



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



⑪ Número de publicación: **2 273 576**

⑫ Número de solicitud: 200501330

⑬ Int. Cl.:
G01S 3/786 (2006.01)
G05D 3/10 (2006.01)

⑭

PATENTE DE INVENCION

B1

⑮ Fecha de presentación: **02.06.2005**

⑯ Fecha de publicación de la solicitud: **01.05.2007**

Fecha de la concesión: **13.03.2008**

⑰ Fecha de anuncio de la concesión: **01.04.2008**

⑱ Fecha de publicación del folleto de la patente:
01.04.2008

⑲ Titular/es: **INSPIRA, S.L.**
c/ del Vivero, 5 - 3 Planta, Oficina 1
28040 Madrid, ES

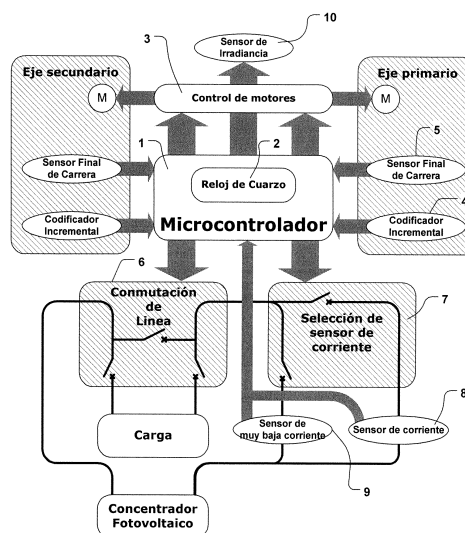
⑳ Inventor/es: **Luque Heredia, Ignacio;**
Moreno Llamas, José Miguel;
Quéméré, Goulven;
Cervantes Saldaña, Rafael Antonio y
Salgueiro Viera de Magalhães, Pedro Henrique

㉑ Agente: **No consta**

㉒ Título: **Equipo y procedimiento de control de seguimiento solar con autocalibración para concentradores fotovoltaicos.**

㉓ Resumen:

Equipo y procedimiento de control de seguimiento solar con autocalibración para concentradores fotovoltaicos. Equipo y procedimiento de control del seguimiento con autocalibración para concentradores solares fotovoltaicos. Es un equipo de control electrónico que integra capacidad de computo, proceso, y medida de variables eléctricas (1). Integra también un reloj interno (2), módulo electrónico de control de motores eléctricos (3), sensores de corriente (8), (9), y de tensión continua, sensor de irradiancia solar global (10), y sensores de rotación de ejes (4), (5). Admite conexión de sensores de apuntamiento solar, e integración de módulos de conmutación de la línea de potencia del concentrador (6), (7). Capaz de calcular internamente efemérides solares en función del tiempo, contiene un modelo genérico de errores en la instalación y fabricación del concentrador y su seguidor, o en su reloj interno, cuyos parámetros ajusta internamente tras la recolección automática de errores de apuntamiento. Permite un control de seguimiento solar de muy alta precisión en concentradores solares fotovoltaicos, de uno, dos ejes, montados en cualquier configuración.



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

DESCRIPCIÓN

Equipo y procedimiento de control de seguimiento solar con autocalibración para concentradores fotovoltaicos.

- 5 La presente invención se refiere a un Equipo de Control de Seguimiento Solar con capacidad de autocalibración para concentradores fotovoltaicos. El presente equipo es capaz de controlar el seguimiento solar de concentradores fotovoltaicos en uno o dos ejes en cualquier disposición, con muy alta precisión.

Antecedentes de la invención

- 10 Los seguidores solares mecánicos que portan en su superficie de montaje sistemas ópticos para la concentración de la radiación solar directa, y su posterior conversión en electricidad a través de procesos térmicos o fotovoltaicos, requieren una precisión de apuntamiento al sol tanto mayor cuanto mayor es el factor de concentración empleado. Así
15 pues la precisión requerida, en estos sistemas, queda por lo general por debajo del grado, y frecuentemente en el rango de la décima de grado. Si se tienen en cuenta las grandes dimensiones de las superficies de montaje, o aperturas, de estos seguidores, actualmente en el rango aproximado de los 25-250 m², se advierte la dificultad de su apuntamiento al sol con tales precisiones. Para lograr este objetivo por una parte es condición necesaria que el seguidor solar cumpla estrictas especificaciones de rigidez, y que su transmisión proporcione una alta resolución de posicionamiento. Por la otra se requiere un equipo capaz de controlar de modo permanente el seguimiento solar con la precisión especificada,
20 sin que esta se vea interferida o deteriorada por la aparición de nubes, y que alternativamente gestione eficazmente las situaciones de interrupción del seguimiento solar, bien durante la noche, o por causa de vientos elevados que pongan en riesgo la estructura del seguidor, o temperaturas en exceso altas en los receptores de la luz concentrada que puedan llegar a dañarlos.

- 25 Hasta la fecha el control de seguimiento solar ha sido abordado fundamentalmente por dos caminos, (i) basándose en sensores de apuntamiento que realimentan el control de los motores que accionan la rotación de los ejes del seguidor solar (ii) mediante equipos basados en microcontroladores o microprocesadores que a partir del computo de efemérides solares obtienen las coordenadas del sol en cada instante sirviéndose estas como consigna al citado control de motores. La primera aproximación es el objeto de la Patente Española ES-488887, o de la Patente de EE.UU. US-3917942, en
30 cuya línea se han propuesto con posterioridad numerosas variaciones. El principio subyacente es la utilización de un fotodiodo de dos o cuatro segmentos de tal modo que cada eje de seguimiento queda asociado a una pareja de segmentos, y que queda montado en el interior de un colimador. Este permite, dentro del rango de una determinada apertura angular (campo de visión del sensor) impuesta por la longitud del colimador, detectar la desviación del vector solar con respecto al eje del colimador en uno o dos ejes de seguimiento, siempre que las salidas de corriente de la pareja de segmentos asociada a un eje no sean iguales, y que realimentará el control de motores con el objetivo de anular dichas desviaciones. En general estos procedimientos llamados generalmente de "lazo cerrado", si bien sencillos y baratos de implementar, y capaces de ser suficientemente precisos bajo cielos despejados, se manejan con dificultad en condiciones de nubosidad intermitente y se muestran por lo general poco eficientes para volver a localizar al sol tras periodos de ocultación o gestionar las citadas situaciones de interrupción de seguimiento solar.
40 Además en aplicaciones de alta precisión resulta dificultoso conseguir un montaje para el sensor de tal modo que su eje de apuntamiento del coincida con el eje del sistema de concentración que monte el seguidor en su apertura, definido como aquel que maximiza la potencia eléctrica generada. Por último la experiencia de campo acumulada con estos dispositivos indica que requieren mantenimiento y calibración periódica. En suma si bien el control de seguimiento solar en lazo cerrado puede resultar efectivo en aplicaciones de medida en laboratorio, donde su empleo se limita a días óptimos y en todo caso cuentan con mantenimiento y asistencia frecuente, distan de ser una solución idónea para el control de plantas solares dotadas con varias decenas de seguidores y en las que se pretende la máxima fiabilidad a largo plazo con el mantenimiento mas reducido posible. El control de seguimiento en base al cálculo de efemérides solares tiene sus primeras propuestas en la Patente Española ES-522081, o de la Patente de EE.UU. US-4215410. La disponibilidad de efemérides solares con precisiones inferiores a la centésima de grado y en muchos casos con expresiones analíticas bastante compactas, sugiere también, desde los inicios de los desarrollos en concentración solar, la posibilidad de un control de seguimiento en base a su calculo en tiempo real, son las llamadas estrategias de "lazo abierto". Con la proliferación de potentes microprocesadores y microcontroladores de bajo coste se hará viable la producción de equipos electrónicos de control de seguimiento solar, que a la par que implementan estrategias en base al calculo de efemérides solares que posibilitan una mucha mayor robustez y eficiencia en el seguimiento que
55 la alcanzada con sensores de apuntamiento, logran una gran versatilidad en la gestión de las situaciones alternativas y emergencias, y la integración de capacidades adicionales e.g. monitorización remota, interfaz de usuario etc. que facilitan y reducen el coste de su mantenimiento.

- 60 La precisión alcanzable con estrategias basadas en el calculo de efemérides solares, queda limitada en ultima instancia, en el capitulo del control de seguimiento por la propia precisión de estas efemérides y la resolución de los sensores de posición que realimentan al control la orientación alcanzada en cada eje de seguimiento. En el capitulo del seguidor en uno o dos ejes que se controla, limitan la precisión de seguimiento la resolución de posicionamiento de las transmisiones mecánicas empleadas, función de sus holguras, reducción empleada etc. Estos límites últimos son a considerar durante las etapas de diseño y habrán de ajustarse de modo que se cumplan las especificaciones. Pero
65 además para que se pueda alcanzar esta precisión de apuntamiento para la que se ha diseñado mediante un control de seguimiento en lazo abierto será necesario que por un lado que la hora interna en base a la cual se calcularan las efemérides solares se mantenga dentro de ciertos márgenes de precisión y por otro que el referencial establecido por el conjunto de seguidor mecánico y sistema de concentración que porta coincida en todo momento con el referencial

de las efemérides solares. El que se consiga esta identidad entre referenciales dependerá por un lado de que se logre una instalación y orientación correcta del seguidor en campo, así como de sus sensores de realimentación de posición de ejes, y del sistema de concentración montado en la apertura del seguidor, pero también en ciertos aspectos, de la fabricación y montaje preciso del seguidor. Estas diferencias entre referenciales introducen errores de seguimiento en un control en base a efemérides solares para los que se han propuesto dos tipos fundamentales de procedimientos de corrección: (i) basados en la teoría clásica de control lineal (Luque-Heredia, I. *et al.* "A PI Hybrid Sun Tracking Algorithm Sun Tracking Algorithm for Photovoltaic Concentration" Proceedings 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Paris, 2004) que tratan de predecir el error que se producirá en el apuntamiento al sol del seguidor a partir de medidas anteriores de este error, y (ii) basados en la construcción de tablas del error de seguimiento y sus procedimientos de actualización periódica (Arboiro, J.C. & Sala, G. "Self-learning tracking: a new control strategy for PV concentrators", Progress in Photovoltaics, 5, 1997). Estos procedimientos de corrección resultan en última instancia en rutinas que corrigen las coordenadas inicialmente servidas por las efemérides solares y siendo así que requieren de algún medio que les proporcione errores de apuntamiento, como por ejemplo un sensor de apuntamiento, se denominan estrategias "híbridas" pues toman recursos y procedimientos tanto de las estrategias en lazo "abierto" como de las de "lazo cerrado" antes descritas.

Descripción de la invención

La presente invención se refiere a un equipo electrónico de control de seguimiento solar que cuenta con los recursos necesarios para implementar una nueva estrategia de control de seguimiento solar especialmente indicada para concentradores fotovoltaicos.

Descripción física del Equipo de Control de Seguimiento

En lo fundamental el equipo esta basado en un microprocesador o microcontrolador, un reloj interno en base a un oscilador de cuarzo, y una unidad electrónica de control de motores eléctricos de corriente continua o alterna según el caso. El microcontrolador dispone de una serie de entradas y salidas digitales y también de entradas analógicas, que dotadas de los necesarios circuitos externos de acondicionamiento de señal permitirán la lectura de sensores de corriente con distinta sensibilidad, un sensor de irradiancia solar global, y/o un sensor de tensión, y/o un sensor de apuntamiento como los descritos mas arriba basados en el principio general del fotodiodo en cuadrante bajo colimador. El equipo esta dotado igualmente de sensores que informan de la orientación en cada momento de los distintos ejes de seguimiento bajo control e.g. codificadores ópticos incrementales o absolutos, sistemas de sensores inductivos etc.

Rutina de control de seguimiento Solar

El microcontrolador, mediante el cómputo de las efemérides solares programadas, es capaz de producir la pareja de coordenadas (acimut y elevación) del vector solar i.e. el vector que tiene su origen en la localización del seguidor y apunta al centro del disco solar, en función de la hora suministrada por el reloj interno y de las coordenadas geográficas en que se encuentre que han sido introducidas previamente. Así pues partiendo de la base de que el control de seguimiento conoce en todo momento la posición de sus dos ejes de seguimiento a través de los correspondientes sensores referidos, la rutina básica de seguimiento solar consistirá en un bucle que continuamente calcula la posición del sol en función del tiempo y transforma estas coordenadas angulares, en primer lugar en los ángulos de giro en tomo a los ejes de seguimiento del seguidor bajo control que son necesarios para orientar la normal a la apertura del seguidor paralelamente al vector solar, y a continuación estos ángulos en las unidades en que se ofrecen las lecturas de los sensores de posición de los ejes de seguimiento, que según el tipo de sensores utilizados serán magnitudes continuas o discretas. Si en cualquiera de los dos ejes de seguimiento la diferencia entre la posición calculada y la actual iguala o supera un determinado umbral el bucle de calculo de efemérides se interrumpe, y el microcontrolador pasa a operar sobre las salidas digitales que controlan la unidad de control de motores de tal modo que ese eje gire hasta superar la posición calculada en un valor igual al citado umbral, tras lo cual se reanuda el bucle de calculo continuo de efemérides a la espera de que de nuevo al posición del sol vuelva a superar las posiciones actuales de cualquiera de los dos ejes. Cuando el seguidor dispone de un solo eje, lo antedicho ha de ser corregido en tanto en cuanto el objetivo será apuntar la normal a la apertura paralelamente a la proyección del vector solar en el plano normal al eje de seguimiento. Se observa pues que se trata de una rutina de seguimiento solar de tipo discontinuo, en la que cada vez que en un eje el sol se aleja por encima de un umbral el eje gira hasta superar al sol por valor de ese mismo umbral, de tal modo que es ese umbral el error máximo de seguimiento en cada eje y dado que se alterna entre el adelanto y el retraso con respecto al sol el error medio es nulo. La naturaleza discontinua de esta rutina de seguimiento solar se justifica por un lado en su bajo consumo, i.e. cada motor solo opera el tiempo necesario para llevar el eje de la orientación en que en ese eje se inicia el seguimiento solar por la mañana hasta aquella en la que se detiene por la tarde, y por otro lado es la mejor manera de que las posibles holguras e inercias del seguidor no induzcan oscilaciones en el control.

Fuentes sistemáticas de errores de seguimiento

La rutina descrita de control de seguimiento opera bajo la suposición de que el seguidor cumple una determinada disposición de ejes de seguimiento. Así pues en el caso de un seguidor de dos ejes, en los que se puede distinguir entre un eje primario, definido como aquel cuyo soporte esta ligado al terreno mediante cimentación o anclaje, y un eje secundario, definido como aquel cuyo soporte esta ligado al eje primario, la rutina de control de seguimiento requiere para un correcto funcionamiento que el eje primario este instalado sobre el terreno con una determinada orientación, o lo que es lo mismo coincidente con un vector concreto, y que sus sensores de posición sitúen su origen de ángulos para

el giro siguiendo una determinada orientación. En el común de los casos la rutina de control de seguimiento también requiere la perpendicularidad del eje primario y secundario, y que los sensores de posición del eje secundario sitúen su origen de ángulos para el giro siguiendo una determinada orientación. Por último si una vez montado el sistema de concentración sobre la apertura del seguidor, definimos el vector de apuntamiento como aquel que permanece estático en un referencial con uno de sus ejes siguiendo la dirección del eje secundario y que gira con este, y apunta en una dirección tal que cuando mediante los giros combinados de los ejes primario y secundario queda coincidente con el vector solar, produce la máxima potencia fotovoltaica, la rutina de control de seguimiento tiene también como requisito para su correcta operación que este vector de apuntamiento sea normal al eje secundario.

10 *Modelo de errores de seguimiento*

Las condiciones descritas en el párrafo anterior son a las que se hacía referencia anteriormente como la necesidad de coincidencia entre los referenciales de las efemérides solares y las del seguidor solar junto con el sistema de concentración que porta en su apertura. En la medida en que cualquiera de los requisitos del párrafo anterior no se cumplan esto provocará errores de seguimiento adicionales a los derivados de la precisión intrínseca de las efemérides solares según son calculadas por el microcontrolador, y a la resolución de los sensores de posición instalados en los ejes de seguimiento.

Imprecisiones en el montaje y fabricación del seguidor y su sistema de concentración así como en su posterior instalación y montaje en campo producirán errores en el cumplimiento de los requisitos antedichos. El microcontrolador tiene programado un modelo matemático de errores que caracteriza mediante seis parámetros los citados errores, de tal modo que cada uno de estos parámetros queda asociado a uno de los citados requisitos o causas de error. Así pues los citados parámetros son:

- Acimut de la inclinación de eje primario (φ): Dos parámetros angulares, acimut y ángulo cenital caracterizan la disposición real del eje primario. (29) y (30)
- Ángulo cenital de la inclinación de eje primario (θ): Ángulo cenital del eje primario. φ y θ denotan el alineamiento incorrecto en campo del eje primario de seguimiento. (31)
- Offset de eje primario (β): Ángulo diferencia entre el origen de ángulos o referencia del eje primario y el Sur en el hemisferio Norte (el Norte en el hemisferio Sur) cuando se anulan el resto de parámetros que afectan al eje primario. Recoge errores de instalación y fabricación del seguidor, relacionados con su alineación incorrecta en campo, o las imprecisiones en la colocación del sensor que señala la orientación de referencia en el eje primario. (32)
- No ortogonalidad de ejes (λ): Ángulo diferencia entre el eje secundario y la normal al eje primario, contenida en el plano de los ejes primario y secundario. Se trata de un error de montaje en fábrica o campo que caracteriza la falta de perpendicularidad entre los ejes de seguimiento, y que además de introducir errores, resulta en una limitación del espacio de orientaciones al alcance del seguidor. (33) y (34)
- Inclinación axial del vector de apuntamiento (δ): Ángulo diferencia entre el vector de apuntamiento, y la normal al eje secundario contenida en el plano del vector de apunte y el eje secundario. Se trata de un error cuyo origen puede ser múltiple, desde la fabricación o montaje de la estructura de la apertura del seguidor, hasta la del sistema de concentración que porta bien por desalineamientos entre las distintas partes de la óptica colectora/concentradora, de los receptores o entre receptores y óptica. (35) y (36)
- Offset de eje secundario (η): Ángulo diferencia entre la referencia del eje secundario y la horizontal cuando se anulan el resto de parámetros. Recoge igualmente errores de múltiple origen, como la imprecisa colocación del sensor que señala la referencias del eje secundario, hasta la inclinación radial del vector de apuntamiento, esto es el ángulo diferencia entre la orientación normal a la orientación de referencia del eje secundario en el plano normal al eje secundario y la proyección del vector de apunte en el plano normal al eje secundario, derivada igual que en el caso de δ del imprecisa alineación de la estructura de la apertura, las distintas partes de la óptica colectora/concentradora, los receptores o entre receptores y óptica. (37)

Se trata de un modelo matemático en las que supuesto se conozcan los valores concretos de los seis parámetros para un determinado seguidor y su sistema de concentración, que caracterizan los distintos errores descritos que se han cometido, tomará las coordenadas en acimut y elevación suministradas por las efemérides solares y las transforma en otras en las que ya quedan neutralizados estos errores de tal modo que la coordenada en acimut puede ser convertida a unidades manejadas en las lecturas de los sensores del eje primario y lo mismo con respecto a la coordenada de elevación en el eje secundario.

Ajuste del modelo de errores

El modo de conocer los valores de estos parámetros es por un ajuste del modelo contra un conjunto de errores de seguimiento tomados en instantes distintos. Este ajuste puede realizarse por mínimos cuadrados o cualquier otra medida estimadora de máxima similitud que pueda resultar más robusta ante medidas anómalas o defectuosas. Se entiende por errores de seguimiento las diferencias entre las coordenadas obtenidas cuando por cualquier procedimiento

manual o automático se orienta el seguidor junto con su sistema de concentración hasta que la salida de potencia fotovoltaica es máxima, y las coordenadas calculadas por las efemérides solares en el mismo instante en que se produce este apuntamiento óptimo. Así se obtendrían por cada apuntamiento y en un seguidor de dos ejes un par de errores, uno en acimut y otro en elevación. Siendo así que el modelo utilizado es un modelo no lineal será necesario utilizar algoritmos de optimización iterativos para lograr el ajuste del conjunto de errores mediante el modelo de errores, por ejemplo en el caso de utilizar un ajuste por mínimos cuadrados resulta óptimo utilizar el algoritmo de Levenberg-Marquardt para dicho ajuste (Marquardt, D.W. "An algorithm for least-squares estimation of non-linear parameters" Journal of the Society of Industrial and Applied Mathematics, 11, 1963). El microcontrolador tiene programado este procedimiento de ajuste y una vez le sea suministrado el conjunto de errores de apuntamiento es capaz de obtener de modo automático el ajuste del modelo de errores y los seis parámetros precisos que corresponden al seguidor y sistema de concentración que esta controlando de modo. Una vez obtenidos estos parámetros el bucle de la rutina esencial de seguimiento antes descrita se modifica de tal modo que se computarán de modo continuo las efemérides solares y las coordenadas obtenidas se transforman mediante el modelo de errores con los citados parámetros, siendo estas coordenadas corregidas las que se transforman a unidades de los sensores de posición y se comparan continuamente con la posición actual de los ejes.

Adquisición de errores de seguimiento para el ajuste del modelo

Junto con el citado modelo de errores y su procedimiento de ajuste contra un conjunto de errores de seguimiento, el microcontrolador tiene también programado el procedimiento para la colección automática del conjunto de errores de seguimiento. En términos generales este procedimiento es una etapa con una aproximación en "lazo cerrado" en la que periódicamente se apunta al seguidor al sol, de modo automático, y se obtiene la diferencia entre las coordenadas que se derivan de las lecturas de los sensores de posición de los ejes y las que se obtienen del computo de las efemérides solares en ese mismo instante. Este procedimiento tiene dos posibles variantes según cual sea el sistema empleado para determinar cuando el seguidor con su sistema de concentración están correctamente apuntados. La primera variante corresponde al procedimiento ideal desde el punto de vista de su precisión que es aquel que supone que el seguidor y su sistema de concentración están correctamente apuntados cuando la potencia entregada por el generador fotovoltaico se hace máxima. Esta variante sin embargo exige la conexión del generador a una carga eléctrica variable que lo polarice en su punto de máxima potencia, lo que normalmente se conoce como una etapa seguidora del punto de máxima potencia (MPPT: Maximum Power Point Tracker), que es en esencia un circuito de conversión de niveles en corriente continua DC-DC. Así pues, en primer lugar se realiza un rastreo del sol según el cual el seguidor barre el espacio de seguimiento con sus dos ejes hasta que el error angular entre el vector solar y el vector de apuntamiento es menor o igual a la apertura angular del sistema de concentración y los sensores de corriente y tensión del Equipo de Control de Seguimiento comienzan a medir la generación de potencia. Llegado a este punto se trata de buscar el máximo de una función de dos dimensiones - potencia entregada en función de las coordenadas angulares acimut y elevación - para lo que se procederá por vía de la maximización iterativa de rectas sucesivas en este espacio bidimensional y por las que el seguidor se moverá a la velocidad que permitan sus motores. La dificultad fundamental de este procedimiento esta en que la etapa seguidora del punto de máxima potencia ha de tener su algoritmo de corrección especialmente preparado para mantener continuamente la polarización óptima del generador fotovoltaico en condiciones de irradiancia rápidamente cambiantes, tal como son las que se producen durante este procedimiento de maximización de potencia. Siendo así que los algoritmos de corrección habitualmente empleados en los módulos convencionales de seguimiento del punto de máxima potencia tienen tiempos de respuesta mayores que los que se necesitan para la referida maximización de potencia, la elección de este procedimiento exigiría la integración en el equipo de control de seguimiento de una etapa seguidora del punto de máxima potencia especialmente preparada para su seguimiento a las velocidades impuestas por los motores de los ejes del seguidor. En todo caso este procedimiento de apuntamiento preciso del seguidor se repetiría en distintos instantes y tantas veces como errores de seguimiento quisiéramos para el conjunto de ajuste del modelo de errores.

Una alternativa que en alguna medida puede acelerar el procedimiento descrito en la primera variante requeriría la integración de un sensor de apuntamiento, de tal modo que la primera operación antes de proceder a recolectar errores de seguimiento sería calibrar este contra la salida de potencia máxima. El sensor de apuntamiento se instalaría en la apertura del seguidor procurando que sus salidas siempre se anulen y señalen apuntamiento correcto en una dirección lo mas próxima posible, dentro de lo económicamente razonable, a aquella en que se produce la máxima salida de potencia del generador fotovoltaico. Siendo así que el sensor de apuntamiento puede no tener su propio vector de apuntamiento - aquel para el que las salidas de la pareja de segmentos de fotodiodo asociados a cada eje se igualan - perfectamente paralelo al vector de apuntamiento del seguidor solar y su sistema de concentración, se apuntaría correctamente el seguidor solar hasta maximizar su potencia de salida por el procedimiento antes indicado y en ese momento se registrarían las lecturas de los canales del sensor de apuntamiento, de tal modo que esas serán las que hay que reproducir siempre que se quiera obtener un apuntamiento preciso. De este modo después de esta primera calibración del sensor de apuntamiento, la posterior etapa de colección de errores de seguimiento que requiere como se ha visto sucesivos apuntamientos correctos del seguidor, ya no requerirá que estos, en su ultima fase de aproximación, en que el vector solar entra dentro de la apertura angular del sistema de concentración, realicen una maximización de potencia iterativa, sino que tan pronto el vector solar queda comprendido dentro de la apertura angular del sensor de apuntamiento, el control de seguimiento pasa a ser realimentado por el sensor de apuntamiento hasta lograr reproducir las lecturas obtenidas en la calibración en su cuatro canales, lo que es siempre mas rápido. No obstante téngase en cuenta que esta alternativa no elimina en el caso de que el seguidor monte un generador fotovoltaico, la necesidad de integrar el modulo de seguimiento del punto de máxima potencia de diseño específico antedicho, pues este será necesario para la calibración inicial del sensor de apuntamiento.

La segunda variante, aplicable se basa en la equivalencia aproximada entre la orientación en la que el generador fotovoltaico montado en el seguidor genera la máxima salida de potencia con el generador con la polarización variable de un modulo seguidor del punto de máxima potencia - tal como se obtiene en la primera variante - y la orientación en la que este mismo generador entrega la máxima corriente cuando esta polarizado a una tensión constante, siempre que esta sea inferior en todo momento a la tensión del punto de máxima potencia. De este modo basta con dotar al Equipo de Control de Seguimiento con un sensor de corriente (e.g. sensor toroidal de efecto Hall de fácil instalación y que proporciona aislamiento galvánico), sin necesidad de sensor de tensión o sensor de apuntamiento. Por otro lado lo mas sencillo será polarizar en cortocircuito, lo cual solo exige que el Equipo de Control de Seguimiento integre dispositivos de conmutación capaces de ocasionalmente desconectar la línea de salida del generador fotovoltaico de la carga y cortocircuitarla, y sobre todo evita la necesidad de un modulo de seguimiento del punto de máxima potencia de carácter específico. En el procedimiento de maximización de la corriente el procedimiento sería igual al de la primera variante, esto es una primera fase de rastreo hasta que el vector solar entra en la apertura angular del sistema de concentración, el generador fotovoltaico comienza a generar corriente a tensión constante, y la posterior maximización iterativa de la función de corriente a tensión constante en función de acimut y elevación. En todo caso las ventajas en lo referente a sencillez de implementación de esta variante son a costa de posible pérdida de precisión no solo porque las orientaciones que maximizan potencia y corriente a polarización constante no coincidan exactamente, sino porque además puede ocurrir que la función de corriente a tensión constante en función de acimut y elevación tenga el máximo poco pronunciado y por tanto pueda verse enmascarado por ruido de distinto tipo.

En lo referente al procedimiento automático de colección del conjunto de errores de seguimiento resta por describir el procedimiento de rastreo en uno o dos ejes de seguimiento, desde una orientación inicial del seguidor que al inicio del proceso, en la primera medida, será la derivada del computo de las efemérides solares y su transformación a unidades de los sensores de posición, hasta que el vector solar entra en dentro de la apertura angular del sistema de concentración, en el caso fotovoltaico, cualquiera que sea su polarización, o del sensor de apuntamiento. Para aumentar la eficacia de este proceso de rastreo entra en juego el sensor de irradiancia global en el plano de la apertura, que integrado con el Equipo de Control de Seguimiento, puede bien ser una célula fotovoltaica debidamente encapsulada y con una resistencia de precisión ("shunt") en paralelo, que quede montada paralelamente a la apertura del sistema de concentración. De este modo el procedimiento de rastreo mas sencillo de programar en el microcontrolador, para el caso de un seguidor de dos ejes, sería aquel que desde el punto inicial va accionando alternativamente los dos ejes, de tal modo que dos giros consecutivos de un mismo eje se producen en sentidos opuestos y el que se produce en segundo lugar se prolonga frente al primero en un ángulo igual al producto $\sqrt{2}$ por la apertura angular del sistema que se este utilizando para determinar el apuntamiento correcto del seguidor, sea como se ha dicho el sistema de concentración, o el sensor de apuntamiento. Si representásemos las rotaciones angulares de los ejes del seguidor en un plano con dos ejes cartesianos, el procedimiento de rastreo describe una espiral rectangular que partiendo del punto inicial de búsqueda se va abriendo rellenando el plano y de tal modo que cualquier recta que pase por el origen de la espiral tendrá sus cortes consecutivos con esta a una distancia siempre inferior al doble de la apertura angular del sistema, por lo que resulta imposible que incluso un foco de luz colimada - es decir con diámetro aparente prácticamente nulo - no resulte detectado por el sistema que se este utilizando para determinar el apuntamiento correcto. En el momento en que el vector solar entra dentro de la susodicha apertura angular del sistema utilizado, el rastreo se detiene y se inicia el procedimiento de maximización de potencia, según las variantes que ya se han descrito mas arriba. Una vez se ha localizado por vez primera el apuntamiento correcto del sol - se tiene pues ya una primera medida de error de apuntamiento para el conjunto con que se ajustará el modelo de errores - los puntos de inicio de las siguientes espirales de búsqueda que conduzcan a nuevos valores del error de apuntamiento, no tienen porque ser siempre los puntos que generan las efemérides sin corrección alguna en el momento del inicio de la búsqueda, sino que estos pueden corregirse con una estimación de error que puede obtenerse a partir de filtrados predictivos que integran las medidas de error de seguimiento obtenidas hasta ese punto, de este modo se conseguirá paulatinamente que el punto de inicio de la espiral este mas próximo al punto de apuntamiento correcto y por tanto se reducirá el tiempo de rastreo. La función del sensor de irradiancia solar global en el plano de la apertura será la de detener el procedimiento de rastreo cuando este se encuentre en curso, y en general inhibir la colección de errores de seguimiento, siempre que la irradiancia solar global en este plano caiga por debajo de un umbral, pues esto indicará la ocultación del sol por nubes y por tanto la imposibilidad de que a partir de ese momento el sistema que se este utilizando para determinar el apuntamiento correcto lo detecte. Tan pronto la irradiancia global supere de nuevo el citado el umbral quedará habilitado de nuevo el procedimiento de colección de errores de seguimiento. El sensor de irradiancia solar global también puede ser utilizado para realizar una primera aproximación a la orientación de apuntamiento correcto, previa al inicio de la búsqueda por espirales y la posterior maximización de la potencia del generador fotovoltaico, que procedería mediante la maximización consecutiva primero accionando un eje de seguimiento y luego el otro, si lo hubiera, de la medida de irradiancia generada por este. Alcanzado este máximo de la salida del sensor de irradiancia global, que no tiene porque coincidir con la orientación que genera el máximo de potencia del generador fotovoltaica, por causa de sus desalineamientos y de lo poco pronunciado de este máximo que impide su determinación con precisión, se iniciaría la búsqueda espiral.

Ajuste de derivas temporales

Una fuente de error de especial importancia para cualquier estrategia de seguimiento solar basada en el computo de efemérides derivan de la imprecisión en el hora suministrada por el reloj interno del Equipo de Control de Seguimiento. Un reloj controlado por un oscilador de cuarzo sufrirá importantes derivas especialmente cuando se encuentra instalado a la intemperie pues su precisión es función fundamentalmente de la temperatura. Así un oscilador de cuarzo convencional puede llegar a errores en el rango de ± 1 hora al año. Será pues necesario sincronizar periódicamente

el reloj interno del sistema con una señal horaria precisa, y en este sentido, varias son las posibilidades al alcance e.g. señal horaria emitida por el sistema GPS, señales radio horarias, protocolos de sincronización de Internet, etc. que además están basados en relojes atómicos de la máxima precisión. No obstante la implementación de estos tipos de sincronización en un equipo de control de seguimiento exige la integración de recursos físicos adicionales como receptores radio o GPS o conectividad Internet, que repercutirán en el coste final del equipo. En el Equipo de Control de Seguimiento se implementa una aproximación alternativa a las citadas que aprovecha el hecho de que se dispone de unas efemérides solares de muy alta precisión, por lo que podemos introducir un parámetro adicional a ajustar contra los errores de seguimiento colectados, que represente el atraso o adelanto acumulado por el reloj interno del Equipo. De este modo los errores de seguimiento solar quedan así caracterizados por siete parámetros, los seis antes descritos y el parámetro de deriva temporal que se suma a la variable independiente, el tiempo, de las ecuaciones que componen las efemérides solares. De este modo durante el proceso de ajuste contra el conjunto de errores de seguimiento, además de obtener los parámetros que caracterizan errores de instalación, montaje, y fabricación del seguidor, se obtendrá la deriva que ha sufrido el reloj interno del sistema de tal modo que este puede ser puesto de nuevo en hora eliminando esta.

Auto-calibración generalizada

Hemos descrito hasta aquí todas las rutinas y procedimientos que el Equipo de Control de Seguimiento lleva a cabo para lograr un seguimiento solar de la máxima precisión y los recursos físicos que dicho Equipo reúne para realizarlas. El mayor énfasis se ha puesto en la descripción de los procedimientos que realiza para calibrar las efemérides solares internas de modo automático. No obstante resta aún poner de manifiesto el hecho de que para ajustar los parámetros del modelo de errores y el parámetro de deriva temporal las efemérides a emplear no tienen porque ser necesariamente las del sol, y a los efectos del procedimiento de calibración serán igual de validas las de cualquier cuerpo celeste de precisión equivalente. En este sentido la alternativa al sol mas interesante a la vez que viable sería la luna, para la cual existen también efemérides de gran precisión cuya programación y computo por parte del microcontrolador del Equipo de Seguimiento Solar es igualmente factible. El diámetro aparente de la luna y el sol son prácticamente idénticos, por lo que el procedimiento de adquisición de errores de seguimiento sería aplicable con el satélite terrestre sin apenas modificaciones, salvo en lo referente a los sensores a utilizar para determinar el apuntamiento preciso habrán de tener una sensibilidad mucho mayor, siendo así que la luna llena tiene una irradiancia seis ordenes de magnitud inferior a la del sol. Así por ejemplo en el caso de la variante descrita que únicamente integra un sensor de corriente, este, en base a las eficiencias y tensiones de circuito abierto habituales en un sistema de concentración fotovoltaica, debe ser sensible a corrientes del orden de microamperios, si bien la precisión y estabilidad de los resistores de alto valor que esto exigiría no es un parámetro crítico pues en la maximización solo se atiende a las variaciones relativas de la corriente y no a la precisión de la medida. En el caso particular de que la adquisición de errores se realice con la luna, será también necesario programar en el microcontrolador ecuaciones de fase lunar en función del día, pues las efemérides lunares calculan el vector lunar en función del tiempo y este apunta siempre al centro del disco lunar, así pues y para evitar errores la adquisición de errores debería realizarse en los días en que la fase este muy próxima a la luna llena. Tema aparte será la utilización del sensor de irradiancia integrado en el procedimiento de adquisición de errores de seguimiento en base al sol. La gran ventaja de poder realizar la adquisición de errores de seguimiento con la luna esta en que este proceso que de realizarse por el sol requiere una jornada completa en la que la producción energética del generador fotovoltaico se reducirá (caso de la primera variante arriba descrita con maximización de la potencia de salida) o interrumpida por completo (caso de la segunda variante con maximización de la corriente de cortocircuito), por lo cual mas allá de la primera calibración realizada el día de instalación y puesta a punto del seguidor no serían deseables otras calibraciones. Sin embargo hay fuentes de error de naturaleza claramente variable con el tiempo, como es la propia deriva del reloj interno del Equipo de Control de Seguimiento, que si requiriría ajustes periódicos vía calibración que bien podrían realizarse en periodos de ciclo lunar. Otra ventaja adicional del empleo de la luna esta en que su irradiancia es tres ordenes de magnitud superior a la de los planetas mas brillantes del sistema solar y cuatro veces superior a la de las estrellas mas brillantes, con lo cual resulta fácil discriminar este astro de los restantes nocturnos en base a la potencia entregada por el sistema de generación fotovoltaico o equivalente.

De nuevo con sensores de mayor precisión también será posible realizar la adquisición de errores con los planetas o las estrellas mas brillantes, para los cuales también existen efemérides de gran precisión y con especial motivo en el caso de las estrellas en las que solo consisten en transformaciones de sus coordenadas fijas celestes a las locales del punto de observación. Además serán prácticamente focos puntuales lo cual puede redundar en una mayor precisión en las medidas del error de seguimiento, y además pueden resultar alternativas en casos en que la luna la fase de la luna este distante de la luna llena. Su principal inconveniente es la posibilidad de que el procedimiento de adquisición de errores tome unos planetas o estrellas por otros, pues en este caso ya se pueden presentar varios astros con irradiancias del mismo orden de magnitud.

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 esquemas y diagramas de flujo 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:

La figura 1 muestra en un diagrama de bloques los constituyentes físicos fundamentales del Equipo de Control de Seguimiento Solar, así como las interrelaciones entre estos.

ES 2 273 576 B1

Las figura 2 a 7 ilustran mediante diagramas de flujo el método de operación del Equipo de Control de Seguimiento Solar.

Las figuras 8 a 10 señalan los parámetros angulares que integran el modelo de errores de seguimiento.

Descripción de una realización preferente

Constituyentes

Una realización preferente del Equipo de Control de Seguimiento Solar propuesto tendrá los siguientes constituyentes físicos fundamentales:

- Un microcontrolador (1)
- Un reloj interno en base a un oscilador de cuarzo (2)
- Una unidad electrónica de control de motores eléctricos de corriente continua o alterna según el caso (3)
- Codificadores ópticos incrementales que informan de la orientación en cada momento de los distintos ejes de seguimiento bajo control, y los circuitos correspondientes para la decodificación de sus señales y lectura por parte del microcontrolador (4)
- Sensores de final de carrera de tipo electromecánico que señalen al microcontrolador los extremos de los rangos de seguimientos de los distintos ejes de seguimiento bajo control, e impidan su superación (5)
- Dispositivos de conmutación de la línea de potencia del generador fotovoltaico que monte el seguidor solar a controlar, con objeto de que el microcontrolador tenga la opción de ocasionalmente desconectar dicha línea de la carga y para luego cortocircuitarla (6)
- Dispositivos de conmutación de la línea de potencia del generador fotovoltaico que monte el seguidor solar a controlar, con objeto de que el microcontrolador tenga la opción de ocasionalmente seleccionar que sensor de corriente de los abajo descritos medirá la corriente de línea cuando esta queda cortocircuitada (7)

El citado microcontrolador dispondrá de una serie de entradas analógicas, que dotadas de los necesarios circuitos externos de acondicionamiento de señal permitirán la lectura de:

- Un sensor de corriente dimensionado en base a la corriente máxima del generador fotovoltaico que monte el seguidor solar a controlar bajo fuente solar (8)
- Un sensor de muy baja corriente dimensionado en base a la corriente máxima del generador fotovoltaico que monte el seguidor solar a controlar bajo fuente lunar (9)
- Un sensor de irradiancia solar global (10)

Método de operación

En términos generales el procedimiento de seguimiento solar se realizará del siguiente modo:

1. Tras la conexión del Equipo de Control de Seguimiento al seguidor a controlar y la instalación en campo de todo el conjunto, se procede a realizar un primer proceso de autocalibración que sigue la siguiente secuencia:
 - a. Condicionado a la superación en el sensor de irradiancia global de un umbral prefijado el microcontrolador procede a cortocircuitar la línea de potencia del generador fotovoltaico que monta el seguidor solar (11).
 - b. El microcontrolador procede a conmutar del modo necesario para que el sensor de corriente mida la corriente de línea, que será la corriente de cortocircuito del generador fotovoltaico (12).
 - c. Condicionado en todo momento a la superación en el sensor de irradiancia global de un umbral prefijado, se maximiza dicha irradiancia consecutivamente en los dos ejes de seguimiento (13).
 - d. Condicionado en todo momento a la superación en el sensor de irradiancia global de un umbral prefijado, se rastrea por espirales rectangulares, tomando como punto de partida la orientación suministrada por las efemérides solares, hasta que la salida del sensor de corriente supera un determinado umbral prefijado (14).

ES 2 273 576 B1

- e. Condicionado en todo momento a la superación en el sensor de irradiancia global de un umbral prefijado, se realizan de modo iterativo las maximizaciones lineales necesarias de tal modo que se localice la orientación de los dos ejes para la que se mide la máxima corriente (15).
- 5 f. Se registran los errores de seguimiento en cada eje (16).
- g. En tanto no se supere un numero de medidas de error de seguimiento prefijado, pasado un cierto intervalo de tiempo, calculado de tal modo que el numero de medidas necesarias por el intervalo de tiempo sea igual al tiempo que en ese día el sol permanece dentro del rango de seguimiento del seguidor, se vuelve al punto a (17).
- 10
2. El microcontrolador actúa sobre los dispositivos de conmutación de linea para volver a conectar esta a la carga (18).
- 15
3. Con el conjunto de errores de seguimiento colectados durante el día y una vez que al atardecer el vector solar queda fuera del rango de seguimiento del seguidor solar, se realiza el ajuste de los seis parámetros del modelo de errores de seguimiento. El ajuste lo realiza el microcontrolador aplicando el algoritmo iterativo de Levenberg-Marquardt para lo cual dispone de toda la noche, hasta que a la mañana siguiente el vector solar vuelva a entrar dentro del rango de seguimiento del seguidor (19).
- 20
4. Con el generador fotovoltaico de nuevo conectado a la carga se inicia el procedimiento de seguimiento solar en base a las coordenadas suministradas por las efemérides solares y su posterior corrección por el modelo de errores trabajando con los parámetros producto del ajuste realizado la noche posterior a la mañana de colección de errores de seguimiento. Procedimiento de seguimiento que en lo sucesivo se desarrollara día tras día siempre que las coordenadas suministradas se mantengan dentro del rango de seguimiento del seguidor solar. Al atardecer cuando el vector solar abandona el rango de seguimiento, el microcontrolador se posiciona siempre en una orientación próxima a aquella en la que al amanecer se encontrara el vector solar por primera vez dentro del rango de seguimiento, de tal modo que al día siguiente se pierda el menor tiempo en iniciar el seguimiento una vez se hace posible (20).
- 25
- 30
5. Con objeto de eliminar los errores en reloj interno del Equipo de Seguimiento Solar se ajustara periódicamente el parámetro de deriva temporal contra un conjunto de errores de seguimiento. Para evitar que estos ajustes periódicos interrumpen la generación de potencia por parte del generador fotovoltaico, la correspondiente sesión de colección de errores de seguimiento se desarrollara por en noches de luna aproximadamente llena, por tanto en un periodo no inferior al de rotación lunar, en el entorno de los 29,5 días. Con este propósito el microcontrolador tiene programada las ecuaciones que computan el porcentaje de disco lunar iluminado en función del día, y el procedimiento de autocalibración se inicia la en la primera noche que se supera un determinado porcentaje prefijado próximo al 100% y sigue la siguiente secuencia (21):
- 35
- 40
- a. El microcontrolador procede a cortocircuitar la línea de potencia del generador fotovoltaico que monta el seguidor solar (22).
- b. El microcontrolador procede a conmutar del modo necesario para que el sensor de muy baja corriente mida la corriente de línea, que será la corriente de cortocircuito del generador fotovoltaico (23).
- 45
- c. Se rastrea por espirales rectangulares, tomando como punto de partida la orientación suministrada por las efemérides solares y su posterior corrección por el modelo de errores trabajando con los parámetros producto de la autocalibración desarrollada en 1, hasta que la salida del sensor de muy baja corriente supera un determinado umbral prefijado y se pasa al punto d. Si por el contrario la velocidad lineal de expansión del rastreo decae por debajo de la máxima velocidad de desplazamiento lunar sin que el sensor de muy baja corriente supere el citado umbral, el rastreo se detiene y se pasa al punto f. (24).
- 50
- d. De modo iterativo se realizan las maximizaciones lineales necesarias de tal modo que se localice la orientación de los dos ejes para la que se mide la máxima corriente (25).
- 55
- e. Se registra los errores de seguimiento en cada eje (26).
- f. En tanto no se supere un numero prefijado de rastreos iniciados aunque no necesariamente culminados con una medida de error de seguimiento, pasado un cierto intervalo de tiempo, calculado de tal modo que el numero de rastreos necesarios por el intervalo de tiempo sea igual a tiempo que en esa noche la luna permanece dentro del rango de seguimiento del seguidor, se vuelve al punto a. (27).
- 60
6. Si la cantidad medidas de error de seguimiento colectados durante esa noche no supera la cantidad mínima necesaria prefijada para garantizar un ajuste preciso del parámetro de deriva temporal se desarrollara secuencia de colección de errores descrita en el punto 5 en las noches sucesivas y en tanto en cuanto el porcentaje de superficie lunar iluminada siga siendo superior al valor prefijado. Si llega una noche en la que el porcentaje de superficie lunar iluminada queda por debajo del valor y la cantidad de medidas de
- 65

ES 2 273 576 B1

error de seguimiento sigue siendo inferior a la cantidad mínima prefijada se suspende la autocalibración nocturna se eliminan las medidas realizadas y se vuelve al punto 4. Por el contrario en el momento en que la cantidad de medidas de error de seguimiento colectadas supere la cantidad mínima necesaria prefijada para garantizar un ajuste el microcontrolador lo iniciara aplicando el algoritmo iterativo de Levenberg-Marquardt aprovechando para ello los periodos de tiempo que sigan en que el vector solar no se encuentre dentro del rango de seguimiento del seguidor. Una vez realizado dicho ajuste y obtenido el parámetro de deriva temporal el microcontrolador corregirá la hora del reloj interno añadiendo este factor corrector, y se vuelve al punto 4 (28).

REIVINDICACIONES

1. Un Procedimiento de Control de Seguimiento Solar para concentradores fotovoltaicos **caracterizado** por operar de acuerdo con un método que comprende el computo preliminar de las coordenadas locales del sol (acimut & elevación) por medio de efemérides solares codificadas en un microcontrolador, y su posterior conversión a ángulos de rotación de los ejes de seguimiento del concentrador fotovoltaico con respecto a sus posiciones de referencia por medio de las ecuaciones de un modelo de errores, que también codificadas en el microcontrolador, tienen en cuenta las diferencias entre el referencial de dichas efemérides y el del seguidor solar que se está controlando, diferencias que son debidas a errores con respecto a las especificaciones en la instalación, fabricación y montaje tanto de dicho seguidor solar como del sistema de concentración fotovoltaica que soporta y apunta al sol.

2. Un Procedimiento de Control de Seguimiento Solar para concentradores fotovoltaicos **caracterizado** por operar de acuerdo con un método que comprende el empleo de un modelo de errores según la reivindicación 1 que caracteriza las diferencias entre el referencial de las efemérides solares y el del seguidor solar que controla el Equipo de Control de Seguimiento Solar, por medio de seis parámetros. Los valores de los citados seis parámetros que corresponden al seguidor solar bajo control se ajustan internamente en el microcontrolador a partir de un conjunto de errores de apuntamiento al sol o a la luna.

3. Un Procedimiento de Control de Seguimiento Solar para concentradores fotovoltaicos **caracterizado** por operar de acuerdo con un método que comprende la recolección automática de errores de apuntamiento al sol para su empleo según la reivindicación 2. Dicho método de recolección automática de errores localiza la orientación real del sol en términos de rotaciones angulares de los ejes del seguidor, por medio de rutinas de búsqueda que se desarrollan en tres etapas: (i) la maximización de la corriente de cortocircuito de un sensor de irradiancia solar global incidente en la apertura o plano de colección del concentrador fotovoltaico, de tal modo que primero se maximiza dicha corriente actuando el motor de un eje en el sentido en que esta crece, y a continuación se repite esta misma operación en el otro eje, (ii) el trazado de movimientos de búsqueda que describen una espiral rectangular cuando se representan en coordenadas cartesianas las rotaciones imprimidas a los dos ejes con el tiempo como parámetro, movimientos que continúan de este modo hasta que se detecta el sol por medio de unos sensores de corriente y tensión que miden estas variables en 1 salida del concentrador fotovoltaico, o de modo equivalente se detecta el sol por medio de un sensor que preliminarmente ha sido calibrado con la máxima salida de potencia de de dicho concentrador. (iii) la maximización de la potencia entregada por el concentrador fotovoltaico, según se mide con unos sensores de corriente y tensión, o de modo equivalente mediante el apuntamiento de un sensor de apuntamiento que preliminarmente ha sido calibrado con la máxima salida de potencia de de dicho concentrador. Una vez localizado el sol se almacenan las orientaciones de los dos ejes de seguimiento en términos de sus respectivas rotaciones angulares.

4. Un Procedimiento de Control de Seguimiento Solar para concentradores fotovoltaicos **caracterizado** por operar de acuerdo con un método que comprende la recolección automática de errores de apuntamiento al sol para su empleo según la reivindicación 2, y que opera según la reivindicación 3, con la variante de que la etapa (ii) de búsqueda por espirales rectangulares se desarrolla hasta que se detecta al aumentar por encima de un umbral prefijado la corriente entregada por el concentrador fotovoltaico polarizado a tensión constante, según se mide con un sensor de corriente. Se inicia a continuación la etapa (iii) que en esta variante pretende la maximización de la corriente entregada por el concentrador fotovoltaico polarizado a tensión constante, según se mide con un sensor de corriente. Una vez localizado el sol se almacenan las orientaciones de los dos ejes de seguimiento en términos de sus respectivas rotaciones angulares.

5. Un Procedimiento de Control de Seguimiento Solar para concentradores fotovoltaicos **caracterizado** por operar de acuerdo con un método que comprende la recolección automática de errores de apuntamiento a la luna para su empleo según la reivindicación 2. Dicho método de recolección automática de errores localiza la orientación real de la luna en términos de rotaciones angulares de los ejes del seguidor, por medio de rutinas de búsqueda que se desarrolla en dos etapas (i) el trazado de movimientos de búsqueda que describen una espiral rectangular según la reivindicación 3, movimientos que continúan de este modo hasta que se detecta la luna al aumentar por encima de un umbral prefijado la corriente entregada por el concentrador fotovoltaico polarizado a tensión constante, según se mide con un sensor de muy baja corriente. Se inicia a continuación la etapa (ii) que pretende la maximización de la corriente entregada por el concentrador fotovoltaico polarizado a tensión constante, según se mide con el sensor de muy baja corriente. Una vez localizado la luna se almacenan las orientaciones de los dos ejes de seguimiento en términos de sus respectivas rotaciones angulares.

6. Un Procedimiento de Control de Seguimiento Solar para concentradores fotovoltaicos **caracterizado** por operar de acuerdo con un método que comprende la utilización de un parámetro de deriva temporal en un modelo de errores según la reivindicación 2, cuyo valor concreto para el concentrador bajo control puede ajustarse, de modo individual o en conjuntamente con el resto de parámetros del modelo, a partir del conjunto de errores de apuntamiento adquirido automáticamente según las reivindicaciones 3, 4 6 5 y de este modo corregir los atrasos o adelantos que puedan sobrevenir a un reloj interno integrado en el Equipo de Control de Seguimiento Solar, en función de cuya hora se calculan las efemérides solares.

ES 2 273 576 B1

7. Un Equipo de Control de Seguimiento Solar para concentradores fotovoltaicos **caracterizado** por comprender:

- Un microcontrolador o microprocesador.
- Un reloj interno.
- Una unidad electrónica de control de motores eléctricos de corriente continua o alterna según el caso.
- Sensores de posición que realimentan al control la orientación alcanzada en cada eje de seguimiento.
- Dispositivos de conmutación de la línea de potencia del concentrador fotovoltaico con que ocasionalmente desconectar dicha línea de la carga y para luego cortocircuitarla.
- Dispositivos de conmutación de la línea de potencia del concentrador fotovoltaico con que poder seleccionar el sensor de corriente que medirá la corriente de línea cuando esta queda cortocircuitada.
- Un sensor de corriente dimensionado en base a la corriente máxima del concentrador fotovoltaico.
- Un sensor de muy baja corriente dimensionado en base a la corriente máxima del concentrador fotovoltaico a la irradiancia de la luna llena.
- Un sensor de tensión dimensionado en base a la tensión máxima del concentrador fotovoltaico.
- Un sensor de irradiancia global.
- Un sensor de apuntamiento solar.

Fig. 1

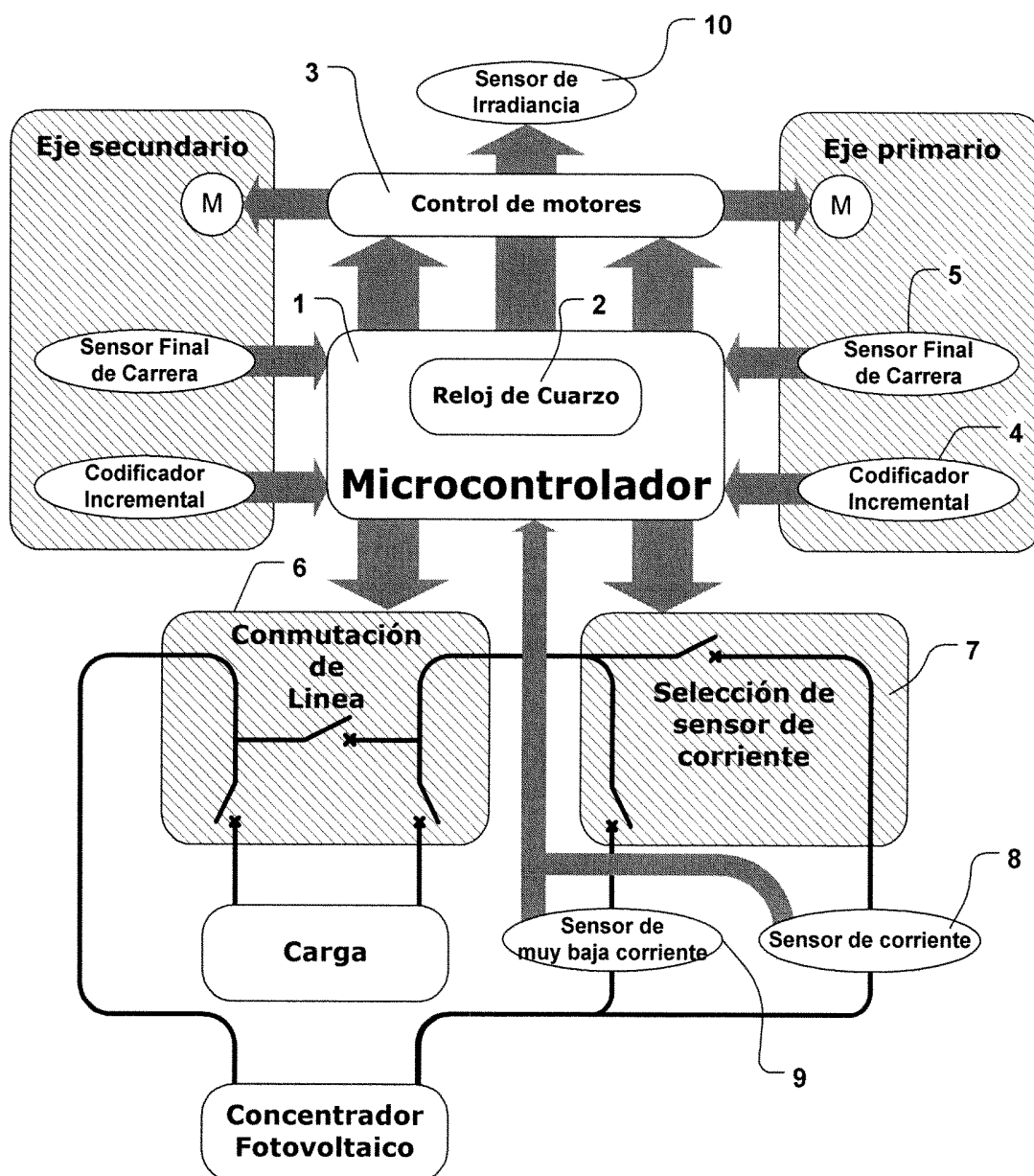


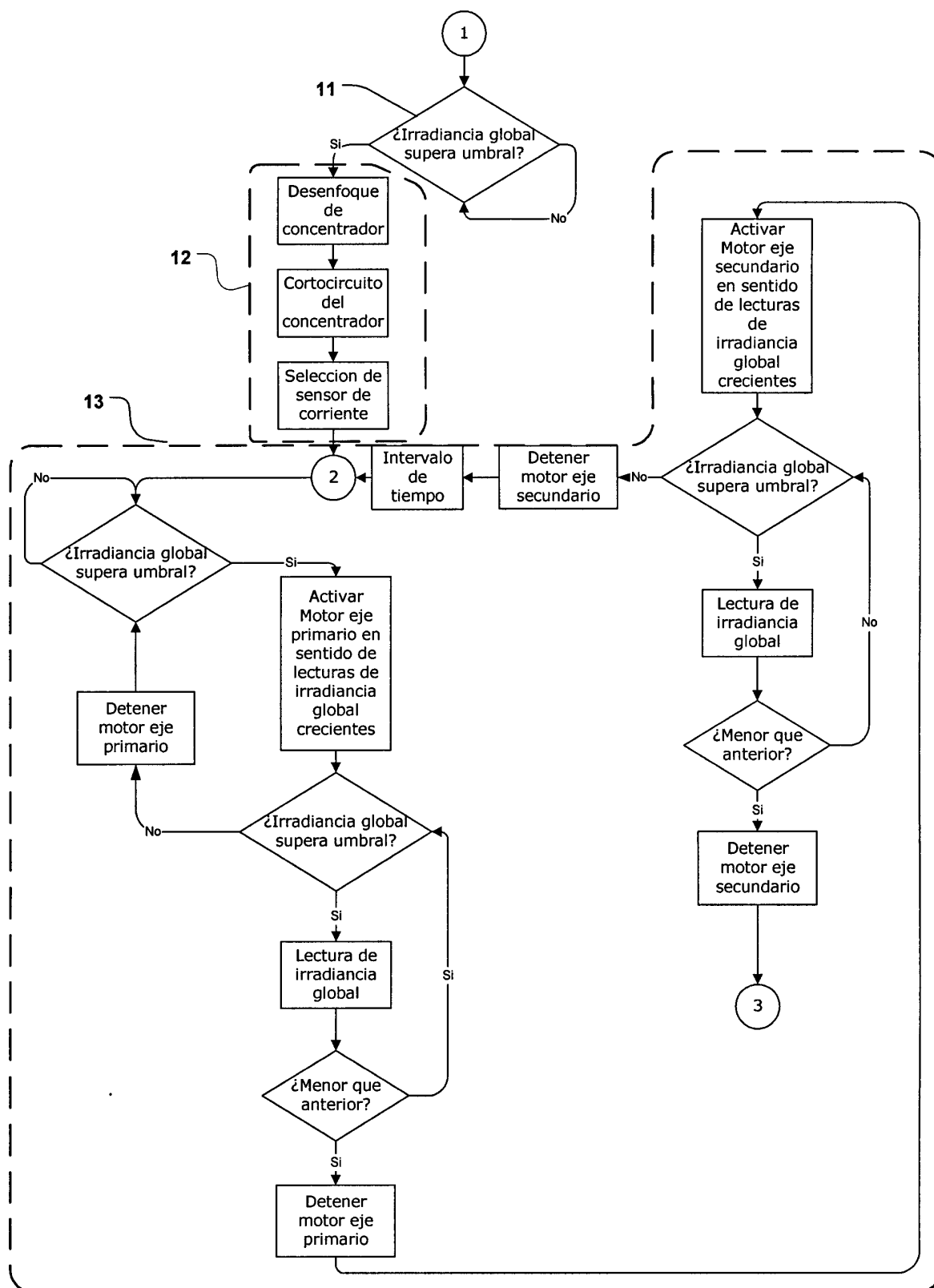
Fig. 2

Fig. 3

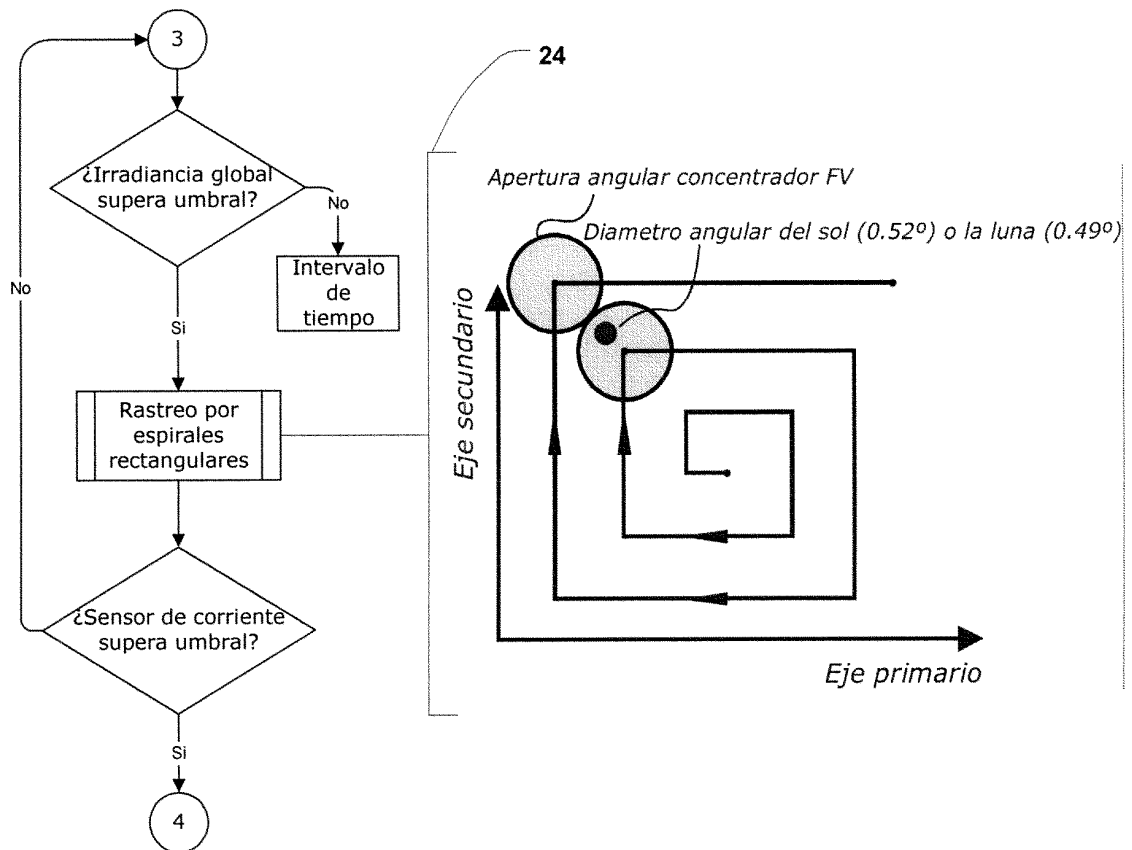


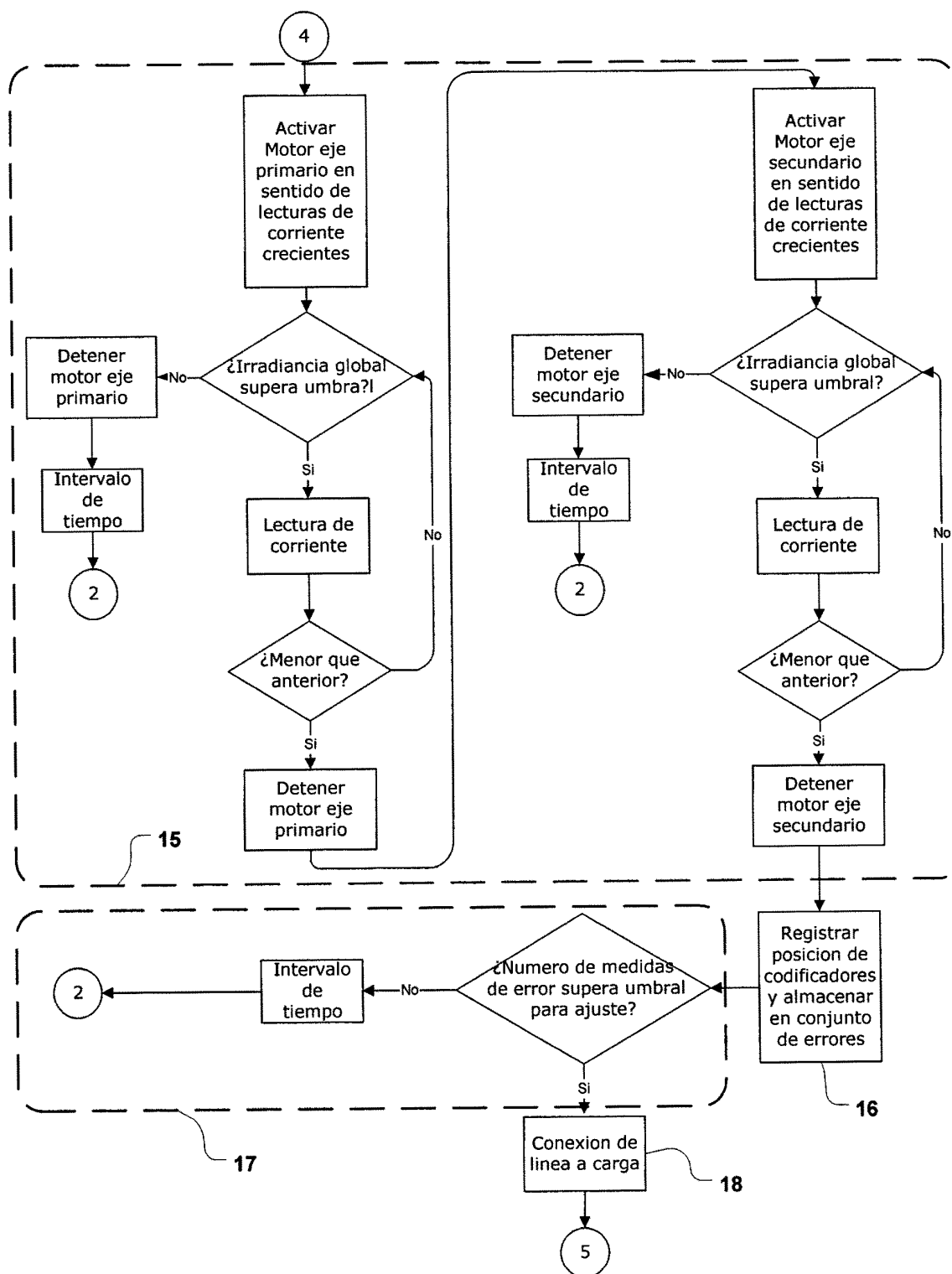
Fig. 4

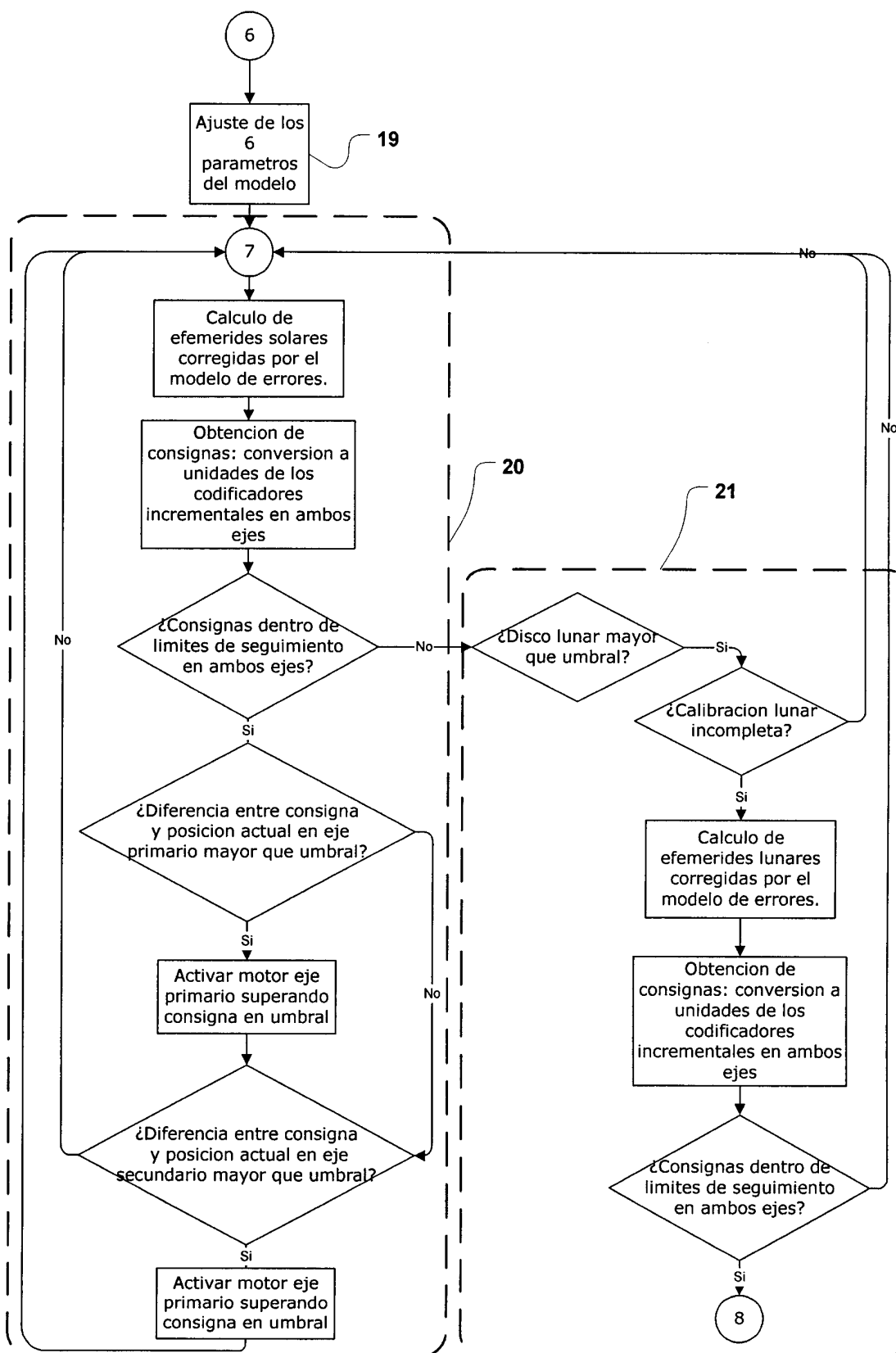
Fig. 5

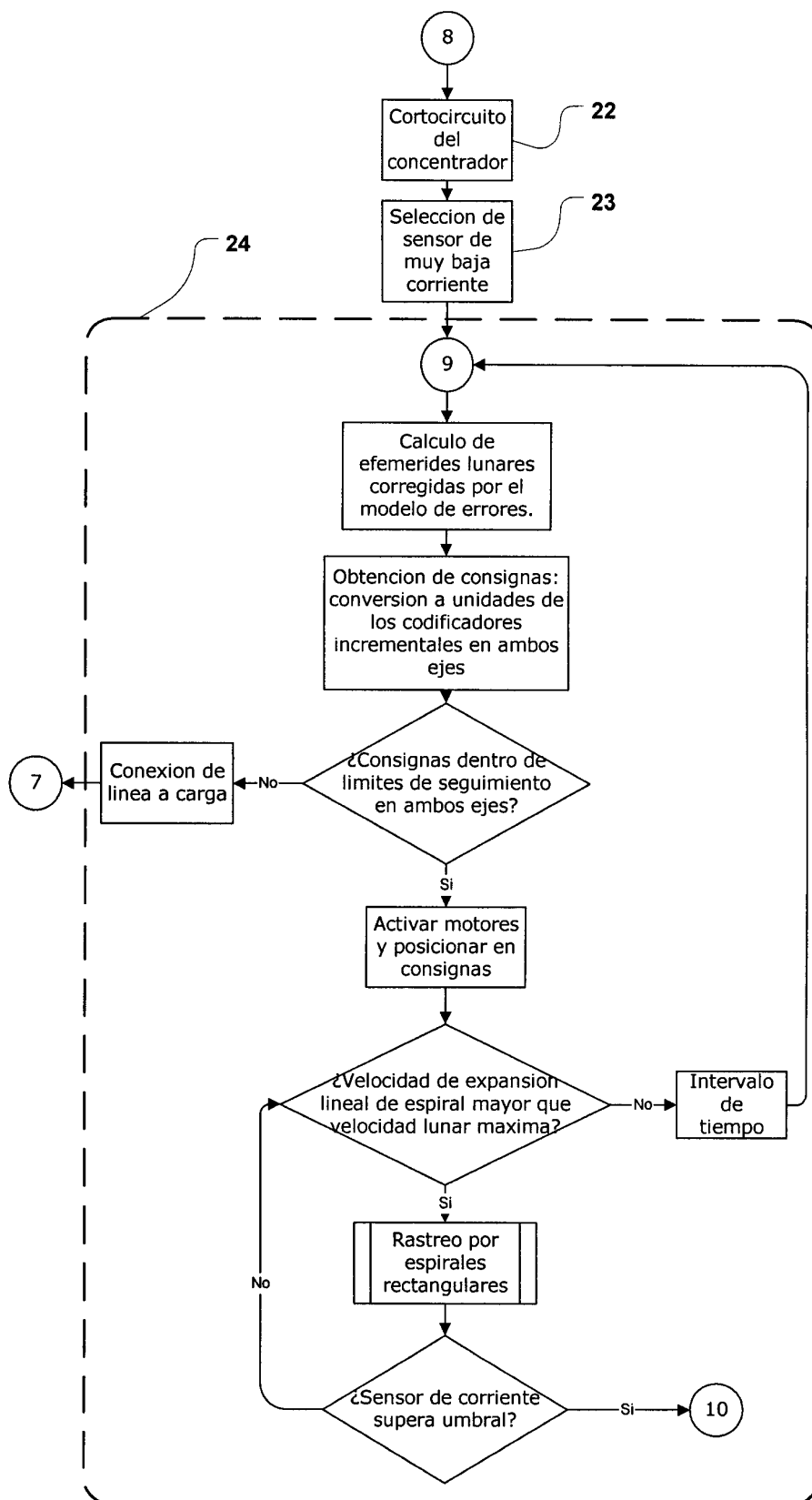
Fig. 6

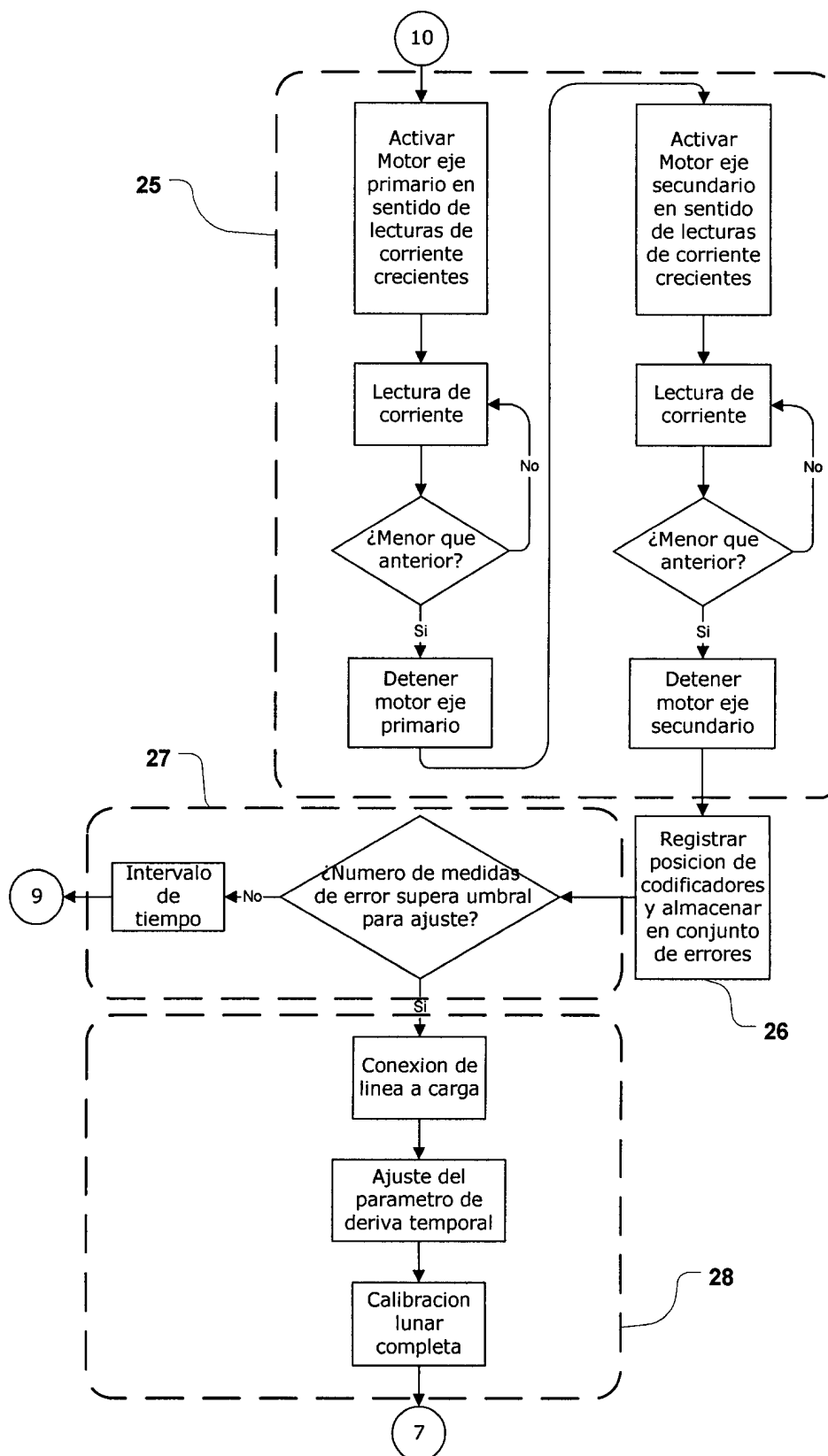
Fig. 7

Fig. 8

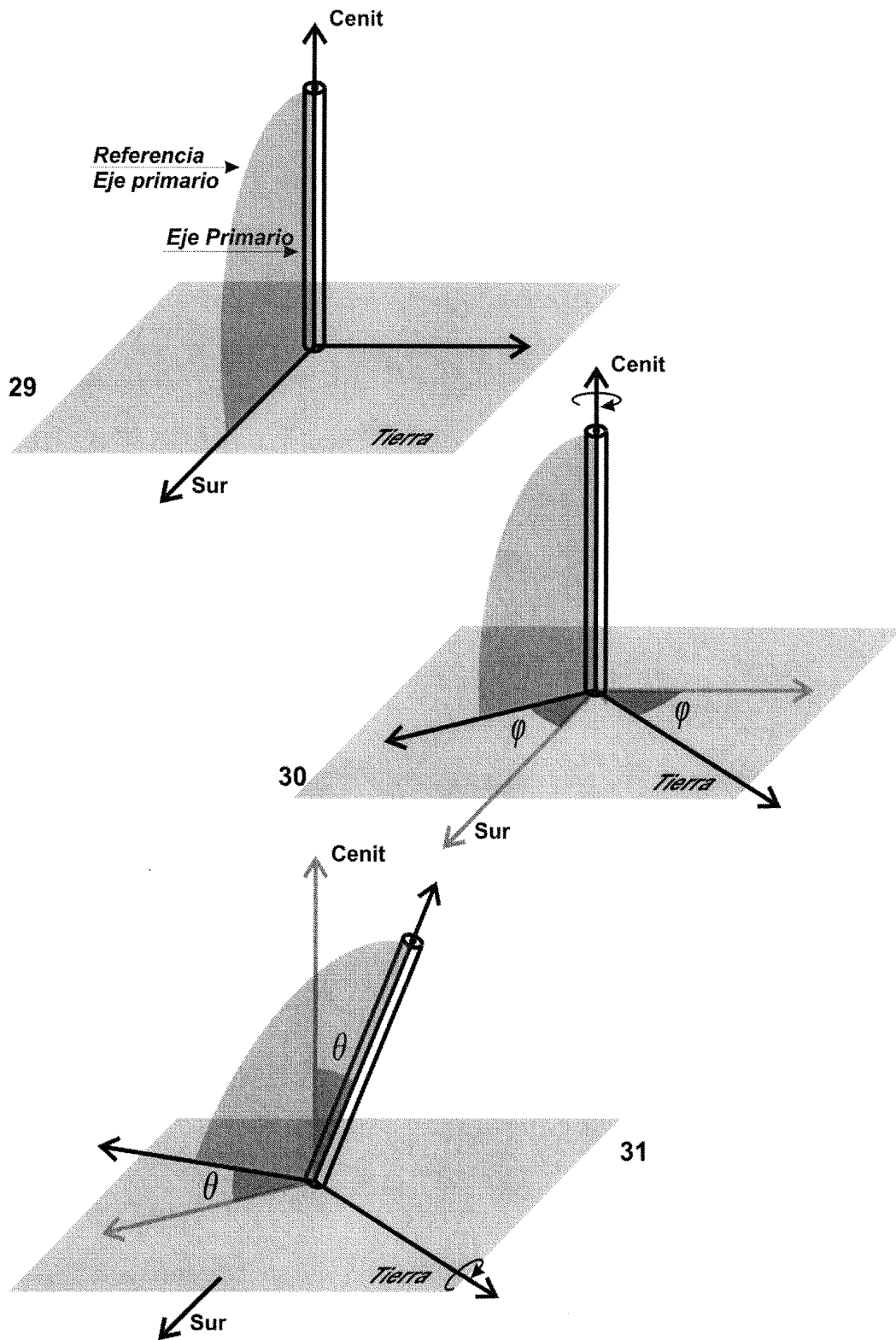


Fig 9

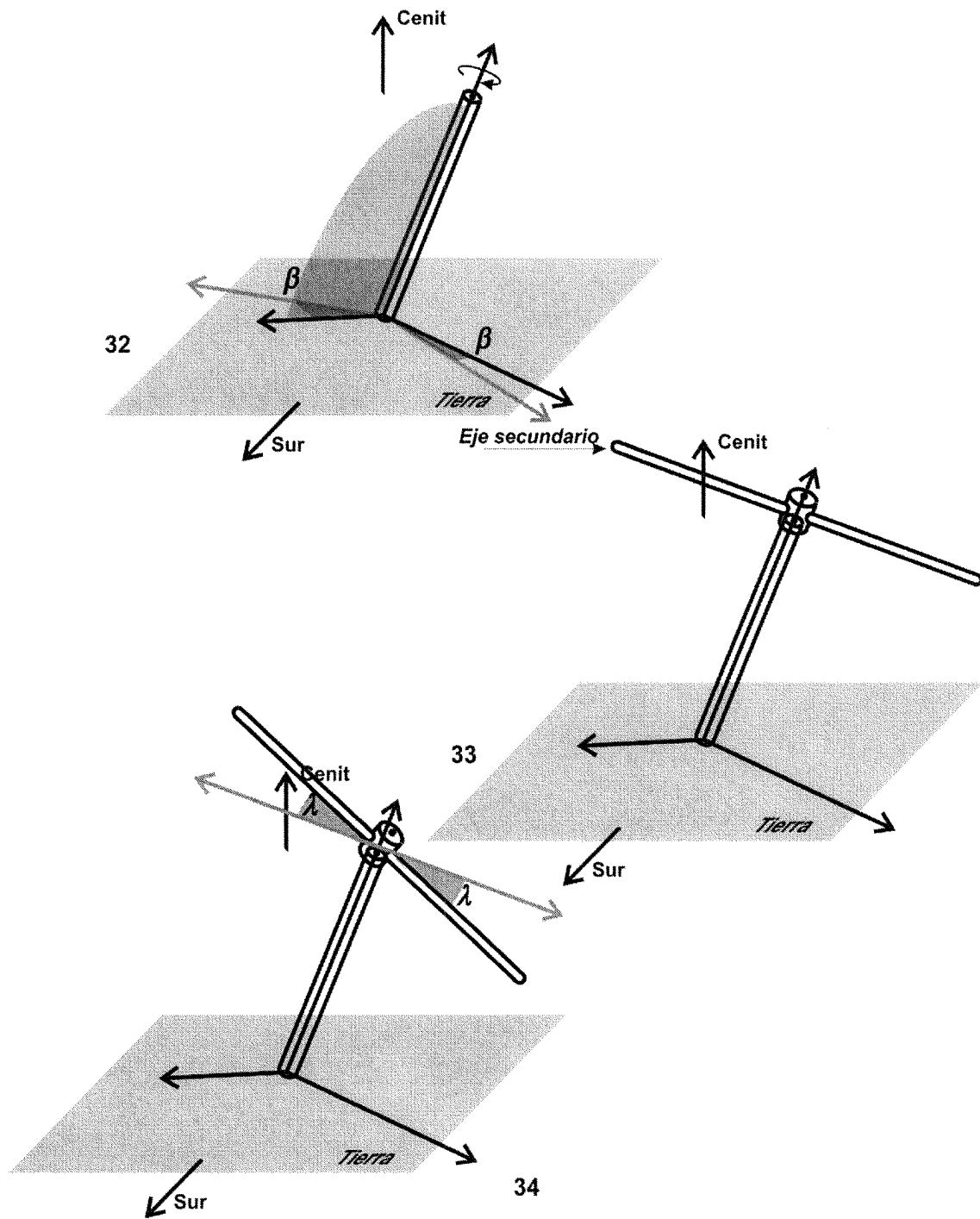
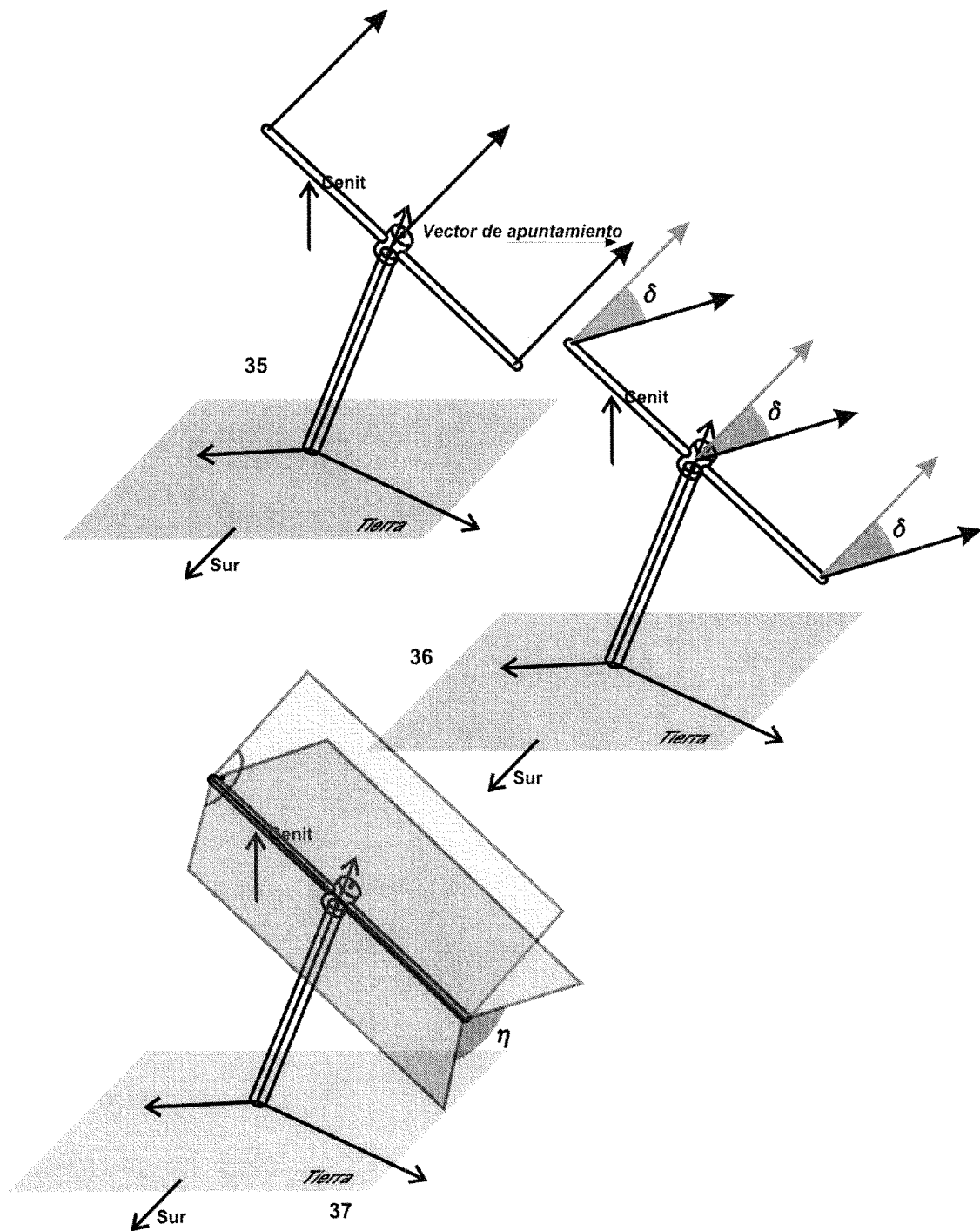


Fig 10





OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

⑪ ES 2 273 576

⑫ Nº de solicitud: 200501330

⑬ Fecha de presentación de la solicitud: 02.06.2005

⑭ Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑮ Int. Cl.: **G01S 3/786** (2006.01)
G05D 3/10 (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	LUQUE-HEREDIA, I. et al. "A PI Hybrid Sun Tracking Algorithm for Photovoltaic Concentration" Proceedings 19th European Photovoltaic Conference, Paris, 2004.	1-6
A	US 4320288 A (SCHLARLACK) 16.03.1982, columna 2, línea 16 - columna 5, línea 9; figuras 1-3.	1-7
A	WO 2005026628 A1 (BAILEY INNOVATIONS PTY LTD) 24.03.2005, página 4, línea 27 - página 13, línea 17; figuras.	1-7
A	US 4215410 A (WESLOW et al.) 27.07.1980, columna 4, línea 39 - columna 18, línea 33; figuras 1-4.	1-7
A	ES 8501541 A1 (CONSTRUCCIONES AERONAUTICAS, S. A.) 16.11.1984, todo el documento.	1-7

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
09.04.2007

Examinador
P. Pérez Fernández

Página
1/1