir radiación solar concentrada.

Breve descripción de las figuras

La FIG. 1A es una vista general de una torre central y un receptor solar en operación.

La FIG. 1B ilustra en mayor detalle el receptor solar.

Las FIGs. 2A-2C muestra varios componentes para el acoplamiento en una realización de la invención. La FIG. 2A muestra la sección transversal de un primer segmento tubular. La FIG. 2B ilustra desmontados dos segmentos y la unidad de adquisición y almacenamiento. La FIG. 2C es un ejemplo del sistema con sus componentes montados.

La FIG. 3 ilustra un modo esquemático de operación de la invención propuesta.

La FIG. 4A es un esquema de toma de medidas en el receptor para construir una matriz cuyos elementos son los datos experimentales. La FIG. 4B muestra un ejemplo de distribución 2D de flujo. La FIG. 4C muestra un ejemplo de distribución 3D de flujo.

Referencias numéricas

- 2 Receptor solar.
- 4 Torre de un campo de heliostatos.
- 10 Dron (vehículo aéreo no tripulado).
- 12 Radiómetro.
- 5 14 Primer segmento.
- 16 Cámara de visión.
- 18 Unidad de adquisición y almacenamiento.
- 20 Segundo segmento.
- 22 Contrapeso.
- 10 24 Cable de señal.

Descripción detallada de la invención

Se describe con referencia a las figuras anteriores varios aspectos de la invención según un modo de realización sin carácter limitante.

- 15 La FIG. 1A ilustra un ejemplo una torre **4** con un receptor solar **2** para un campo de heliostatos. La FIG. 1B ilustra en mayor detalle la parte superior donde se instala en receptor solar **2**. Ventajosamente, el instrumental de medida no se encuentra en las inmediaciones del receptor solar **2**, ni siquiera en la torre **4**, lo que evita los inconvenientes de instalación, protección pasiva de los equipos o interferencia con
- 20 otros elementos genuinos de la planta.

- Las FIGs. 2A-2C ilustran el montaje del instrumental de medida. Se instalan los sensores de radiación (e.g., radiómetros **12**) de respuesta rápida no-refrigerados, en una estructura longitudinal, preferentemente tubular, conformada por un primer segmento **14** unido a un segundo segmento **20**. Preferiblemente, esta estructura
- 25 tubular es de acero inoxidable pulido (con alta reflectancia) o cualquier otro recubrimiento que lo dote de resistencia térmica a la radiación, de tal forma que dote de rigidez al conjunto y lo disponga en un arreglo de dimensiones específicas, adaptado a cada tipo de receptor solar **2**. El número de radiómetros **12** será proporcional a la extensión de la superficie que se ha de medir, así como a la
 - 30 resolución exigida para ésta. Este arreglo geométrico de radiómetros **12** es acoplado entonces mediante unos cables de señal **24** a una unidad de adquisición y almacenamiento **18** de los datos generados por los radiómetros **12**. La unidad de adquisición y almacenamiento **18** es transportada por un vehículo aéreo no tripulado o dron **10**, que cuenta con cámara de visión **16**, navegador GPS, así como coordenadas
 - 35 de posicionamiento programables y sistema de control de posición en lazo cerrado.

El modo de operación comprende tres fases:

a) El dron **10** despegar de su base y elevará el sistema de medida de radiación solar concentrada hasta la cota de altitud del centro del receptor **2**, aunque todavía fuera de la zona de influencia de la radiación proporcionada por la torre **4** del campo de helióstatos (zona fría), donde queda a la espera la orden de medida procedente del control central de la planta;

b) Una vez activada la orden de medida, el dron **10** –que en ningún momento entrará en la zona irradiada– introducirá el sistema de medida en la zona irradiada, mediante un movimiento programado, secuencial o único, dependiendo de la estrategia elegida para cada caso. La zona irradiada incluye, no solo donde está el propio receptor solar, sino además su periferia cercana (variable, pero típicamente entre 2-5 metros). En concreto, abarca elementos pasivos de la torre o atmósfera circundante) que se ven afectados por la energía que se desborda (spillage) generalmente debido a errores ópticos y/o imprecisión en el apunte del campo de heliostatos.

En cualquier caso, la zona irradiada podría acotarse –debido al desbordamiento de la radiación incidente– en un círculo centrado en el receptor y de radio $\approx 2R$, siendo R el radio del receptor solar. En receptores rectangulares de dimensiones ab, el radio equivalente que acota la zona irradiada valdría: $R \approx 2\sqrt{(ab/2\pi)}$

La respuesta de los radiómetros **12** es tan rápida, que permite un tiempo de exposición del sistema de medida a la radiación solar concentrada lo suficientemente breve como para evitar daños y no necesitar un sistema de refrigeración acoplado; y

c) una vez completada la medida, los datos se transmiten inalámbricamente (*e.g. WiFi*) al control central de la planta, y el dron **10** regresará a su base, refrigerándose el conjunto de instrumentos de forma natural a su paso por la atmosfera fría.

Se dispone así de un sistema de medida de radiación solar concentrada en centrales solares de torre completamente autónomo, desvinculado de la infraestructura de la central solar para realizar la medida, sin necesidad de instalación de elementos de protección pasiva y sin refrigeración. Su autonomía implica que, al no estar vinculado a la infraestructura de una determinada planta, puede medir de hecho en cualquier planta solar de torre, con solo adaptar la disposición de sus radiómetros **12** y la secuencia de movimiento a los requerimientos de las nuevas exigencias. Su precio, además, se estima inferior al de los sistemas convencionales.

Para una mejor comprensión, se complementa con un ejemplo, la aplicabilidad de la invención a la medida de radiación solar concentrada en el receptor solar TSA. Este receptor se encuentra actualmente ubicado en la cota 86m de la torre CESA-1, en la Plataforma Solar de Almería, España según la FIG. 1. Es un receptor solar **2** volumétrico circular, de 3.4m de diámetro, y soporta una potencia incidente de 3000

kW y una densidad de flujo máxima de 800 kW/m². El combustible solar proviene del campo de heliostatos CESA-1. El sistema de medida de radiación solar concentrada incluye los siguientes elementos:

- 5 i) Un conjunto de radiómetros **12** como sensores de respuesta rápida, no-refrigerados y de pequeño tamaño, provistos de cable de señal (FIG. 2A).
- ii) Un primer segmento **14** o tubo preferiblemente de acero inoxidable o cualquier otro material resistente a la irradiación solar, que: a) sirve de sujeción a los radiómetros y b) protege y conduce los cables de señal hasta una unidad de adquisición de datos **18** o *data-logger* (FIG. 2B).
- 10 iii) Un segundo segmento **20** o pértiga de acero inoxidable (FIG. 2B) que puede acoplar (por ejemplo roscándose) al primer segmento **14** del apartado ii) y que va calibrada en longitud y contrapesada mediante un contrapeso **22** si fuese necesario en su extremo contrario.
- 15 iv) Un vehículo aéreo no tripulado o dron **10** acoplado al segundo segmento **20** descrito en el apartado iii), dotado de la potencia y control capaces de elevar – una vez acoplados los elementos descritos en los apartados anteriores– a la cota de la torre donde se halla el receptor (FIG. 2C) y descender a su base siguiendo una secuencia programada de posiciones.

El sistema de medida de radiación solar concentrada propuesto, y que es objeto de la invención, sigue el siguiente procedimiento de operación:

- v) El conjunto montado (mostrado en FIG. 2C) despegas de su base y se aproxima hacia la cota del receptor solar **2** confinado siempre en la denominada “zona fría” de la planta, es decir, zona en ningún caso irradiada por la radiación solar concentrada proveniente del campo solar (ver FIGs. 3 y 4A).
- 25 vi) Una vez alcanzada la cota en altura de la base del receptor, el dron ejecuta un movimiento lateral e introduce, valiéndose del segundo segmento **20**, el arreglo de radiómetros **12** en la zona irradiada prevista, sin exponerse él a la radiación concentrada. A continuación, ejecuta un movimiento de ascensión para barrer la totalidad del área del receptor solar **2**, todo ello en el menor tiempo posible.
- 30 Todas las señales procedentes de los radiómetros **12** se almacenan en la unidad de adquisición y almacenamiento **18**. Una vez alcanzada la cota superior del receptor solar **2**, el dron **10** regresa a la base, siempre dentro de la zona fría.

Los datos grabados en la unidad de adquisición y almacenamiento **18** son enviados vía WiFi (o cualquier otro procedimiento inalámbrico) al control central, donde los datos correspondientes al mapa de puntos $n \times m$ generado (ver FIG. 4A), se

pueden representar como elementos I_{ij} , [kW/m²] de una matriz de flujo I se procesan para proporcionar características tales como la cantidad de potencia incidente, su forma, distribución, puntos singulares, etc, tanto en 2D, como se aprecia en la FIG. 4B, como en 3D, según ilustra la FIG. 4C.

5

REIVINDICACIONES

- 1.** Sistema para medir radiación solar concentrada caracterizado por que comprende:
- una estructura longitudinal reflectante que comprende
 - 5 un primer segmento (14),
 - un segundo segmento (20),
 - unos primeros medios de acoplamiento del segundo segmento (20) con un vehículo aéreo no tripulado (10), y
 - unos segundos medios de acoplamiento entre ambos segmentos (14,20);
 - 10 - una pluralidad de radiómetros (12) instalados longitudinalmente en el primer segmento (14);
 - una unidad de recogida de la información producida por la pluralidad de radiómetros (12).
- 2.** Sistema según la reivindicación 1, que comprende además un contrapeso (22) unido al extremo libre del segundo segmento (20) para equilibrar el centro de gravedad de los elementos anteriores en la posición donde se encuentran los primeros medios de acoplamiento.
- 3.** Sistema según la reivindicación 1 o 2, donde la unidad de recogida de la información producida por la pluralidad de radiómetros (12) es una unidad de adquisición de datos (18) para registrar las medidas tomadas por la pluralidad de radiómetros (12).
- 4.** Sistema según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la unidad de adquisición de datos (18) implementa comunicación inalámbrica.
- 5.** Sistema según la reivindicación 1 o 2, donde la unidad de recogida de la información es un repetidor configurado para replicar y transmitir vía inalámbrica las
- 30 señales eléctricas procedentes de los radiómetros (12).
- 6.** Sistema según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde los radiómetros (12) se distribuyen de forma equidistante.
- 7.** Vehículo aéreo no tripulado (10) que comprende el sistema para medir radiación solar concentrada según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6.

8. Vehículo aéreo no tripulado (10) según la reivindicación 7 que está programado para:

- 5 - elevarse y situar el sistema para medir radiación solar concentrada hasta la cota de altitud del centro del receptor solar (2), manteniendo separado dicho sistema al menos una distancia prefijada del receptor solar (2);
- introducir el primer segmento (14) de la estructura tubular en una región irradiada por el campo de helióstatos (4) y medir con la pluralidad de radiómetros (12);
- 10 - transmitir inalámbricamente los datos de la medición realizada por la pluralidad de radiómetros (12).

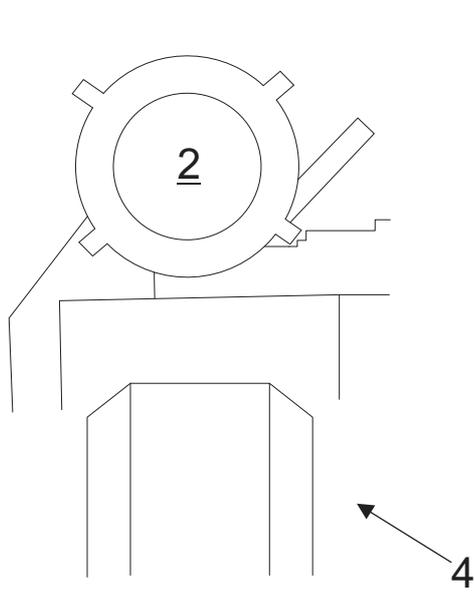


Fig. 1A

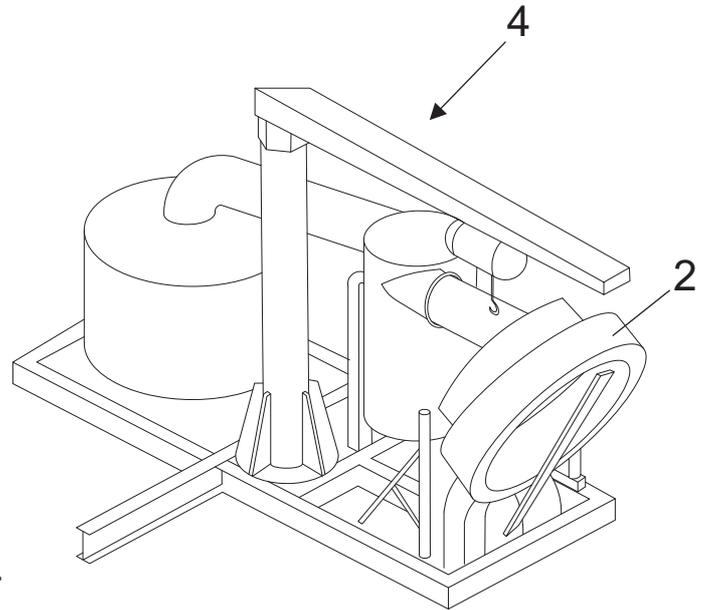


Fig. 1B

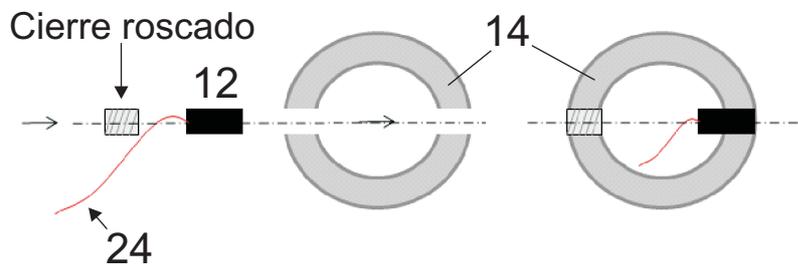


Fig. 2A

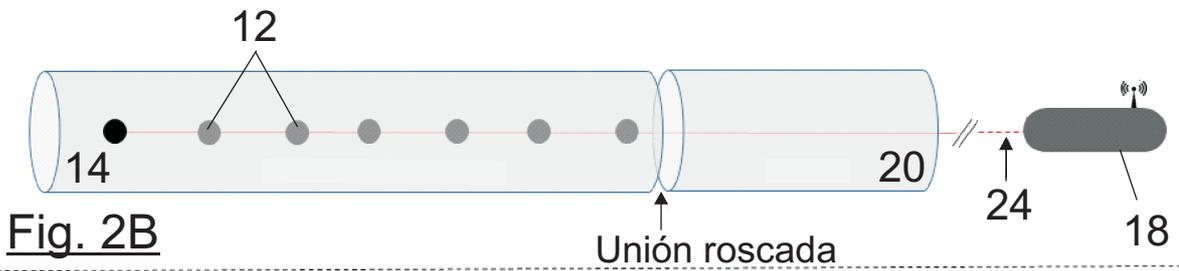


Fig. 2B

Unión roscada

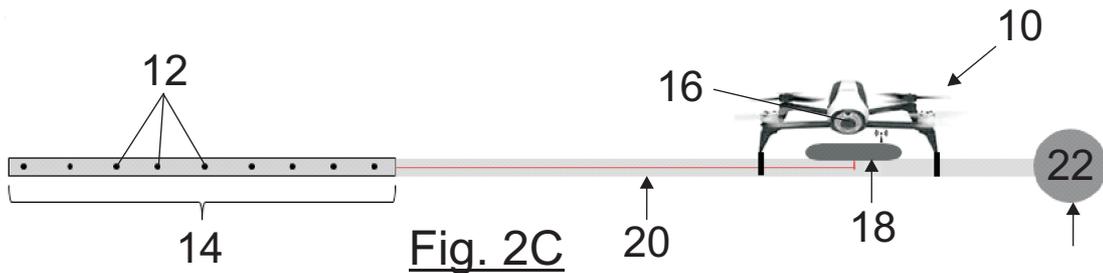


Fig. 2C

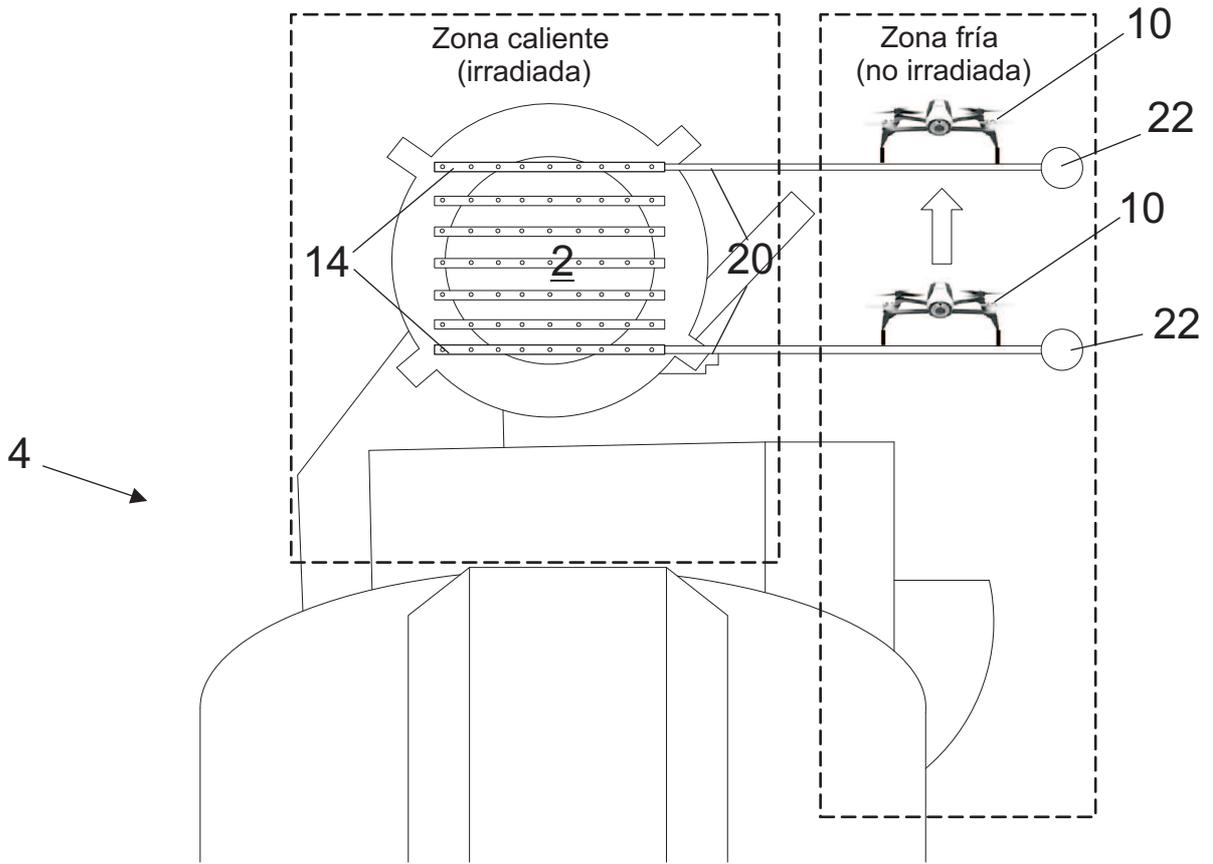


Fig. 3

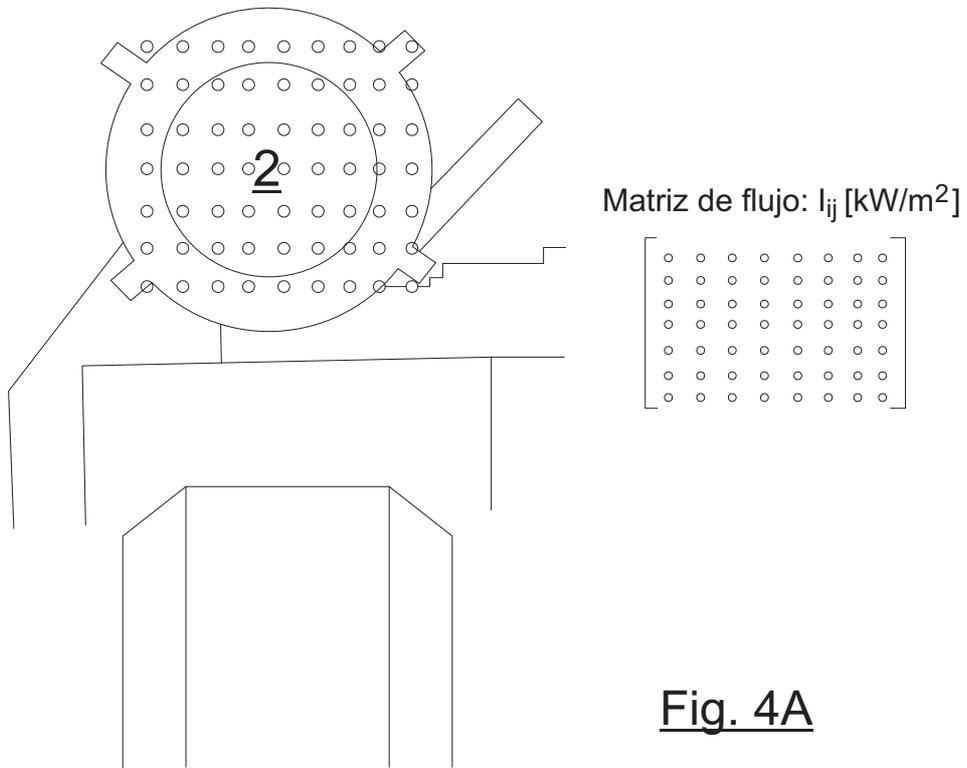


Fig. 4A

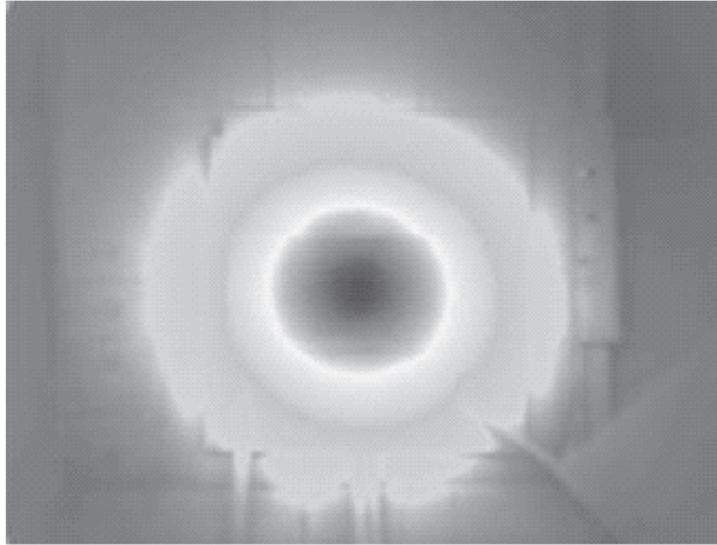


Fig. 4B

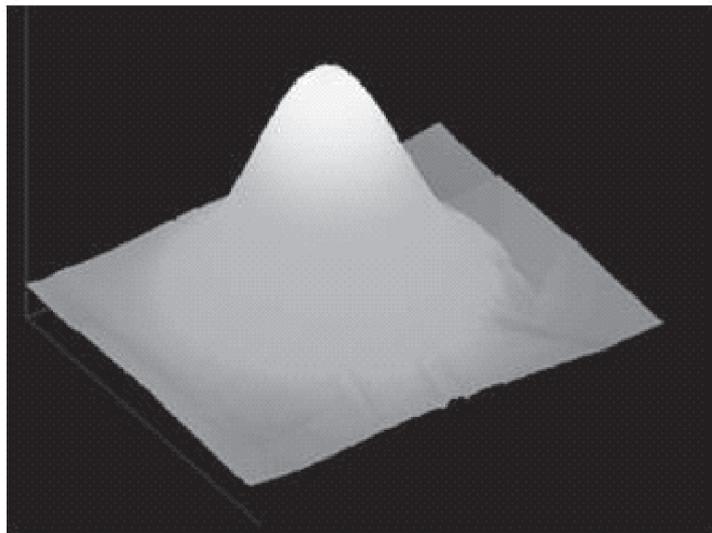


Fig. 4C



- ②① N.º solicitud: 201930606
②② Fecha de presentación de la solicitud: 01.07.2019
③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: Ver Hoja Adicional

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	Röger, Marc. Techniques to Measure Solar Flux Density Distribution on Large-Scale Receivers. Journal of Solar Energy Engineering. Agosto 2014, Vol. 136/031013-1 a 136/031013-10.	1
A	WO 2015117192 A1 (COMMW SCIENT IND RES ORG) 13/08/2015, todo el documento.	1
A	US 5861947 A (NEUMANN ANDREAS) 19/01/1999, Todo el documento.	1
A	US 2018003656 A1 (MICHINI BERNARD J et al.) 04/01/2018, Resumen; párrafo [87].	7
A	CN 208079019U U (HARBIN HACHENG ELECTRICAL TECH DEVELOPMENT CO LTD) 09/11/2018, figuras 1, 2 & resumen de la base de datos WPI. Recuperado de Epoque; AN-2018-91442 B.	7
A	KR 101977304B B1 (DAIN S&T CO LTD) 10/05/2019, figura 1 & resumen de la base de datos Epodoc. Recuperado de Epoque; AN-KR-20180082922-A.	7

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe
26.09.2019

Examinador
J. Merello Arvilla

Página
1/2

CLASIFICACIÓN OBJETO DE LA SOLICITUD

F24S20/20 (2018.01)

F24S50/80 (2018.01)

F24S50/20 (2018.01)

F03G6/06 (2006.01)

H02S50/00 (2014.01)

B64C39/02 (2006.01)

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

F24S, F03G, H02S, B64C, F24J

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI