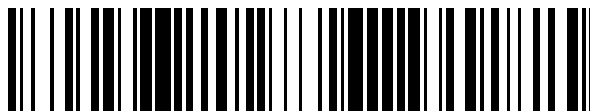


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 639 687**

21 Número de solicitud: 201700209

15 Folleto corregido: A1, B2

INID afectado: 72

48 Fecha de publicación de la corrección: 07.03.2018

51 Int. Cl.:

G01R 29/10 (2006.01)

12

CORRECCIÓN DE LA PRIMERA PÁGINA
DE LA PATENTE DE INVENCION

B8

22 Fecha de presentación:
03.03.2017

43 Fecha de publicación de la solicitud:
27.10.2017

Fecha de la concesión:
13.02.2018

45 Fecha de publicación de la concesión:
20.02.2018

73 Titular/es:
**UNIVERSIDAD DE OVIEDO (57.0%)
San Francisco nº 3
33003 Oviedo (Asturias) ES y
UNIVERSIDAD DE VIGO (43.0%)**

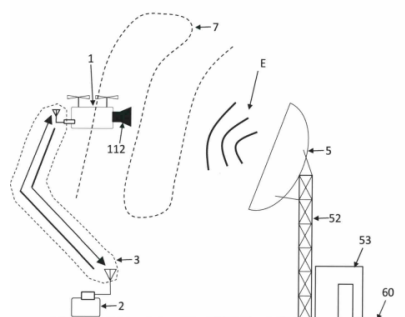
72 Inventor/es:
**ÁLVAREZ LÓPEZ, Yuri;
GARCÍA FERNÁNDEZ, María;
LAS-HERAS ANDRÉS, Fernando;
ARBOLEYA ARBOLEYA, Ana;
GÓNZALEZ VALDÉS, Borja;
RODRÍGUEZ VAQUEIRO, Yolanda y
GARCÍA PINO, Antonio**

54 Título: **Sistema aerotransportado y método para la caracterización y medida de antenas o sistemas radiantes**

57 Resumen:

Sistema aerotransportado y método para la caracterización y medida de antenas o sistemas radiantes (5) que comprende un módulo aéreo (1) con una unidad de medida de emisiones electromagnéticas (11) que captura el campo electromagnético radiado (E) por la antena o sistema radiante (5), un sistema de posicionamiento y guiado (13) con una precisión igual o inferior a 3 cm, y una estación terrena (2) con una unidad de procesamiento de las medidas de emisiones electromagnéticas (23) que procesa las medidas mediante un conjunto de algoritmos de procesamiento de medidas de emisiones electromagnéticas (25). La invención también comprende un método para la medida y caracterización de antenas o sistemas radiantes (5). De aplicación en aquellos sectores en los que se necesite la caracterización y medida de antenas, como por ejemplo instalaciones de sistemas radar y de radionavegación, sistemas de telecomunicaciones terrestres y por satélite o instalaciones de radiodifusión terrestre.

FIG. 1



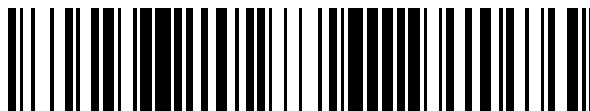
ES 2 639 687 B8

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 639 687**

21 Número de solicitud: 201700209

51 Int. Cl.:

G01R 29/10

(2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

03.03.2017

43 Fecha de publicación de la solicitud:

27.10.2017

Fecha de concesión:

13.02.2018

45 Fecha de publicación de la concesión:

20.02.2018

73 Titular/es:

**UNIVERSIDAD DE OVIEDO (57.0%)
San Francisco nº 3
33003 Oviedo (Asturias) ES y
UNIVERSIDAD DE VIGO (43.0%)**

72 Inventor/es:

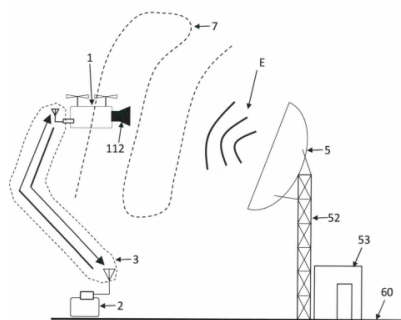
**RODRÍGUEZ VAQUEIRO, Yolanda y
GARCIA PINO, Antonio**

54 Título: **Sistema aerotransportado y método para la caracterización y medida de antenas o sistemas radiantes**

57 Resumen:

Sistema aerotransportado y método para la caracterización y medida de antenas o sistemas radiantes (5) que comprende un módulo aéreo (1) con una unidad de medida de emisiones electromagnéticas (11) que captura el campo electromagnético radiado (E) por la antena o sistema radiante (5), un sistema de posicionamiento y guiado (13) con una precisión igual o inferior a 3 cm, y una estación terrena (2) con una unidad de procesamiento de las medidas de emisiones electromagnéticas (23) que procesa las medidas mediante un conjunto de algoritmos de procesamiento de medidas de emisiones electromagnéticas (25). La invención también comprende un método para la medida y caracterización de antenas o sistemas radiantes (5). De aplicación en aquellos sectores en los que se necesite la caracterización y medida de antenas, como por ejemplo instalaciones de sistemas radar y de radionavegación, sistemas de telecomunicaciones terrestres y por satélite o instalaciones de radiodifusión terrestre.

FIG. 1



Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 40.2.8 LP 11/1986.

ES 2 639 687 B2

DESCRIPCIÓN

SISTEMA AEROTRANSPORTADO Y MÉTODO PARA LA CARACTERIZACIÓN Y MEDIDA DE ANTENAS O SISTEMAS RADIANTES

La presente invención se refiere a un sistema aerotransportado para la caracterización
5 y medida de antenas o sistemas radiantes, que comprende al menos un módulo aéreo, una
estación terrena y un sistema de comunicación entre elementos. La invención también se
refiere al método de procesamiento del campo electromagnético radiado para la obtención de
la distribución del campo electromagnético en la apertura de la antena o sistema radiante
bajo medida, a partir del cual es posible realizar el diagnóstico de la antena bajo medida,
10 así como su diagrama de radiación y el volumen de protección electromagnético.

La invención resulta de aplicación en aquellos sectores en los que se necesite la
caracterización y medida de antenas o sistemas radiantes, como por ejemplo instalaciones
de sistemas radar y de radionavegación, sistemas de telecomunicaciones terrestres y por
satélite, o instalaciones de radiodifusión terrestre.

15

ESTADO DE LA TÉCNICA

El desarrollo de la tecnología de vehículos aéreos no tripulados como los drones, los
UAV (*Unmanned Aerial Vehicles*), los UAS (*Unmanned Aerial Systems*), los RPA
(*Remotely Piloted Aircrafts*), etc. está dando lugar a su aplicación en un amplio abanico
20 de sectores, como cartografía y topografía, seguridad y vigilancia, inspección de
infraestructuras, asistencia en desastres naturales, etc. Una de sus principales ventajas es
la capacidad para acceder a lugares de difícil acceso por vía terrestre.

En el ámbito de las radiocomunicaciones, la medida y caracterización de antenas u
otros sistemas radiantes es uno de los aspectos fundamentales para la verificación del
25 correcto funcionamiento de un sistema de comunicaciones, dado que las antenas son el
elemento que actúa de interfaz entre un medio no guiado (aire, vacío) y un medio guiado
(cable coaxial, guía de onda).

Los sistemas para medida y caracterización de antenas se pueden clasificar a grandes rasgos en sistemas o rangos en exteriores, y sistemas o rangos en interiores. Los sistemas o rangos en exteriores permiten la medida directa del diagrama de radiación de la antena, dado que es posible separar la antena bajo medida de la antena que se emplea como sonda de medida. Los principales inconvenientes que presentan son el espacio que necesitan para su implementación (fundamentalmente gran separación entre la infraestructura donde se coloca la antena bajo medida y la infraestructura donde se coloca la antena que se emplea como sonda de medida), así como la exposición a inclemencias meteorológicas que limitan su utilización.

Con respecto a los sistemas o rangos en interiores, típicamente se ubican en recintos denominados cámaras anecoicas, las cuales están recubiertas en su totalidad por material absorbente que minimiza la reflexión de las ondas electromagnéticas en paredes, suelos y techos. Al igual que los rangos en exteriores, la antena bajo medida se coloca en una base o torre, y la antena que se emplea como sonda de medida se coloca en otra base o torre a cierta distancia de la primera.

Dependiendo del tamaño de la antena bajo medida, de la frecuencia de trabajo y de la separación entre la antena bajo medida y la sonda de medida, el campo electromagnético radiado por la antena bajo medida puede ser adquirido en la región de campo cercano o de campo lejano de la antena bajo medida. Típicamente se considera que si se cumple la condición $R_{\text{medida}} = 2D^2/\lambda$ y $R_{\text{medida}} > 10\lambda$, el campo electromagnético se mide en la región de campo lejano (donde R_{medida} es la distancia entre la antena bajo medida y la sonda de medida, D es el diámetro de la mínima esfera circunscrita a la antena bajo medida, y λ es la longitud de onda de trabajo).

La medida del diagrama de radiación de la antena únicamente se puede realizar en campo lejano. Si se mide la antena en la región de campo cercano, es necesario aplicar un algoritmo de transformación de campo cercano a campo lejano para obtener el diagrama de radiación a partir de las medidas realizadas. Este algoritmo de transformación es habitual para el procesado de las medidas realizadas en cámaras anecoicas, donde debido al tamaño de las mismas no es posible la medida directa del campo electromagnético radiado en la región de campo lejano.

Los nuevos sistemas de comunicaciones han dado lugar al desarrollo de antenas de mayor complejidad con el fin de conseguir unas determinadas propiedades de radiación. Por ello, se han desarrollado también nuevas técnicas que permiten la caracterización de la antena permitiendo detectar posibles fallos en la misma. Estas técnicas son de especial interés en el caso de agrupaciones de antenas (o *arrays*), donde el fallo de un simple elemento degrada las características del diagrama de radiación (por ejemplo, empeorando parámetros como la directividad o relación de lóbulos secundarios). También se aplican para detectar deformaciones en antenas de tipo reflector. Las técnicas de diagnóstico de antenas hacen uso del conocimiento de la amplitud y de la fase del campo electromagnético radiado (típicamente campo cercano) para obtener la distribución del campo electromagnético en el plano de apertura de la antena que se desea diagnosticar. A partir de la representación de dicho campo es posible identificar deformaciones o elementos con funcionamiento incorrecto. Así, en el documento de Lopez, Y. A., Cappellin, C., Las-Heras, F., & Breinbjerg, O. (2008). On the comparison of the spherical wave expansion-to-plane wave expansion and the sources reconstruction method for antenna diagnostics. *Progress In Electromagnetics Research*, 87, 245-262 se comparan dos métodos para el diagnóstico de antenas de tipo reflector, uno basado en la caracterización de la antena bajo medida mediante la expansión del campo electromagnético radiado en un conjunto de modos de ondas planas y esféricas, y otro basado en la caracterización de la antena bajo medida mediante una distribución de corrientes reconstruidas en el plano de apertura de la antena. En el documento se demuestra que el conocimiento del campo electromagnético en el plano de apertura permite identificar la presencia de deformaciones en la antena bajo medida. La principal limitación de los métodos presentados es que emplean la medida del campo electromagnético en una superficie canónica (una superficie esférica en el caso de los ejemplos presentados). Además, en el caso del método basado en la expansión del campo electromagnético radiado en un conjunto de modos de ondas planas y esféricas, se necesita información del tamaño de la antena bajo medida para determinar el número de modos necesarios para la expansión del campo electromagnético.

Un inconveniente que presenta la medida y caracterización de antenas en rangos de medida (sean interiores o exteriores) es la necesidad de desmontar la antena bajo medida de su emplazamiento operacional, lo cual conlleva una interrupción del servicio. El rápido

desarrollo de la tecnología de vehículos aéreos no tripulados ha permitido la implementación de una nueva técnica para medida de antenas embarcando la sonda de medida en un vehículo aéreo no tripulado. Dicho vehículo aéreo describe una trayectoria alrededor de la antena bajo medida según una trayectoria predefinida, de forma que la sonda de medida adquiere el campo electromagnético radiado en los puntos de dicha trayectoria.

Las principales ventajas de los sistemas de medida de antenas empleando vehículos aéreos no tripulados son: i) no es necesario desmontar la antena de su emplazamiento, ii) no es necesario llevar cabo la interrupción del servicio de radiocomunicaciones, iii) rapidez de la medida gracias a la velocidad de vuelo del vehículo aéreo no tripulado, iv) capacidad para la medida de antenas emplazadas en ubicaciones de difícil acceso y v) sencillez del sistema de medida, al no requerir de toda la infraestructura de un rango de medida de antenas. La principal limitación es la precisión de los resultados obtenidos, que siempre será inferior a la obtenida en un rango de medida de antenas construido a tal efecto.

El interés en los sistemas para medida de antenas empleando vehículos aéreos ha llevado a la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) a emitir en el informe UIT-R SM.2056-1 de junio de 2014 una serie de recomendaciones generales sobre procedimientos de medición, equipo necesario y los procedimientos de notificación de los diagramas de radiación de antenas medidos desde aeronaves. En este informe se formulan recomendaciones adicionales para plataformas de aeronave y sistemas de radiodifusión específicos, fundamentalmente para sistemas basados en helicópteros o aeroplanos tripulados. El informe se circunscribe a la medida directa del diagrama de radiación de la antena, por lo que se indica la necesidad de llevar a cabo la medida en la región de campo lejano.

En el documento de Virone, G., Paonessa, F., Peverini, O. A., Addamo, G., Orta, R., Tascone, R., & Bolli, P. (2014, November). Antenna pattern measurements with a flying far-field source (Hexacopter). In *Antenna Measurements & Applications (CAMA), 2014 IEEE Conference on* (pp. 1-2) y en el documento de Virone, G., Lingua, A. M., Piras, M., Cina, A., Perini, F., Monari, J. & Tascone, R. (2014). Antenna pattern verification system based on a micro unmanned aerial vehicle (UAV). *IEEE Antennas and Wireless*

Propagation Letters, 13, 169-172 se describe un sistema basado en un vehículo aéreo no tripulado de tipo hexacóptero en el cual se embarca una antena de hilo que actúa como sonda de medida. El posicionamiento del vehículo aéreo no tripulado se lleva a cabo empleando puntos de vuelo (*waypoints*) y un sistema de navegación por satélite (*Global Positioning System*, GPS) que permiten que el vehículo aéreo no tripulado describa una determinada trayectoria alrededor de la antena bajo medida. La precisión obtenida en la trayectoria de vuelo es de aproximadamente 5 m. En dichos sistemas el vehículo aéreo no tripulado vuela a una distancia de decenas de metros de la antena bajo medida, de forma que el error relativo de posicionamiento es bajo (<5% de la distancia entre la antena bajo medida y la sonda embarcada en el vehículo aéreo no tripulado). Dicho error se reduce por debajo del 1% gracias al empleo de un sistema de seguimiento o *raster* basado en un láser que permite ubicar el vehículo aéreo no tripulado con precisión centimétrica desde una estación terrena. De esta forma se pueden georreferenciar las medidas de campo electromagnético con dicha precisión centimétrica. El problema que presenta el uso del sistema de seguimiento basado en un láser es que aumenta la complejidad del sistema de medida, además de que requiere línea de visión directa entre la estación terrena donde se ubica el láser y el vehículo aéreo no tripulado.

Otro sistema de medida de antenas empleando vehículos aéreos no tripulados se describe en el documento disponible en Drone Measures Tower Antenna Powers _ SmartDrone, [recuperado el 2017-01-03]. Recuperado de Internet: <<http://www.smartdrone.com/drone-measures-tower-antenna-powers.html>>, donde también se lleva a cabo el posicionamiento del vehículo aéreo no tripulado mediante *waypoints* y posicionamiento mediante GPS. En este caso se reivindica una precisión de posicionamiento de +/-2 m.

Los sistemas de medida de antenas empleando los vehículos aéreos no tripulados descritos capturan únicamente la amplitud del campo electromagnético radiado por la antena bajo medida. Asimismo, la medida se realiza a gran distancia de la antena (decenas o cientos de metros), de forma que se garantiza que se está en la región de campo lejano de la antena y se minimiza el error relativo de posicionamiento entre la antena bajo medida y la sonda de medida embarcada en el vehículo aéreo no tripulado. Las principales limitaciones de las técnicas descritas son:

- Al medir a decenas o cientos de metros de la antena bajo medida, se pierde rango dinámico, necesitándose detectores de potencia de mayor sensibilidad (dado que la antena bajo medida está emitiendo con una determinada potencia que no se puede ajustar).
- 5 - El sistema proporciona solamente datos de amplitud del campo electromagnético radiado que no se procesan posteriormente. Por ello, no es posible llevar a cabo el diagnóstico de la antena bajo medida, lo cual es una limitación importante ya que en el caso de agrupaciones de antenas o de antenas de tipo reflector, no es posible reconstruir el campo electromagnético en la apertura de la antena a partir del
- 10 conocimiento del diagrama de radiación ni, por tanto, identificar elementos con funcionamiento anómalo o deformaciones en el reflector.

Por ello, los sistemas y métodos existentes permiten únicamente la medida directa del diagrama de radiación, sin capacidad para llevar a cabo el diagnóstico de la antena bajo medida. Esta limitación implica que, además, los sistemas actuales no permitan medir la

15 amplitud y la fase del campo electromagnético radiado en la región de campo cercano y posteriormente aplicar una transformación campo cercano – campo lejano para obtener el diagrama de radiación.

En el documento de patente US 20160088498 A1 se presenta un sistema para caracterización de la radiación emitida por una antena, formado por un vehículo aéreo no

20 tripulado que incluye un detector de potencia (*signal strength antenna*) embarcado en el vehículo aéreo, y un método para caracterizar la radiación de la antena, basado en georreferenciar las medidas de nivel de señal recibido tomadas en una posición determinada. En la descripción de la invención se indica que el sistema de posicionamiento del vehículo aéreo se puede basar en GPS (*Global Positioning System*).

25 Nuevamente las principales limitaciones se basan en que ni el sistema ni el método contemplan la recuperación de la fase de la señal medida, lo que imposibilita la medida en la región de campo cercano de la antena bajo medida así como el diagnóstico de la antena. En la invención tampoco se hace referencia a las limitaciones en cuanto a bandas de frecuencia de trabajo.

30 En el documento de patente US 9439092 B1 se presenta un sistema y método para llevar a cabo el diagnóstico de antenas de telefonía móvil. En esta invención se emplean

mapas de calor para determinar los elementos o antenas que presentan un funcionamiento anómalo, dado que la imagen térmica de las antenas es proporcional a la potencia de emisión de las mismas. La principal desventaja de esta invención es que, además de estar limitada a un determinado tipo de antenas, no permite la medida del diagrama de radiación.

La caracterización de una antena conlleva, por tanto, la medida no sólo de la amplitud del campo electromagnético radiado, sino de la fase del mismo. Para ello se necesitan dispositivos de medida tales como analizadores vectoriales de señal o receptores de dos canales (fase y cuadratura, I/Q: *In-phase/Quadrature*). Con respecto a los analizadores vectoriales, si bien existen versiones comerciales portables, su peso, precio y complejidad no hacen viable su empleo para medida y caracterización de antenas embarcándolos en un vehículo aéreo no tripulado. Con respecto a los receptores de dos canales, la circuitería es más sencilla que la de los analizadores vectoriales, resultando en dispositivos más compactos, baratos y de bajo peso.

En el ámbito de la medida de antenas en rango interior (principalmente en cámara anecoica) se han desarrollado métodos para recuperar la fase del campo electromagnético radiado por la antena bajo medida cuando el empleo de dispositivos de medida capaces de medir amplitud y fase no es viable. Estos métodos se pueden clasificar en dos grandes grupos: por una parte, métodos basados en interferometría, y por otra parte, métodos iterativos de recuperación de fase.

En el documento de Ana Arboleya, Jaime Laviada, Juha Ala-Laurinaho, Yuri Álvarez, Fernando Las-Heras, Antti V. Räsänen, "Phaseless Characterization of Broadband Antennas", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 64, No. 2, pp. 484-495, February 2016, se presenta una revisión del estado del arte de los métodos de medida de antenas basados en interferometría, así como una técnica novedosa para medida de antenas con gran ancho de banda empleando únicamente un detector de potencia. La idea fundamental es emplear el patrón de interferencia creado por dos antenas. A partir del procesamiento de la señal resultante mediante análisis de Fourier es posible recuperar la fase del campo electromagnético radiado por la antena bajo medida. La principal limitación de este tipo de métodos de cara a su uso para medida de antenas empleando vehículos aéreos

no tripulados es la necesidad de una antena adicional para generar el patrón de interferencia, resultando en una configuración de medida más compleja.

Los métodos iterativos de recuperación de fase, como el descrito en el documento Y. Álvarez, F. Las-Heras, and M. R. Pino. The sources reconstruction method for amplitude-only field measurements. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 58, No. 8, pp. 2776–2781, August 2010, se basan en la minimización de una función de coste o funcional que relaciona la amplitud del campo electromagnético medido en dos o más superficies situadas en la región de campo cercano de la antena bajo medida con la amplitud del campo electromagnético radiado por una distribución de fuentes equivalentes emplazadas en la apertura de la antena bajo medida. Cuando el valor de dicha función de coste o funcional es igual a cero, entonces dichas fuentes equivalentes generan el mismo campo electromagnético que la antena bajo medida. Los métodos iterativos de recuperación de fase presentan la ventaja de que el sistema de medida es muy sencillo (simplemente un detector de potencia o medidor de la intensidad de campo electromagnético), pero con la limitación de que su uso requiere el empleo de dos o más superficies de medida.

La caracterización de la antena y cálculo del diagrama de radiación a partir de las medidas del campo electromagnético requiere que la separación entre dos puntos de medida adyacentes sea igual o menor a media longitud de onda a la frecuencia de medida cuando se emplea un detector capaz de medir amplitud y fase, e igual o inferior a un cuarto de longitud de onda a la frecuencia de medida cuando se emplea un detector capaz de medir únicamente amplitud. En el caso de medida de antenas empleando vehículos aéreos no tripulados, el uso de un sistema de posicionamiento basado en navegación cinética satelital en tiempo real o RTK (*Real Time Kinematik*) proporciona una precisión de posicionamiento a nivel centimétrico, lo cual limita la frecuencia superior de operación en el rango de la banda S (2 a 4 GHz).

En el documento de patente ES 2577403 B2 se presenta un sistema aerotransportado y métodos para la detección, localización y obtención de imágenes de objetos enterrados y la caracterización de la composición del subsuelo. En dicha invención el sistema de posicionamiento y guiado del módulo aéreo comprende un sistema de posicionamiento global, un sistema de posicionamiento basado en sensores inerciales, un sistema de

posicionamiento basado en navegación cinética satelital en tiempo real o RTK y un sistema de posicionamiento basado en fotogrametría. El sistema de posicionamiento y guiado permite la localización tridimensional precisa del módulo aéreo y la georreferenciación de los datos obtenidos con la unidad radar con una precisión de valor
5 igual o inferior a tres centímetros. La invención requiere de un módulo radar que emite ondas electromagnéticas y, tras reflejarse en el suelo, subsuelo y/o posibles objetos enterrados, son recibidas de nuevo en el módulo radar. Midiendo el tiempo de retardo entre la señal transmitida y la recibida se obtiene la distancia al suelo, subsuelo y/o posibles objetos enterrados. La invención no permite la medida de antenas porque el
10 módulo radar está diseñado precisamente para medir la reflexión del campo electromagnético emitido por el propio módulo, por lo que no puede medir el campo electromagnético emitido por otra fuente de campo electromagnético como en el caso de una antena. Así mismo, los algoritmos de procesamiento de señal radar permiten obtener una imagen del subsuelo y de posibles objetos enterrados en él, pero no la caracterización de
15 las fuentes radiantes de una antena ni el cálculo del diagrama de radiación. Otra limitación de la invención es que el hecho de requerir dos antenas, una para transmisión y otra para recepción, conlleva una mayor complejidad técnica y requiere un vehículo aéreo no tripulado con mayor capacidad de carga.

En las soluciones mencionadas en el estado de la técnica no se contempla la
20 problemática correspondiente al caso en el que la frecuencia de trabajo de la antena o sistema radiante bajo medida se solapa parcial o totalmente con la frecuencia que emplean los medios de comunicación entre el vehículo aéreo no tripulado y la estación terrena, dado que los ejemplos presentados asumen siempre que dichas frecuencias son suficientemente diferentes como para no interferir entre sí. Este supuesto implica que la
25 frecuencia de los medios de comunicación se elige en base al conocimiento a priori de la frecuencia de trabajo de la antena bajo medida. Sin embargo, la existencia de antenas y sistemas radiantes multibanda, así como la restricción en el uso del espectro radioeléctrico para fijar la frecuencia de los medios de comunicación entre el vehículo aéreo no tripulado y la estación terrena, limitan dicha flexibilidad para elegir la frecuencia de
30 dichos medios. En el caso de que se produzca dicho solapamiento de frecuencias, la comunicación entre el vehículo aéreo no tripulado y la estación terrena puede sufrir interferencias, lo que conlleva la pérdida parcial o total de la capacidad de control del

vehículo aéreo, degradando o anulando su capacidad operativa. Este problema se agrava en el caso de medida de antenas, ya que, en el caso de solapamiento de frecuencias, la potencia emitida por la antena bajo medida es mayor que la potencia de emisión de las emisoras empleadas para la comunicación entre el vehículo aéreo y la estación terrena.

5

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a un sistema aerotransportado para la caracterización y medida de antenas o sistemas radiantes de ondas electromagnéticas, que comprende al menos un módulo aéreo, una estación terrena y un sistema de comunicación entre
10 elementos. La invención también se refiere al método de procesamiento del campo electromagnético radiado para la obtención de la distribución del campo electromagnético en la apertura de la antena o sistema radiante bajo medida a partir del cual es posible realizar el diagnóstico de la antena bajo medida, así como determinar su diagrama de radiación y el volumen de protección electromagnético.

15 A los efectos de esta invención y su descripción, operador se refiere a la persona que se encarga de la supervisión de los diferentes sistemas y métodos que componen la invención, así como de interactuar con los diferentes procesos que requieren de comunicación persona-máquina.

A los efectos de la presente invención, se entiende por trayectoria de medida al
20 conjunto de coordenadas espaciales definidas por el operador previo al uso del sistema y método descritos en la invención. En dicho conjunto de coordenadas espaciales se llevará a cabo la medida del campo electromagnético radiado por la antena bajo medida.

A los efectos de la presente invención, se entiende por ecuaciones integrales a la forma integral de las ecuaciones de Maxwell que relacionan fuentes de campo
25 electromagnético, bien expresadas como coeficientes auxiliares, bien expresadas como distribuciones de corrientes, con el campo electromagnético generado por dichas fuentes.

A los efectos de la presente invención, se entiende por campo teórico el calculado a partir de unas fuentes de campo electromagnético mediante las ecuaciones integrales de campo electromagnético.

Un aspecto de la presente invención es un sistema aerotransportado para medida y caracterización de antenas o sistemas radiantes de ondas electromagnéticas que comprende:

- Al menos un módulo aéreo, que a su vez comprende una antena receptora que
5 captura el campo electromagnético radiado por una o varias antenas o sistemas radiantes cuando el módulo aéreo se mueve recorriendo los puntos de una trayectoria de medida, y una unidad de medida de emisiones electromagnéticas conectada a la antena receptora. El módulo aéreo también comprende un sistema de posicionamiento y guiado del módulo aéreo y una unidad de control aérea que recolecta información de la unidad de medida de
10 emisiones electromagnéticas y del sistema de posicionamiento y guiado, controla parámetros de vuelo del módulo aéreo e intercambia información con una estación terrena.

- Una estación terrena, que a su vez comprende un sistema de control de vuelo del módulo aéreo, una unidad de procesamiento de las medidas de emisiones electromagnéticas
15 recibidas en la unidad de medida de emisiones electromagnéticas y una aplicación informática. La unidad de procesamiento de las medidas de emisiones electromagnéticas procesa las medidas de campo electromagnético radiado por la antena o sistema radiante mediante un conjunto de algoritmos de procesamiento de medidas de emisiones electromagnéticas.

- Unos medios de comunicación para emitir y recibir señales inalámbricas entre el
20 módulo aéreo y la estación terrena.

La antena receptora del sistema situada en el módulo aéreo es apuntada hacia la antena o sistema radiante, de forma que así puede capturar el campo electromagnético radiado por una o varias antenas o sistemas radiantes.

25 Por otro lado, la unidad de medida de emisiones electromagnéticas proporciona información de amplitud y/o fase del campo electromagnético radiado por la antena o sistema radiante en la trayectoria de medida de forma directa o indirecta.

El sistema de posicionamiento y guiado del módulo aéreo comprende un sistema de posicionamiento global, un sistema de posicionamiento basado en sensores inerciales, un

sistema de posicionamiento basado en navegación cinética satelital en tiempo real o RTK, que intercambia información con una estación base de navegación cinética satelital en tiempo real situada en la estación terrena, y un sistema de posicionamiento basado en fotogrametría. El sistema de posicionamiento y guiado envía información a la unidad de control aérea proporcionando la localización tridimensional precisa del módulo aéreo y la georreferenciación de las medidas de campo electromagnético radiado por la antena o sistema radiante con una precisión de valor igual o inferior a tres centímetros. Esto se debe a que para que los algoritmos del sistema lleven a cabo adecuadamente el procesamiento de las medidas del campo electromagnético radiado por la antena bajo medida, y se pueda así caracterizar y medir, requieren la localización tridimensional precisa del módulo aéreo con un valor igual o inferior a tres centímetros y la georreferenciación de los datos obtenidos con la unidad de medida de emisiones electromagnéticas.

La amplitud y/o fase del campo electromagnético radiado por la antena o sistema radiante es procesada por la unidad de procesamiento de las medidas de emisiones electromagnéticas situada en la estación terrena, caracterizando con ello la antena o sistema radiante.

El diagnóstico de la antena bajo medida, el cálculo del diagrama de radiación y la determinación del volumen de protección electromagnética se realizan a partir de la información que el módulo aéreo intercambia con la estación terrena, donde se procesa en la unidad de procesamiento de las medidas de emisiones electromagnéticas mediante un conjunto de algoritmos de procesamiento de medidas de emisiones electromagnéticas. Un conjunto de algoritmos de procesamiento de medidas de emisiones electromagnéticas de la unidad de procesamiento de las medidas de emisiones electromagnéticas es el siguiente: un algoritmo de transformación campo cercano – campo cercano para la obtención de la distribución del campo electromagnético en la apertura de la antena, un algoritmo de transformación campo cercano – campo lejano para la obtención del diagrama de radiación de la antena y un algoritmo para la determinación del volumen de protección electromagnética de la antena o sistema radiante.

La aplicación informática, por su parte, proporciona el diagrama de radiación, el diagrama de fuentes radiantes y/o el volumen de protección electromagnética de la antena o sistema radiante, calculados mediante el conjunto de algoritmos de procesamiento de

medida de emisiones electromagnéticas. De esta forma, el operador dispone de la información de diagnóstico de la antena o sistema radiante bajo medida en tiempo real y en el mismo lugar donde está emplazada la antena, resultando en un ahorro en tiempo y movilidad.

- 5 Los medios de comunicación para emitir y recibir señales inalámbricas entre el módulo aéreo y la estación terrena emplean una banda de frecuencia seleccionada entre al menos dos bandas de frecuencias diferentes para evitar solapamiento con la frecuencia del campo electromagnético radiado por la antena o sistema radiante. De esta forma se garantiza que al menos una de las dos bandas de frecuencias empleadas no se va a solapar
- 10 con la frecuencia del campo electromagnético radiado por la antena o sistema radiante, garantizando la correcta comunicación entre el módulo aéreo y la estación terrena.

En una realización preferida, el sistema comprende dos o más módulos aéreos.

- En otra realización preferida del sistema con uno o más módulos aéreos, el módulo aéreo es un vehículo aéreo no tripulado. En una realización más preferida, el vehículo
- 15 aéreo no tripulado es de tipo multirrotor.

En otra realización preferida del sistema con uno o más módulos aéreos, la trayectoria puede presentar una forma o geometría arbitraria siempre que la distancia de un punto de medida a otro sea igual o inferior a tres centímetros.

- En otra realización preferida del sistema con uno o más módulos aéreos, la antena receptora está acoplada a un brazo articulado controlado o a una suspensión cardán
- 20 controlada para ser apuntada hacia la antena o sistema radiante.

- En otra realización preferida del sistema con uno o más módulos aéreos, la antena receptora está fijada al módulo aéreo, que se orienta para apuntarla hacia la antena o sistema radiante. Un ejemplo para materializar esta realización es incorporar un software
- 25 de control que hace volar el módulo aéreo siguiendo la trayectoria de medida a la vez que mantiene el apuntamiento de la antena receptora hacia la antena o dispositivo radiante bajo medida.

En otra realización preferida del sistema con uno o más módulos aéreos, la unidad de medida de emisiones electromagnéticas es un detector coherente que mide la amplitud y

la fase del campo radiado por la antena o sistema radiante medidas en la trayectoria de medida.

En otra realización preferida del sistema con uno o más módulos aéreos, la unidad de medida de emisiones electromagnéticas es un detector de potencia que mide la amplitud del campo radiado por la antena o sistema radiante medida en la trayectoria de medida. En una realización más preferida, el sistema además comprende un algoritmo iterativo para la recuperación de fase que recupera la fase del campo electromagnético radiado por la antena o sistema radiante a partir de la amplitud del campo electromagnético radiado por la antena o sistema radiante medida en la trayectoria de medida.

En una realización aún más preferida, el algoritmo iterativo de recuperación de fase consiste en calcular un conjunto de coeficientes auxiliares que caracterizan la antena o sistema radiante mediante la minimización de una función de coste FCa que viene definida por la siguiente ecuación:

$$FCa = \| |E|^2 - |\tilde{E}(Iq(Ca))|^2 \|^2$$

donde $|E|$ representa la amplitud del campo electromagnético radiado por la antena o sistema radiante medida en la trayectoria de medida, $|\tilde{E}|$ representa la amplitud del campo electromagnético teórico calculado a partir del conjunto de coeficientes auxiliares, Iq denota las ecuaciones integrales de campo electromagnético que relacionan el campo electromagnético teórico con los coeficientes auxiliares y Ca representa los coeficientes auxiliares.

Cuando la función de coste FCa presenta un valor menor que una tolerancia determinada, se considera que la amplitud del campo electromagnético teórico y la amplitud del campo electromagnético radiado son suficientemente parecidas de forma que el conjunto de coeficientes auxiliares permite modelar el campo electromagnético radiado con una precisión menor o igual a la tolerancia determinada.

En una realización aún todavía más preferida, una vez calculado el conjunto de coeficientes auxiliares, se calcula el campo electromagnético teórico en la trayectoria de medida empleando las ecuaciones integrales de campo electromagnético. El campo

electromagnético radiado por la antena o sistema radiante en la trayectoria de medida se compone a partir de la siguiente expresión:

$$E = |E| \exp(j \langle \tilde{E} \rangle)$$

donde $\langle \tilde{E} \rangle$ es la fase del campo electromagnético teórico y $|E|$ es la amplitud del campo electromagnético radiado por la antena o sistema radiante.

En una realización específica del sistema con uno o más módulos aéreos, el sistema de control de vuelo del módulo o de los módulos aéreos comprende un sistema de control de vuelo manual y un sistema para la generación de trayectorias alrededor de la antena bajo medida y control automático de vuelo. Mediante el sistema de control de vuelo manual, un operador puede supervisar el desarrollo de la exploración y en cualquier momento tomar el control para hacer correcciones o evitar accidentes.

De esta forma, la trayectoria que ha de seguir el módulo aéreo para la medida del campo electromagnético radiado por la antena bajo medida se puede introducir mediante el sistema para generación de trayectorias y control automático del vuelo a través de, por ejemplo, un fichero de coordenadas georreferenciadas. Una vez introducido, el operador de la invención podrá indicar al sistema que comience a realizar la medida del campo electromagnético radiado. El sistema de control de vuelo manual permitirá al operador de la invención tomar inmediatamente el control del vuelo del módulo aéreo en caso de que existiera peligro de colisión, presencia de viento fuerte que alterara la trayectoria automática o similar, aterrizándolo en un lugar seguro.

En otra realización específica del sistema con uno o más módulos aéreos, los medios de comunicación comprenden un sistema de comunicación bidireccional y en tiempo real entre el módulo aéreo y la estación terrena. En una realización más específica, el sistema de comunicación comprende uno o varios módulos de comunicación 3G/4G y/o uno o varios transceptores a baja frecuencia y/o una interfaz IEEE 802.11 (Wi-Fi) y/o uno o varios módulos *Zigbee* y/o uno o varios módulos *Bluetooth*, o una combinación de cualquiera de los anteriores.

En otra realización específica del sistema con uno o más módulos aéreos, el algoritmo de transformación campo cercano – campo cercano para la obtención de la distribución

del campo electromagnético en la apertura de la antena consiste en calcular una distribución de corrientes que caracterizan la antena o sistema radiante mediante la minimización de una función de coste FCaf que viene dada por la siguiente ecuación:

$$FCaf = || E - \tilde{E}(Iq(Meq)) ||^2$$

5 donde E representa el campo electromagnético radiado por la antena o sistema radiante medida en la trayectoria de medida, $\tilde{E}$ representa el campo electromagnético teórico calculado a partir de la distribución de corrientes, Iq denota las ecuaciones integrales de campo electromagnético que relacionan el campo electromagnético teórico con la distribución de corrientes, y Meq representa la distribución de corrientes.

10 Cuando la función de coste FCaf presenta un valor menor que una tolerancia determinada, se considera que el campo electromagnético teórico y el campo electromagnético radiado son suficientemente parecidos de forma que la distribución de corrientes permite modelar el campo electromagnético radiado con una precisión menor o igual a la tolerancia determinada.

15 En una realización más específica, una vez calculada la distribución de corrientes se calcula el campo electromagnético teórico en cualquier punto del espacio empleando las ecuaciones integrales de campo electromagnético y, por tanto, también se calcula la distribución del campo electromagnético teórico en el plano de apertura de la antena o sistema radiante. En una realización aún más específica, el diagrama de fuentes radiantes
20 proporcionado por la aplicación informática corresponde a la distribución del campo electromagnético teórico en el plano de apertura de la antena o sistema radiante.

En otra realización más específica del sistema donde el algoritmo de transformación campo cercano – campo cercano consiste en calcular una distribución de corrientes mediante la minimización de la función de coste FCaf, o aún más específica del sistema
25 anterior donde una vez calculada la distribución de corrientes se calcula el campo electromagnético teórico empleando las ecuaciones integrales de campo electromagnético y, por tanto la distribución del campo electromagnético teórico en el plano de apertura, el algoritmo de transformación campo cercano – campo lejano para la obtención del diagrama de radiación de la antena emplea la distribución de corrientes que caracteriza a
30 la antena o sistema radiante para calcular el campo electromagnético teórico en cualquier

punto del espacio empleando las ecuaciones integrales de campo electromagnético y, por tanto, para calcular el campo electromagnético teórico en la región de campo lejano de la antena o sistema radiante que corresponde al diagrama de radiación.

En otra realización más específica del sistema donde el algoritmo de transformación
 5 campo cercano – campo cercano consiste en calcular una distribución de corrientes mediante la minimización de la función de coste $FCaf$, o aún más específica del sistema anterior donde una vez calculada la distribución de corrientes se calcula el campo electromagnético teórico empleando las ecuaciones integrales de campo electromagnético y, por tanto, la distribución del campo electromagnético teórico en el plano de apertura, el
 10 algoritmo para la determinación del volumen de protección electromagnética de la antena o sistema radiante emplea la distribución de corrientes que caracterizan a la antena o sistema radiante para obtener los niveles de campo electromagnético teórico en una nube de puntos alrededor de la antena o sistema radiante, para posteriormente discriminar los puntos que están por encima del nivel de referencia de campo electromagnético,
 15 obteniendo de esta forma la superficie que delimita el volumen de protección electromagnética de la antena o sistema radiante.

Otro objeto de la presente invención es un método para medida y caracterización de antenas o sistemas radiantes que comprende las siguientes etapas:

- a) Definir una trayectoria de medida alrededor de la antena o sistema radiante que se
 20 desea medir y caracterizar.
- b) Apuntar la antena receptora hacia la antena o sistema radiante.
- c) Adquirir la medida del campo electromagnético radiado por la antena o sistema radiante mediante la unidad de medida de emisiones electromagnéticas.
- d) Enviar la medida del campo electromagnético radiado por la antena o sistema
 25 radiante y la localización tridimensional precisa del módulo aéreo a la estación terrena empleando el sistema de comunicación.
- e) Procesar la medida del campo electromagnético radiado por la antena o sistema radiante en la unidad de procesamiento de las medidas de emisiones electromagnéticas para obtener el diagrama de radiación, la distribución del campo electromagnético en la

apertura, y el volumen de protección electromagnética de la antena o sistema radiante mediante un conjunto de algoritmos de procesamiento de medidas de emisiones electromagnéticas que comprende: un algoritmo de transformación campo cercano – campo cercano para la obtención de la distribución del campo en la apertura de la antena,
 5 un algoritmo de transformación campo cercano – campo lejano para la obtención del diagrama de radiación de la antena y un algoritmo para la determinación del volumen de protección electromagnética de la antena o sistema radiante.

En una realización preferida del método, las etapas a) a d) las realizan dos o más módulos aéreos que envían la medida del campo electromagnético radiado por la antena o
 10 sistema radiante y su localización tridimensional precisa a la estación terrena empleando su sistema de comunicación.

En otra realización preferida del método, en la etapa c) la unidad de medida de emisiones electromagnéticas además procesa la medida del campo electromagnético radiado por la antena o sistema radiante adquirida para convertirla en una secuencia
 15 digital. En la etapa e), la unidad de procesamiento de las medidas de emisiones electromagnéticas procesa la medida del campo electromagnético radiado por la antena o sistema radiante digitalizada. De esta forma, la medida del campo electromagnético radiado por la antena o sistema radiante convertida a secuencia digital se envía a la
 20 estación terrena donde la unidad de procesamiento de las medidas de emisiones electromagnéticas procesa la medida del campo electromagnético radiado, digitalizada empleando el conjunto de algoritmos de procesamiento de medidas de emisiones electromagnéticas.

En otra realización preferida del método, o aún más preferida del método en el que además las etapas a) a d) las realizan dos o más módulos aéreos, además comprende
 25 variar la posición del módulo aéreo a lo largo de la trayectoria de medida y repetir las etapas b), c) y d) previamente a la etapa e).

La invención proporciona un sistema y método para la medida y caracterización de antenas y sistemas radiantes en el propio lugar donde están emplazados, sin necesidad de interrumpir el funcionamiento del sistema de comunicaciones al que las antenas o
 30 sistemas radiantes están conectados.

El sistema de la invención permite la medida de la amplitud y/o de la fase del campo electromagnético radiado por la antena o sistema radiante bajo medida. La fase se mide o bien directamente empleando un detector coherente, o bien indirectamente empleando un detector de potencia y aplicando a las medidas de amplitud un algoritmo iterativo de recuperación de fase.

El sistema, por tanto, permite solventar la limitación que presentan los sistemas tradicionales de medida de antenas empleando vehículos aéreos no tripulados donde no es posible disponer de la información de fase.

Las medidas del campo electromagnético radiado se obtienen con una resolución igual o inferior a tres centímetros entre dos posiciones adyacentes, la cual es superior respecto a los sistemas conocidos. Esta precisión centimétrica en tres dimensiones se consigue gracias a que el sistema proporciona la localización tridimensional precisa del módulo o módulos aéreos y la georreferenciación de los datos obtenidos con la unidad de medida de emisiones electromagnéticas.

Considerando incluso un escenario en el que el margen de localización tridimensional del módulo o módulos aéreos sea de tres centímetros, el sistema puede trabajar en una banda de frecuencia cuya frecuencia máxima es de 5 GHz (precisión de posicionamiento de media longitud de onda, que a 5 GHz son tres centímetros) cuando se emplea un detector coherente en la unidad de medida de emisiones electromagnéticas, y de 2.5 GHz (precisión de posicionamiento de un cuarto de longitud de onda, que a 2.5 GHz son tres centímetros) cuando se emplea un detector de potencia en la unidad de medida de emisiones electromagnéticas.

Gracias a su configuración, el módulo o módulos aéreos de la presente invención son capaces de posicionarse con una precisión de valor igual o inferior a tres centímetros lo que, a las frecuencias de trabajo consideradas, y unido a la capacidad del sistema para proporcionar información de amplitud y/o fase del campo medido, permite aplicar algoritmos de transformación campo cercano – campo cercano para obtener el campo electromagnético en la apertura de la antena o sistema radiante bajo medida y, a partir del mismo, identificar posibles deformaciones o elementos con funcionamiento anómalo en la antena bajo medida. También permite aplicar algoritmos de transformación campo

cercano – campo lejano para obtener el diagrama de radiación de la antena bajo medida, así como el volumen de protección electromagnética, el cual es necesario conocer para la definición y delimitación del perímetro de seguridad alrededor de la antena.

El algoritmo iterativo para la recuperación de fase a partir de las medidas de amplitud,
5 el algoritmo de transformación campo cercano – campo cercano y el algoritmo de transformación campo cercano – campo lejano permiten trabajar con trayectorias de geometría arbitraria que no tienen por qué ajustarse a una superficie o volumen de medida canónicos (como por ejemplo un dominio de medida plano, cilíndrico o esférico). De esta forma se solventa también una de las limitaciones tradicionales de este tipo de algoritmos,
10 donde debido a la formulación empleada (por ejemplo, basada en expansión en modos de onda) era necesario el empleo de superficies o volúmenes canónicos.

Una de las realizaciones de la invención contempla el empleo de un sistema formado por dos o más módulos aéreos. Esta configuración permite realizar la medida de la antena o sistema radiante bajo medida en menor tiempo. El número de veces que se reduce el
15 tiempo de medida empleando dos o más módulos aéreos con respecto al tiempo de medida empleando un único módulo aéreo vendrá dado por el número de módulos aéreos empleados.

En otra de las realizaciones de la invención, los medios de comunicación para emitir y recibir señales inalámbricas entre el módulo aéreo y la estación terrena emplean una
20 banda de frecuencia seleccionada entre al menos dos bandas de frecuencias diferentes. De esta forma, a diferencia de otras alternativas, se puede evitar un solapamiento con la frecuencia del campo electromagnético radiado por la antena o sistema radiante. Así se garantiza que al menos una de las dos bandas de frecuencias empleadas no se va a solapar con la frecuencia del campo electromagnético radiado por la antena o sistema radiante,
25 garantizando la correcta comunicación entre el módulo aéreo y la estación terrena en circunstancias de medición diversas.

La invención resulta de aplicación en aquellos sectores en los que se necesite la caracterización y medida de antenas, como por ejemplo instalaciones de sistemas radar y de radionavegación, sistemas de telecomunicaciones terrestres y por satélite, o
30 instalaciones de radiodifusión terrestre.

DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

La **Fig. 1** muestra un esquema general del sistema en el que se identifican los elementos que lo componen junto con la antena o sistema radiante (5) que se pretende caracterizar. En la figura se puede ver la antena o sistema radiante (5), emplazada a cierta altura sobre el suelo (60) mediante una estructura de soporte (52). En la figura también se puede ver el recinto (53) destinado a albergar los sistemas y dispositivos para la generación del campo electromagnético radiado (E) por la antena o sistema radiante (5). También se puede observar una antena receptora (112) que captura el campo electromagnético radiado (E) por la antena o sistema radiante (5).

La antena receptora (112) del campo electromagnético radiado (E) está embarcada en un módulo aéreo (1) que describe una trayectoria de medida (7) alrededor de la antena o sistema radiante (5) y de la estructura de soporte (52). A su vez, el módulo aéreo (1) se comunica con una estación terrena (2) mediante un sistema de comunicación (3) bidireccional y en tiempo real entre el módulo aéreo (1) y la estación terrena (2).

La **Fig. 2** muestra un esquema general del sistema en el que se identifican los elementos que lo componen. En la figura se puede ver un módulo aéreo (1) formado por una unidad de medida de emisiones electromagnéticas (11), un sistema de posicionamiento y guiado (13) del módulo aéreo (1) y una unidad de control aérea (15). En la figura además se puede ver un sistema de comunicación (3) bidireccional y en tiempo real entre el módulo aéreo (1) y una estación terrena (2).

La unidad de control aérea (15) está conectada con el sistema de posicionamiento y guiado (13) del módulo aéreo (1), con la unidad de medida de emisiones electromagnéticas (11), y con el sistema de comunicación (3) bidireccional y en tiempo real entre el módulo aéreo (1) y una estación terrena (2).

El sistema de posicionamiento y guiado (13) comprende un sistema de posicionamiento global (131), un sistema de posicionamiento basado en sensores inerciales (132), un sistema de posicionamiento basado en navegación cinética satelital en tiempo real (133) que intercambia información con una estación base de navegación cinética satelital en tiempo real (22) situada en la estación terrena (2), y un sistema de posicionamiento basado en fotogrametría (134).

La unidad de medida de emisiones electromagnéticas (11) comprende una antena receptora (112) que captura el campo electromagnético radiado (E) por la antena o sistema radiante (5).

La estación terrena (2) comprende una estación base de navegación cinética satelital en tiempo real (22), un sistema de control de vuelo del módulo aéreo (21), una unidad de procesamiento de las medidas de emisiones electromagnéticas (23), una aplicación informática (24) que proporciona el diagrama de radiación, el diagrama de fuentes radiantes (70) y/o el volumen de protección electromagnética (61) de la antena o sistema radiante (5) a partir de la información que devuelve la unidad de procesamiento de las medidas de emisiones electromagnéticas (23), y un sistema de comunicación (3) bidireccional y en tiempo real entre el módulo aéreo (1) y la estación terrena (2).

El sistema de control de vuelo del módulo aéreo (21) comprende un sistema de control de vuelo manual (211) y un sistema para la generación de trayectorias y control automático de vuelo (212).

La unidad de procesamiento de las medidas de emisiones electromagnéticas (23) comprende un conjunto de algoritmos de procesamiento de medidas de emisiones electromagnéticas (25), con al menos un algoritmo de transformación campo cercano – campo cercano, para la obtención de la distribución del campo en la apertura de la antena (41), en un algoritmo de transformación campo cercano – campo lejano para la obtención del diagrama de radiación de la antena (42), y en un algoritmo para la determinación del volumen de protección electromagnética (61) de la antena o sistema radiante (43).

La **Fig. 3** representa una vista lateral de la antena o sistema radiante (5) que se pretende caracterizar. En la figura se puede ver la antena o sistema radiante (5), emplazada a cierta altura sobre el suelo (60) mediante una estructura de soporte (52). En la figura también se puede ver el recinto (53) destinado a albergar los sistemas y dispositivos para la generación del campo electromagnético radiado (E) por la antena o sistema radiante (5). También se puede observar una sección del volumen de protección electromagnética (61) de la antena o sistema radiante (5) y la ubicación del plano de apertura (62) de la antena o sistema radiante (5).

La **Fig. 4** muestra el diagrama de fuentes radiantes (70) de una antena o sistema radiante (5) bajo medida, encuadrado en un rectángulo dispuesto sobre el plano de apertura (62) de la antena o sistema radiante (5). La antena o sistema radiante (5) está emplazada en una estructura de soporte (52). El eje de abscisas del diagrama de fuentes radiantes (70), denotado por EX en la figura, se muestra paralelo al plano de apertura (62). Se observa también la amplitud de la distribución del campo electromagnético en el plano de apertura (71) de la antena o sistema radiante (5). El eje de ordenadas del diagrama de fuentes radiantes (70), denotado por EY en la figura, representa el nivel de amplitud de la distribución del campo electromagnético en el plano de apertura (71) de la antena o sistema radiante (5), y se representa ortogonal al plano de apertura (62). La antena o sistema radiante (5) es una antena de tipo reflector parabólico sin defectos ni deformaciones, por lo que la amplitud de la distribución del campo electromagnético en el plano de apertura (71) presenta un valor uniforme.

La **Fig. 5** muestra un diagrama de fuentes radiantes (70) similar al de la figura anterior, de una antena o sistema radiante (5) consistente en una antena de tipo reflector parabólico emplazada en una estructura de soporte (52), pero que presenta defectos o deformaciones, denotadas en la figura por D1 y D2. Cada deformación se visualiza en el diagrama de fuentes radiantes (70) como una atenuación de la amplitud de la distribución del campo electromagnético en el plano de apertura (71). Dichas atenuaciones de la amplitud se indican como DD1 y DD2 en la figura.

EXPLICACIÓN DE UNA FORMA DE REALIZACIÓN PREFERENTE

Para una mejor comprensión de la presente invención, se exponen los siguientes ejemplos de realización preferente, descritos en detalle, que deben entenderse sin carácter limitativo del alcance de la invención.

EJEMPLO 1

Un primer ejemplo de realización de la invención se basó en el empleo de un único módulo aéreo (1) para la medida y caracterización de una antena o sistema radiante (5) que consistía en una antena para estación base de telefonía móvil en la banda GSM-900 (banda de frecuencia de 890 MHz a 960 MHz) formada por una agrupación de ocho

elementos de tipo parche dispuestos a lo largo de un eje vertical perpendicular al suelo (60), resultando en una longitud física de 1 m. El módulo aéreo (1) que se empleó era un vehículo aéreo no tripulado de tipo multirrotor, y más en concreto, de un octacóptero con su correspondiente unidad de control aérea (15) y juego de baterías. La unidad de control
5 aérea (15) se implementó mediante un microcontrolador (de tipo Raspberry Pi) y se programó para recolectar información de la unidad de medida de emisiones electromagnéticas (11) y del sistema de posicionamiento y guiado (13), controlar parámetros de vuelo del módulo aéreo (1) e intercambiar información con una estación terrena (2).

10 El octacóptero empleado, junto con la unidad de control aérea (15) y las baterías, tenía un peso máximo al despegue de 6 kg, con una capacidad de carga útil de 1,5 kg. Dicha capacidad de carga útil se empleó para embarcar e integrar en el octacóptero los siguientes elementos:

- Una interfaz IEEE 802.11 (Wi-Fi) que pertenecía al sistema de comunicación (3)
15 bidireccional y en tiempo real entre el módulo aéreo (1) y la estación terrena (2). Esta interfaz se conectó a la unidad de control aérea (15).

- Un sistema de posicionamiento y guiado (13) del módulo aéreo (1). Este sistema estaba formado por cuatro subsistemas, descritos a continuación: i) sistema de posicionamiento basado en sensores inerciales (132) que venían incorporados en la
20 unidad de control aérea (15) del octacóptero; ii) sistema de posicionamiento global (131): se aprovechó el receptor GPS incluido en la unidad de control aérea (15) del octacóptero; iii) sistema de posicionamiento basado en navegación cinética satelital en tiempo real (133) para intercambiar información con una estación base de navegación cinética satelital en tiempo real (22) situada en la estación terrena (2): se adquirieron dos unidades
25 RTK, una de las cuales se situó en la estación terrena (2) y la otra en el módulo aéreo (1). Estas unidades RTK empleaban un radioenlace Wi-Fi para enviar la información de corrección de las coordenadas GPS al receptor de la estación base de RTK a la unidad GPS con funcionalidad de RTK embarcada en el módulo aéreo (1). Por tanto, la información proporcionada por la unidad RTK y la información proporcionada por el
30 GPS se combinaron para obtener las coordenadas georreferenciadas del módulo aéreo (1); iv) sistema de posicionamiento basado en fotogrametría (134): se implementó

embarcando en el octacóptero una cámara web, que enviaba fotografías cada vez que se lanzaba una medida de la unidad de medida de emisiones electromagnéticas (11). A partir del procesado digital de dos o más fotografías tomadas en diferentes intervalos de tiempo se pudo determinar el desplazamiento del octacóptero de una posición a otra.

- 5 La información espacial proporcionada por el sistema de posicionamiento y guiado (13) se procesó mediante una técnica de fusión de datos implementada en un microcontrolador (de tipo Raspberry Pi) que devolvía un único conjunto de coordenadas espaciales georreferenciadas del módulo aéreo (1).

- Con respecto a la unidad de medida de emisiones electromagnéticas (11), se empleó un detector de potencia en la banda de 100 MHz a 3 GHz que proporcionaba una tensión de salida proporcional a la amplitud del campo electromagnético radiado (E) por la antena para estación base de telefonía móvil que se pretendía caracterizar. Como antena receptora (112) conectada a la unidad de medida de emisiones electromagnéticas (11) se empleó una antena de tipo monopolo con frecuencia de trabajo 900 MHz y ancho de banda de 10 MHz. De esta forma la antena receptora (112) ya fijaba la frecuencia de trabajo para este ejemplo en concreto, lo que evitó el uso de filtros selectivos en frecuencia. La frecuencia y el ancho de banda seleccionados permitían la medida de parte de la banda de trabajo de la antena para estación base de telefonía móvil (890 MHz a 960 MHz).

- 20 El octacóptero incorporaba un brazo articulado sobre el que iba montada antena receptora (112) para compensar parcialmente las oscilaciones producidas durante el vuelo.

La estación terrena (2) y los elementos que la componían eran los siguientes y se implementaron e integraron de la siguiente forma:

- 25 - Sistema de control de vuelo (21) del módulo aéreo (1). Para el sistema de control de vuelo manual (211) se aprovechó el mando de telecontrol que venía de serie con el octacóptero al que se le incorporó un transmisor que empleaba la banda de frecuencias de 2.4 GHz a 2.5 GHz. Con respecto al sistema para generación de trayectorias y control automático de vuelo (212), se desarrolló una aplicación informática que permite al usuario especificar las coordenadas de la trayectoria que ha de seguir el módulo aéreo (1)

para medir el campo electromagnético radiado (E) por la antena para estación base de telefonía móvil. El sistema se configuró para operar empleando las coordenadas proporcionadas por el sistema para generación de trayectorias y control automático de vuelo (212), dando prioridad al sistema de control de vuelo manual (211) para poder
5 retomar el control sobre el módulo aéreo (1) en caso de que fuera necesario.

- Unidad de procesamiento de las medidas de emisiones electromagnéticas (23). Se implementó en un ordenador portátil, que ejecutaba los algoritmos de procesamiento de medidas de emisiones electromagnéticas (25). Estos algoritmos se programaron empleando un lenguaje de programación de alto nivel.
- 10 - Aplicación informática (24) que proporciona el diagrama de radiación, el diagrama de fuentes radiantes (70) y el volumen de protección electromagnética (61) de la antena o sistema radiante (5). Se desarrolló una aplicación informática (5) gráfica que permite al operador del sistema visualizar la intensidad de emisión de los elementos radiantes de la antena para estación base de telefonía móvil, así como visualizar en una gráfica
15 tridimensional en coordenadas esféricas el diagrama de radiación de la antena o sistema radiante (5).

- Estación base de navegación cinética satelital en tiempo real (22): consistió en una de las dos unidades RTK mencionadas anteriormente. La otra unidad RTK se embarcó en el módulo aéreo (1).
- 20 - Una interfaz IEEE 802.11 (Wi-Fi) que pertenecía al sistema de comunicación (3) bidireccional y en tiempo real entre el módulo aéreo (1) y la estación terrena (2). Esta interfaz se conectó al ordenador portátil que implementó la unidad de procesamiento de medidas de emisiones electromagnéticas (23) y el sistema para la generación de trayectorias y control automático de vuelo (212), y también al mando de control que
25 implementó el sistema de control de vuelo manual (211) del módulo aéreo.

En esta realización, el sistema de comunicación (3) bidireccional y en tiempo real empleaba la banda de 2.4 GHz a 2.5 GHz, con lo que no había solapamiento con la banda de frecuencia de trabajo de la antena para estación base de telefonía móvil (890 MHz a 960 MHz).

La antena para estación base de telefonía móvil estaba emplazada en una estructura de soporte (52) a una altura de 8 m sobre el suelo (60). Se definió por ello una trayectoria de medida (7) de vuelo en zigzag en un plano vertical de dimensiones 6 m x 6 m emplazado 5 m delante del plano de apertura (62) de la antena para estación base de telefonía móvil y centrado con respecto a la antena. Como la longitud de onda a la frecuencia de medida era de 33 cm, el campo electromagnético radiado (E) se midió cada 8 cm, resultando en un total de 5625 puntos de medida.

El módulo aéreo (1) se movía a una velocidad de 50 cm/s, con lo que el recorrido completo de la trayectoria de medida (7) en zigzag, 456 m, se completó en 15 minutos. A lo largo de la trayectoria de medida (7) la antena receptora (112) se apuntaba hacia antena para estación base de telefonía móvil mediante el brazo articulado. Las baterías que suministraban la energía al octacóptero permitían una autonomía de 18 minutos, con lo que se disponía de margen de seguridad temporal para que el operador del módulo aéreo (1) realizara las maniobras de despegue y aterrizaje.

Dado que las medidas del campo electromagnético radiado (E) se realizaron con un detector de potencia, no se disponían de medidas directas de la fase. Por ello, se aplicó el algoritmo iterativo para la recuperación de fase (40) a las medidas de la amplitud del campo electromagnético radiado (E) medido en la trayectoria de medida (7). El algoritmo iterativo para la recuperación de fase (40) minimizaba la función de coste FCa. Al cabo de 53 iteraciones se obtuvo una tolerancia o diferencia igual o inferior al 2% entre la amplitud del campo electromagnético teórico calculado a partir de un conjunto de coeficientes auxiliares y la amplitud del campo electromagnético radiado (E).

Los datos de amplitud medida y fase recuperada del campo electromagnético radiado (E) georreferenciadas con una precisión igual o inferior a 3 cm se introdujeron en la unidad de procesado de las medidas de emisiones electromagnéticas (23) para llevar a cabo la caracterización y diagnóstico de la antena para estación base de telefonía móvil. En primer lugar se ejecutó el algoritmo de transformación campo cercano – campo cercano para la obtención de la distribución del campo electromagnético en la apertura de la antena (41), el cual minimizaba una función de coste FCaf que relacionaba el campo electromagnético radiado (E) por la antena para estación base de telefonía móvil con el campo electromagnético teórico calculado a partir de una distribución de corrientes. Al

cabo de 17 iteraciones del algoritmo de transformación campo cercano – campo cercano para la obtención de la distribución del campo electromagnético en la apertura de la antena (41) se obtuvo una tolerancia o diferencia entre el campo electromagnético radiado (E) y el campo electromagnético teórico menor o igual al 1 %.

- 5 La distribución de corrientes se empleó para calcular el campo electromagnético teórico en el plano de apertura (71) de la antena para estación base de telefonía móvil. La información del campo electromagnético teórico en el plano de apertura se introdujo en la aplicación informática (24) para representar el diagrama de fuentes radiantes (70) de la antena para estación base de telefonía móvil. Se observó que los 8 elementos que
10 componían la antena para estación base de telefonía móvil presentaban una variación de amplitud inferior a 1 dB, con lo que se concluyó que los 8 elementos de la antena operaban correctamente según las especificaciones del fabricante.

- La distribución de corrientes calculada con el algoritmo de transformación campo cercano – campo cercano para la obtención de la distribución del campo electromagnético en la apertura de la antena (41) también se empleó en el algoritmo de transformación
15 campo cercano – campo lejano para la obtención del diagrama de radiación de la antena (42). El diagrama de radiación de la antena para estación base de telefonía móvil se representó en la aplicación informática (24), observándose que dicho diagrama también cumplía las especificaciones proporcionadas por el fabricante para este tipo de antenas en
20 cuanto a niveles de lóbulos secundarios e inclinación o *tilt* del lóbulo principal.

- Finalmente, se ejecutó el algoritmo para la determinación del volumen de protección electromagnética (43) de la antena o sistema radiante, el cual empleó la distribución de corrientes para calcular el volumen de protección electromagnética (61) de la antena para
estación base de telefonía móvil. El volumen de protección obtenido resultó un
25 paralelepípedo de dimensiones 7 m de largo x 4 m de ancho x 3 m de alto. Estas dimensiones resultaron estar en consonancia con las habituales para los recintos de seguridad para este tipo de antenas de telefonía móvil.

El tiempo de ejecución de los algoritmos de procesamiento de medidas de emisiones electromagnéticas (25) fue inferior a 2 minutos, lo que permitió realizar el diagnóstico y

caracterización de la antena para estación base de telefonía móvil en el mismo lugar donde se realizó la medida con el sistema y método descritos.

EJEMPLO 2

Para esta realización se empleó el sistema descrito en el ejemplo 1 aunque empleando
 5 un detector coherente en la banda de 100 MHz a 3 GHz con dos canales de salida correspondientes a la parte real e imaginaria de la señal compleja medida, que en este caso era el campo electromagnético radiado (E) por la antena para estación base de telefonía móvil. Cada canal de salida proporcionaba una tensión proporcional a la parte real e imaginaria del campo electromagnético radiado (E).

10 Dado que el detector coherente utilizado pesaba más que el detector de potencia, en esta realización también se eliminó el brazo articulado sobre el que se montaba la antena receptora (112), fijándola directamente al módulo aéreo (1). En esta realización, el sistema de posicionamiento y guiado (13) del módulo aéreo (1) se encargó de mantener la orientación de la antena receptora (112) hacia la antena para estación base de telefonía
 15 móvil a lo largo de la trayectoria de medida (7).

Como la unidad de medida de emisiones electromagnéticas (11) se basó en un detector coherente, se disponía de los datos de amplitud y fase (o equivalentemente, de la parte real e imaginaria) del campo electromagnético radiado (E). Por ello, en esta realización no fue necesario ejecutar el algoritmo iterativo de recuperación de fase (40).

20 Los datos de amplitud y fase medidas del campo electromagnético radiado (E) georreferenciados con una precisión igual o inferior a 3 cm se introdujeron en la unidad de procesamiento de las medidas de emisiones electromagnéticas (23) para llevar a cabo la caracterización y diagnóstico de la antena para estación base de telefonía móvil. En esta realización, el algoritmo de transformación campo cercano – campo cercano para la
 25 obtención de la distribución del campo electromagnético en la apertura de la antena (41) obtuvo una tolerancia o diferencia entre el campo electromagnético radiado (E) y el campo electromagnético teórico menor o igual al 1 % al cabo de 15 iteraciones.

Los resultados de diagnóstico y caracterización de la antena para estación base de telefonía móvil, es decir, diagrama de fuentes radiantes (70), diagrama de radiación y

volumen de protección electromagnética, presentaron una diferencia inferior al 2 % con respecto a los mismos resultados obtenidos en la realización del ejemplo 1.

EJEMPLO 3

Para esta realización se empleó el sistema descrito en el ejemplo 1 pero empleando dos módulos aéreos (1). Se definieron dos trayectorias de medida (7): la primera consistió en una trayectoria en zigzag contenida en un plano vertical de dimensiones 6 m x 6 m emplazado 5 m delante del plano de apertura (62) de la antena para estación base de telefonía móvil y centrado con respecto a la antena. La segunda era idéntica a la primera pero emplazada 5 m detrás del plano de apertura (62), con el fin de caracterizar también la radiación trasera de la antena para estación base de telefonía móvil. En esta realización, al emplear un detector de potencia en ambos módulos aéreos (1) fue necesario aplicar el algoritmo iterativo para la recuperación de fase (40).

Se observó que al disponer de más puntos de medida el algoritmo iterativo para la recuperación de fase (40) requería 45 iteraciones para obtener una tolerancia o diferencia igual o inferior al 2% entre la amplitud del campo electromagnético teórico calculado a partir de un conjunto de coeficientes auxiliares y la amplitud del campo electromagnético radiado (E), es decir, 8 iteraciones menos que en la realización del ejemplo 1.

En esta realización, los resultados de diagnóstico y caracterización de la antena para estación base de telefonía móvil, es decir, diagrama de fuentes radiantes (70), diagrama de radiación y volumen de protección electromagnética, presentaron una diferencia inferior al 3 % con respecto a los mismos resultados obtenidos en la realización del ejemplo 1. Las diferencias en los resultados en las realizaciones de los ejemplos 1, 2 y 3, se debieron en parte a la propia tolerancia que presentan los detectores de potencia y coherente empleados para la medida del campo electromagnético radiado (E), así como a la tolerancia o error en el posicionamiento y georreferenciación de los datos, que se realizó con una precisión igual o inferior a 3 cm.

REIVINDICACIONES

1. Sistema aerotransportado para medida y caracterización de antenas o sistemas radiantes de ondas electromagnéticas, que comprende:
 - un módulo aéreo (1) que se mueve recorriendo los puntos de una trayectoria de medida (7), que a su vez comprende una antena receptora (112) que captura el campo electromagnético radiado (E) por una o varias antenas o sistemas radiantes (5) y que está conectada a una unidad de medida de emisiones electromagnéticas (11), un sistema de posicionamiento y guiado (13) del módulo aéreo (1), y una unidad de control aérea (15) que recolecta información de la unidad de medida de emisiones electromagnéticas (11) y del sistema de posicionamiento y guiado (13), controla parámetros de vuelo del módulo aéreo (1) e intercambia información con una estación terrena (2);
 - una estación terrena (2), que a su vez comprende un sistema de control de vuelo (21) del módulo aéreo (1), una unidad de procesamiento de las medidas de emisiones electromagnéticas (23) recibidas en la unidad de medida de emisiones electromagnéticas (11) que procesa las medidas del campo electromagnético radiado (E) por la antena o sistema radiante (5) mediante un conjunto de algoritmos de procesamiento de medidas de emisiones electromagnéticas (25), y una aplicación informática (24); y
 - unos medios de comunicación para emitir y recibir señales inalámbricas entre el módulo aéreo (1) y la estación terrena (2);
- caracterizado por que** la antena receptora (112) es apuntada hacia la antena o sistema radiante (5); por que la unidad de medida de emisiones electromagnéticas (11) proporciona información de amplitud y/o fase del campo electromagnético radiado (E) por la antena o sistema radiante (5) en la trayectoria de medida (7) de forma directa o indirecta; por que el sistema de posicionamiento y guiado (13) del módulo aéreo (1) comprende un sistema de posicionamiento global (131), un sistema de posicionamiento basado en sensores inerciales (132), un sistema de posicionamiento basado en navegación cinética satelital en tiempo real (133) que intercambia información con una estación base de navegación cinética satelital en

tiempo real (22) situada en la estación terrena (2), y un sistema de posicionamiento basado en fotogrametría (134), que envían información a la unidad de control aérea (15) proporcionando la localización tridimensional precisa del módulo aéreo (1) y la georreferenciación de las medidas de campo electromagnético radiado (E) por la

 5 antena o sistema radiante (5) con una precisión de valor igual o inferior a tres centímetros; por que la amplitud y/o fase del campo electromagnético radiado (E) por la antena o sistema radiante (5) es procesada por la unidad de procesado de las medidas de emisiones electromagnéticas (23) caracterizando con ello la antena o

 10 sistema radiante (5); por que un conjunto de algoritmos de procesado de medidas de emisiones electromagnéticas (25) de la unidad de procesado de las medidas de emisiones electromagnéticas (23) es un algoritmo de transformación campo cercano – campo cercano para la obtención de la distribución del campo electromagnético en la apertura de la antena (41), un algoritmo de transformación campo cercano – campo lejano para la obtención del diagrama de radiación de la antena (42) y un

 15 algoritmo para la determinación del volumen de protección electromagnética (43) de la antena o sistema radiante (5); por que la aplicación informática (24) proporciona el diagrama de radiación, el diagrama de fuentes radiantes (70) y/o el volumen de protección electromagnética (61) de la antena o sistema radiante (5); y por que los medios de comunicación para emitir y recibir señales inalámbricas entre

 20 el módulo aéreo (1) y la estación terrena (2) emplean una banda de frecuencia seleccionada entre al menos dos bandas de frecuencias diferentes para evitar solapamiento con la frecuencia del campo electromagnético radiado (E) por la antena o sistema radiante (5).

- 25 2. Sistema según la reivindicación 1 caracterizado por que comprende dos o más módulos aéreos (1).
3. Sistema según la reivindicación 1 o 2 caracterizado por que el módulo aéreo (1) es un vehículo aéreo no tripulado.
4. Sistema según la reivindicación 3 caracterizado por que el vehículo aéreo no tripulado es un multirrotor.

5. Sistema según la reivindicación 1 o 2 caracterizado por que la trayectoria de medida (7) presenta una forma o geometría arbitraria y la distancia entre un punto de medida y otro es igual o inferior a tres centímetros.
6. Sistema según la reivindicación 1 o 2 caracterizado por que la antena receptora (112) está acoplada a un brazo articulado controlado o a una suspensión cardán controlada para ser apuntada hacia la antena o sistema radiante (5).
7. Sistema según la reivindicación 1 o 2 caracterizado por que la antena receptora (112) está fijada al módulo aéreo (1), que se orienta para apuntarla hacia la antena o sistema radiante (5).
8. Sistema según la reivindicación 1 o 2 caracterizado por que la unidad de medida de emisiones electromagnéticas (11) es un detector coherente que mide la amplitud y la fase del campo electromagnético radiado (E) por la antena o sistema radiante (5) medidas en la trayectoria de medida (7).
9. Sistema según la reivindicación 1 o 2 caracterizado por que la unidad de medida de emisiones electromagnéticas (11) es un detector de potencia que mide la amplitud del campo electromagnético radiado (E) por la antena o sistema radiante (5) medida en la trayectoria de medida (7).
10. Sistema según la reivindicación 9 caracterizado por que además comprende un algoritmo iterativo para la recuperación de fase (40) que recupera la fase del campo electromagnético radiado (E) por la antena o sistema radiante (5) a partir de la amplitud del campo electromagnético radiado (E) por la antena o sistema radiante (5) medida en la trayectoria de medida (7).
11. Sistema según la reivindicación 10 caracterizado por que el algoritmo iterativo de recuperación de fase (40) consiste en calcular un conjunto de coeficientes auxiliares que caracterizan la antena o sistema radiante (5) mediante la minimización de una función de coste FCa que viene definida por la siguiente ecuación:

$$FCa = || |E|^2 - |\tilde{E}(Iq(Ca))|^2 ||^2$$

donde $|E|$ representa la amplitud del campo electromagnético radiado (E) por la antena o sistema radiante (5) medida en la trayectoria de medida (7), $|\tilde{E}|$ representa la amplitud del campo electromagnético teórico calculado a partir del conjunto de coeficientes auxiliares, I_q denota las ecuaciones integrales de campo electromagnético que relacionan el campo electromagnético teórico con los coeficientes auxiliares y C_a representa los coeficientes auxiliares;

y por que cuando la función de coste FC_a presenta un valor menor que una tolerancia determinada, se considera que la amplitud del campo electromagnético teórico y la amplitud del campo electromagnético radiado (E) son suficientemente parecidas de forma que el conjunto de coeficientes auxiliares permite modelar el campo electromagnético radiado (E) con una precisión menor o igual a la tolerancia determinada.

12. Sistema según la reivindicación 11 caracterizado por que una vez calculado el conjunto de coeficientes auxiliares se calcula el campo electromagnético teórico en la trayectoria de medida (7) empleando las ecuaciones integrales de campo electromagnético y por que el campo electromagnético radiado (E) por la antena o sistema radiante (5) en la trayectoria de medida (7) se compone a partir de la siguiente expresión:

$$E = |E| \exp(j \langle \tilde{E} \rangle)$$

donde $\langle \tilde{E} \rangle$ es la fase del campo electromagnético teórico y $|E|$ es la amplitud del campo electromagnético radiado (E) por la antena o sistema radiante (5).

13. Sistema según la reivindicación 1 o 2 caracterizado por que el sistema de control de vuelo (21) del módulo aéreo (1) comprende:

- un sistema de control de vuelo manual (211); y
- un sistema para la generación de trayectorias y control automático de vuelo (212).

14. Sistema según la reivindicación 1 o 2 caracterizado por que los medios de comunicación comprenden un sistema de comunicación (3) bidireccional y en tiempo real entre el módulo aéreo (1) y la estación terrena (2).
- 5 15. Sistema según la reivindicación 14 caracterizado por que el sistema de comunicación (3) comprende uno o varios módulos de comunicación 3G/4G y/o uno o varios transceptores a baja frecuencia y/o una interfaz IEEE 802.11 (Wi-Fi) y/o uno o varios módulos *Zigbee* y/o uno o varios módulos *Bluetooth*, o una combinación de cualquiera de los anteriores.
- 10 16. Sistema según la reivindicación 1 o 2 caracterizado por que el algoritmo de transformación campo cercano – campo cercano para la obtención de la distribución del campo electromagnético en la apertura de la antena (41) consiste en calcular una distribución de corrientes que caracterizan la antena o sistema radiante (5) mediante la minimización de una función de coste FCaf que viene dada por la siguiente ecuación:
- 15
$$FCaf = \| E - \tilde{E}(Iq(Meq)) \|^2$$
- donde E representa el campo electromagnético radiado (E) por la antena o sistema radiante (5) medida en la trayectoria de medida (7), $\tilde{E}$ representa el campo electromagnético teórico calculado a partir de la distribución de corrientes, Iq denota las ecuaciones integrales de campo electromagnético que
- 20 relacionan el campo electromagnético teórico con la distribución de corrientes, y Meq representa la distribución de corrientes;
- y por que cuando la función de coste FCaf presenta un valor menor que una tolerancia determinada, se considera que el campo electromagnético teórico y el campo electromagnético radiado (E) son suficientemente parecidos de forma que la
- 25 distribución de corrientes permite modelar el campo electromagnético radiado (E) con una precisión menor o igual a la tolerancia determinada.
17. Sistema según la reivindicación 16 caracterizado por que una vez calculada la distribución de corrientes se calcula el campo electromagnético teórico en cualquier punto del espacio empleando las ecuaciones integrales de campo electromagnético

- y, por tanto, también se calcula la distribución del campo electromagnético teórico en el plano de apertura (71) de la antena o sistema radiante (5).
18. Sistema según la reivindicación 17 caracterizado por que el diagrama de fuentes radiantes (70) proporcionado por la aplicación informática (24) corresponde a la distribución del campo electromagnético teórico en el plano de apertura (71) de la antena o sistema radiante (5).
19. Sistema según la reivindicación 16 o 17 caracterizado por que el algoritmo de transformación campo cercano – campo lejano para la obtención del diagrama de radiación de la antena (42) emplea la distribución de corrientes que caracteriza a la antena o sistema radiante (5) para calcular el campo electromagnético teórico en cualquier punto del espacio empleando las ecuaciones integrales de campo electromagnético y, por tanto, para calcular el campo electromagnético teórico en la región de campo lejano de la antena o sistema radiante (5) que corresponde al diagrama de radiación.
20. Sistema según la reivindicación 16 o 17 caracterizado por que el algoritmo para la determinación del volumen de protección electromagnética (43) de la antena o sistema radiante (5) emplea la distribución de corrientes que caracterizan a la antena o sistema radiante (5) para obtener los niveles de campo electromagnético teórico en una nube de puntos alrededor de la antena o sistema radiante (5), para posteriormente discriminar los puntos que están por encima del nivel de referencia de campo electromagnético, obteniendo de esta forma la superficie que delimita el volumen de protección electromagnética (61) de la antena o sistema radiante (5).
21. Método para medida y caracterización de antenas o sistemas radiantes (5) mediante el sistema de la reivindicación 1 o 2 que comprende las siguientes etapas:
- a) definir una trayectoria de medida (7) alrededor de la antena o sistema radiante (5) que se desea medir y caracterizar;
 - b) apuntar la antena receptora (112) hacia la antena o sistema radiante (5);

- c) adquirir la medida del campo electromagnético radiado (E) por la antena o sistema radiante (5) mediante la unidad de medida de emisiones electromagnéticas (11);
 - d) enviar la medida del campo electromagnético radiado (E) por la antena o sistema radiante (5) y la localización tridimensional precisa del módulo aéreo (1) a la estación terrena (2) empleando el sistema de comunicación (3);
 - e) procesar la medida del campo electromagnético radiado (E) por la antena o sistema radiante (5) en la unidad de procesado de las medidas de emisiones electromagnéticas (23) para obtener el diagrama de radiación, la distribución del campo electromagnético en el plano de apertura (71) y el volumen de protección electromagnética (61) de la antena o sistema radiante (5), mediante un conjunto de algoritmos de procesado de medidas de emisiones electromagnéticas (25) que comprende un algoritmo de transformación campo cercano – campo cercano para la obtención de la distribución del campo en la apertura de la antena (41), un algoritmo de transformación campo cercano – campo lejano para la obtención del diagrama de radiación de la antena (42), y un algoritmo para la determinación del volumen de protección electromagnética (43) de la antena o sistema radiante (5).
22. Método según la reivindicación 21 caracterizado por que las etapas a) a d) las realizan dos o más módulos aéreos (1) que envían la medida del campo electromagnético radiado (E) por la antena o sistema radiante (5) y su localización tridimensional precisa a la estación terrena (2) empleando su sistema de comunicación (3).
23. Método según la reivindicación 21 caracterizado por que en la etapa c) la unidad de medida de emisiones electromagnéticas (11) además procesa la medida del campo electromagnético radiado (E) por la antena o sistema radiante (5) adquirida para convertirla en una secuencia digital, y en la etapa e) la unidad de procesado de las medidas de emisiones electromagnéticas (23) procesa la medida del campo electromagnético radiado (E) por la antena o sistema radiante (5) digitalizada.

24. Método según la reivindicación 21 o 22 caracterizado por que además comprende variar la posición del módulo aéreo (1) a lo largo de la trayectoria de medida (7) y repetir las etapas b), c) y d) previamente a la etapa e).

FIG. 1

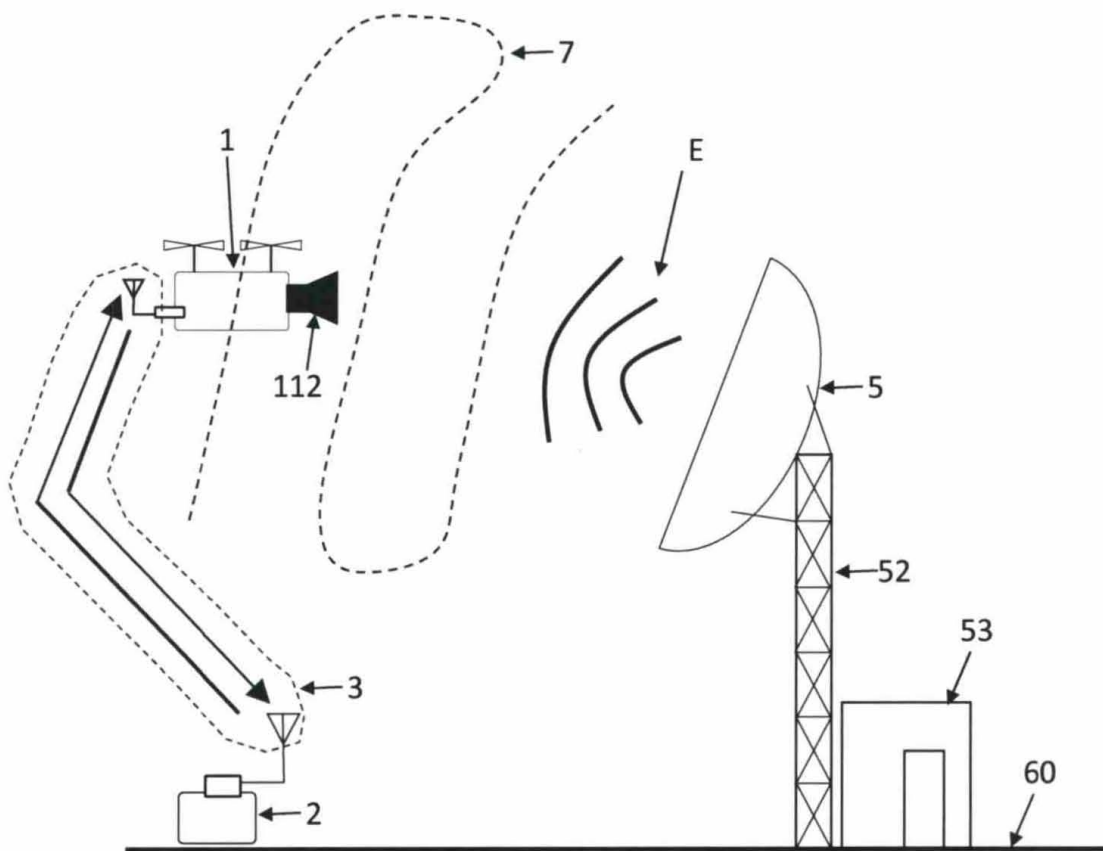


FIG. 2

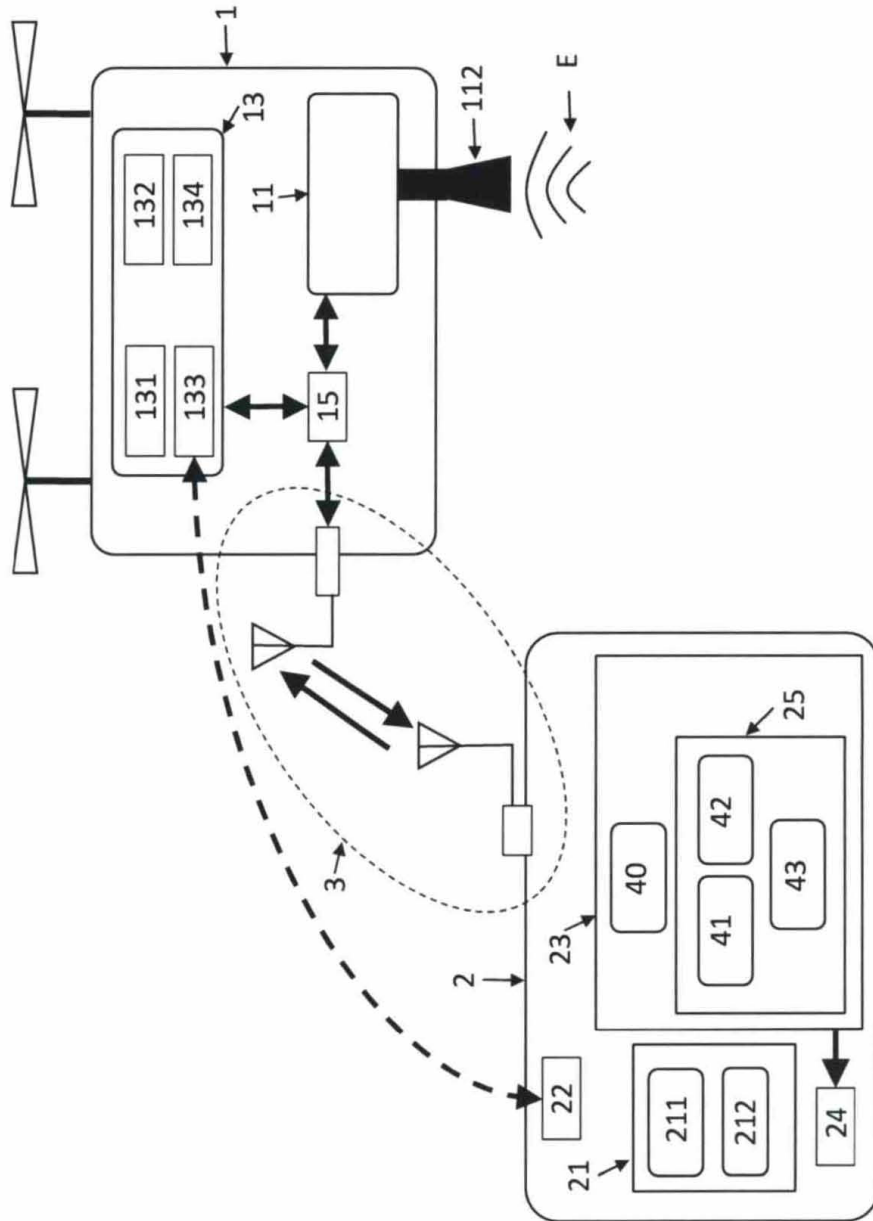


FIG. 3

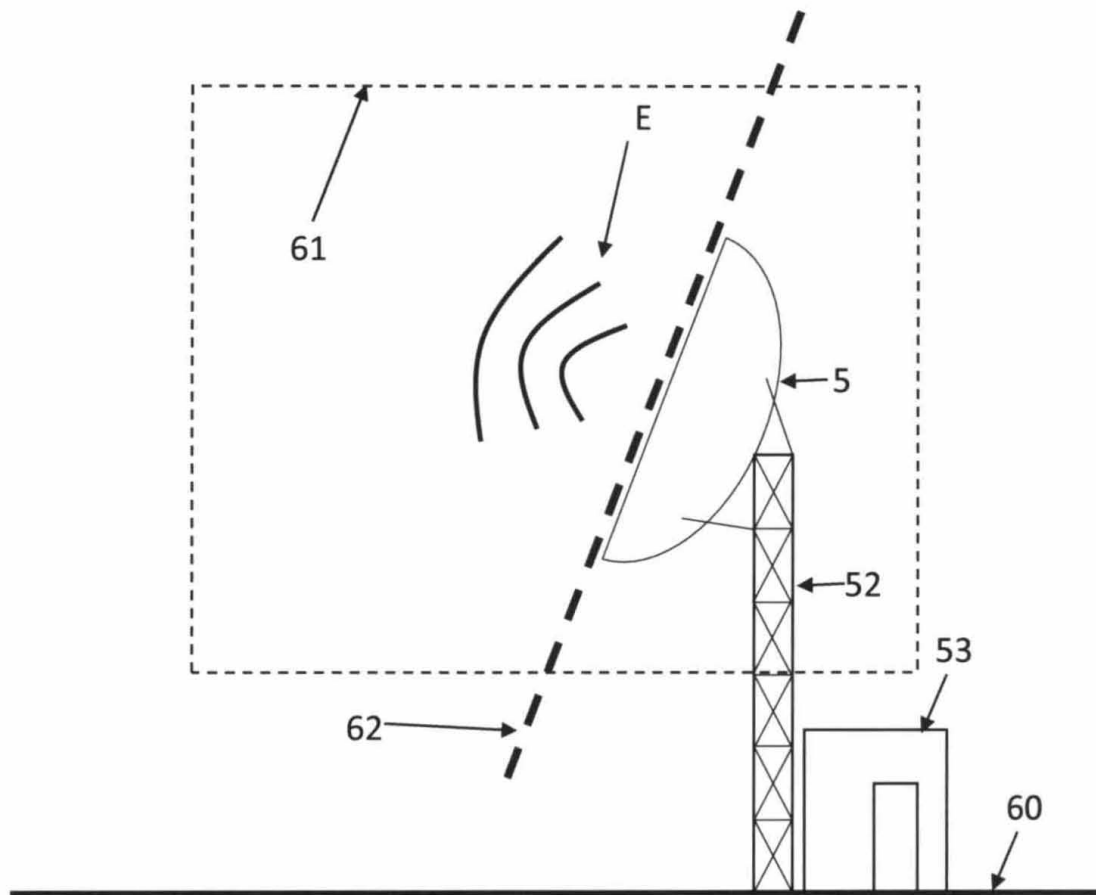


FIG. 4

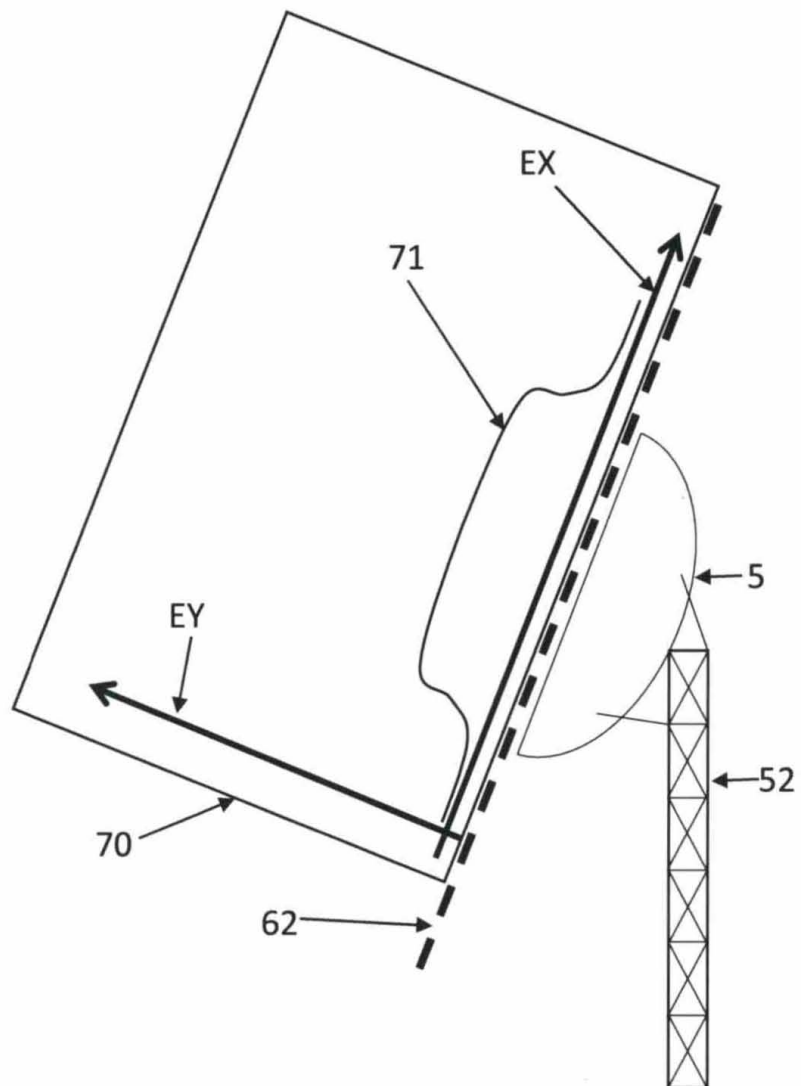
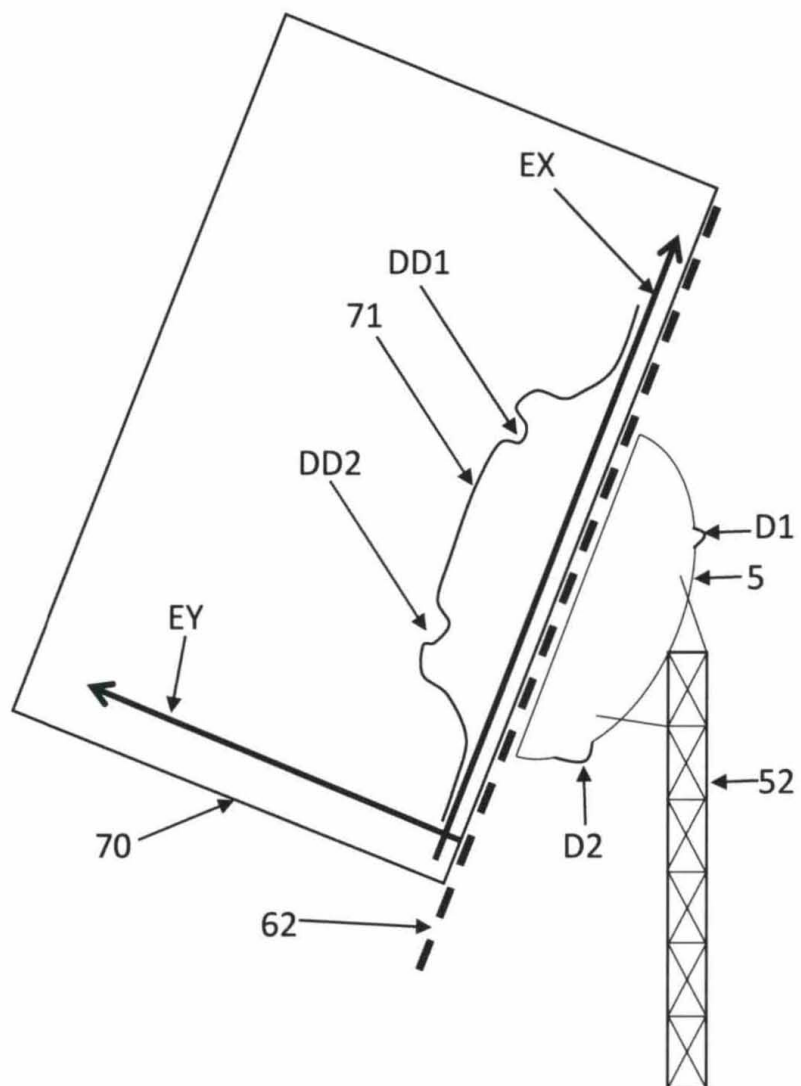


FIG. 5





- ②① N.º solicitud: 201700209
②② Fecha de presentación de la solicitud: 03.03.2017
③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: **G01R29/10** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	US 2016088498 A1 (SHARAWI) 24/03/2016, párrafos [0014] a [0031]; figuras1-4.	1-24
A	US 2015116164 A1 (MANNION MARTIN et al.) 30/04/2015, Párrafos [0019] a [0047]; figuras 1-6.	1-24
A	Yuri Alvarez et al. "ANTENNA CHARACTERIZATION USING THE SOURCES RECONSTRUCTION METHOD". Antennas and Propagation (EuCAP), 2010 Proceedings of the Fourth European Conference on, 20100412 IEEE, Piscataway, NJ, USA. 12/04/2010, Páginas 1 - 5, XP031706035 ISBN 978-1-4244-6431-9 ; ISBN 1-4244-6431-5	1-24
A	Virone Giuseppe et al. "ANTENNA PATTERN VERIFICATION SYSTEM BASED ON A MICRO UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV)". IEEE Antennas And Wireless Propagation Letters IEEE, Piscataway, NJ, US, 04/02/2014, Vol. 13, Páginas 169-172, XP011539132 ISSN1536-1225, <DOI: 10.1109/LAWP.2014.2298250>	1-24

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
04.07.2017

Examinador
J. Botella Maldonado

Página
1/4

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

G01R

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

INVENES, EPODOC, WPI, NPL, XPESP, XPAIP, XPI3E, INSPEC.

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 04.07.2017

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones 1-24	SI
	Reivindicaciones	NO
Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)	Reivindicaciones 1-24	SI
	Reivindicaciones	NO

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

Base de la Opinión.-

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

Consideraciones:

1. Documentos considerados.-

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	US 2016088498 A1 (SHARAWI)	24.03.2016
D02	US 2015116164 A1 (MANNION MARTIN et al.)	30.04.2015
D03	Yuri Alvarez et al. "ANTENNA CHARACTERIZATION USING THE SOURCES RECONSTRUCTION METHOD". Antennas and Propagation (EuCAP), 2010 Proceedings of the Fourth European Conference on, 20100412 IEEE, Piscataway, NJ, USA. Páginas 1 - 5, XP031706035 ISBN 978-1-4244-6431-9 ; ISBN 1-4244-6431-5	12.04.2010
D04	Virone Giuseppe et al. "ANTENNA PATTERN VERIFICATION SYSTEM BASED ON A MICRO UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV)". IEEE Antennas And Wireless Propagation Letters IEEE, Piscataway, NJ, US, Vol. 13, Páginas 169-172, XP011539132 ISSN 1536-1225, <DOI: 10.1109/LAWP.2014.2298250>	04.02.2014

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración

El documento D01 presenta un método de caracterización tridimensional de la radiación de una antena utilizando un UAV adaptado para medir y mapear el RSS de una señal transmitida por la antena. El UAV incluye una antena para la medida de la señal recibida desde la antena DUT, una antena de comunicación con la estación base y un controlador con transceptor para comunicación con la estación base, GPS, altímetro y procesador central. Desde la estación base se configura y controla el vuelo del UAV y se procesan los datos recibidos del UAV.

El documento D02 describe un sistema para la medida del campo cercano y posterior obtención del campo lejano de una antena DUT. El DUT transmite una señal a una longitud de onda de interés y se detecta en amplitud y fase con una sonda que se sitúa en una pluralidad de puntos sobre una superficie de medida. Mediante técnicas conocidas, el patrón de campo cercano se convierte al de campo lejano (párrafo [0046]).

El documento D03 presenta una metodología SRM para diagnóstico de antenas y método de transformación de campo cercano a campo lejano basándose en el principio de equivalencia que permite sustituir el AUT por un modelo equivalente que radie el mismo campo electromagnético. El SRM propuesto permite obtener un modelo equivalente del DUT a partir del cual se puede determinar la fase del campo en cualquier punto espacial sin realizar su medida.

El documento D04 presenta un sistema de obtención del diagrama de radiación de una antena utilizando un UAV monitorizando su posición con los conocidos instrumentos topográficos Leica TPS 1200+ y TCRP 1201 - R300 que permiten automáticamente rastrear un objeto con retroreflector midiendo distancia y ángulo con una precisión de 3 mm y 1 arcseg en el rango operativo de 1 Km. Considerando una precisión real de medida de 1cm a una distancia de 60 m del UAV a la antena, el ángulo entre el DUT y el UAV podría obtenerse con una precisión de 0.6 arcmin (punto B).

Consideramos que ninguno de estos documentos anticipa la invención tal como se reivindica en las reivindicaciones de la 1ª a la 24ª ni hay en ellos sugerencias que dirijan al experto en la materia hacia el objeto reivindicado en las citadas reivindicaciones.

Por lo tanto las reivindicaciones de la 1ª a la 24ª poseen novedad y actividad inventiva (Artículos 6 y 8 LP).