

OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

① Número de publicación: **2 155 031**

② Número de solicitud: 009901275

⑤ Int. Cl.<sup>7</sup>: F24J 2/40

F24J 2/38

G05D 3/00

⑫

PATENTE DE INVENCION

B1

② Fecha de presentación: **09.06.1999**

④ Fecha de publicación de la solicitud: **16.04.2001**

Fecha de concesión: **04.10.2001**

⑤ Fecha de anuncio de la concesión: **01.11.2001**

⑤ Fecha de publicación del folleto de patente:  
**01.11.2001**

⑦ Titular/es: **CENTRO DE INVESTIGACIONES  
ENERGETICAS, MEDIOAMBIENTALES Y  
TECNOLOGICAS (C.I.E.M.A.T.)**  
Avda. Complutense, 22  
28040 Madrid, ES

⑦ Inventor/es: **García Navajas, Ginés;**  
**Egea Gea, Andrés y**  
**Gázquez Parra, José Antonio**

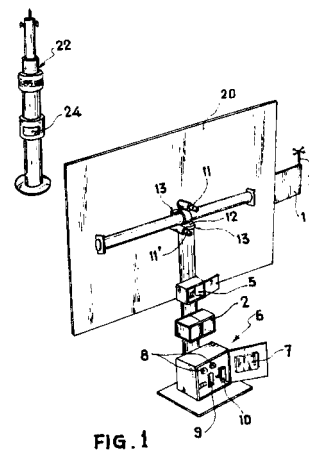
⑦ Agente: **García-Cabrero y del Santo, Pedro**

⑤ Título: **Campo de helióstatos autónomos y método de operación.**

⑤ Resumen:

Campo de helióstatos autónomos y método de operación.

Consistente en una pluralidad de helióstatos autónomos comunicados con el control central mediante radiomodem, comprendiendo cada helióstato autónomo una superficie reflectante (20) orientable mediante un motor de cc para movimiento de elevación (11) y un motor de cc para movimiento de azimutal (11') controlándose mediante codificadores incrementales (12) y finales de carrera (13). Un armario de control local (6) situado en la base del helióstato comprende una tarjeta de control (7) capaz de calcular el vector solar, dos tarjetas de control de motores de cc (8), una tarjeta para el regulador de carga (9) y una tarjeta para el convertidor cc/cc (10). La energía para hacer funcionar los motores (11) (11') y la electrónica de control (7) (8) (9) (10) se obtiene de una placa fotovoltaica (1) solidaria de la superficie reflectante (20) almacenándose en baterías (2).



ES 2 155 031 B1

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 37.3.8 LP.

## DESCRIPCION

Campo de helióstatos autónomos y método de operación.

5 **Objeto y campo de aplicación**

La presente invención se refiere a la realización y operación de campos de helióstatos basados en nuevos conceptos de autonomía y flexibilidad.

10 Mediante el dispositivo de la invención se pretende cubrir la mayoría de las necesidades de seguimiento solar y puede ser empleado en multitud de aplicaciones en donde diferentes elementos han de ser expuestos y guiados de acuerdo con una necesidad específica de seguimiento solar. Así por ejemplo, este dispositivo, trabajando con la nueva concepción, puede ser empleado principalmente en:

- 15 - campos de helióstatos en plantas de Torre Central, en donde se requiere un preciso posicionamiento de dos ejes para el envío y mantenimiento del rayo reflejado por el espejo guiado a un punto espacial conocido y definido por tres coordenadas x, y, z.
- y adicionalmente:
- 20 - para el posicionado, en un eje de colectores con facetas o espejos cilíndrico parabólicos con pequeña distancia focal en sus dos posibilidades típicas de orientación: la norte-sur o la este-oeste.
- para exponer y mantener espejos de corta distancia focal o cualquier otra superficie de forma perpendicular a los rayos del sol realizando un seguimiento solar en uno o dos ejes (seguimiento de discos o concentradores parabólicos, seguimiento de sensores meteorológicos como pirheliómetros y bandas de sombra, seguimiento de placas fotovoltaicas, etc ...)

25 El dispositivo que más adelante se detallará incorpora un concepto de "control local autónomo". Este concepto, unido al tipo y número de aplicaciones en las que puede ser empleado, al empleo flexible de codificadores ópticos para conseguir el posicionado preciso de hasta dos ejes, así como el empleo de parametrización predeterminada y memorizada particularizan y diferencian esta invención. Este dispositivo es fruto de la experiencia recogida por el CIEMAT en sus instalaciones de la Plataforma Solar de Almería, durante más de quince años en el montaje, operación y mantenimiento de prototipos de helióstatos en plantas tipo CRS (Central Receiver system) así como en colectores cilíndrico parabólicos en plantas tipo DCS (Distributed collector system).

35 A lo largo de este documento se utilizarán los siguientes términos con el significado que se describe:

*Helióstatos:* Dispositivo que realiza el movimiento controlado de superficies reflectantes con el objeto de reflejar los rayos solares en una dirección determinada.

40 *Campo de helióstatos:* Conjunto de helióstatos pertenecientes a una planta solar dispuestos en un terreno acotado

*Torre central:* En las plantas solares con campo de helióstatos, es aquella que permite alojar el receptor en lugar elevado para interceptar la energía térmica concentrada y reflejada por los espejos de los helióstatos. Este tipo de plantas termosolares de concentración se denominan "Plantas solares de Torre Central" ó "Plantas solares de Receptor Central"

50 *Receptor solar:* Es el equipo que intercepta y absorbe la radiación solar concentrada, procedente del campo de helióstatos y la transforma en energía térmica.

*Superficie reflectante:* Es aquella que, soportada y guiada por el helióstato, refleja gran parte de la radiación solar que incide sobre ella.

55 *Control Central:* Es un dispositivo informático desde el cual son comandados todos los helióstatos del campo solar.

*Control Local:* Es un dispositivo electrónico que controla y gestiona el funcionamiento de un helióstato permitiéndole realizar todas las funciones de seguimiento y posiciado solicitada por el Control Central.

60 *Mando local:* Es el elemento, incorporado por el control local, que permite al operario posicionar localmente al helióstato.

*Convertidor CC/CC:* Dispositivo electrónico que convierte el valor de la tensión en corriente continua presente en su entrada a otro valor diferente en su salida.

*Radiomódem:* Dispositivo mediante el cual se realizan transferencias de datos digitales entre equipos situados a distancia empleando enlaces por radio.

**Antecedentes de la invención**

En los primeros años de la década de los 80 un importante número de Centrales Solares de Torre Central experimentales nacen impulsadas por el entusiasmo puesto en el desarrollo de una nueva fuente de energía inagotable y limpia, la Energía Solar.

Surgen los siguientes proyectos:

Nombre	Año	Lugar	Pot (Mwe)	Helióstato Tipo	Nº Hel/ Sup (m <sup>2</sup> )
SSPS-CRS	1981	Almería-España	0.5	Martín Marieta	93/3655
Eurelios	1981	Adrano-Italia	0.7		182/6216
Sunshine	1981	Nio-Japón	0.8		807/12912
CESA-1	1983	Almeria-España	1	CASA y SENER	300/11880
Themis	1982	Targasonne-Francia	2.5		201/10800
SOLAR ONE	1982	Barstow- EEUU	10	Martín Marieta	1818/71447
SPP-5	1985	Crimea-Rusia	5		1600/40000
WISS	1988	Rehovot-Israel	3	ASINEL	

El objetivo de estas plantas fue demostrar la viabilidad técnica en la producción de electricidad mediante el empleo de plantas de torre central con campos de heliostatos.

Una vez finalizados los proyectos de demostración, la mayoría de estas plantas fueron cerradas. En Europa, únicamente continuaron en servicio los campos de heliostatos correspondientes a las plantas CRS y CESA-1 gracias a un acuerdo de colaboración entre los gobiernos alemán y español, constituyéndose la Plataforma Solar de Almería, PSA.

En EEUU la planta SOLAR ONE fue remodelada y, con el mismo campo de heliostatos, se puso en funcionamiento la planta SOLAR TWO la cual ha estado funcionando hasta hace muy poco tiempo.

La PSA sigue operando en la actualidad estos campos de heliostatos gracias a una gran diversidad de proyectos que se han llevado a cabo durante estos últimos años. Estos proyectos han sido ensayados a diferentes alturas de la Torre Central y tienen como objetivo el desarrollo de nuevos componentes solares en esta tecnología, fundamentalmente receptores solares (GAST, Volumétricos, RAS, TSA, REFOS...)

Así sucedió con el proyecto GAST el cual fue ensayado en las instalaciones del proyecto CESA-1 empleando su campo de heliostatos. Este proyecto contempló el desarrollo de dos miniserias de 30 heliostatos cada una, las cuales fueron instaladas y ensayadas en la PSA. Una de ellas fue realizada por la empresa alemana MBB y la otra por la empresa española ASINEL.

Estos heliostatos introducen en su desarrollo innovaciones importantes con respecto a sus antecesores en cuanto a los conceptos de control de seguimiento solar e incorporan el concepto de control local inteligente en el sentido de que cada módulo (helióstato) calcula la posición del sol y su posicionamiento en tiempo real.

## ES 2 155 031 B1

Cuatro helióstatos completos de MBB están instalados y funcionando en la actualidad en el Horno Solar de la PSA y un campo de helióstatos de ASINEL siguen funcionando en Rehovot (Israel) en la planta denominada WIS.

5 Después de estas iniciativas un parón en el desarrollo de nuevos helióstatos sucedió debido a las demoras y a la paralización de ambiciosos proyectos internacionales, como el PHOEBUS.

Ya que estos helióstatos supusieron un avance conceptual desde el punto de vista del control y siguen en funcionamiento actualmente, pueden considerarse como la referencia más clara en el estado actual de la técnica.

10 Posteriormente, a comienzos de los años 90, nace una nueva iniciativa hispano-alemana con el objetivo de desarrollar helióstatos de bajo costo desarrollando el concepto tradicional vidrio-metal y el nuevo concepto denominado helióstato de membrana. En el año 1995 son desarrollados y puestos en funcionamiento dos nuevos prototipos de gran tamaño, denominados: helióstato GM100 (Glass-Metal heliostat) de 100 m<sup>2</sup> y helióstato de membrana tensionada ASM150 de 150 m<sup>2</sup>.

Una iniciativa similar sucede en EEUU, en SNL Albuquerque, que culmina con el desarrollo de varios prototipos de helióstato tradicional vidrio-metal de 150 m<sup>2</sup> y 200 m<sup>2</sup> y de otros prototipos de helióstatos de membrana tensionada.

El objetivo de ambas iniciativas se centra en el desarrollo estructural de helióstatos de gran tamaño. En cuanto al control de seguimiento incorporado a estos helióstatos no existen innovaciones relevantes. Únicamente el control incorporado en el helióstato GM100, contemplando los conceptos empleados con anterioridad en los helióstatos MBB y ASINEL en cuanto a la determinación del vector solar y posicionado, incorpora en su control electrónico novedades en cuanto a simplificación y disminución de los costes. El nuevo desarrollo del control local del helióstato se reduce a una placa con electrónica actual ya que el resto de los componentes, drivers, fuentes, etc... son elementos comerciales de gran consumo y bajo precio.

30 En el control electrónico de los helióstatos de membrana tensionada, además del servicio de seguimiento solar, se adiciona el control de la membrana para conseguir un foco estable a diferentes distancias focales. Esta nueva función del control no tiene ninguna significación ni relevancia para los conceptos de la presente invención.

35 Un nuevo paso se da, durante el año 1997, en el desarrollo de un prototipo de helióstato para un proyecto, que al final es paralizado, denominado COLON solar. El helióstato llega a construirse por la compañía española INABENSA y el control desarrollado para el helióstato GM 100 es incorporado a este nuevo helióstato.

40

45

50

55

60

## ES 2 155 031 B1

		Comunicaciones		Alimentación eléctrica		Posicionado	
Helióstato	Concepto*	Soporte	Velocidad	Entrada	Motores	Tipo codif.	Resolución
5 CASA-SENER (CESA-1)	No inteligen.	Cable	9600	380 3F+N	380Vac 1 Velocidad	Incremental	2048x4 =8096
10 Martín Marieta (CRS y Solar I)	No inteligen. Contr.interm.	Cable	9600	380 3F+N	115Vdc 2 velocidades	Incremental	2048x4 =8096
15 MBB (GAST)	Inteligente	Fibra óptica Cable	9600 600	380 3F	380Vac doble bobina 2 velocidades	Absoluto	16384
ASINEL (GAST y WIS)	Semi-intelig Contr interm	Fibra óptica	9600	220 3F	220Vac 1 velocidad	Incremental	2048x4 =8096
20 ASM150	Inteligente	Cable	9600	380 3F+N	Paso a paso velocidad variable	Incremental	10000x4=40000
25 GM100A	Inteligente	Radio	1200	380 3F+N	220Vac velocidad variable variador de frecuencia	Incremental	10000x4=40000
30 COLON	Inteligente	Cable	9600	380 3F+N	220Vac velocidad variable variador de frecuencia	Incremental	3600x4=14400
35 AUTONOMO	Inteligente y autónomo	Radio	9600	E. Fotovolt	24Vdc Velocidad variable	Incremental	3600x4=14400 (65536 max)

### Concepto (\*)

40 *No inteligente:* reciben del control central las coordenadas para su posicionamiento

*Semi-inteligente:* realizan el cálculo de forma compartida entre controladores intermedios

45 *Inteligente:* Calculan el vector solar y su posición sin asistencia del control central pero necesitan de una supervisión constante para asegurar la operación y la seguridad.

*Autónomo:* Pueden trabajar por sí mismos sin ninguna asistencia.

50 Hasta la fecha ningún helióstato incorpora los conceptos de autonomía definidos en la presente invención. Todos los helióstatos mencionados consumen energía convencional y son comunicados por línea física ya sea mediante cable eléctrico o fibra óptica. Todos estos helióstatos quedan a expensas de las condiciones de seguridad que determine el control central en cada instante así como, en los modelos más antiguos, esperan a obtener las coordenadas solares calculadas en el control central para su posicionamiento.

### 55 Descripción de la invención

#### *Estructura del helióstato*

60 El helióstato de la invención es desarrollado a partir de un helióstato ya existente en la PSA, que es modificado para poder trabajar con la tensión continua generada por una pequeña placa fotovoltaica y ser comunicado por radio con la sala de control del proyecto CESA-1 situada a unos 400m de distancia. Para ello:

## ES 2 155 031 B1

- Han sido sustituidos los motores por otros de corriente continua a 24Vcc
- Ha sido instalada, solidaria con la superficie reflectante, una placa fotovoltaica comercial de 110 Wp
- 5 • Ha sido incorporada una tarjeta de control con lectores de variables analógicas
- Ha sido desarrollada una nueva tarjeta de electrónica de potencia para el control de motores CC a varias velocidades y con alto rendimiento
- 10 • Ha sido desarrollado un nuevo regulador de carga de baterías de alto rendimiento
- Ha sido desarrollado un nuevo radiomodem de alta seguridad y velocidad
- Ha sido implementada una rutina de cálculo del vector solar y refracción atmosférica mucho más actualizada y precisa que la utilizada por los anteriores heliostatos.
- 15 • Un sensor de viento, un sensor de luz (la propia placa fotovoltaica) y un sensor de temperatura gestionan la seguridad del heliostato.

### 20 *Autonomía*

El concepto de autonomía implica que este control local podrá funcionar sin la asistencia de ningún otro dispositivo externo, pudiendo por sí mismo, acometer las funciones de cálculo y guiado de los ejes del heliostato manteniendo el foco controlado así como velar por su propia integridad y seguridad. Podrá realizar sus funciones de forma aislada o, como será lo habitual, como componente de un campo de heliostatos. En este último caso, normalmente existirá un control de mayor jerarquía al que denominamos control central.

30 Dentro de un campo, cada control local deberá ser capaz de mantener sus ejes orientados de tal manera que el foco permanezca en la última posición requerida por el sistema (control central). Ya que, cada control local recalculará y modificará su posición continuamente, no será necesaria una continua asistencia por parte del control central siendo únicamente necesario un diálogo mucho más conciso y reducido al envío periódico de órdenes y peticiones de estado.

35 Considerando que en muchas aplicaciones, solo se trabajará sobre un foco, en condiciones de normalidad, sólo existirá una orden colectiva al inicio y finalización de la operación diaria. Esto unido al concepto de presuposición de que todo va bien y la posibilidad de dotar a cada control local de iniciativa en casos de emergencia, se podría, en algunas aplicaciones, reducir este flujo al mínimo o incluso eliminar el control central bajo el empleo de varias señales digitales o con el uso de rutinas automáticas de operaciones programadas en el tiempo.

40 Este concepto no sólo agilizará sin duda las comunicaciones de campos con gran número de heliostatos, sino que también permitirá la continuación de la operación en los casos en donde el control central quede momentáneamente fuera de servicio debido a averías o craks informáticos. Esta idea permitirá, asimismo, un ahorro importante en inversiones por conceptos de redundancia y seguridad en equipos informáticos y/o líneas de comunicaciones.

### *Control local*

50 Ya que el control local deberá calcular la posición del sol en cada momento, es necesario que sea igualmente autónomo en el conocimiento de la hora y del día con la suficiente precisión. Periódicos ajustes, con respecto a un reloj patrón, serán realizados bien a través de las comunicaciones con el control central o bien localmente si la aplicación lo requiere.

55 El control local deberá calcular:

- la posición del sol relativa a su posición geográfica, incluyendo en el cálculo correcciones debidas a efectos de refracción atmosférica.
- 60 • la posición (consigna) a la que deben estar los ejes para alcanzar el foco deseado incluyendo en el cálculo la corrección del centro óptico del espejo debido a la posición y geometría del heliostato.
- El error existente entre la consigna y la posición real de los ejes.

## ES 2 155 031 B1

El concepto de autonomía incluye igualmente otro elemento importante en cuanto a la forma de alimentación eléctrica empleada así como el tipo de soporte de las comunicaciones.

Entendemos como principal característica del heliostato autónomo aquélla por la cual podrá ser instalado en cualquier lugar sin requerimientos de infraestructuras eléctricas, cableado y/o canalizaciones. Este concepto es importante a nuestro entender ya que los costes de obra civil de campos de heliostatos de grandes dimensiones, podrían minimizarse y reducirse a únicamente las propias cimentaciones de los equipos.

### 10 *Energía solar fotovoltaica y comunicaciones por radio*

Con el empleo de energía fotovoltaica para alimentar a cada heliostato o colector y el empleo de las comunicaciones sin hilos, realizadas por radiofrecuencia, el concepto de autonomía cobra su mayor significado.

15

Para justificar el empleo de la energía fotovoltaica, diremos que:

- Debido a que los movimientos de los ejes requeridos por los heliostatos son muy lentos y de escaso valor en grados (normalmente menos de  $360^\circ$ ), el consumo eléctrico diario de los elementos finales de movimiento será muy pequeño en contraste con los elevados pares o momentos a vencer por los mismos y perfectamente asimilable por un pequeño sistema de captación de energía fotovoltaica.
- Se obtiene una fuente de tensión segura en cada heliostato equivalente al empleo de sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI) lo que da mayor seguridad a las instalaciones ya que se consigue una independencia del suministro eléctrico convencional y facilita la eliminación de medidas de redundancia.
- Se elimina la necesidad de tendidos y canalizaciones eléctricas, así como de elementos asociados en transformación, protección y distribución eléctrica.
- Las necesidades de consumo eléctrico están en relación directa con la producción ya que ésta se produce en el mismo momento del consumo. Esto permitirá minimizar las necesidades de almacenamiento eléctrico.
- Las placas fotovoltaicas, dependiendo de la aplicación en concreto, podrán beneficiarse totalmente o sólo en parte del seguimiento solar realizado por el heliostato o colector, consiguiéndose una mayor producción de electricidad. Ello facilitará un ajuste y optimización del coste del sistema solar fotovoltaico.
- La elección del emplazamiento de las placas fotovoltaicas sobre el heliostato o colector deberá, a ser posible, permitir la captación de energía en condiciones de no operación con posición de abatimiento (posición de reposo). En un heliostato tradicional con pedestal y facetas pasantes y cabezal en forma de "T", por ejemplo, el emplazamiento ideal sería colocar las placas con una inclinación igual a la latitud del lugar y sobre el cabezal aprovechado la apertura central superior, siendo definida la posición de abatimiento con las facetas (espejos) mirando hacia abajo y en orientación sur. En heliostatos donde no existe apertura central en la superficie reflectante, la posición idónea de la placa fotovoltaica será en el mismo plano de la superficie reflectante, definiéndose la posición de abatimiento con facetas en posición vertical y orientación sur. Estos emplazamientos aseguraran la captación de energía en un campo de heliostatos autónomos abatidos, incluso durante largas temporadas de inactividad debido a averías o periodos de fuera de servicio de la planta solar.
- La integración de las placas fotovoltaicas en los heliostatos permitirá que los procedimientos de limpieza rutinarios de los espejos garanticen igualmente la limpieza de estas placas consiguiéndose una mayor captación de energía fotovoltaica.
- Sería una original y novedosa manera de refundir dos tecnologías diferentes de la energía solar las cuales se complementarían y tendrían mayor posibilidad de comercialización y lanzamiento que yendo separadas. Se conseguiría un mayor atractivo solar al desligar a los captadores solares (heliostatos, colectores ...) de los consumos eléctricos convencionales.
- A todos los factores descritos anteriormente se deberá unir el ahorro energético originado por el aporte de energía producida por las placas fotovoltaicas que tendrá que unirse a la aportación total de la planta solar. Esto se traducirá en una reducción de los consumos de energía internos de la planta, lo que provocará un aumento del rendimiento global de la instalación.

60

## ES 2 155 031 B1

El concepto del empleo de placas fotovoltaicas obliga a trabajar con alimentaci3n el3ctrica en corriente continua y a optimizar los consumos el3ctricos. Para ello:

- 5 • El empleo de motores de corriente continua (y/o otros elementos finales de movimiento) nos permitir3 la posibilidad de uso de varias velocidades en los motores de forma econ3mica y sencilla.
- El empleo de electrov3lvulas y bombas de presi3n en accionamientos hidr3ulicos nos permitir3 el movimiento de grandes superficies con consumos el3ctricos menores.
- 10 • Los consumos de las placas electr3nicas deber3n reducirse al m3ximo, circunstancia actualmente conseguida con el empleo de CI's de bajo consumo en tecnolog3a CMOS.
- Los codificadores 3pticos deber3n ser igualmente de bajo consumo. Ya que, de cualquier manera, su consumo puede ser significativo, estos consumos podr3n ser minimizados desconect3ndolos del suministro el3ctrico durante la noche o en periodos de no operatividad. Con este concepto aumentaremos significativamente la vida de los componentes 3pticos de estos elementos adem3s de optimizar el consumo.
- 15 • El consumo directo en las tensiones entregadas por las placas facilitar3 la eliminaci3n de fuentes de alimentaci3n y/o convertidores.

20 El empleo de alimentaci3n en corriente continua aportar3, indudablemente, una mayor seguridad para el operario que manipula el control local, ya que el nivel de las tensiones de trabajo ser3 de bajo valor e inofensivo para la manipulaci3n humana.

25 Cada heli3stato de un campo, dispondr3 de un sistema completo de placa fotovoltaica, cargador y bater3a. El sistema, por su concepci3n, se dise1nar3 con una baja autonom3a. Ello permitir3 reducir las necesidades de almacenamiento el3ctrico.

30 Otro elemento a incorporar en los nuevos controles locales aut3nomos de un campo de heli3statos, ser3 la comunicaci3n de los mismos con el control central mediante una comunicaci3n sin hilos bajo los principios de las nuevas y recientes t3cnicas de comunicaci3n.

Si, adem3s de la energ3a fotovoltaica, se emplean comunicaciones sin hilos, conseguiremos:

- 35 • la eliminaci3n total de las canalizaciones y tendidos de cables entre los diferentes heli3statos del campo solar, con lo que el ahorro en obra civil ser3 un factor importante a tener en cuenta
- empleo de nuevos y modernos medios de comunicaci3n por radio con frecuencias en canales comerciales o por v3a sat3lite.
- 40 • posibilidad de pilotar y operar varias plantas solares desde un centro neur3lgico situado a gran distancia
- una mayor inmunidad frente a descargas el3ctricas debido a tormentas ya que no hay soporte f3sico de uni3n entre los controles locales del campo solar
- 45 • las ampliaciones del campo solar ser3an inmediatas, sin interferencias y sin problemas de dimensionamiento de las infraestructuras. Unicamente ser3 necesario el espacio f3sico y las cimentaciones de los nuevos heli3statos.

### 50 *Seguridad*

Para complementar el concepto de autonom3a, el control local ha de ser capaz de gestionar su propia seguridad y la de la planta solar. El control local deber3 gestionar la integridad f3sica del heli3stato o colector ante condiciones de emergencia o imponderables meteorol3gicos as3 como, por limitaciones impuestas en su operaci3n.

55 Para ello y bajo petici3n de una aplicaci3n concreta, podr3 ser posible ponerlo en contacto con su entorno mediante sensores as3 como dotarle de una l3gica con objeto de que pueda adoptar decisiones de emergencia ante un evento o anomal3a grave como, por ejemplo, intensa velocidad del viento, muy alta temperatura ambiente, impacto por granizo, acumulaci3n de nieve o agua, etc...

60 Otro concepto importante en la seguridad ser3 la de dotar al control local, si as3 se solicita, de la decisi3n de desenfocar si este detectase una p3rdida de comunicaci3n con el control central durante un



tiempo establecido y convenido. Ello permitirá, por un tiempo, restablecer las condiciones normales de operación ante bloqueos o indisponibilidades momentáneas del control central sin la adopción de medidas drásticas o dramáticas para otros sistemas del proceso.

5 Por último, y para complementar finalmente el concepto de autonomía, el control local deberá disponer de una completa autodiagnosís mediante la cual se informe al control central del origen y gravedad de la avería. Ante un fallo, el control local intentará, si ello es posible y dependiendo del tipo de fallo detectado, la retirada del helióstato o colector del foco instantes después de producirse el mismo. Si la aplicación es en dos ejes, este desenfoque podrá realizarse en uno o en los dos ejes, en cualquier caso, en aquel que aún esté operativo. Transcurrido un tiempo para el intento, suficiente para haber desenfocado completamente, el control local quedará enclavado esperando su recuperación desde campo o desde el control central.

*Flexibilidad*

15 Otro de los elementos fundamentales en esta nueva concepción del control de seguimiento de un campo solar, es el aspecto de la flexibilidad.

Este concepto implica que el control local ha de ser flexible para poder abarcar el mayor número de aplicaciones diferentes sin necesidad de realizar cambios substanciales en su concepción.

La flexibilidad ha de ser exigible tanto en el hardware como en el software del control local. Ya que el software puede ser perfectamente modificable y adaptable a la aplicación en cuestión, el factor fundamental para que esta flexibilidad se dé será la de prever, en el diseño de la placa, circuitería electrónica suficiente como para poder abordar todas las tareas necesarias para cualquier aplicación tipo. Esto deberá ser posible sin encarecer de forma significativa el coste de la placa ya que, dependiendo de la aplicación, determinados circuitos serán o no conexiados en el soporte, el cual será común.

Con objeto de poder abordar, en su total dimensión, el concepto de control local autónomo y de permitir asumir la mayoría de las aplicaciones de seguimiento solar, la flexibilidad del soporte hardware ha de considerar lo siguiente:

- lectura y tratamiento de hasta dos codificadores ópticos comerciales, con las siguientes particularidades:

- 35 • Compatibilidad en el empleo y conexiado de uno o dos codificadores ópticos incrementales de hasta 16384 bit/rev, con tratamiento de cero (referencia) y tratamiento específico de flancos para aumentar la resolución del mismo en un 400% (hasta 16384 x 4 = 65536 bit/rev). Este proceso permitirá optimizar el precio de los codificadores, siendo necesarias resoluciones en los mismos cuatro veces menores a las necesarias en el posicionado de los ejes finales del captador solar.
- 40 • Detección del cero de los codificadores incrementales a las diferentes anchuras de pulso empleadas por la mayoría de los fabricantes.
- 45 • Compatibilidad en el empleo y conexiado de codificadores ópticos absolutos de hasta 65536 bit/rev en bus, paralelo o serie.
- Conexión/desconexión de la alimentación a codificadores en períodos no operativos (para disminución del consumo y aumento de vida de estos elementos).

50 - Empleo de un número suficiente de entradas y salidas digitales para:

- pilotaje de elementos finales del movimiento (dos motores con dos sentidos de giro y dos velocidades o electroválvulas y bombas para elementos hidráulicos)
- lecturas de finales de carrera, dos por eje
- 55 • ordenes de operación mediante entradas digitales (enfoco, desenfoque y abatimiento)
- tratamiento de sensores digitales externos (interruptor de viento, termostatos, presostatos, etc...)
- ataque a elementos externos ajenos al captador con fines de control del proceso
- 60 • lectura de interruptores para el posicionado manual y local

- Lectura de variables analógicas con el fin de:

## ES 2 155 031 B1

- poner el control local en contacto con su entorno ambiental con objeto de gestionar su integridad y supervivencia ante imponderables meteorológicos o de otro tipo (viento, temperatura, radiación solar, etc..)
- Poner el control local en contacto con el proceso con la posibilidad de participar de forma activa en el control de la planta solar.

- Empleo de memoria no volátil para el alojamiento del software y la parametrización del heliostato y permitir las estrategias de control y operación.

- Empleo de reloj en tiempo real con calendario, mantenido con batería.

- Empleo de puerto de comunicaciones estándar (RS232, RS485, etc ...).

En cuanto a la flexibilidad exigida en el software, diremos lo siguiente:

- La estructura del software de las diferentes aplicaciones no variará substancialmente

- El software elaborado para una misma aplicación, será válido para todos y cada uno de los controles locales del campo solar, pudiendo ser intercambiado entre ellos (memoria PROM). Los parámetros identificativos de cada heliostato del campo solar, estarán contenidos en otra memoria no volátil diferente, no intercambiable, que podrá ser leída/escrita en cualquier momento desde el control central o desde una consola de campo.

### *Parametrización*

- La parametrización del heliostato permitirá:

- adaptar las condiciones propias, constructivas, geométricas y de diseño (resolución de posicionamiento y de seguimiento a foco, posiciones geográficas, márgenes y límites de movimiento,...) del heliostato sin modificar el software de la aplicación
- definir parámetros operativos del heliostato (offsets, parámetros de apunte, etc..)
- definir las posiciones fijas (abatimiento, lavado, etc.) y coordenadas de foco (foco principal, focos secundarios, focos de emergencia y de seguimiento desfasado, desfases de foco, etc..) más significativas
- definir pasillos de seguridad
- definir condiciones y/o actuaciones de emergencia
- definir las variables analógicas provenientes de sensores externos, así como sus valores límites y actuación deseada
- definir los parámetros de la comunicación.

- El protocolo en las comunicaciones será común para las diferentes aplicaciones. El concepto de control local autónomo junto con el concepto de parametrización nos lleva a emplear protocolos con mensajes muy concisos y simples. Debido a que todo queda predefinido de antemano con arreglo a una estrategia determinada, solamente será necesario indicar el tipo de orden a ejecutar por el control local quedando los parámetros asociados a esta orden, predefinidos en la parametrización. Este ahorro en el tráfico de las líneas de comunicaciones facilitará el empleo de las comunicaciones por radio.

Adicionalmente al control central del campo y a las comunicaciones serie, en algunas aplicaciones donde se considere oportuno, el sistema de control y/o supervisión de la planta, podrá pilotar, a través de conexiones I/O digital, a los heliostatos de forma prioritaria a lo establecido por las comunicaciones normales. Esto puede ser útil en aplicaciones donde no exista control central, o se requiera, por motivos de seguridad, un segundo camino diferente e independiente. Este concepto puede ser importante ya que posibilita aquellas aplicaciones en donde el campo solar requiere ser controlado por un autómata (lógica booleana) o de forma simultánea y/o complementaria con el control central.

Este concepto aporta un indudable incremento de seguridad en el proceso de la planta solar ya que coexisten dos caminos posibles para operar los heliostatos.

## ES 2 155 031 B1

### *Estrategia*

Debido a la gran versatilidad que nos aporta la autonomía y parametrización del helióstato, es posible desarrollar otro nuevo concepto al que denominamos “estrategia”.

Definimos este concepto como el conjunto de acciones, configuraciones del campo solar y decisiones convenidas por el personal de operación y/o investigador para:

- llevar al proceso, de forma automática, a posición segura ante la presencia de eventos de operación o emergencias del proceso (estrategias de desenfoque)
- controlar, en todo momento, las reflexiones no deseadas asignando a cada helióstato o grupo de ellos un camino de seguridad para la subida y bajada del foco (estrategias de seguridad y puesta en marcha)
- definición de estrategias convenidas de apunte en el receptor o absorbedor solar para la obtención de distribuciones de flujo energético apropiadas (estrategias de apunte)
- definición de las posiciones características del campo solar tales como la posición de abatimiento, lavado, etc.. (estrategias operativas).
- definición de focos de seguimiento desfasado, supervisión y definición de variables del proceso, límites y acciones de control (estrategias de control y supervisión)

Ya que cada control local en el campo solar, dispondrá de una parametrización propia, será posible configurar cada uno de ellos con el objeto de obtener un resultado final de acuerdo con la estrategia convenida por los diseñadores de la planta. Será posible tener tantos pasillos de seguridad, focos de seguimiento desfasado, focos de receptor, focos de emergencia... como helióstatos compongan el campo solar. Lo normal será, de acuerdo con unas estrategias iniciales, definir los puntos característicos del campo solar y asignar grupos de helióstatos a cada uno de ellos.

Una vez configurado el campo durante la puesta en marcha de la instalación, podrá ser reconfigurado posteriormente tantas veces como sea necesario, con arreglo a circunstancias:

- *estacionales*: (configuración de invierno o verano)
- *operativas*: (configuración de grupos, modificación de offsets...)
- *de desenfoque* ante una emergencia (configuración de desenfoque controlado y acorde con las características del receptor solar). Ante una emergencia, cada helióstato tendrá definido de antemano cuál será su foco.
- *de enfoque*: cada helióstato tendrá definido un foco dentro del receptor solar con arreglo a una estrategia de apunte.
- *de control* ante una supervisión del proceso, cada helióstato tendrá definidos los límites de los máximos y las acciones a adoptar.
- *de seguridad* definiendo las acciones que realizarán los helióstatos en supuestos tales como : avería, pérdida de comunicaciones con el control central, ... etc.

### *Ventajas*

Las ventajas que presenta un campo de helióstatos autónomos respecto a otro convencional son las siguientes:

- Un campo autónomo, al no depender de cableados de fuerza ni de canalizaciones permitirá una mayor libertad de posicionamiento dentro de los límites establecidos para el campo de helióstatos y una mayor flexibilidad en cuanto a ampliaciones futuras eliminando la necesidad de previsión y sobredimensionamiento tanto de las canalizaciones como de las instalaciones de distribución de baja tensión y protección eléctrica.
- Un campo autónomo presenta una mayor inmunidad a daños ocasionados por rayos y descargas eléctricas. En campos convencionales estos daños pueden generalizarse a un gran número de helióstatos al servir los cableados de conducción de las descargas.

- 5

• Los helióstatos con suministro tradicional quedan a expensas de cortes en su alimentación debido a interrupciones en el suministro o a disparos en las seguridades eléctricas lo que provoca, en la mayoría de las situaciones, una pérdida en las referencias absolutas de la posición de los ejes de los helióstatos y obliga a un abatimiento generalizado del campo de helióstatos para un reencuentro de las mismas. Esta situación provoca una pérdida de producción de la planta solar, ya que el campo de helióstatos puede tardar cerca de una hora (como es el caso de los campos CESA-1, CRS, y SOLAR TWO), en encontrar las referencias absolutas y volver a quedar operativo. Mediante un campo de helióstatos autónomos este problema queda solucionado ya que cada módulo tiene su alimentación garantizada disponiendo de una fuente de tensión segura e independiente a las demás.
- 10

• Bajo el empleo de un campo de helióstatos autónomos se elimina la necesidad del empleo sistemas de alimentación interrumpida (SAI) para la solución del problema anterior
- 15

• Bajo el empleo de un campo de helióstatos autónomos se elimina la necesidad del empleo de codificadores absolutos (caso de los helióstatos MBB) para la solución al problema anterior. Estos equipos son más sofisticados, caros y menos empleados en la industria.
- 20

• Un campo de helióstatos autónomos alimentados mediante energía fotovoltaica permitirá una reducción de los consumos parásitos de la planta de producción debiéndose considerar la producción fotovoltaica como un método para aumentar el rendimiento global de las instalaciones o como un aumento en la producción final de la planta. Un atractivo adicional es que la producción fotovoltaica se ve beneficiada por el seguimiento solar realizado por el helióstato y es producida en el mismo momento del consumo.
- 25

• Las tensiones empleadas en instalaciones convencionales entrañan un peligro para el personal de mantenimiento que manipula los controles de los helióstatos por lo que, se hace necesario el cumplimiento estricto de normas de seguridad y el empleo de material y equipos de protección personal. En un campo de helióstatos autónomos estos inconvenientes desaparecen ya que las tensiones usadas son de muy bajo valor y no entrañan ningún riesgo para las personas.
- 30

• El empleo de la radio para las comunicaciones de un campo de helióstatos autónomos, posibilita la eliminación total de los cableados y las canalizaciones, por lo que, como ya hemos indicado, se descentraliza el riesgo de roturas ante rayos y descargas eléctricas (en los campos CESA-1 y CRS se han producido en varias ocasiones importantes daños causados por este motivo).
- 35

• El empleo de la radio en campos autónomos posibilita la operación a distancia de una o varias plantas situadas en una misma red. El gran desarrollo, durante estos últimos años, de las telecomunicaciones móviles, sin cables, garantiza la fiabilidad y rentabilidad de este concepto.
- 40

• El empleo de los conceptos de autonomía permite un mayor atractivo en países con escasos recursos e infraestructuras ya que los costes en obra civil y equipamiento eléctrico en baja tensión, para campos de helióstatos, se ven mermados muy significativamente.
- 45

• El empleo de los conceptos de autonomía en la determinación del posicionado de los helióstatos de un campo de grandes dimensiones eliminan la necesidad de potentes ordenadores para el control central y de tramas de comunicación complejas (como es el caso de los campos CESA-1, CRS y Solar Two). Ello impide que un corte o deterioro de las comunicaciones pueda poner fuera de servicio total o parcial al campo de helióstatos con la consiguiente pérdida en la producción de la planta Solar.
- 50

• La parametrización del helióstato autónomo permite una disminución importante de la longitud de los mensajes intercambiados entre control local y central, permitiendo una respuesta simultánea de todos los helióstatos del campo con tiempos de respuesta muy inferiores que en campos convencionales.
- 55

• Los conceptos de configuración paramétrica de un campo de helióstatos autónomos con motivos estratégicos posibilitan mayores prestaciones operativas, de seguridad y de control que en campos convencionales.
- 60

• El concepto de autonomía posibilita garantizar localmente, en cada helióstato o seguidor solar, la integridad y seguridad ante condiciones externas adversas, ya sea por viento intenso, falta de luz, acumulación de nieve o agua, impactos o temperatura.
- El concepto de autonomía amplia considerablemente el campo de aplicaciones en seguidores solares por ejemplo en pequeñas plantas de producción autónomas aisladas de red (plantas fotovoltaicas remotas). Aplicaciones remotas con gran dificultad de acceso son posibles bajo este concepto.

- También son posibles, con este concepto de autonomía, la realización de operaciones cíclicas y repetitivas sin necesidad de comunicación continua, comunicación periódica o, incluso, sin ningún tipo de comunicación.

5 **Breve descripción de los dibujos**

Para complementar la descripción realizada y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, se va a efectuar una descripción detallada de una realización preferente, en base a un juego de planos que se acompaña a esta memoria descriptiva, formando parte integrante de la misma y en donde con carácter meramente orientativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

10 La figura 1 muestra una vista de la parte trasera del helióstato, así como de la torre central.

La figura 2 muestra una vista frontal del helióstato.

15 La figura 3 muestra el diagrama de bloques de un helióstato autónomo realizado de acuerdo con la invención.

20 La figura 4 muestra un diagrama de bloques del radiomodem que incorpora un helióstato autónomo realizado de acuerdo con la invención.

La figura 5 muestra un diagrama de bloques funcional de un campo de helióstatos autónomos realizado de acuerdo con la invención.

25 En las figuras descritas las referencias numéricas corresponden a las siguientes partes y elementos:

1. Placa fotovoltaica
2. Baterías
- 30 3. Sensor meteorológico
4. Antena de radiomodem
- 35 5. Radiomodem local
6. Control local
7. Tarjeta de control
- 40 8. Control de motores
9. Regulador de carga de baterías
- 45 10. Convertidor cc/cc
11. Motor de movimiento de elevación
- 11'. Motor de movimiento azimutal
- 50 12. Codificadores incrementales
13. Finales de carrera
- 55 14. Consola de campo
20. Superficie reflectante
22. Torre central
- 60 24. Foco del helióstato
51. Módem integrado

- 52. Unidad de radio
- 53. Microcontrolador radiomodem
- 5 54. Buffer E/S
- 55. Reloj de tiempo real
- 10 60. Radiomodem central
- 71. Microcontrolador local
- 72. Reloj calendario
- 15 73. RAM de la tarjeta de control (7)
- 74. ROM de la tarjeta de control (7)
- 20 75. Puertos de entrada
- 76. Convertidor A/D
- 77. Procesador de codificadores incrementales (12).
- 25 78. Mando local
- 79. Puertos de salida
- 30 80, 80'. Conexión/desconexión de alimentadores eléctricos

**Descripción de una realización preferente.**

35 Un helióstato autónomo se pondrá en funcionamiento en la PSA, constituyendo una aplicación preferente del objeto de la invención.

40 Se trata de un helióstato vidrio-metal clásico de óptica fija y 70 m<sup>2</sup> de superficie reflectante con dos ejes de movimiento (giro azimutal y giro de elevación) manejado por un control local especialmente diseñado para consolidar los conceptos de autonomía según la invención. Para ello el control local, alimentado por un sistema de alimentación ininterrumpida mediante una placa fotovoltaica y una batería, es capaz de pilotar dos motores de corriente continua al objeto de cumplir con los servicios de seguimiento solar bien para un seguimiento normal al sol (para una mayor captación de energía fotovoltaica), bien para el control espacial del rayo reflejado y del foco (durante la operación normal en Plantas de Torre Central).

45 Para la eliminación total de los cableados externos, el helióstato es comunicado con la sala de control, situada a unos 400m de distancia, mediante un radiomodem realizándose un enlace seguro en frecuencias en el rango de los 400 a 800Mhz. Para asegurar la integridad de los mensajes intercambiados por el control local y central, se recurre a procesos de codificación y encriptación de la información.

50 El helióstato recibe información meteorológica mediante un pequeño anemómetro e interruptor de viento, un sensor de luz (la propia placa fotovoltaica) y un sensor de temperatura. Con estos datos el control local garantiza la supervivencia del helióstato ante imponderables atmosféricos en aplicaciones aisladas así como le ayudan a determinar las condiciones de operación más favorables en caso de baja tensión de batería decidiendo un abatimiento a posición segura o una operación de seguimiento normal para una máxima captación de energía, si las condiciones de luz lo permiten.

60 El microcontrolador incorporado en la tarjeta de control empleada, asistido por un reloj con calendario, calcula continuamente el vector solar gracias a un algoritmo mejorado que garantiza un error menor de 0.5 minutos de arco para los próximos 6 años (hasta el 31/12/2005). Se introduce una corrección por paralaje y otra por refracción atmosférica dinámica en función de la temperatura ambiente en cada instante.

## ES 2 155 031 B1

El control local permite la memorización permanente y modificación de los parámetros del heliostato con objeto de facilitar las estrategias operativas en campos de heliostatos (focos, posiciones fijas, pasillos de seguridad ...) así como realiza una supervisión continua del funcionamiento midiendo los consumos y los valores eléctricos más representativos de los elementos principales, generando un autodiagnóstico en caso de avería.

La tarjeta de control realiza un posicionamiento preciso de los ejes del heliostato gracias a la lectura de codificadores angulares incrementales y al manejo de varias velocidades de motor. Conocida la posición del sol y la de los ejes del heliostato los motores son pilotados para conseguir mantener el foco en el lugar espacial deseado empleando para ello una baja velocidad (aprox.  $2^\circ$ /minuto en extremo final de ejes) en posiciones próximas y una alta (aprox.  $7.5^\circ$ /minuto en extremo final de ejes) cuando la posición está lejos del valor de consigna.

En las figuras 1 y 2 podemos apreciar los diferentes elementos del heliostato autónomo. En ella observamos que la placa fotovoltaica (1) queda solidaria a la superficie reflectante (20) y dispuesta en su mismo plano, en un lateral, y las baterías (2) quedan alojadas en el pedestal protegidas por la propia sombra del heliostato.

Con esta disposición la producción eléctrica de la placa se ve beneficiada por el seguimiento realizado durante la operación normal del heliostato en una Planta de Torre Central. Esta disposición garantiza el mantenimiento y limpieza de la misma ligando estas operaciones a las propias de la superficie reflectante. Esta disposición garantiza igualmente la captación de energía fotovoltaica durante los períodos inoperativos del heliostato (durante períodos nublados o en caso de averías) ya que la posición de descanso del heliostato se establece en la posición vertical hacia el sur y la posición de emergencia (en caso de alto viento) en la posición horizontal hacia arriba.

Puede apreciarse el pequeño sensor meteorológico (3), que comprende anemómetro e interruptor de viento, instalado sobre la placa fotovoltaica (1) para la lectura de la incidencia del viento sobre la superficie reflectante (20) con objeto de garantizar la autoprotección y supervivencia del heliostato ante valores extremos.

Otro detalle característico de este heliostato es la pequeña antena (4) que ha sido instalada en el centro de la superficie reflectante (20) y que permite, junto con el radiomodem local (5) instalado dentro de una caja sobre el pedestal del heliostato, el enlace sin hilos con la sala de control situada en un edificio junto a la torre central (22), a unos 400m de distancia. A media altura de la citada torre puede apreciarse el foco (24) del heliostato autónomo en plena operación.

El control local (6) del heliostato autónomo se instala en una caja metálica de intemperie situada en la parte inferior del pedestal en donde se alojan la tarjeta de control (7), de control de motores de cc (8), el regulador de carga (9) y el convertidor cc/cc (10), que hacen posible la controlabilidad del heliostato bajo el concepto de autonomía.

En el cabezal del heliostato se sitúan el resto de los elementos tradicionales tales como el motor de elevación (11), el motor azimutal (11'), codificadores incrementales (12) y finales de carrera (13).

En la figura 3 se incluye un diagrama de bloques de un heliostato autónomo realizado de acuerdo con la invención. Se describe a continuación cada elemento de la forma que sigue:

### *Tarjeta de control (7)*

Forma parte del control local del heliostato y de ella dependen las tareas de cálculo y control de los diferentes elementos del heliostato.

La tarjeta de control incorpora un microcontrolador local (71) de 8 bits y de alta difusión encargado de la realización de todas las tareas ya indicadas con anterioridad ayudado por un reloj calendario (72) para el conocimiento preciso de la hora y del día y por memorias del tipo RAM (73) y ROM (74).

El programa principal está contenido en una memoria PROM siendo válido para todos los heliostatos del campo solar. En otra memoria permanente de escritura/lectura es particularizado y parametrizado cada heliostato.

El microcontrolador local (71) es comunicado con el exterior mediante puertos de entrada (75) y

puertos de salida (79) digitales y mediante un convertidor Analógico/Digital (76) pudiendo multiplexar hasta ocho canales diferenciales analógicos con una resolución de 12bits en el rango de -10V a +10V. Estos canales analógicos son empleados para la lectura en tiempo real de variables externas que requieren una supervisión con objeto de garantizar el correcto funcionamiento del equipo así como de asegurar, en aplicaciones autónomas aisladas, la autoprotección ante condiciones atmosféricas extremas. Estos canales analógicos son también empleados para la lectura de los consumos de los elementos principales así como de las variables eléctricas más representativas para un correcto autodiagnóstico del funcionamiento.

Un procesador de codificadores (77) es incorporado en la tarjeta de control (7) para permitir la lectura de los pulsos entregados por los dos codificadores incrementales (12) y su procesado hacia sendos buses paralelos de 16bits cada uno. En este proceso se produce una solución hardware para la cuenta de los pulsos a alta velocidad y la determinación del sentido de giro así como de la puesta a cero ante la presencia de las marcas de referencia absoluta (ceros) en los diferentes rangos de desfase eléctrico empleados comercialmente por la mayoría de los fabricantes de estos equipos. Este proceso consigue multiplicar por cuatro la resolución de los codificadores incrementales (12) empleados, al tener en cuenta los flancos de subida y bajada de los pulsos recibidos.

En esta aplicación preferente son empleados codificadores incrementales (12) de 3600 pulsos por vuelta lo que significa que después de este proceso se ofrecerán resoluciones de 14400 pasos en 360° pudiéndose resolver 0.025° en cada eje del heliostato.

Los puertos de entrada digital permiten al microcontrolador local (71) la lectura de los buses de cuenta de los codificadores y pulsos de cero así como de sensores externos tales como finales de carrera (13) e interruptor de viento. Este último elemento, asegura un abatimiento de emergencia en condiciones de viento extremas.

También son leídos los interruptores que conforman el Mando Local (78) y las señales de confirmación y de alarmas procedentes de otras tarjetas electrónicas. Los pequeños interruptores del Mando Local están instalados en la propia placa y permiten el movimiento, en modo local desde campo, de los dos ejes del heliostato en cualquiera de los dos sentidos de giro.

Los puertos de salida (79) digital permiten al microcontrolador local (71) el control del multiplexor del convertidor A/D (76) así como el pilotado de los elementos finales de movimiento constituidos por las tarjetas de control de velocidad de motores de corriente continua (8) y la conexión/desconexión de alimentaciones eléctricas (80), (80') con objeto de disminuir consumos durante la noche o en períodos no operativos, o para la autoprotección en caso de averías francas detectadas.

Las comunicaciones con el exterior se realizan mediante una línea serie asíncrona RS232C a una velocidad de 19200 baudios máximo. Esta línea es empleada para la conexión de un radiomodem local (5) que lo comunica con el control central situado a distancia. Esta línea también es empleada para la conexión de una consola de campo (14) consistente en un ordenador PC portátil desde el cual es posible la total manejabilidad y control del heliostato. Esta consola es útil en trabajos realizados en campo por personal de mantenimiento.

#### 45 *Sistema de producción de energía:*

Está compuesto por una placa fotovoltaica (1), comercial, de silicio monocristalino de 110Wp y 24Vcc, de dos baterías (2) comerciales de plomo-ácido de 12V y 55Ah, de un regulador de carga (9), experimental, para el control de la acumulación de energía eléctrica, y de un convertidor cc/cc (10) de corriente continua a corriente continua.

El regulador de carga (9), situado en el interior del cuadro de control local (6), ha sido diseñado para esta aplicación preferente empleando componentes electrónicos de conmutación y transistores MOS de potencia con el fin de obtener un alto rendimiento en la conversión CC/CC y minimizar las pérdidas por calentamiento. La particularidad de este elemento es que se trata de un convertidor de potencia en corriente continua con un rendimiento en el entorno del 90%. Este concepto nos permite cargar la batería, en determinadas condiciones, a una intensidad mayor que la generada por la placa fotovoltaica (1) cuando la tensión entregada por ésta es muy superior a la de la batería (2). La lectura continua de las intensidades de carga/descarga así como de la tensión de la batería generan señales de alarma en circunstancias de baja tensión de batería.

El convertidor CC/CC (10) transforma la tensión de las baterías (2) en tensiones reguladas apro-



## ES 2 155 031 B1

piadas y necesarias para la alimentación de los diferentes elementos tales como: tarjeta de control (7), codificadores ópticos incrementales (12), consola de campo (14) y radiomodem local (5).

### *Control de motores (8):*

5

Ha sido desarrollada una tarjeta electrónica de alta eficiencia para el control de motores de corriente continua en varias velocidades. Esta ha sido diseñada expresamente para su empleo en esta aplicación preferente.

10

Dos tarjetas de este tipo han sido instaladas en el interior del cuadro de control local para el manejo de los dos motores del heliostato autónomo.

15

Al igual que el regulador descrito con anterioridad, estas tarjetas consiguen altos rendimientos (del orden del 90 %) en la transformación de la tensión entregada por la batería y las necesitadas por el motor en sus diferentes velocidades de operación (24 y 7 Vcc aprox.).

20

Estas tarjetas, basadas en un modulador PWM y un sistema driver de Power Mos tipo bootstrap, son capaces de controlar motores de hasta 15A realizando el control de la velocidad y de cambio de sentido de giro. Para ello reciben órdenes desde el microcontrolador local (71) indicando la velocidad y el sentido de giro deseado y retornan las confirmaciones de los movimientos realizados por los motores (11) (11'). Para una correcta información de éstas confirmaciones, estas tarjetas leen, en tiempo real, el consumo del motor determinando el sentido de giro y generando una señal de emergencia en el caso de una sobrecarga en el mismo.

25

### *Circuito de conexión/desconexión de alimentación eléctrica (80), (80'):*

Dos relés electrónicos son empleados para la conexión/desconexión de los consumos eléctricos de diferentes elementos del control local (6).

30

Uno de estos relés es empleado para la conexión/desconexión de la alimentación eléctrica a los codificadores incrementales (12). Con el objeto de optimizar los consumos eléctricos, y dado que éstos elementos presentan un consumo elevado en trabajo continuo, se opta por la desconexión de estos consumos por la noche o durante períodos inoperativos del heliostato consiguiéndose un ahorro importante de energía y un aumento de la vida media de los elementos ópticos de los codificadores incrementales (12).

35

40

El otro relé es empleado para la conexión/desconexión de la potencia a motores (11) (11'). Esto nos permite la desconexión total de la potencia a motores en circunstancias de mal funcionamiento o avería registrada por la rutina de autodiagnóstico y autoprotección. Con esto, ante la presencia de una avería franca, aseguramos la total paralización del movimiento de los ejes del heliostato con el objeto de evitar alcanzar posiciones prohibidas en las que podrían producirse roturas mecánicas de mayor importancia. Otro uso de este relé, por motivos preventivos, es la desconexión de la potencia a motores en operaciones en donde ha de asegurarse una inmovilización del heliostato en procesos de mantenimiento, lavado o nocturnidad. En este circuito se incorpora la lectura continua de la tensión de batería generándose, mediante un comparador, una señal de emergencia para la información al microcontrolador local (71) de una baja tensión en las baterías (2).

45

### *Radiomodem local (5):*

50

El radiomodem cuyo diagrama de bloques se muestra en la figura 4 es un sistema de módem para radio de uso específico que ha sido diseñado para la telemetría y el telecontrol del heliostato autónomo de esta aplicación preferente. Mediante el mismo se permitirá el gobierno de una planta de heliostatos de este tipo sin el empleo de cables de interconexión para el flujo de datos intercambiados entre los heliostatos y la sala de control. Esto es posible mediante el uso de una comunicación semiduplex, con velocidades de transmisión de 9600 ó 4800 bits/segundo y canalización de radio en banda estrecha. La frecuencia de funcionamiento esta situada en la banda de 400 a 434 Mhz o en la banda 868 a 870 Mhz, normas nacionales: UN-29, UN-30 y UN-39 del Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias.

55

60

El radiomodem local (5) esta basado en un módem integrado (51), monolítico, de uso específico para transmisión por radio. La configuración y el control del módem integrado así como de la unidad de radio (52) se realiza mediante un microcontrolador radiomodem (53) con el programa almacenado en memoria EPROM interna, realizando las funciones específicas de:

## ES 2 155 031 B1

- supervisión del canal.
- control de la unidad de radio.
- 5 - detección de errores.
- encriptación y protección de la información.
- captación de comandos y envío de los mismos al heliostato.
- 10 - envío de los estados del heliostato a la estación de gobierno.

Para ello se necesitan determinados elementos auxiliares:

15 RAM de 32 Kbytes para la implementación de un doble Buffer circular de entrada/salida, el cual permite el almacenamiento temporal de la información en previsión de cortes temporales en el canal de radio.

20 Reloj de tiempo real (55). Con batería de larga duración incluida, permite que el microcontrolador radiomodem (53) tenga información de tiempo, lo cual le confiere propiedades de encriptar datos con códigos dependientes del tiempo. Con esta posibilidad, se consigue gran inmunidad al intrusismo alcanzándose una gran seguridad en las transmisiones.

El funcionamiento es el siguiente. Ver figura 5.

25 Durante la puesta en marcha el microcontrolador radiomodem (53) configura el modo y velocidad de transmisión del módem integrado (51), así como el canal de radio seleccionado; después se ejecuta el programa de control de comunicaciones, que funciona en modo interrupciones-periférico, actuando como periféricos el puerto serie RS232C conectado al control local (6) del heliostato y el módem integrado (51)  
30 a través del microcontrolador radiomodem (53).

35 Durante el funcionamiento normal, el módem integrado (51) provoca una interrupción al microcontrolador radiomodem (53), cada vez que se reciben datos por el canal seleccionado lo que provoca una lectura de la trama recibida. En el análisis de los datos de cabecera de la trama, se determina la identidad del destino de los datos desestimándose el mensaje si no hay coincidencia con la identidad del heliostato o si éste ha sido alterado durante su transmisión. Admitida la trama esta es descryptada, filtrada y transmitida por el puerto serie RS 232C a la tarjeta de control (7) del heliostato.

40 Si la interrupción es producida por el puerto serie RS 232C, los datos de la tarjeta de control (7) deben de ser transmitidos hacia el control central. En este caso los datos son previamente encriptados, modulados y transmitidos finalmente cuando el canal de transmisión este libre. En caso de que el canal de radio esté ocupado, esta permanece almacenada en el Buffer E/S (54) para una transmisión posterior.

45 En comunicaciones para un campo de heliostatos autónomos será empleada una Topología en estrella con un protocolo de comunicaciones tipo "Polling" bidireccional, donde un Control Central interroga a cada heliostato leyendo su estado. El envío de ordenes a los heliostatos tiene un tratamiento prioritario al polling de manera que éste es paralizado momentáneamente mientras son transmitidas las ordenes. Para aumentar la velocidad total de las comunicaciones, se divide el campo de heliostatos en m grupos con n heliostatos por grupo, necesitándose m canales bidireccionales, cada uno de ellos trabajando en una  
50 frecuencia de radio distinta.

Existen unos canales auxiliares en número proporcional al número total de heliostatos del campo, destinados a aquellos heliostatos que tengan que comunicar eventos urgentes (averías, emergencias,...). Esta información podrá ser enviada fuera de los ciclos normales de petición de estado, "polling", en el  
55 primer canal auxiliar que quede libre, esta comunicación es controlada por el microcontrolador radiomodem (53), a petición de la tarjeta de control (7) y enviada al control central a través del radiomodem central (60).

60 Un sistema de sincronización horaria basado en GPS es empleado. El Control Central, bajo el asesoramiento de este patrón de hora, producirá una sincronización de todos los relojes del campo al menos una vez al día.

## ES 2 155 031 B1

### *Método de operación*

El operador, desde la consola central, tendrá información actualizada del estado de todos y cada uno de los helióstatos. No obstante, y debido a que las rondas de petición de estados podrían llevar su tiempo, el operador podrá pedir información o enviar una orden a un helióstato o grupos de helióstatos en cualquier momento. Los mensajes generados desde el control central, serán enviadas con prioridad quedando interrumpida la ronda, “polling”. Con ello se asegura una mayor velocidad de respuesta de los helióstatos ante un cambio de consigna o ante una petición de estado particular.

El operador, siguiendo estrategias operativas, podrá enviar a aquellos helióstatos que lo necesiten o a los que no sean requeridos en la operación normal de la planta solar a seguimiento perpendicular a los rayos del sol para una captación mayor de energía fotovoltaica. Igualmente, y siempre que sea necesario, realizará un ajuste de los parámetros de los helióstatos por motivos: estacionales, operativos, de estrategia de enfoque, de control y seguridad.

El operador, al comenzar el día, realizará una sincronización de relojes de los helióstatos y, si así lo exigiera la estrategia de operación del receptor solar, configurará el campo solar enviando a cada helióstato o grupo de ellos los diferentes parámetros como resultado de un estudio en el comportamiento del mismo. Un ejemplo será la consigna que cada helióstato adoptaría en el caso de emergencia en el receptor. Con ello conseguiremos que, mediante una orden sencilla enviada simultáneamente a todos los helióstatos del campo, cada helióstato tenga ya definida su actuación. Mediante este concepto se consigue una respuesta instantánea muy importante en casos de emergencia.

Igualmente, y con el objeto de controlar la distribución de flujo energético dentro del receptor solar de acuerdo a limitaciones constructivas del mismo o por condicionantes meteorológicos o de otra índole, cada helióstato tendrá definido un foco que incidirá en una determinada superficie del receptor solar. El campo será configurado para conseguir el perfil energético deseado en diferentes estaciones del año o bajo diferentes modos de operación de la planta solar.

Las condiciones de seguridad serán igualmente configuradas para el campo de helióstatos y acotadas de acuerdo con los objetivos operativos y de seguridad marcados. Cada helióstato, si así se indica, podrá decidir la adopción de medidas para garantizar su integridad o la seguridad global de la planta solar. Así se podrá incorporar:

- Un desenfoco automático y progresivo del campo cuando el control central deje de comunicar con los helióstatos durante un periodo de tiempo determinado.
- Un envío automático a seguimiento normal al sol cuando el autoabastecimiento energético peligre en condiciones de luz favorables.
- Un envío automático a posición segura, en condiciones locales extremas de viento, cuando, por algún motivo, el control central no comunica la emergencia al campo de helióstatos.

Todas estas tareas de configuración podrán ser realizadas de forma automática desde el control central con arreglo a una estrategia global de la planta solar. La reconfiguración del campo podrá realizarse en tiempo real durante la operación de acuerdo con algoritmos de control más sofisticados que correrán en el control central.

50

55

60

**REIVINDICACIONES**

1. Campo de helióstatos autónomos **caracterizado** por comprender:

- 5 - un control central  
- una pluralidad de helióstatos autónomos comunicados con el control central mediante radiomodem.

2. Campo de helióstatos autónomos, de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** porque cada helióstato comprende:

- 10 - una superficie reflectante (20)  
- un motor de Corriente continua, CC, para movimiento azimutal (11')  
15 - un motor de cc para movimiento de elevación (11)  
- codificadores incrementales (12) de posición angular del helióstato  
- finales de carrera (13)  
20 - baterías (2), para alimentación en CC.  
- un regulador (9) para carga de baterías en CC.  
- una placa fotovoltaica (1) para alimentación en CC del regulador  
25 - un radiomodem local (5) para comunicar cada helióstato autónomo con el control central y su correspondiente antena (4)  
- un armario de control local (6) que comprende una tarjeta de control (7), dos tarjetas de control de motores de CC (8), una tarjeta para el regulador de carga (9) y una tarjeta para el convertidor CC/CC (10)  
30 - un sensor meteorológico (3).

3. Campo de helióstatos autónomos de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** porque el control central comprende:

- 35 - un radiomodem central (60) de comunicación con los helióstatos  
- un dispositivo GPS de ajuste horario  
40 - periféricos para salida de la información

4. Método de operación de un campo de helióstatos autónomos **caracterizado** por comprender lo siguiente:

- 45 - sincronización de relojes  
- configuración paramétrica de los helióstatos para permitir la operación autónoma de cada helióstato en el cálculo de la posición solar y posicionamiento de los ejes para el control especial del foco.  
50 - Operación alternativa de seguimiento normal al sol para una máxima captación de energía fotovoltaica.

55

60

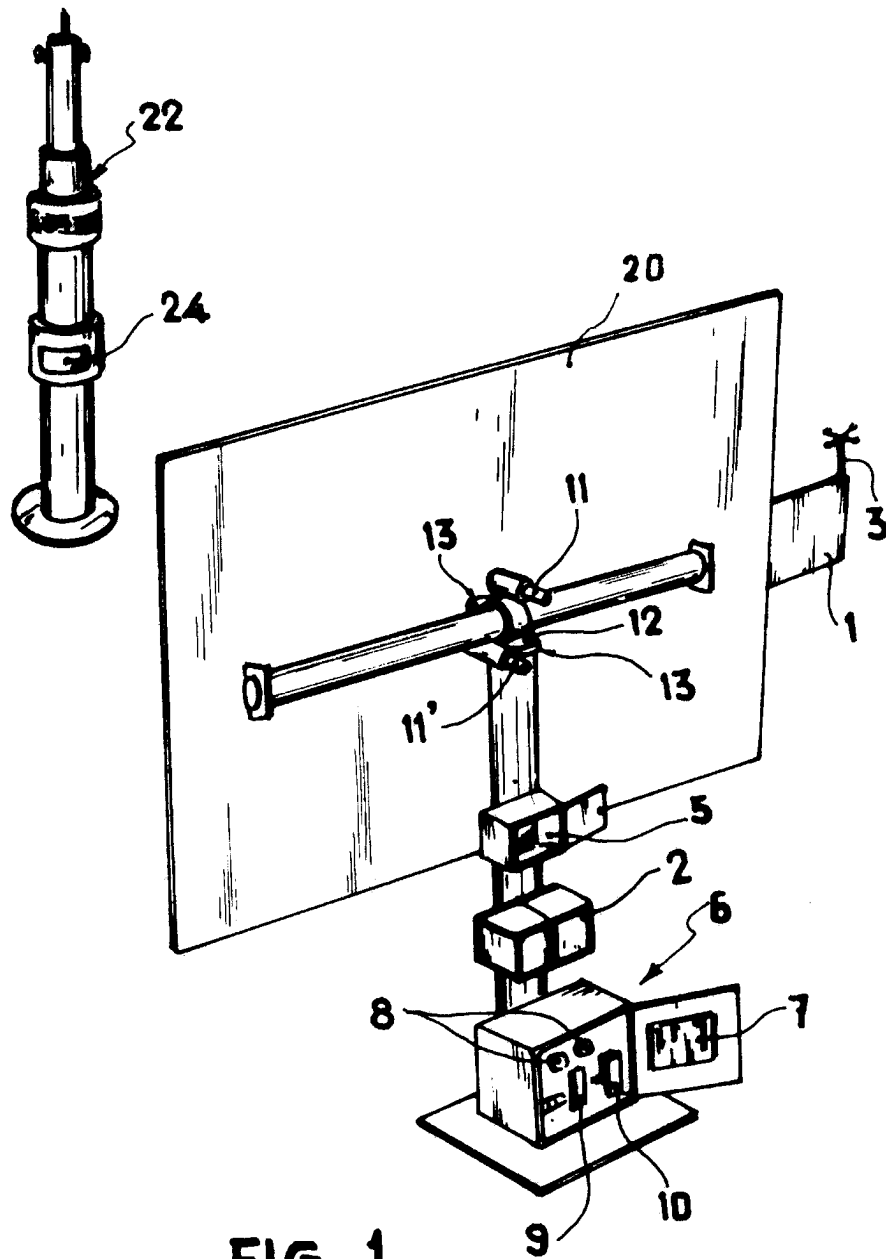


FIG. 1

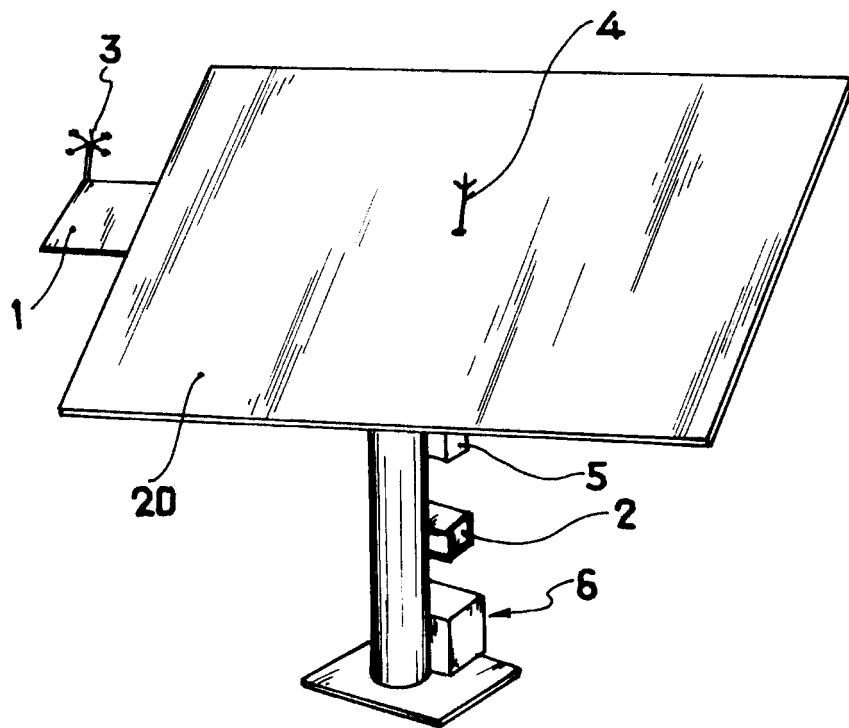


FIG. 2

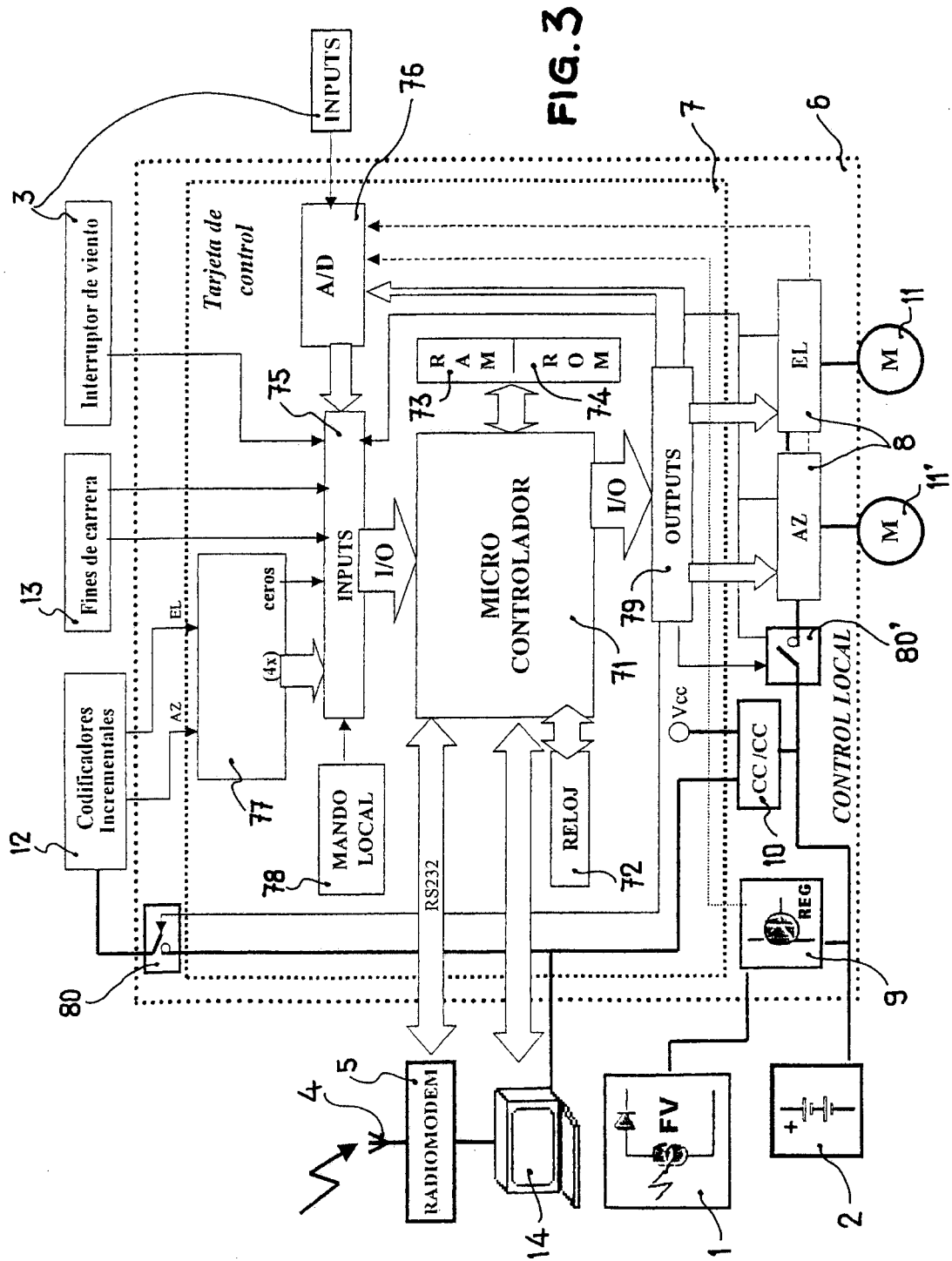


FIG. 3

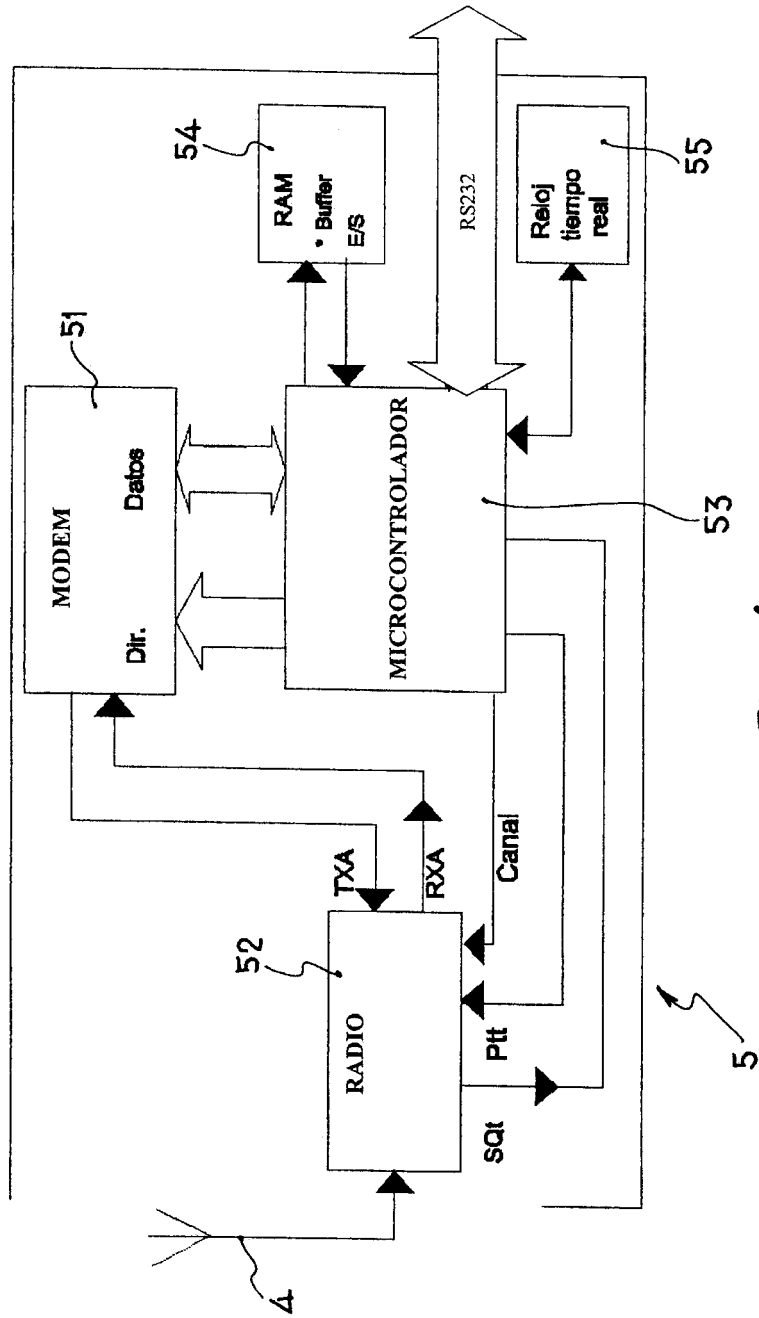


FIG. 4



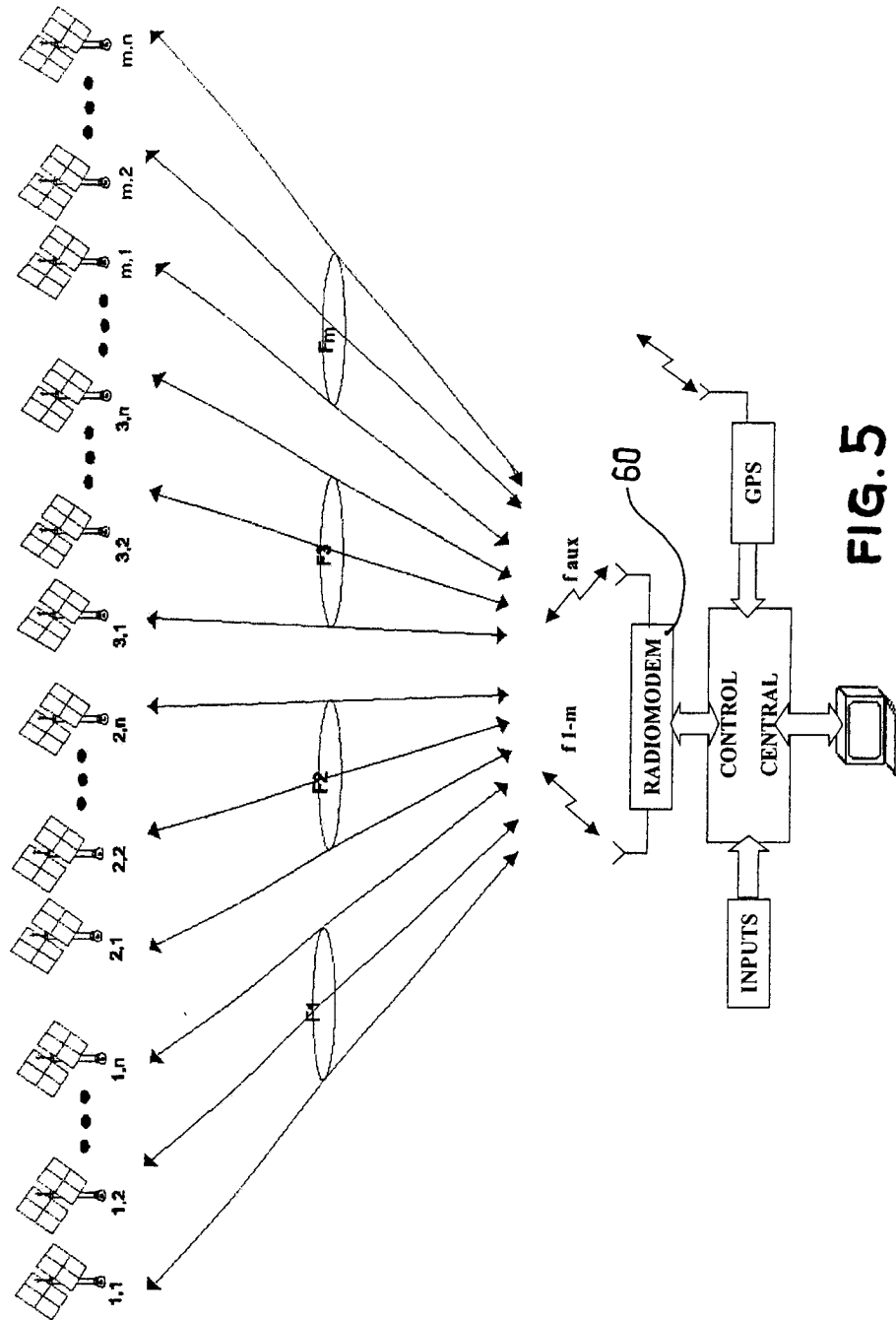
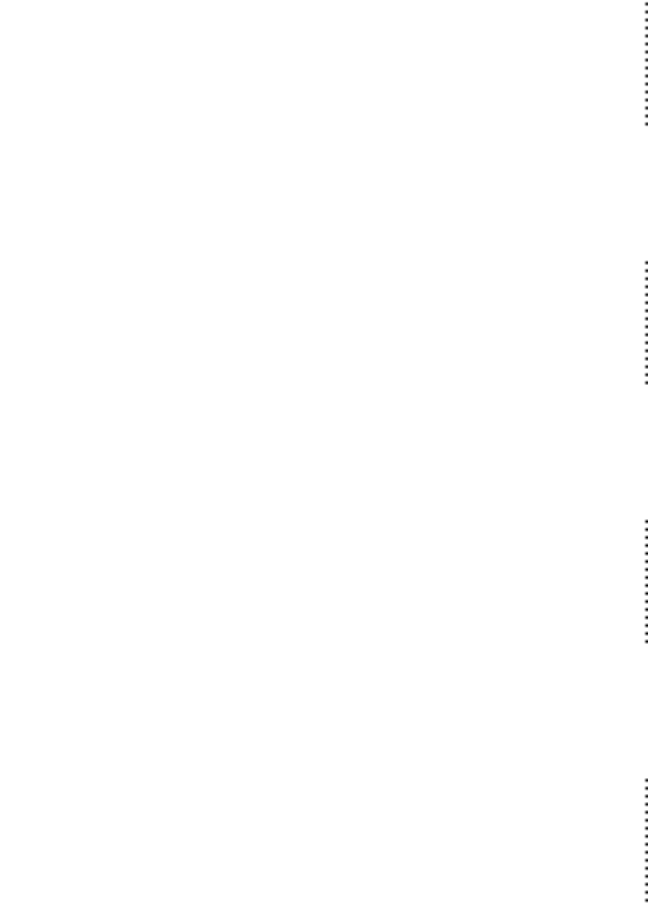


FIG. 5





INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤ Int. Cl.<sup>7</sup>: F24J 2/40, 2/38, G05D 3/00

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	US 4536847 A (ATLANTIC RICHFIELD CO) 20.08.1985, página 1, resumen; columna 3, líneas 7-65; columna 4, líneas 10-13; figura 1.	1
A	WO 9202106 A (UNIV GRANADA) 06.02.1992, página 1, resumen.	1
A	FR 2709195 A (BARON FREDERIC, LEPRIEUR MICHEL) 24.02.1995, página 1, resumen.	1
A	US 4440150 A (ATLANTIC RICHFIELD CO) 03.04.1984, página 1, resumen; figuras.	1-4
A	US 4215410 A (WESLOW HAROLD J., WESLOW JEROME H., NETZOW PAUL R., WESLOW ROLAND, WESLOW THOMAS A.) 29.07.1980, página 1, resumen.	1-4
A	US 4519382 A (GERWIN HARRY L.) 28.05.1985, página 1, resumen.	1-4

**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 n.º:

**Fecha de realización del informe**

09.03.2001

**Examinador**

M<sup>a</sup> A. López Carretero

**Página**

1/1