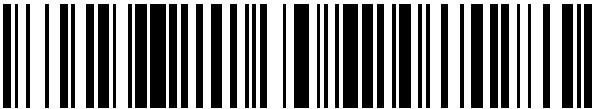


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 970 873**

21 Número de solicitud: 202430305

51 Int. Cl.:

H01Q 3/46

(2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

18.04.2024

43 Fecha de publicación de la solicitud:

31.05.2024

71 Solicitantes:

**UNIVERSIDAD DE VIGO (45.0%)
Campus Universitario Lagoas, s/n
36310 Vigo (Pontevedra) ES;
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID (40.0%) y
UNIVERSIDAD REY JUAN CARLOS (15.0%)**

72 Inventor/es:

**PINO GARCIA, Antonio;
RODRÍGUEZ VAQUEIRO, Yolanda;
MARTÍNEZ DE RIOJA DEL NIDO, José Daniel;
ENCINAR GARCINUÑO, Jose Antonio;
MARTÍNEZ DE RIOJA DEL NIDO, Eduardo María y
MOSQUERA NARTALLO, Carlos**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

54 Título: **Antena multi-haz reconfigurable en polarización circular**

57 Resumen:

Antena multi-haz reconfigurable que comprende un reflectarray polarizador (10) y un array alimentador (11), que genera haces reconfigurables de alta directividad en polarización circular. El array alimentador (11) está formado por una agrupación plana de elementos radiantes (30) con sus módulos transmisión-recepción, dividida en subarrays que operan en doble polarización lineal. En transmisión, cada subarray genera dos haces reconfigurables que iluminan el reflectarray polarizador (10). El reflectarray polarizador (10) contiene elementos conductores distribuidos en una retícula regular (28) que transforman las señales de polarización lineal (13) procedentes del array alimentador (11) en haces directivos de polarización circular (15, 16, 17). La antena puede operar en transmisión y en recepción.

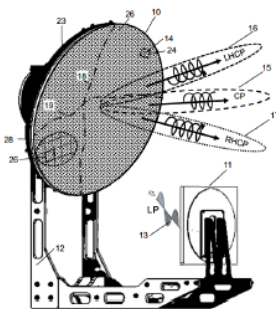


Fig. 1

DESCRIPCIÓN

Antena multi-haz reconfigurable en polarización circular

5 Objeto de la invención

La presente invención se refiere a una antena multi-haz reconfigurable especialmente indicada para aplicaciones espaciales que permite reconfigurar haces en polarización circular en una pluralidad de bandas de frecuencia y con una alta directividad.

10

La antena multi-haz reconfigurable, objeto de la presente invención, permite mejorar las comunicaciones de banda ancha por satélite, proporcionando coberturas celulares en tierra que pueden ser reconfiguradas desde el satélite, en función de la demanda de servicios por los usuarios.

15

La antena multi-haz reconfigurable, objeto de la presente invención, es de especial aplicación en los sectores de tecnología de radiocomunicaciones y tecnología espacial.

Antecedentes de la invención y problema técnico a resolver

20

Los satélites de comunicaciones, de observación de la tierra y los empleados en misiones científicas utilizan antenas de alta directividad para transmitir y recibir señales de frecuencia de microondas, o de ondas milimétricas, hacia y desde estaciones de comunicación terrestres o terminales de usuario. En las antenas empleadas en satélites, tanto en órbitas bajas como en órbita geoestacionaria, es habitual emplear antenas del tipo reflector o las denominadas “arrays” activos, que emplean un módulo transmisión/recepción por cada elemento radiante, caracterizadas por presentar un volumen, peso y costes muy elevados, sobre todo si se requiere un elevado número de elementos radiantes para conseguir haces directivos.

25

Los satélites geoestacionarios (satélites GEO) que se emplean para proporcionar una cobertura celular de acceso a “internet” de banda ancha con reutilización de frecuencia y polarización, considerando la configuración de un alimentador para cada haz, requieren cuatro antenas reflectoras de más de dos metros de diámetro para generar la cobertura completa, compuesta por un elevado número de haces (entre 50 y 100), como puede verse en varios documentos del estado anterior de la técnica, como en el documento US 2007018900 A1 (“Multi-beam and multi-band antenna system for communication satellites”) y en el documento “*Advanced antenna technologies for satellite communications payloads*” [S. K. Rao, IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 63, no. 4, pp. 1205-1217, April 2015].

10

En la cobertura multi-haz se van alternando haces de diferente frecuencia y diferente polarización circular (a derechas y a izquierdas), de manera que dos haces adyacentes nunca tienen la misma combinación de frecuencia y polarización, para evitar interferencia entre celdas de cobertura. Cada uno de los reflectores está alimentado por una agrupación de antenas de bocina, en la que cada bocina transmite y recibe las señales asociadas a cada haz con la misma combinación de frecuencia y polarización, operando en las frecuencias de transmisión (17,5-20,2 GHz) y recepción (29-30 GHz) para generar una cuarta parte de los haces de la cobertura total. Este sistema de antenas es eficiente, pero el problema que tiene es que la cobertura es fija durante toda la vida del satélite. La reconfiguración de los haces es una necesidad, debido a que la demanda de servicios cambia a lo largo de la vida útil del satélite, estimada en unos 15 años.

15

20

Actualmente se requieren satélites de alta capacidad para proporcionar comunicaciones de banda ancha a un elevado número de usuarios. Para ello se requiere generar haces múltiples de alta ganancia que puedan ser reconfigurables en tiempo real. Con objeto de proporcionar una reconfiguración de los haces desde el satélite, se han demostrado varias antenas tipo “array” activo en satélites de comunicaciones, como se describe en el documento “*Spaceborne Phased Array Antenna for Communication Systems*” [Y. Li and B. Tian, 2018 Cross Strait Quad-Regional Radio Science and Wireless Technology Conference (CSQRWC), Xuzhou, China, 2018].

25

Un ejemplo de satélites con haces reconfigurables es el sistema de satélites “Wideband Global SatCom”, descrito en el documento “*Wideband gapfiller satellite (WGS) system*” [R. Kumar,

D. Taggart, R. Monzingo and G. Goo, 2005 IEEE Aerospace Conference, Big Sky, MT, USA, 2005, pp. 1410-1417], para comunicaciones militares globales, que opera en banda X y utiliza dos arrays activos independientes, uno para transmitir y otro para recibir. Estos satélites generan varios haces reconfigurables en polarización lineal que dan cobertura a toda la tierra desde varias posiciones orbitales geoestacionarias.

Recientemente se ha demostrado el satélite Eutelsat Quantum, descrito en el documento "*Eutelsat Quantum a fully flexible software defined satellite successfully operating on orbit*" [G. Thomas et al., 39th International Communications Satellite Systems Conference (ICSSC 2022), Stresa, Italy, 2022, pp. 46-57] que utiliza antenas activas para generar haces reconfigurables en banda Ku en transmisión y recepción. Esta antena proporciona flexibilidad en la cobertura, potencia de radiofrecuencia (RF) y plan de frecuencias, que pueden ser reconfiguradas en órbita. Esta antena trabaja en la banda Ku y genera 4 haces reconfigurables en polarización Vertical (V) y otros 4 haces en polarización Horizontal (H).

Los ejemplos anteriores representan un hito en la reconfiguración de antenas de alta ganancia para satélites GEO, pero operan en polarización lineal, que requiere una orientación determinada de las antenas de terminales en tierra, y no es aplicable a los satélites de banda Ka, que utilizan polarización circular para proporcionar servicios de conexión a internet de banda ancha de usuarios móviles (por ejemplo, desde barcos, aviones, o automóviles), que deben operar en cualquier orientación de las antenas terminales.

Por otro lado, en los satélites de órbita baja para comunicaciones o para observación de la tierra, se requiere de antenas que realicen un barrido y reconfiguración de los haces, y habitualmente se emplean antenas denominadas "arrays" activos, como los propuestos en los documentos WO 2021062540 A1 ("Direct radiating array antenna") y WO 2023155018 A1 ("Direct radiating array antenna assembly").

Muchos de los arrays activos empleados para comunicaciones por satélite en polarización circular generan la polarización circular mediante antenas de parche, como se describe en el documento "*A Scalable Ka-Band 1024-Element Transmit Dual-Circularly-Polarized Planar Phased Array for SATCOM Application*" [X. Luo et al., IEEE Access, vol. 8, pp. 156084-

156095, 2020]. Sin embargo, estas antenas operan en banda estrecha y generan unos niveles de radiación contrapolar relativamente altos, por lo que son válidas para terminales de tierra, pero no para antenas embarcadas en los satélites, para las que se requiere un gran aislamiento entre las dos polarizaciones circulares ortogonales para evitar interferencias entre
5 haces de distinta polarización. Para conseguir una banda ancha con suficiente aislamiento contrapolar, se requiere la utilización de desfasadores, para introducir un desfase de 90° entre las dos componentes de campo. Esta técnica aumenta la complejidad y volumen de la antena y no admite operar simultáneamente en las dos polarizaciones circulares ortogonales.

10 Recientemente se ha diseñado, construido y medido un prototipo simplificado de un array activo para comunicaciones de banda ancha desde satélites de órbita baja (LEO) en banda Ka, tal y como se describe en el documento "*Technology developments and R&D activities at the European Space Agency for satellite communication payloads based on active antennas and digital processors*" [S. D'Addio et al., 2022 IEEE International Symposium on Phased Array
15 Systems & Technology (PAST), Waltham, MA, USA, 2022, pp. 1-6]. La antena está formada por 104 elementos radiantes integrados, que incluyen bocinas, polarizadores, redes de distribución y filtros en guía de onda realizados mediante fabricación aditiva. A pesar de la reducción de costes debida a técnicas de fabricación aditiva, el sistema es voluminoso y los haces generados tienen una directividad moderada, pues está limitada por el número de
20 elementos del array.

Una posible solución para proporcionar una cobertura con haces reconfigurables de alta ganancia y con un coste moderado es la utilización de un reflector alimentado por un "array" activo como se propone en los documentos EP 0963005 A2 y US 005936592 A
25 ("Reconfigurable multiple beam satellite reflector antenna with an array feed"). En dichos documentos se propone un array activo formado por un conjunto de complejas redes alimentadoras que incluyen acopladores direccionales, atenuadores, amplificadores y polarizadores, puesto que los alimentadores que iluminan el reflector deben operar en polarización circular.

30

En el documento "*An Optimal Beamforming Strategy for Wide-Field Surveys With Phased-Array-Fed Reflector Antennas*" [M. V. Ivashina, O. Iupikov, R. Maaskant, W. A. van Cappellen and T. Oosterloo, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 59, no. 6, pp. 1864-

1875, June 2011] se propuso una antena formada por un reflector y un array alimentador para mejorar el ángulo de barrido en radioastronomía. La antena opera en polarización dual lineal de 1 a 1.7 GHz. El array de elementos radiantes está formado por 144 “tapered slot antenna” o antenas Vivaldi, caracterizadas por tener un gran ancho de banda, pero que únicamente
5 pueden trabajar en polarización lineal.

En el documento EP 18290107 A (“Array-fed reflector antenna”) se propone un sistema de reflector alimentado por un array activo en el que el reflector puede moverse para variar la posición relativa entre el array alimentador y el reflector. En este caso, el cambio de posición
10 de un reflector en el satélite, cuyo tamaño es del orden de 2 metros, requiere de unos complejos mecanismos que aseguren un movimiento con gran precisión, consumen energía, aumentan el volumen y complejidad del sistema antena y reducen la vida útil del satélite.

Para conseguir una mayor flexibilidad de asignación de recursos en las coberturas celulares desde satélites geoestacionarios, se ha propuesto un complejo sistema de formación de haz
15 en el satélite, como se divulga en el documento US 11265078 B2 (“Flexible beamforming for satellite communications”), que permite reconfigurar los haces en polarización circular y dar cobertura a distintas regiones en distintos instantes de tiempo, empleando técnicas de multiplexación por división en el tiempo. Se trata de un sistema de generación de haces con
20 un alto grado de complejidad en el satélite que requiere un aumento considerable en el peso, volumen y coste de la carga útil en el satélite. Ha de tenerse en cuenta que, en el momento actual, la tendencia en los satélites de comunicaciones es reducir volumen y costes, para poder ser más competitivos en comparación con las redes de comunicaciones terrestres.

Recientemente se ha propuesto un sistema de antena reflectora alimentada por un array en forma de anillo que se encuentra colocado alrededor del foco del reflector parabólico, tal y como se divulga en el documento US 11264729 B2 (“Wide scan phased array fed reflector systems”). Esta geometría permite realizar un barrido del haz en una zona más amplia, pero limitada a un anillo circular.

Otro tipo de antena reflectora alimentada por un array impreso fue propuesto en el documento “An Electronically Scannable Reflector Antenna Using a Planar Active Array Feed at Ka-Band”

[B. Rohrdantz, T. Jaschke, T. Reuschel, S. Radzijewski, A. Sieganschin and A. F. Jacob, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 65, no. 5, pp. 1650-1661, May 2017] para generar haces reconfigurables en banda Ka (30 GHz). En este caso, el alimentador consiste en un pequeño array formado por una agrupación de parches conductores impresos sobre un substrato dieléctrico. Los parches conductores tienen una forma cuadrada con dos esquinas cortadas, con objeto de generar polarización circular. Esta configuración de elementos radiantes en polarización circular es de bajo coste, pero tiene el inconveniente de que solo se obtiene polarización circular en una banda muy estrecha (menor a 100 MHz), que es muy inferior a las especificaciones exigidas para las antenas embarcadas en satélites.

10

En el estado de la técnica anterior, se ha demostrado que la configuración de antena basada en un reflector alimentado por un array activo permite generar haces de alta directividad en satélites de comunicaciones, que pueden ser reconfigurados y redireccionados dentro de un margen angular limitado, siendo una solución de menor coste que el empleo de arrays activos de grandes dimensiones. En todas las configuraciones descritas anteriormente, para generar haces directivos reconfigurables en polarización circular se requiere que los arrays activos empleados para alimentar el reflector operen en polarización circular. Los arrays activos en polarización circular presentan las desventajas descritas anteriormente, como son: mayor complejidad, coste y volumen, cuando se emplean arrays en guía de onda; u operación en banda estrecha y poco aislamiento contrapolar, cuando se emplean arrays en tecnología planar. La limitación de las configuraciones actuales se debe a que los reflectores convencionales únicamente enfocan el haz, pero no realizan ningún ajuste en la polarización o conformado del campo electromagnético reflejado.

25 Descripción de la invención

Con objeto de solucionar los inconvenientes anteriormente mencionados, la presente invención se refiere a una antena multi-haz reconfigurable en polarización circular que permite generar múltiples haces reconfigurables de alta directividad en polarización circular empleando un array activo de pequeñas dimensiones (array alimentador), que opera en doble polarización lineal, y un reflectarray polarizador.

30

En la presente invención se propone una configuración de antena formada por un array activo que opera en polarización lineal doble y un reflectarray polarizador que transforma cada haz reconfigurable de polarización lineal del array activo en un haz reconfigurable de alta directividad y polarización circular.

5

El objeto de la presente invención es una antena que transmite y recibe haces reconfigurables de alta directividad en polarización circular, para proporcionar servicios de comunicaciones de banda ancha por satélite que permitan una gran flexibilidad en la asignación de recursos en diferentes zonas geográficas, con menor complejidad y volumen, y costes más competitivos que los sistemas existentes actualmente.

10

La antena multi-haz reconfigurable, objeto de la presente invención, comprende una agrupación de elementos reflectantes denominada “reflectarray polarizador”, así como una agrupación de elementos radiantes con módulos de transmisión/recepción denominada “array alimentador”, que se emplea como alimentador del reflectarray polarizador.

15

De manera novedosa, en la antena multi-haz reconfigurable objeto de la presente invención:

- el reflectarray polarizador comprende una superficie conductora recubierta por al menos una primera capa de dieléctrico (capa de material dieléctrico) con grupos de elementos conductores impresos sobre su superficie, dispuestos en celdas de una retícula regular, donde el reflectarray polarizador comprende medios de ajuste del tamaño y la orientación de los elementos conductores en relación con la retícula regular, tal que mediante el ajuste del tamaño y orientación de los elementos conductores se permite controlar independientemente dos componentes ortogonales del campo electromagnético reflejado por las celdas del reflectarray polarizador, en una o varias bandas de frecuencias, manteniendo una diferencia de fases de 90° entre ambas componentes ortogonales del campo electromagnético reflejado, y;
- el array alimentador comprende una pluralidad de elementos radiantes con módulos de transmisión/recepción configurados para emitir y/o recibir un campo electromagnético dirigido hacia y/o desde el reflectarray

20

25

30

polarizador en la forma de señales de polarización lineal, donde el array alimentador comprende medios de ajuste de la amplitud y fase de las señales de polarización lineal emitidas y/o recibidas por los elementos radiantes.

5

Mediante la configuración descrita, el reflectarray polarizador puede:

10

- en modo emisor, reflejar el campo electromagnético de polarización lineal recibido desde el array alimentador, en forma de un campo electromagnético en polarización circular, como consecuencia de la diferencia de fase de 90° impuesta en las dos componentes ortogonales del campo electromagnético reflejado, que podrá ser en forma de haces colimados o conformados, o;

15

- en modo receptor, reflejar el campo electromagnético de polarización circular en forma de campo electromagnético de polarización lineal dirigido hacia el array alimentador.

20

De manera preferente, el array alimentador se encuentra situado a una distancia de entre 0,5 y 2 veces la dimensión máxima del reflectarray polarizador.

25

Según una realización preferente, los elementos radiantes del array alimentador están distribuidos en una pluralidad de subarrays, donde cada subarray está configurado para emitir/recibir un campo electromagnético predeterminado en dos polarizaciones lineales ortogonales (por ejemplo, polarización horizontal (H) y polarización vertical (V)).

30

Se considera así el array alimentador subdividido en varios subarrays operando en polarización lineal doble, vertical (V) y horizontal (H), donde cada subarray genera un haz independiente para cada polarización lineal (V y H), operando en transmisión, recepción, o ambos modos. Como resultado, el reflectarray polarizador junto con el array alimentador dividido en subarrays, transmite, recibe, o transmite y recibe un número de haces reconfigurables igual a dos veces el número de subarrays, estando la mitad de ellos polarizados circularmente a derechas y la otra mitad polarizados circularmente a izquierdas.

35

Según una posible forma de realización de la antena multi-haz reconfigurable:

- 5 - el reflectarray polarizador comprende al menos una segunda capa de dieléctrico, con grupos de elementos conductores impresos sobre su superficie, dispuestos en las celdas de la retícula regular definida para la primera capa de dieléctrico, y;
- 10 - en cada celda (24, 26, 27, 60) de la retícula regular, los elementos conductores en la primera capa de dieléctrico están configurados según unas dimensiones y una orientación para controlar de forma independiente la fase de cada componente del campo electromagnético reflejado en una primera banda de frecuencias, mientras que los elementos conductores en la segunda capa de dieléctrico están configurados según unas dimensiones y una orientación para controlar de forma independiente la fase de cada componente del campo
- 15 electromagnético en una segunda banda de frecuencias.

De esta forma, la antena puede generar haces reconfigurables de polarización circular en dos bandas de frecuencias. Para las antenas en satélites de comunicaciones, es habitual utilizar bandas de frecuencias distintas para transmitir (haces del enlace descendente) y para recibir

20 (haces del enlace ascendente) desde el satélite.

Según una posible forma de realización de la antena multi-haz reconfigurable, los elementos conductores de cada celda están dispuestos según al menos tres dipolos paralelos.

25 Así pues, y en los casos en los cuales el reflectarray polarizador comprende al menos dos capas de material dieléctrico con elementos conductores, los elementos conductores de cada celda de la primera capa de dieléctrico y los elementos conductores de cada celda correspondiente de la segunda capa de dieléctrico están dispuestos respectivamente según un primer conjunto de al menos tres dipolos paralelos orientados en una primera dirección y

30 según un segundo conjunto de al menos tres dipolos paralelos orientados en una segunda dirección, ortogonal a la primera dirección. Las dimensiones de los dipolos en cada dirección se realizan de manera que la diferencia de fases de las componentes de los campos eléctricos reflejados en la primera y segunda dirección sea igual a 90° , para transformar el campo de polarización lineal incidente en campo reflejado de polarización circular.

35

En una posible realización, para una misma capa de dieléctrico del reflectarray polarizador, los elementos conductores de cada celda están dispuestos según un primer conjunto de al menos tres dipolos paralelos orientados en una primera dirección y según un segundo conjunto de al menos tres dipolos paralelos orientados en una segunda dirección, ortogonal a la primera dirección. Las dimensiones de los dipolos en cada dirección se realizan de manera que la diferencia de fases de las componentes de los campos eléctricos reflejados en la primera y segunda dirección sea igual a 90° , para transformar el campo de polarización lineal incidente en campo reflejado de polarización circular.

El reflectarray polarizador puede comprender una geometría en forma de paraboloide.

Cuando el reflectarray polarizador tiene una geometría en forma de paraboloide, los elementos conductores de una misma capa de dieléctrico pueden estar dispuestos según un primer conjunto de al menos tres dipolos paralelos orientados según una dirección que forma 45° con respecto a la orientación de las celdas de la retícula regular. En este caso, las dimensiones se ajustan para introducir una diferencia de fase de 90° entre las componentes del campo electromagnético reflejado en las direcciones paralela y perpendicular a la dirección de los dipolos, para transformar el campo electromagnético de polarización lineal procedente del array alimentador en un campo electromagnético de polarización circular, realizándose en este caso el conformado del haz mediante la superficie parabólica del reflectarray.

Alternativamente a la geometría en forma de paraboloide, el reflectarray polarizador puede comprender una geometría seleccionada entre: plana, esférica o cilíndrica.

Una realización particular de antena con haces reconfigurables en polarización circular con reflectarray polarizador plano consiste en definir las fases para cada componente del campo eléctrico en la superficie del reflectarray polarizador plano y se ajustan las dimensiones y ángulos de giro de los grupos de elementos conductores en cada celda del reflectarray polarizador plano para colimar los haces procedentes del array alimentador, o para concentrar los haces recibidos por el reflectarray polarizador plano sobre el array alimentador, con las mismas características que en un reflector parabólico, pero manteniendo al mismo tiempo una diferencia de fase de 90° entre las dos componentes ortogonales de campo eléctrico para generar polarización circular. Estas condiciones permiten que el reflectarray polarizador genere haces colimados de polarización circular cuando es iluminado desde el array alimentador con un campo electromagnético de polarización lineal.

En cualquiera de las realizaciones preferentes descritas para la antena multi-haz reconfigurable, el reflectarray polarizador puede comprender capas dieléctricas adicionales, como capas de pegamento, separadores, o una capa dieléctrica externa para proteger los elementos conductores impresos, a modo de radomo.

En cualquiera de las realizaciones preferentes descritas, la antena puede estar construida con materiales cualificados para aplicaciones espaciales, tales como fibra de carbono pre-impregnada con resinas, Kapton recubierto de cobre, Kapton-Germanio recubierto de cobre, fibras de cuarzo pre-impregnadas con resinas de bajas pérdidas y adhesivos cualificados para aplicaciones de espacio, así como una combinación de los mismos.

De acuerdo con otro aspecto de la invención, se presenta un método para obtener una antena que desde una posición orbital geoestacionaria genera haces reconfigurables de alta directividad en polarización circular sobre una zona de cobertura previamente definida. La antena está formada por un reflectarray polarizador y un array alimentador que ilumina el reflectarray polarizador con un campo electromagnético en polarización lineal en una o varias bandas de frecuencia, cuyos haces se reconfiguran mediante el ajuste de las amplitudes y fases de los elementos radiantes del array alimentador. El reflectarray polarizador está formado por una superficie conductora y al menos una capa de material dieléctrico con grupos de elementos conductores impresos sobre su superficie, que se encuentran distribuidos sobre una retícula regular. El método de diseño comprende los siguientes pasos:

- a) Un primer paso de definición de las especificaciones de la antena, incluyendo la dirección central de radiación de la antena, la zona de cobertura máxima sobre la que se podrán reconfigurar los haces, las bandas de frecuencia de operación y las especificaciones de los diagramas de radiación.
- b) Un segundo paso de definición de la geometría de la antena, incluyendo el tamaño, la superficie y un punto focal para el reflectarray polarizador, y las dimensiones y posición del array alimentador. La geometría se define mediante coordenadas referidas a un sistema de coordenadas cartesianas rectangulares con ejes denominados X_c , Y_c y Z_c , coincidiendo el eje Z_c con la dirección central de radiación de la antena. Esta dirección se define como la dirección de radiación cuando se coloca un alimentador en el punto focal, teniendo en cuenta que el array alimentador no produzca bloqueo del campo radiado por el reflectarray polarizador.

- 5 c) A continuación, se define una retícula regular sobre la superficie del reflectarray polarizador. La retícula está formada por celdas de dimensiones próximas a media longitud de onda a la frecuencia central de operación de la antena. En este punto también se definen las fases en las celdas de la retícula, de manera que un alimentador colocado sobre el punto focal produzca un haz colimado en la dirección central de la zona de cobertura (definida como eje Z_c).
- 10 d) En este paso, se define y caracteriza el comportamiento electromagnético de las celdas del reflectarray polarizador. Dichas celdas están formadas por al menos una capa dieléctrica con grupos de elementos conductores, cuyos ángulos y dimensiones se ajustarán para variar la fase introducida por las celdas en cada componente del campo eléctrico reflejado.
- 15 e) El campo eléctrico tangencial incidente en cada celda de la retícula regular se descompone en dos componentes ortogonales sobre la superficie del reflectarray polarizador:
- 20 - Una primera componente en una primera dirección de manera que la fase de la componente de campo eléctrico tangencial reflejado en cada celda en esa primera dirección pueda controlarse variando al menos una de las dimensiones de los grupos de elementos conductores impresos en la celda.
- 25 - Una segunda dirección sobre la superficie del reflectarray polarizador, perpendicular a la primera dirección, de manera que la fase de la componente de campo eléctrico reflejado en esa segunda dirección pueda controlarse variando al menos una de las dimensiones de los grupos de elementos conductores impresos en la celda, siendo estas
- 30 dimensiones diferentes a las utilizadas para controlar la fase del campo eléctrico reflejado en la primera dirección.
- 35 f) Se define la fase que tiene que introducir cada celda del reflectarray polarizador en la componente de campo eléctrico según la primera dirección definida en el punto e) como el valor de la fase obtenida en el punto c) en cada celda. La fase que tiene que introducir esa celda en la componente de campo eléctrico según la segunda

dirección definida en el punto e) se obtiene mediante una diferencia de 90 grados respecto a la fase introducida en la componente de campo eléctrico en la primera dirección. Esta condición es necesaria para transformar el campo incidente de polarización lineal en campo reflejado de polarización circular.

5

g) Se ajustan las dimensiones de los grupos de elementos conductores en cada celda para que introduzcan los valores de fase obtenidos en el apartado f) para las componentes de campo eléctrico en las dos direcciones definidas en el apartado e). En este paso se tiene en cuenta el ángulo de incidencia en cada celda suponiendo un campo electromagnético radiado desde el punto focal del reflectarray polarizador definido en el punto c). Para ajustar las dimensiones, se emplea un simulador electromagnético que analiza el comportamiento de la celda del reflectarray polarizador en un entorno periódico.

10

h) Posteriormente se optimizan las dimensiones de los grupos de elementos conductores en cada celda para asegurar que la diferencia de fase entre las dos componentes de campo eléctrico tangencial en las dos direcciones definidas en el punto e) sea de 90° en las frecuencias que la antena utiliza para recepción y transmisión de información.

20

i) Una vez realizado el diseño del reflectarray polarizador en los pasos previos, se define un array activo que se coloca en un plano situado entre el punto focal definido en c) y el reflectarray polarizador, formado por un número de subarrays "NS". Cada subarray está formado por una agrupación de elementos radiantes con módulos de transmisión/recepción para operar en recepción, transmisión o en ambos modos simultáneamente, permitiendo un control de amplitud y fase en cada elemento radiante. Cada subarray genera dos haces independientes, uno en cada polarización lineal del campo electromagnético.

25

j) Se define un conjunto de "NC" configuraciones de haces que serán representativas de las posibles reconfiguraciones de diagramas de radiación que se pueden conseguir con la antena. Cada configuración de haces estará formada por NS haces con polarización circular a derechas y otros NS haces con polarización circular a izquierdas.

30

k) Se selecciona una de las configuraciones definidas en el paso j).

- l) Se asocia una pareja de haces de polarizaciones circulares ortogonales (a derechas y a izquierdas) a cada subarray.

5 Para cada uno de los subarrays del array alimentador asociado a una pareja de haces de polarización circular ortogonal se siguen los siguientes pasos:

- 10 m) Se definen las direcciones de radiación y las máscaras de diagrama de radiación especificando valores máximos y mínimos de ganancia de la antena en la región angular definida en el paso a) para los dos haces asociados a ese subarray en polarizaciones circulares a derechas y a izquierdas.

- 15 n) Se obtiene la distribución de fases para cada polarización lineal en el subarray que genera haces colimados en las direcciones definidas en el apartado m), empleando técnicas conocidas como el trazado de rayos o la óptica geométrica.

- 20 o) Se optimiza la distribución de amplitudes y fases para cada polarización lineal en el subarray, de manera que la antena genere un haz en cada polarización circular (a derechas y a izquierdas) que cumpla con las especificaciones de los diagramas de radiación para dichos haces definidas en el apartado m). Se emplean técnicas conocidas de optimización, como MINIMAX, técnicas de gradiente, o algoritmos genéticos, que optimicen para cada polarización las amplitudes y fases de cada elemento del subarray para que los diagramas de radiación de la antena producidos por dicho subarray en las dos polarizaciones circulares ortogonales (a derechas y a izquierdas) se ajusten lo mejor posible a las máscaras de especificaciones definidas en el apartado m).

- 30 p) Se calculan los diagramas de radiación mediante simulación de los elementos del array alimentador y del reflectarray polarizador para los dos haces generados por el subarray. Se comparan los diagramas calculados con las máscaras de especificaciones de cada haz en polarización circular definidas en m).

- 35 q) Si no se cumplen las especificaciones de alguno de los dos haces generados por el subarray, se vuelven a optimizar las amplitudes y fases de los elementos radiantes del subarray, repitiendo los pasos o) y p) hasta cumplir las especificaciones.

- r) Una vez terminada la optimización, se obtienen las tensiones de control en cada uno de los elementos del subarray para generar las amplitudes y fases obtenidas en el punto o).

5

- s) Se repiten los pasos de m) a r) para cada uno de los subarrays, hasta llegar al último subarray.

10

- t) Finalmente, se deben repetir los puntos desde k) a s) para cada una de las configuraciones de diagramas de radiación que se hayan definido.

La aplicación fundamental de esta invención es en antenas embarcadas en satélites de comunicaciones en órbita geoestacionaria para transmitir y recibir datos a alta velocidad entre el satélite y usuarios fijos o móviles que se encuentran en diferentes zonas geográficas, para acceso a “internet” de banda ancha por satélite. La gran ventaja que presenta esta antena es que permite una alta flexibilidad en la reconfiguración de las zonas de cobertura que puede realizarse de forma sencilla desde el satélite y tantas veces como sea necesario durante el tiempo de vida útil del satélite.

15

Este tipo de antena con haces reconfigurables en polarización circular tiene un importante campo de aplicación en la industria espacial como alternativa a las antenas de reflectores embarcados en satélites que proporcionan coberturas no reconfigurables, y a las antenas tipo arrays activos de grandes dimensiones en polarización circular, que son muy voluminosos, con costes muy elevados y que presentan limitaciones de ancho de banda, por su funcionamiento en polarización circular.

25

La antena considerada como ejemplo de realización consta de un array activo en polarización lineal doble de dimensiones reducidas (en torno a 50 cm) y un reflectarray polarizador de un tamaño similar a las actuales antenas tipo reflector (en torno a 2 metros). El array activo puede estar construido en tecnología de estado sólido, que se encuentra actualmente muy desarrollada, fundamentalmente por su utilización en sistemas radar y de comunicaciones terrestres en las bandas de frecuencias milimétricas. El reflectarray polarizador puede tener una superficie plana o cóncava (esférica, parabólica), que facilite y reduzca los tiempos y costes de fabricación. Se pueden utilizar superficies convencionales como un paraboloide, de manera que pueda reutilizarse el mismo molde para muchas misiones, a diferencia de lo que

30

35

ocurre actualmente en los reflectores convencionales conformados, que requieren el diseño y fabricación de moldes específicos para cada cobertura. Por otro lado, el uso de un reflectarray polarizador plano reduce el volumen de la antena plegada para su montaje en el lanzador y facilita notablemente los mecanismos de despliegue, que serán similares a los empleados en paneles solares.

Actualmente, los reflectores y arrays activos embarcados en satélites de comunicaciones utilizan una antena diferente para generar los haces en cada polarización. A diferencia de las antenas convencionales, la antena propuesta permite generar con una única antena haces independientes en polarización circular ortogonal (a derechas y a izquierdas) en cada frecuencia, reduciendo a la mitad el número de antenas que se necesitan en el satélite para generar una determinada cobertura. La antena propuesta permite simplificar el conjunto de antenas, reduciendo el volumen y peso de los satélites de comunicaciones geoestacionarios, y tiene un gran interés en los satélites de última generación denominados "SmallGEO", que se caracterizan por sus mejores prestaciones y costes más reducidos que los satélites tradicionales.

Breve descripción de las figuras

Se describen aquí de forma breve una serie de figuras, de ejemplos no limitativos, que ayudan a comprender mejor la invención:

La Figura 1 muestra una perspectiva de una antena con haces reconfigurables de alta directividad en polarización circular formada por un reflectarray polarizador y un array alimentador.

La Figura 2 muestra una perspectiva de una antena con haces reconfigurables de alta directividad en polarización circular formada por un reflectarray polarizador parabólico y un array alimentador.

La Figura 3 muestra una vista lateral de una antena con haces reconfigurables de alta directividad en polarización circular formada por un reflectarray polarizador plano y un array alimentador.

- 5 La Figura 4 muestra una perspectiva de una agrupación de elementos radiantes denominada “array” subdividida en “subarrays”, de manera que cada subarray transmite y recibe haces independientes en polarización vertical (V) y horizontal (H).

- 10 La Figura 5A muestra una perspectiva de un reflector polarizador formado por una capa de dieléctrico sobre una superficie parabólica conductora con celdas de tres dipolos paralelos girados 45° respecto de la retícula regular.

La Figura 5B muestra una vista frontal de las celdas del reflector polarizador.

- 15 La Figura 5C muestra vistas en perspectiva y expandida de las celdas del reflector polarizador formadas por un plano de masa conductor, una capa de dieléctrico con tres dipolos paralelos girados 45° respecto de los ejes de la celda y una segunda capa de dieléctrico.

- 20 La Figura 6A muestra la diferencia de fase entre las componentes de campo eléctrico paralela y perpendicular a los dipolos para un reflector polarizador parabólico de 1.8 m calculada a 20 GHz.

- 25 La Figura 6B muestra la diferencia de fase entre las componentes de campo eléctrico paralela y perpendicular a los dipolos para un reflector polarizador parabólico de 1.8 m calculada a 30 GHz.

La Figura 6C muestra la relación axial en función de la frecuencia para un reflector polarizador parabólico de 1.8 m.

La Figura 7A muestra una vista frontal de un reflectarray polarizador plano formado por celdas desfasadoras con grupos de dipolos paralelos.

La Figura 7B muestra un detalle de las celdas del reflectarray polarizador plano formadas por grupos de dipolos paralelos impresos sobre dos láminas dieléctricas apiladas sobre un plano conductor.

Las Figuras 8A y 8B muestran valores de fase del coeficiente de reflexión a las frecuencias de 19,7 GHz y 29,5 GHz respectivamente, para la componente de campo en la dirección X, en función de las longitudes de los dipolos en cada capa para las celdas de "reflectarray" mostradas en la Figura 7B.

La Figura 8C muestra valores de fase del coeficiente de reflexión a la frecuencia de 19,7 GHz para la componente de campo en la dirección X, en función de las longitudes de los dipolos en las direcciones X e Y situados en la capa A para las celdas de "reflectarray" mostradas en la Figura 7B.

La Figura 8D muestra valores de fase del coeficiente de reflexión a la frecuencia de 29,5 GHz para la componente de campo en la dirección X, en función de las longitudes de los dipolos en las direcciones X e Y situados en la capa B para las celdas de "reflectarray" mostradas en la Figura 7B.

Las Figuras 9A y 9B muestran la distribución de fases a la frecuencia de 19,7 GHz en las celdas de la retícula regular del reflectarray polarizador plano para las componentes de campo X (9A) e Y (9B), respectivamente.

Las Figuras 9C y 9D muestran la distribución de fases a la frecuencia de 29,5 GHz en las celdas de la retícula regular del reflectarray polarizador plano para las componentes de campo en las direcciones X (9C) e Y (9D), respectivamente.

Las Figuras 9E y 9F muestran las diferencias de fase entre las componentes de campo eléctrico en las direcciones X e Y a las frecuencias de 19,7 GHz (9E) y 29,5 GHz (9F), respectivamente.

5 La Figura 10 muestra una vista frontal de un reflectarray plano polarizador formado por celdas desfasadoras constituidas por dos grupos de dipolos paralelos situados sobre una retícula girada 45° respecto del eje Y.

10 La Figura 11 muestra unas zonas de cobertura sobre Europa y Norte de África, definidas por un ángulo sólido de 6° (línea discontinua), 8° (línea de puntos) y 10° (línea continua).

La Figura 12A muestra una perspectiva de un array alimentador que se encuentra subdividido en 4x4 subarrays, de manera que cada subarray transmite y recibe haces independientes en polarización vertical (V) y horizontal (H).

15

La Figura 12B muestra una perspectiva de un array alimentador que se encuentra subdividido en 4 subarrays de mayor tamaño para formar 8 haces reconfigurables de alta directividad.

20 La Figura 12C muestra una perspectiva de un array alimentador que se encuentra subdividido en 3x2 subarrays, de manera que cada subarray transmite y recibe haces independientes en polarización vertical (V) y horizontal (H).

25 La Figura 13A muestra un ejemplo de ocho haces reconfigurables proyectados sobre la superficie terrestre desde un satélite geoestacionario situado en 25° Este para África y Oriente Próximo.

La Figura 13B muestra un ejemplo de ocho haces reconfigurables proyectados sobre la superficie terrestre desde un satélite geoestacionario situado en 25° Este para Europa.

La Figura 14A muestra la distribución de fases para la polarización del campo eléctrico vertical (V) en los elementos radiantes de los cuatro subarrays centrales (SA1, SA2, SA3 y SA4) de la Figura 12A para generar los haces mostrados en la Figura 13a con polarización circular a derechas.

5

La Figura 14B muestra la distribución de fases para la polarización del campo eléctrico horizontal (H) en los elementos radiantes de los cuatro subarrays centrales (SA1, SA2, SA3 y SA4) de la Figura 12A para generar los haces mostrados en la Figura 13A con polarización circular a izquierdas.

10

La Figura 15 muestra los contornos de los 8 haces en polarización circular proyectados sobre la superficie terrestre desde un satélite geoestacionario situado en la posición orbital longitud 25°E, correspondientes a las fases mostradas en la Figuras 14A y en la Figura 14B para los subarrays SA1, SA2, SA3 y SA4.

15

Las Figuras 16A y 16B muestran la distribución de fases para la polarización del campo eléctrico V y H, respectivamente, en los subarrays de mayor tamaño (SA'1, SA'2, SA'3 y SA'4) mostrados en la Figura 12B para generar 8 haces reconfigurables de alta directividad en las direcciones mostradas en la Figura 13A.

20

La Figura 17 muestra los contornos de 8 haces de alta directividad (50 dBi) en polarización circular proyectados sobre la superficie terrestre desde un satélite geoestacionario situado en la posición orbital longitud 25°E, correspondientes a las fases mostradas en la Figura 16A y en la Figura 16B para los subarrays SA'1, SA'2, SA'3 y SA'4.

25

Las Figuras 18A y 18B muestran la distribución de fases para la polarización del campo eléctrico V y H, respectivamente, en los subarrays SA1, SA2, SA5 y SA6 mostrados en la Figura 12C para generar los 8 haces mostrados en la Figura 13B.

30 La Figura 19 muestra los contornos de 8 haces en polarización circular proyectados sobre la superficie terrestre desde un satélite geoestacionario situado en la posición orbital longitud

25°E, correspondientes a las fases mostradas en la Figura 18A y en la Figura 18B para los subarrays SA1, SA2, SA5 y SA6.

La Figura 20 muestra un diagrama de flujo de la técnica de diseño para la antena con haces reconfigurables en polarización circular formada por un reflectarray polarizador y un array alimentador.

Descripción detallada

A continuación, se proponen varias formas de realización para la antena multi-haz reconfigurable objeto de la presente invención.

Estas formas de realización ejemplifican antenas con haces reconfigurables de alta directividad en polarización circular para transmitir y recibir señales electromagnéticas en unas bandas de frecuencia definidas, una banda para transmisión y otra para recepción, que incluyen una agrupación de celdas reflectantes o reflectarray polarizador (10) y una agrupación de elementos radiantes o array activo empleado como alimentador, al que se le denomina array alimentador (11).

Tal y como se muestra en la Figura 1, el reflectarray polarizador (10) y el array alimentador (10) se encuentran ensamblados mediante una estructura (12) para asegurar la posición correcta de ambos componentes y la rigidez mecánica necesaria. El array alimentador (11) está formado por una agrupación de elementos radiantes (30) que transmite señales electromagnéticas en polarización lineal o señales de polarización lineal (13), en una banda de frecuencia previamente definida (banda de transmisión) hacia el reflectarray polarizador (10), cuando opera en transmisión, y que recibe señales electromagnéticas de polarización lineal, desde el reflectarray polarizador (10) en otra banda de frecuencia previamente definida (banda de recepción), cuando opera en recepción. Las señales de polarización lineal (13) se denotan como "LP", por las iniciales del término en inglés (Linear Polarization).

El reflectarray polarizador (10) consiste en una superficie conductora recubierta de una o varias capas de dieléctrico con pequeños elementos conductores (14) que transforman las señales de polarización lineal (13) procedentes del array alimentador (11) en haces directivos de polarización circular (15, 16, 17).

5

La superficie del reflectarray polarizador (10) se ha considerado con una forma arbitraria, donde se ha dibujado con líneas y puntos los cortes de la superficie con los planos vertical (18) y horizontal (19), para mostrar que se trata de una forma no regular.

- 10 Las señales de polarización circular se denotan en la Figura 1 como “CP”, por las iniciales del término en inglés (Circular Polarization). Se denomina polarización circular debido a que el vector de campo eléctrico va girando a la vez que se propaga. Dicho giro puede ser en sentido de las agujas del reloj, en cuyo caso se denomina polarización circular a izquierdas (o LHCP, iniciales del término en inglés “Left Handed Circular Polarization”), o en sentido contrario a las
- 15 agujas del reloj, que se denomina polarización circular a derechas (o RHCP, iniciales del término en inglés “Right Handed Circular Polarization”). En la Figura 1 se muestra un haz de polarización LHCP (16) y otro de polarización RHCP (17).

- La superficie del reflectarray polarizador (10) puede ser parabólica (como en la Figura 2),
- 20 plana (como en la Figura 3) o cualquier tipo de superficie previamente definida, como se ha mostrado en la Figura 1.

- El reflectarray polarizador (10) puede tener una superficie parabólica (Figura 2) para colimar los campos procedentes del array alimentador (11) y generar haces de alta directividad, en
- 25 cuyo caso los elementos conductores impresos en su superficie únicamente deben transformar las señales de polarización lineal (13) incidentes en campos de polarización circular, y los elementos conductores (14) genéricos de la Figura 1 pueden ser sustituidos por unos elementos formados por tres dipolos paralelos (20, 25). Si la superficie del reflectarray polarizador es plana (Figura 3), los elementos conductores (14) impresos en su superficie
- 30 deben producir una distribución de fase que enfoque las señales de polarización lineal (13) incidentes y además las convierta a polarización circular. Los haces directivos de polarización

circular (15, 16, 17) radiados por el reflectarray polarizador (10) pueden ser reconfigurados mediante el ajuste dinámico de las amplitudes y fases de los elementos radiantes que forman el array alimentador (11).

- 5 La antena multi-haz reconfigurable, objeto de la presente invención, permite generar un conjunto de haces de alta directividad (los haces directivos de polarización circular (15, 16, 17)) en polarización circular para generar una cobertura sobre la Tierra desde un satélite de comunicaciones, que puede reconfigurarse para realizar una asignación óptima de los recursos radioeléctricos, en función de las necesidades de servicios de comunicación, en una
- 10 zona de cobertura máxima que cubre una amplia extensión de la zona visible de la Tierra desde la posición orbital del satélite geoestacionario.

- La antena multi-haz reconfigurable debe operar en polarización circular para que los usuarios puedan acceder a las comunicaciones sin necesidad de orientar la antena, un aspecto de gran
- 15 importancia en el caso de usuarios móviles (en trenes, automóviles, aviones o barcos). La antena multi-haz reconfigurable, además de como antena emisora, también puede operar como antena receptora, recibiendo señales en polarización circular de diferentes direcciones, que son convertidas a polarización lineal en el reflectarray polarizador (10) y concentradas sobre la superficie del array alimentador (11), que envía la señal a los módulos receptores
- 20 para el procesamiento de las señales recibidas.

- La presente invención permite diseñar antenas para generar una cobertura multi-celular desde un satélite y reconfigurar la cobertura dependiendo de las necesidades de la demanda de servicios.

25

- Para una realización preferente de la invención, se considera que el array alimentador (11) comprende un número de elementos radiantes (30) igual a $NEX \times NEY$, distribuidos en una retícula rectangular con NEY filas y NEX columnas; donde cada uno de los elementos radiantes (30) tiene un control independiente de amplitud y fase para las dos polarizaciones
- 30 lineales del campo, que se denominan vertical (V) y horizontal (H), tanto si opera en transmisión como en recepción.

En la Figura 3 se ha considerado un array formado por 64 elementos radiantes ($NEX=NEY=8$) que operan en transmisión y en recepción en doble polarización lineal. En las simulaciones que se presentan en este apartado se han tomado 4096 elementos radiantes ($NEX = NEY = 64$), pero estos números pueden variar según las especificaciones de los diagramas de radiación y su capacidad de reconfiguración.

El array alimentador (11) mostrado en la Figura 3 se ha dividido en 16 (4x4) subarrays que operan de forma independiente en transmisión y recepción, de manera que cada uno de los subarrays es capaz de generar dos haces independientes en cada polarización lineal (V y H). Es decir, se pueden generar 32 haces reconfigurables independientes, 16 de ellos en polarización V y otros 16 en la polarización ortogonal H, que iluminan el reflectarray polarizador (10).

En la Figura 3, para evitar una aglomeración de haces y así facilitar la comprensión de la invención, únicamente se han dibujado los haces correspondientes a dos de los subarrays, dos haces en polarización V (32, 34) que el reflectarray polarizador (10) convierte en dos haces de polarización circular a derechas o RHCP (17, 21) y otros dos haces en polarización H (33, 35) que el reflectarray polarizador (10) convierte en haces de polarización circular a izquierdas o LHCP (16, 22).

La división del array activo en subarrays puede reconfigurarse, dependiendo de las especificaciones de antena impuestas por la misión requerida de haces reconfigurables. Teniendo en cuenta que cada subarray proporciona una pareja de haces reconfigurables independientes en polarizaciones ortogonales, si se requieren pocos haces reconfigurables de mucha ganancia, se debe emplear un número pequeño de subarrays. Por el contrario, se emplea un mayor número de subarrays para aumentar el número de haces reconfigurables, pero en este caso los subarrays de menores dimensiones proporcionan haces de menor directividad y con menor precisión de conformado.

En la Figura 4 se muestra un ejemplo de array alimentador (11) que se ha dividido en un número genérico "M" de subarrays (subarrays activos). Los subarrays se identifican como SA1 (40), SA2 (41), ...SAn (42),...SAM (43). Cada uno de los subarrays activos de la Figura 4 radia un campo electromagnético reconfigurable en la banda de transmisión que puede ajustarse en tiempo real de forma independiente para cada polarización lineal del campo transmitido (H y V).

En la Figura 4 se han numerado únicamente dos haces de polarización V (32, 34) y otros dos de polarización H (33, 35), que coinciden con los de la Figura 3, para evitar una aglomeración de referencias y así facilitar la comprensión de la invención. El array alimentador (11) puede operar en transmisión, recepción, o en ambos modos. Si el array alimentador (11) opera en recepción, cada uno de los subarrays se reconfigura para recibir señales electromagnéticas en la banda de recepción de la antena en una determinada dirección del espacio, siendo las direcciones y los márgenes angulares en los que se reciben señales en cada polarización, ajustables en tiempo real mediante los valores de fase en los elementos radiantes (30) de cada subarray (40, 41, 42, 43), que se controlan de forma independiente para cada polarización lineal del campo recibido. Es decir, el array alimentador (11) opera de forma independiente en las dos polarizaciones lineales de campo eléctrico (H y V). Si el array alimentador (11) opera en transmisión y recepción, puede reconfigurarse para transmitir haces diferentes en cada polarización y para recibir señales procedentes de diferentes direcciones en cada polarización, realizando una discriminación espacial según la polarización del campo electromagnético recibido.

Cuando la antena multi-haz reconfigurable opera en transmisión (emisión de señales), los campos electromagnéticos radiados por cada uno de los subarrays en cada polarización V (32, 34) y H (33, 35) inciden sobre la superficie del reflectarray polarizador (10). Dicho reflectarray polarizador (10) está formado por una superficie conductora, que está recubierta de una o varias capas de material dieléctrico con elementos conductores (14; 20, 25) impresos en la superficie de al menos una capa, cuyas dimensiones se ajustan para controlar las fases del campo electromagnético reflejado de forma independiente para cada componente del campo.

Aparte de estas capas de material dieléctrico, el reflectarray polarizador (10) puede tener otras capas estructurales (23) por detrás de la superficie conductora, para proporcionar la rigidez mecánica necesaria.

- 5 Los elementos conductores (14; 20, 25) impresos en al menos una capa dieléctrica del reflectarray polarizador (10) se encuentran distribuidos regularmente en unas celdas (24, 26, 27) que resultan de definir una retícula regular (28) sobre la superficie del reflectarray polarizador (10). Esta retícula regular (28) se ha representado únicamente en una pequeña zona elíptica para su mejor visualización.

10

En la Figura 1 y en la Figura 2 no se han incluido todas las referencias de los elementos conductores impresos que contiene el reflectarray polarizador (10) para evitar una aglomeración de referencias y así facilitar la comprensión de la invención.

- 15 La división de la superficie del reflectarray polarizador (10) en celdas (24, 26, 27) casi-periódicas se realiza para poder analizar y diseñar el reflectarray polarizador (10) mediante la caracterización de las celdas resultantes. Cada celda (24, 26, 27) comprende uno o más elementos conductores (14; 20, 25) impresos en una o más capas de sustrato dieléctrico sobre una superficie conductora común a todas las celdas. Cuando el campo
20 electromagnético procedente de los elementos radiantes (30) que constituyen el array alimentador (11) incide sobre una de estas celdas (24, 26, 27), se calcula de forma convencional el campo reflejado localmente en dicha celda, suponiendo que se encuentra en un entorno periódico, para tener en cuenta el acoplo de campos electromagnéticos con los elementos conductores de las celdas colindantes. El desfase producido en el campo
25 reflejado por cada celda se controla con las dimensiones de los elementos conductores (14; 20, 25) contenidos en la celda (24, 26, 27).

- En una primera realización de la invención, mostrada en la Figura 2, la superficie del reflectarray polarizador (10) es parabólica, con objeto de conseguir haces directivos por el
30 efecto de curvatura de la superficie, de igual forma que en los reflectores parabólicos convencionales. En este caso, la única función que tiene que realizar el reflectarray

polarizador (10) es la de convertir el campo incidente (señales de polarización lineal (13)) en un campo reflejado de polarización circular, sin tener que realizar ninguna corrección adicional sobre el campo reflejado, por lo que puede denominarse “reflector polarizador”, ya que su operación es similar a la de un reflector que polariza el campo para generar polarización circular.

La Figura 5A muestra un reflector polarizador parabólico, cuya superficie es un paraboloides con el vértice situado en el origen de un sistema de coordenadas cartesianas rectangulares definido por los ejes X_c , Y_c y Z_c , y su foco (50) sobre el eje Z , que es el eje del paraboloides. Las celdas desfasadoras (24, 26, 27) están formadas por tres dipolos (51, 52, 53) paralelos colocados formando un ángulo de 45° con respecto a la dirección horizontal definida en cada celda (27) de la retícula (28). La Figura 5B muestra la vista frontal de una celda genérica, denominada “i” del reflectarray polarizador (10) parabólico, que se considera plana y situada en el plano tangente a la superficie parabólica en el punto central de la celda, los tres dipolos conductores y el sistema de referencia utilizado para la celda “i”, formado por los ejes X_i , Y_i .

Los 3 dipolos (51, 52, 53) conductores de cada celda “i” se caracterizan por sus longitudes (L_{1i} y L_{2i} , siendo L_{1i} la longitud de los dos dipolos laterales), las anchuras (w_1 y w_2 , siendo w_1 la anchura de los dos dipolos laterales) y separación entre dipolos S (medidas de centro a centro). Nótese que las anchuras y separación son idénticas en todas las celdas, mientras que las longitudes de los dipolos varían de celda a celda. Los dipolos laterales (51, 53) tienen las mismas dimensiones, con el fin de mantener simetría con respecto al dipolo central (52).

La Figura 5C muestra la perspectiva de una celda genérica del reflectarray polarizador (10), considerada plana, y una vista expandida para mostrar con claridad las capas de las que se compone. En el ejemplo considerado, las celdas están compuestas por dos capas dieléctricas (54, 55) sobre una superficie conductora (56). El dieléctrico superior (55) es un sustrato flexible Rogers Rflex3000, con espesor $h_B = 0,05$ mm y propiedades eléctricas $\epsilon_B = 2,9$ y $\tan\delta_B = 0,0025$. Esta capa de sustrato actúa como una capa protectora (los dipolos se imprimirían en su cara interior) y se encuentra pegado a la primera capa de dieléctrico (54) colocada sobre la superficie conductora (56) del reflectarray polarizador (10). La capa A está formada por una lámina de foam de 3mm de espesor (Divinycell-HT81) con constante dieléctrica $\epsilon_A = 1.09$ y

tangente de pérdidas $\tan\delta A = 0.0005$. Nótese que se ha definido un segundo sistema de referencia (ejes X_i' e Y_i') mediante una rotación de 45° en el plano X_i - Y_i de los ejes de la celda X_i e Y_i , de modo que el eje X_i' está orientado en la misma dirección que los dipolos (51, 52, 53), y el eje Y_i' es ortogonal a los dipolos (51, 52, 53).

5

A continuación se explica el principio de funcionamiento de las celdas desfasadoras (24, 26, 27) que constituyen el reflectarray polarizador (10) cuando la antena opera en transmisión: Suponiendo que el campo electromagnético de polarización horizontal (H) procedente de cada uno de los elementos radiantes (30) del array alimentador (11) incide sobre cada celda desfasadora (24, 26, 27) del reflector polarizador (con el campo eléctrico en la dirección del eje X_i de la celda), dicho campo eléctrico incidente puede descomponerse en dos componentes ortogonales de igual amplitud, una en la dirección de los dipolos impresos (eje X_i') y la otra con signo negativo en la dirección ortogonal a los dipolos (eje Y_i'), como se muestra en la Figura 5B. Las longitudes de los dipolos impresos se ajustan para proporcionar una diferencia de fase de -90° entre la componente de campo eléctrico reflejado en la dirección X_i' de los dipolos (controlada por los dipolos) y la fase de la componente de campo eléctrico reflejado ortogonal a los dipolos (en la dirección Y_i'), que depende únicamente de las capas de material dieléctrico (54, 55) y no de los dipolos conductores (51, 52, 53). De esta forma, el campo electromagnético reflejado en cada celda del reflectarray polarizador (10) tiene una polarización circular a izquierdas. De forma similar, cuando el campo procedente de los elementos radiantes (30) del array alimentador (11) tenga una polarización lineal vertical (V), con el campo eléctrico en la dirección del eje Y_i de las celdas, la diferencia de fase de -90° entre las componentes de campo reflejado introducida por los dipolos hace que el campo reflejado sea de polarización circular a derechas. Como resultado de las contribuciones de todas las celdas desfasadoras (24, 26, 27) del reflector polarizador, la antena genera dos haces de polarizaciones circulares ortogonales independientes, asociados a cada uno de los subarrays que operan en polarización lineal doble. Por lo tanto, el resultado será generar un número de haces reconfigurables igual a dos veces el número de subarrays M definido en el array alimentador (11).

30

Cuando la antena opera en modo recepción, las celdas desfasadoras (24, 26, 27) del reflector polarizador reciben señales electromagnéticas de polarización circular, a derechas o a izquierdas. En este caso, el campo eléctrico de polarización circular se descompone en dos

componentes, una paralela a los dipolos impresos (eje X_i') y la otra perpendicular a dichos dipolos (eje Y_i'), existiendo una diferencia de fase entre ambas componentes de $\pm 90^\circ$ (dependiendo de si la polarización es a izquierdas o derechas). Esta diferencia de fase de $\pm 90^\circ$ entre ambas componentes de campo es eliminada por los dipolos impresos, dando lugar

5 un campo electromagnético de polarización H o V, que es dirigido a los subarrays (40, 41, 42) que constituyen el array alimentador (11), y en los correspondientes módulos receptores se realiza el procesamiento de la señal, con técnicas convencionales para amplificar, demodular, decodificar y recuperar la información recibida por la antena.

- 10 La directividad de los haces reconfigurables se puede aumentar con el tamaño del reflector polarizador (reflectarray polarizador (10)), pero a costa de reducir la región geográfica donde los haces pueden proporcionar cobertura.

A modo de ejemplo, se ha considerado un reflector polarizador parabólico de 1.8 metros de

15 diámetro con una distancia focal de 2.0 metros. Considerando un alimentador situado en el foco del paraboloide, se han optimizado las dimensiones de los dipolos impresos (51, 52, 53) de manera que se genera una diferencia de fases entre las dos componentes del campo eléctrico reflejado de -90° en un rango de frecuencias suficientemente amplio, que en este caso va desde 19 GHz a 30 GHz.

20

Las Figuras 6A y 6B muestran la diferencia de fase entre la componente de campo eléctrico en la dirección de los dipolos y la componente sobre la superficie del paraboloide en la dirección ortogonal a los dipolos, que han sido calculadas mediante simulación electromagnética a las frecuencias de 20 GHz y 30 GHz, respectivamente. Para obtener una

25 conversión de polarización óptima, esta diferencia de fase debería de ser igual a 90° en todas las celdas del reflectarray parabólico y a todas las frecuencias de la banda de operación (en este caso de 20 a 30 GHz). Puede verse que las fases son muy próximas a -90° en prácticamente la totalidad de la superficie del reflectarray parabólico en las frecuencias consideradas (20 y 30 GHz). La pureza de la polarización circular obtenida por el reflector

30 parabólico polarizador se mide mediante el parámetro denominado relación axial, que es el cociente entre los ejes de la elipse que describe el campo eléctrico de polarización circular. En el caso ideal, el campo eléctrico de polarización circular describe una circunferencia y la

relación axial es la unidad, o medida en decibelios es de 0 dB. La Figura 6C muestra la relación axial en toda la banda de frecuencias. Puede verse que los niveles de relación axial obtenidos por simulación son inferiores a 1 dB en toda la banda de frecuencias.

5 En una segunda realización preferente de la presente invención, se considera un reflectarray polarizador (10) plano (Figura 3) que debe aumentar la directividad de los haces (32, 33, 34, 35) procedentes del array alimentador (11), cuando opera en transmisión, y además convertir los campos de polarización lineal doble en haces directivos reconfigurables (16, 17, 21, 22) de doble polarización circular. A diferencia de la realización anterior, el reflectarray plano
10 además de introducir la diferencia de fase de $\pm 90^\circ$ entre las dos componentes de campo, debe introducir una distribución de fases similar a como hace un reflectarray convencional con objeto de enfocar los haces y aumentar la directividad de la antena. Es decir, el reflectarray plano debe producir, con la distribución de fases, el mismo efecto que se producía en la realización anterior con la superficie parabólica, que es generar un haz de alta directividad.

15

Como se ha comentado anteriormente, la antena multi-haz reconfigurable puede operar simultáneamente en transmisión y recepción, empleando bandas de frecuencia diferentes, que estarán impuestas por la aplicación. Cuando la antena opera en recepción, recibirá señales de radiofrecuencia procedentes de diferentes zonas de la cobertura en polarización
20 circular, tanto a derechas como a izquierdas. La función que realizan las celdas desfasadoras del reflectarray polarizador (10) es la misma que hacían con la antena operando en transmisión. El campo eléctrico de polarización circular se descompone en dos componentes ortogonales que tienen una diferencia de fase de $\pm 90^\circ$ (dependiendo de si la polarización es a izquierdas o derechas). Esta diferencia de fase de $\pm 90^\circ$ entre ambas componentes de campo es
25 eliminada por los elementos conductores impresos, generando un campo electromagnético de polarización lineal, H o V, que es dirigido a los subarrays que constituyen el array alimentador (11). Sin embargo, en este caso las distribuciones de fase en la superficie del reflectarray plano han sido calculadas para recibir únicamente señales de unas direcciones específicas (alta directividad) y concentrar los campos reflejados por el reflectarray polarizador
30 (10) en los subarrays (40, 41, 42, 43) del array alimentador (11).

La configuración y operación del array alimentador (11) no cambia en nada en esta segunda realización. Sin embargo, las características del reflectarray polarizador (10) sí cambian considerablemente con respecto al reflector polarizador de la primera realización.

- 5 La Figura 7A muestra la vista frontal de un reflectarray polarizador (10) plano. En este caso, las celdas desfasadoras (24) del reflectarray polarizador (10) deben ser bastante más complejas y con más grados de libertad, para poder implementar cualquier distribución de fases en un rango superior a 360° para las dos componentes de campo eléctrico y operar de forma independiente en dos bandas de frecuencia, una para transmisión y otra para recepción,
- 10 suponiendo que la antena opera en ambos modos. Las celdas desfasadoras deben tener elementos conductores impresos en una o varias capas, cuya forma, orientación y dimensiones puedan ajustarse para conseguir el control de fase independiente en dos polarizaciones y dos bandas de frecuencia.
- 15 En una realización preferente para la configuración del reflectarray polarizador (10) plano, se consideran un nuevo tipo de celdas desfasadoras (60) del “reflectarray” mostradas en la Figura 7A, donde los elementos conductores (14) están formados por dipolos conductores impresos en una o varias capas para controlar la fase del campo reflejado de forma independiente en cada banda de frecuencias y en cada polarización. En el caso de reflectarray
- 20 polarizador (10) plano, se consideran unos ejes X e Y para todo el reflectarray. Los grupos de dipolos orientados según el eje X se utilizan para ajustar la componente del campo eléctrico reflejado según X, mientras que los dipolos orientados según el eje Y se emplean para ajustar la componente del campo eléctrico reflejado según Y. Las dimensiones de los dipolos se ajustan en todas las celdas (60) del “reflectarray”, empleando rutinas de optimización junto
- 25 con rutinas de simulación electromagnética para generar los haces de alta directividad en ambas bandas de frecuencia (transmisión y recepción) y para ambas componentes lineales del campo eléctrico incidente cuando son iluminadas por el campo electromagnético procedente del array alimentador (11). El reflectarray polarizador (10), además de producir haces colimados, debe convertir el campo electromagnético incidente (13) de cada
- 30 polarización lineal (V y H) en polarización circular (a derechas e izquierdas respectivamente) en las dos bandas de frecuencia. En esta realización se considera que los elementos radiantes del array alimentador (11) se encuentran rotados 45° , con respecto al eje vertical del array (Ya). En el modo de transmisión, el campo electromagnético radiado por los subarrays que

incide sobre las celdas del reflectarray polarizador (10) tiene su campo eléctrico tangencial a la superficie del reflectarray orientado en $+45^\circ$ para una polarización y -45° para la polarización lineal ortogonal. El campo eléctrico tangencial orientado en 45° en cada celda del reflectarray se descompone en dos componentes ortogonales, una en cada una de las direcciones de los grupos de dipolos (X e Y). Para generar haces de alta directividad en polarización circular, se ajustan las longitudes de los dipolos para obtener la distribución de fases requerida en las dos direcciones (X e Y) con una diferencia de fase de 90° .

La Figura 7B muestra una vista en perspectiva de un conjunto de cuatro celdas de “reflectarray”, que pueden ser empleadas en esta realización. Las celdas de “reflectarray” constan genéricamente de dos conjuntos ortogonales de cinco dipolos paralelos (61, 62, 63, 64, 65; 66, 67, 68, 69, 70) impresos en una capa dieléctrica inferior, denominada A (71), y dos conjuntos adicionales de tres dipolos paralelos (72, 73, 74; 75, 76, 77) apilados por encima de los primeros conjuntos e impresos en la parte superior de una segunda lámina de dieléctrico superior denominada B (78). El período, en este caso, se ha elegido como $P_x = P_y = 6,5 \text{ mm}$, que equivale a 0,66 veces la longitud de onda a la frecuencia central de la banda más alta (29,5 GHz). Este período asegura que no aparezcan lóbulos de difracción para ángulos de incidencia inferiores a 30° . En cada conjunto de 3 ó 5 dipolos, los dipolos laterales situados a ambos lados del central son de la misma longitud para mantener unos niveles bajos de radiación contrapolar. Nótese que las longitudes de los dipolos en la dirección del eje X, l_{A1} , l_{A2} , l_{A3} , l_{B1} , l_{B2} , se ajustan para controlar las fases de la componente de campo eléctrico en dirección X, mientras que las longitudes de los dipolos impresos en la dirección del eje Y, l_{A4} , l_{A5} , l_{A6} , l_{B3} , l_{B4} , se ajustan para controlar las fases de la componente de campo eléctrico en dirección Y. Este tipo de celdas permite un control de fase independiente en las frecuencias de transmisión (Tx) y recepción (Rx), basado en las longitudes de los dipolos: los dipolos de la capa superior, denominada B (78), no perturbarán la respuesta de fase a 19,7 GHz, ya que son más cortos que los de la capa inferior, mientras que los dipolos de la capa inferior A (71), se comportarán como un plano de masa a 29,5 GHz para los dipolos de la capa superior B. Por lo tanto, las longitudes de los dipolos se pueden ajustar primero en la capa inferior (71) para producir la fase requerida a 19,7 GHz para enfocar el haz e imponer una diferencia de fase de 90° para generar polarización circular, y luego, se ajustarían los de la capa superior (78) para proporcionar la fase requerida en la frecuencia superior de 29,5 GHz, incluyendo la diferencia de fase de 90° entre las componentes X e Y del campo eléctrico a la frecuencia superior para generar polarización circular.

Para demostrar que las celdas descritas tienen suficiente capacidad para introducir cualquier valor de fase en un rango superior a 360° y a la vez mantener una diferencia de fase entre las componentes de campo de 90° , se considera una celda como las mostradas en la Figura 7B en entorno periódico, con periodo $P_x = P_y = 6,5$ mm, dos capas de dieléctrico (Diclad 880) con constante dieléctrica $\epsilon_{rA} = \epsilon_{rB} = 2,17$ y tangente de pérdidas $\tan\delta_A = \tan\delta_B = 0,001$, y espesores para cada capa: $h_A = 1,5$ mm y $h_B = 1$ mm. Los conjuntos de dipolos orientados en las direcciones X e Y son idénticos, siendo la anchura de todos los dipolos igual a $w = 0,25$ mm, las separaciones entre los centros de los dipolos paralelos adyacentes en cada capa: $S_{xA} = S_{yA} = 0,5$ mm y $S_{xB} = S_{yB} = 1$ mm, y las relaciones entre las longitudes de los dipolos laterales y centrales de cada agrupación: $l_{A1} = 0,65 \cdot l_{A3}$, $l_{A2} = 0,8 \cdot l_{A3}$, $l_{A4} = 0,65 \cdot l_{A6}$, $l_{A5} = 0,8 \cdot l_{A6}$, siendo l_{A3} y l_{A6} las longitudes de los dipolos centrales en la capa inferior (71), y $l_{B1} = 0,8 \cdot l_{B2}$, $l_{B3} = 0,8 \cdot l_{B4}$, siendo l_{B2} y l_{B4} las longitudes de los dipolos centrales en la capa superior (78). Se calculan los valores de fase del coeficiente de reflexión suponiendo las celdas periódicas iluminadas por una onda plana cuando se varían las dimensiones de los dipolos de ambas capas ($l_{A3} = l_{A6} = l_A$ en la capa A, y $l_{B2} = l_{B4} = l_B$ en la capa B) de forma independiente, y los resultados se representan en la Figura 8A para la frecuencia de Tx (19,7 GHz) y en la Figura 8B para la frecuencia de Rx (29,5 GHz). Estas Figuras muestran que la fase a la frecuencia de 19,7 GHz es proporcional a las longitudes l_A de los dipolos de la capa A, mientras que la fase a la frecuencia superior (29,5 GHz) fundamentalmente depende de las longitudes l_B de la capa superior (77), como se había comentado anteriormente.

Estos resultados muestran que se pueden ajustar las longitudes de los dipolos en ambas capas para conseguir cualquier valor de fase de forma independiente a cada frecuencia, en un rango de 360° , y por lo tanto diseñar el reflectarray polarizador (10) para obtener una alta directividad en ambas frecuencias (19,7 y 29,5 GHz). Además, se pueden obtener las dimensiones que proporcionen un desfase de $\pm 90^\circ$ entre las componentes X e Y de campo eléctrico tangencial, que es la condición para convertir el campo incidente de polarización lineal en un campo reflejado de polarización circular. En la Figura 8C se muestra la fase del coeficiente de reflexión a las frecuencias de 19,7 GHz para la componente de campo en la dirección X (denominado R_{xx}) en función de las longitudes de los dipolos en las direcciones X ($l_{AX} = l_{A3}$) e Y ($l_{AY} = l_{A6}$), situados en la capa A. En la Figura 8D se muestra la fase del coeficiente de reflexión a la frecuencia de 29,5 GHz para la componente de campo R_{xx} en función de las longitudes de los dipolos en las direcciones X ($l_{BX} = l_{B2}$) e Y ($l_{BY} = l_{B4}$), situados en la capa B.

En ambas figuras puede verse como la fase aumenta (a valores más negativos) con la dimensión de los dipolos en dirección X en ambas frecuencias. En ambas Figuras se han marcado con una línea blanca con círculos negros los puntos que corresponden a una fase creciente idéntica a las dos componentes (X e Y) (lo que se utiliza en los reflectarrays convencionales), y también se han incluido las líneas marcadas con cuadrados y rombos, que corresponden a celdas del reflectarray polarizador (10) de la presente invención, que introducen un desfase de -90° (cuadrados) o $+90^\circ$ (rombos) en la fase de la componente Y respecto a la fase de la componente X del campo eléctrico tangencial. En dichas Figuras puede verse que, en ambas frecuencias, es posible conseguir cualquier valor de fase en un rango de 360° siguiendo estas líneas, es decir manteniendo la diferencia de fase de $\pm 90^\circ$ para generar polarización circular. Debido a la simetría de las celdas periódicas el comportamiento es similar para las fases del coeficiente de reflexión para la componente de campo eléctrico en dirección Y, que no se ha representado.

A modo de ejemplo, se ha considerado un reflectarray polarizador (10) plano formado por una superficie circular de 1.8 metros, que ha sido diseñado para emular el comportamiento del reflectarray polarizador (10) parabólico mostrado en la Figura 5A. Es decir, la distribución de fases que se ha implementado en la superficie del reflectarray debe producir un haz colimado, de forma similar a como la hace un reflector convencional, pero además debe mantener una diferencia de fase entre las dos componentes de campo eléctrico reflejado de 90° , que es la condición necesaria para convertir cada polarización lineal en polarización circular.

En la Figura 9A se muestra la distribución de fases en las celdas de la retícula regular del reflectarray polarizador (10) plano para las componentes de campo en la primera dirección, denominada en este caso como X y en la Figura 9B se muestra la distribución de fases en las celdas de la retícula regular del reflectarray polarizador (10) plano para las componentes de campo en la segunda dirección, denominada en este caso como Y, ambas a la frecuencia de 19.7 GHz. De forma similar, en las Figuras 9C y 9D se muestran las distribuciones de fases en el reflectarray polarizador (10) plano a 29,5 GHz para las componentes de campo según X e Y, respectivamente. Las longitudes de los dipolos en cada una de las celdas del reflectarray polarizador (10) plano se han optimizado, empleando un software de modelado electromagnético propio para implementar las distribuciones de fase para cada componente de campo eléctrico en la superficie del reflectarray mostradas en las Figuras 9A y 9B a la

frecuencia de 19.7 GHz y en las Figuras 9C y 9D a la frecuencia de 29,5 GHz. Una vez diseñado el reflectarray y obtenidas las dimensiones de los dipolos en todas las celdas del reflectarray, se calculan las fases para cada componente de campo eléctrico y se verifica con qué grado exactitud se cumple la condición de mantener una diferencia de 90° entre las dos componentes de campo. Las Figura 9E y 9F muestran las diferencias de fase entre las componentes de campo eléctrico en las direcciones X e Y a las frecuencias de 19,7 GHz y 29,5 GHz, respectivamente, obtenidas por simulación electromagnética. Puede verse que, para ambas frecuencias, la diferencia de fases entre ambas componentes del campo eléctrico se mantiene muy próxima a los 90° en la totalidad de las celdas del reflectarray, con errores inferiores a $\pm 5^\circ$.

Otra realización de la antena con haces reconfigurables de alta directividad consiste en girar 45° la retícula del reflectarray polarizador (10), como se muestra en la Figura 10. En este caso, el array alimentador (11) radia y recibe campos electromagnéticos en las direcciones X e Y del sistema de referencia, mientras que la retícula rectangular (28), las celdas (60) y los grupos de dipolos se encuentran rotados 45° , de manera que los grupos de dipolos situados en el centro de las celdas (60) forman un ángulo de -45° con el eje X, y los grupos de dipolos situados en las esquinas de las celdas (60) forman un ángulo de 45° con el eje X. De esta forma, el campo incidente de polarización vertical (V), con el campo eléctrico en dirección Y, se descompone en dos componentes en las direcciones de $\pm 45^\circ$. Las longitudes de los dipolos orientados en $+45^\circ$ y en -45° se ajustan para obtener un haz de alta directividad y a la vez mantener una diferencia de fase de 90° entre las dos componentes del campo eléctrico tangencial a la superficie del reflectarray (en las direcciones de $+45^\circ$ y -45° respecto al eje X), de manera que la polarización lineal V incidente se transforme en polarización circular a derechas, y la polarización horizontal (H) incidente se transforme en polarización circular a izquierdas. Cuando la antena opera en recepción, el campo electromagnético recibido en las direcciones definidas por los haces directivos para cada polarización circular se transformará en un campo de polarización lineal (vertical u horizontal) que será redirigido al subarray asociado a la dirección en la que se ha recibido el haz. Las celdas (60) de este reflectarray polarizador (10) son las mostradas en la Figura 7B con los mismos dipolos impresos. Esta implementación es muy similar a la anterior (mostrada en la Figura 7A), pero tiene la ventaja de que el array alimentador (11) radia en las polarizaciones convencionales, vertical y horizontal.

Una aplicación de interés se encuentra en las antenas multi-haz empleadas en satélites geoestacionarios para proporcionar una cobertura celular de acceso a “internet” de banda ancha con varios haces simultáneos que pueden ser reconfigurados dentro de una amplia zona sobre la superficie de la tierra vista desde el satélite. La Figura 11 muestra en línea discontinua la zona en la que podrían reconfigurarse los haces desde un satélite geoestacionario situado en la posición orbital de 25° Este, cuando la antena es capaz de reconfigurar sus haces dentro de un ángulo sólido de 6°. En este caso la antena ha sido orientada para poder dar una cobertura de haces reconfigurables sobre Europa. En caso de requerir una zona de reconfiguración de la cobertura más amplia, se puede considerar una reconfiguración dentro de un ángulo sólido de 8° o 10°, como se muestra en los círculos de la Figura 11 en línea de puntos y línea continua respectivamente.

En las simulaciones que se presentan a continuación, se ha considerado un reflector polarizador parabólico de 2 metros de diámetro, con una distancia focal de 2 metros, es decir la relación focal/diámetro (F/D) es igual a 1. El reflectarray se encuentra iluminado por un array alimentador (11) formado por NEX x NEY elementos radiantes que transmiten y reciben señales de radiofrecuencia en polarización lineal. El array alimentador (11) se puede subdividir en 16 (4x4) subarrays (40, 41, 42, 43), de manera que cada subarray puede generar diagramas de radiación independientes como se muestra en la Figura 12A. Con la subdivisión del array en 16 subarrays, se pueden generar 32 diagramas de radiación (32, 33, 34, 35) totalmente reconfigurables (mediante las amplitudes y fases en cada elemento radiante). Es decir, se obtendrían 16 configuraciones de campo radiado en polarización V (32, 34) y otras 16 en polarización H (33, 35). Nótese que únicamente se han numerado 4 de los 16 subarrays (40, 41, 42, 43) y 4 diagramas de radiación (32, 33, 34, 35) de los 32, por claridad en la figura. También puede dividirse el array alimentador (11) en otras configuraciones de subarrays de igual o distinto tamaño. Por ejemplo, se pueden combinar los 16 subarrays anteriores de 4 en 4, dando lugar a una división en 4 subarrays de mayor tamaño (SA'1, SA'2, SA'3 y SA'4), para generar 4 haces en polarización V (80, 82, 84, 85) y otros 4 en polarización H (81, 83, 85, 87), como se muestra en la Figura 12B. Los haces de polarización lineal (80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87), radiados por los subarrays de mayor tamaño iluminarán una mayor zona del reflectarray polarizador y permitirán generar haces de polarización circular (16, 17, 21 22) de mayor directividad y con mejor precisión de conformado. Otra configuración que se ha considerado es la mostrada en la Figura 12C que está formada por 6 subarrays (3x2) de menor tamaño.

El campo radiado por los subarrays del array alimentador (11) incidirá en la superficie del reflector parabólico polarizador (cuando opera en transmisión), y éste generará un haz (16, 17, 21, 22) de alta directividad en polarización circular por cada configuración de campo
5 incidente, resultando en 32 haces reconfigurables. De forma similar, cuando la antenna opera en recepción, el reflectarray polarizador (10) parabólico recibirá los campos electromagnéticos en ambas polarizaciones circulares (a derechas y a izquierdas) desde las zonas de cobertura definidas por los diagramas de radiación de la antenna en recepción, los transformará a polarización lineal y los dirigirá a los elementos radiantes de los correspondientes subarrays.
10 En cada subarray el campo electromagnético recibido será amplificado, filtrado y procesado, para pasar a las etapas siguientes del receptor encargadas de decodificar y extraer la información recibida.

En una primera realización, el reflectarray polarizador (10) se encuentra iluminado por un array
15 formado por 64 x 64 elementos radiantes que transmiten en la banda de 19,2 a 20,2 GHz y reciben en la banda de 29 a 30 GHz. Las dimensiones del array alimentador (11) son de 512 mm x 512 mm, donde los elementos radiantes del array se encuentran situados en una retícula cuadrada, con una periodicidad media de 8 mm x 8 mm. Esta periodicidad es 0,8 veces una longitud de onda en la frecuencia de recepción y de 0,53 veces la longitud de onda en
20 transmisión. En cada uno de los elementos radiantes se controla la amplitud y fase de forma independiente para cada polarización lineal, de manera que se pueden conseguir diagramas de radiación independiente en cada polarización, tanto en transmisión como en recepción.

Para demostrar las capacidades de la antenna propuesta, se ha considerado una antenna que
25 opera en transmisión (banda de 19,2 -20,2GHz) considerando las dimensiones descritas previamente y se han calculado los valores de las fases necesarias en los elementos radiantes de cada subarray para reconfigurar un conjunto de haces de alta directividad desde un satélite geoestacionario situado en 25º Este, en tres situaciones distintas:

- a) Antena con array alimentador (11) de 64x64 elementos radiantes agrupados en 16 subarrays capaz de generar 32 haces reconfigurables. Se representa los resultados para 8 haces en África y Oriente Próximo.
- 5 b) Antena con el mismo array alimentador (11) agrupado en 4 subarrays para generar 8 haces reconfigurables de alta directividad. Se representa los resultados para 8 haces en África y Oriente Próximo con mayor directividad.
- 10 c) Antena con array alimentador (11) de menores dimensiones (384mmx256mm) con 48x32 elementos radiantes agrupados en 6 (3x2) subarrays capaz de generar 12 haces reconfigurables. Para esta configuración se presentan dos conjuntos de haces: uno formado por 8 haces en Europa y el otro por los 8 haces definidos previamente para África y Oriente Próximo.
- 15 Por simplicidad, únicamente se han ajustado las fases de los elementos radiantes, considerando igual amplitud en todos ellos, pero la amplitud de las excitaciones es un grado de libertad adicional que se puede utilizar para mejorar las características de conformado y reconfiguración de los haces.
- 20 En el primer caso se considera un array alimentador (11) con 16 subarrays capaz de generar 32 haces reconfigurables, como el mostrado en la Figura 12A. Se han definido las direcciones y anchos de haz para generar una determinada cobertura. A modo de ejemplo, se han considerado 8 haces, 4 en polarización circular a izquierdas (90, 92, 94, 96) (representados con línea de puntos) y los otros 4 en polarización circular a derechas (91, 93, 95, 97)
- 25 (representados con línea discontinua), que dan cobertura a África y Oriente Próximo, como se muestra en la Figura 13A. En esta figura también se muestra con línea continua la zona de máxima cobertura, que en este caso se corresponde con un ángulo solido de 8º desde el satélite geoestacionario. Esta antena permite reconfigurar los 8 haces (90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97) y dirigirlos hacia Europa como se muestra en la Figura 13B.

A continuación, se define la geometría de la antena, que en este caso está definida por un reflectarray parabólico de 2 metros de diámetro con su foco situado en el punto de coordenadas (0, 0, 2000), estando las coordenadas en milímetros. El centro del reflector se encuentra en el punto de coordenadas (0, 1750, 508), y el array alimentador (11) de 512 mm x 512 mm tiene su centro situado en el punto de coordenadas (0, 321, 656) y con una inclinación sobre el eje Z de 33°.

Cada pareja de haces de polarización circular (a izquierdas y a derechas) mostrados en la Figura 13A se ha asociado a uno de los subarrays centrales de la Figura 12A, marcados como SA1, SA2, SA3 y SA4, y se ha calculado la distribución de fases en cada subarray. Ha de tenerse en cuenta que cada subarray puede implementar distribuciones distintas para cada polarización del campo radiado (o recibido), y por lo tanto puede generar haces distintos en polarizaciones ortogonales lineales, que posteriormente en el reflectarray polarizador (10) serán transformados en haces en polarizaciones circulares ortogonales (a izquierdas y a derechas). Por lo tanto, para cada subarray se definen dos distribuciones de fase, que generarán haces distintos en cada polarización. La Figura 14A muestra la distribución de fase de las excitaciones de todos los elementos de los subarrays SA1, SA2, SA3 y SA4 para polarización vertical (V), de manera que los haces generados en el reflectarray polarizador (10) asociados a esta distribución de fases y polarización en el array alimentador (11) estarán polarizados circularmente a derechas. De forma similar se calculan (mediante óptica geométrica) las distribuciones de fase en los 4 subarrays (SA1, SA2, SA3 y SA4) para polarización horizontal que deberán generar en el reflectarray polarizador (10) 4 haces en las direcciones deseadas y que estarán polarizados circularmente a izquierdas. Las distribuciones de fase correspondientes a dichos haces se muestran en la Figura 14B. Con objeto de poder identificar los haces generados por cada uno de los subarrays, estos han sido marcados como S1, S2, S3 y S4, como se muestra en la Figura 12A.

La Figura 15 muestra los 8 haces en polarización circular generados por la antena considerada, correspondientes a las fases en los elementos radiantes del array alimentador (11) presentadas en las Figuras 14A y 14B. En esta Figura se han representado los contornos a -4dB del máximo para cada haz sobre la superficie de la Tierra, con objeto de visualizar mejor la cobertura. Se ha calculado que la directividad aproximada de dichos haces de unos 43,5dBi. En este ejemplo, el subarray SA1 genera el haz H1I (90) polarizado circularmente a

izquierdas y el haz H1D (91) polarizado circularmente a derechas. De igual forma, el resto de los subarrays (SA2, SA3 y SA4) generan respectivamente los haces H2I (92), H3I (94) y H4I (96) de polarización circular a izquierdas (en línea de puntos) y los haces H2D (93), H3D (95) y H4D (97) de polarización circular a derechas (en línea discontinua).

5

En un segundo caso, se ha considerado la antena con el mismo array alimentador (11) agrupado en 4 subarrays de mayor tamaño (SA'1, SA'2, SA'3 y SA'4), como se muestra en la Figura 12B para generar 8 haces reconfigurables de alta directividad, en las mismas direcciones que en el caso anterior. Para este caso, se han calculado las fases en los elementos de los cuatro subarrays, y se muestran en la Figura 16A para polarización V y en la Figura 16B para polarización H. Los haces de alta directividad (90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97) se muestran en la Figura 17. Estos haces pueden reconfigurarse variando las distribuciones de fase en cada uno de los cuatro subarrays de mayor tamaño. En este caso, la directividad de los haces ha aumentado a 50 dBi.

15

Para demostrar la capacidad de reconfiguración de los haces de la antena considerada en esta realización de la presente invención, se considera un tercer caso, en el que el array alimentador (11) tiene un tamaño más reducido (384mmx256mm) y está formado por 48 x 32 elementos radiantes agrupados en 6 (3x2) subarrays, tal y como se muestra en la Figura 12C. Este array alimentador (11) puede considerarse formado por los subarrays S1, S2, S3, S4, S5 y S6 del array alimentador (11) de la Figura 12A. Por lo tanto, si se alimentan los subarrays S1, S2, S3 y S4 con las distribuciones de fases mostradas en las Figuras 14A y 14B, se obtienen los haces mostrados en la Figura 15. Si se desea generar una configuración de haces para Europa como la mostrada en la Figura 13B, se deben calcular las nuevas distribuciones de fase en cada subarray para cada polarización (H y V). En las Figuras 18A y 18B se muestran las distribuciones de fases en los subarrays S1, S2, S5 y S6 para generar los haces mostrados en la Figura 13B.

La Figura 19 muestra los 8 haces en polarización circular (mediante los contornos a -4dB del máximo), correspondientes a las fases en los elementos radiantes del array alimentador (11) presentadas en las Figuras 18A y 18B. Igual que en los casos anteriores, se ha identificado cada pareja de haces con el subarray que lo genera, de manera que los subarrays SA1, SA2,

SA5 y SA6 generan respectivamente los haces H1I (94), H2I (96) , H5I (98) y H6I (100) de polarización circular a izquierdas (en línea de puntos) y los haces H1D (95), H2D (97), H5D (99) y H6D (101) de polarización circular a derechas (en línea discontinua).

- 5 Los resultados mostrados en estos 3 ejemplos son un mero ejemplo de la flexibilidad que ofrece la presente invención para realizar una reconfiguración de varios haces simultáneos para antenas en satélites geoestacionarios. Las opciones de reconfigurabilidad de los haces incluyen el cambio de apuntamiento dentro de la zona máxima de exploración, definida por la geometría de la antena, el cambio del ancho de haz, es decir aumentar o disminuir el tamaño
- 10 de las celdas en la superficie terrestre asociadas a cada haz, generar coberturas heterogéneas con diferentes tamaños de celda y generar haces conformados que pueden adaptarse a una zona geográfica determinada, por ejemplo, al contorno fronterizo de un país. Para reconfigurar los haces, tanto en apuntamiento como en conformado del haz, únicamente es necesario cambiar las fases y amplitudes en los elementos radiantes de los subarrays,
- 15 empleando un módulo de electrónica de control y un software de control, que se encuentran disponibles en los arrays activos.

A continuación, se presenta una descripción detallada de la técnica que permite diseñar la antena de haces reconfigurables de alta directividad objeto de la presente invención, que está

20 formada por un reflectarray polarizador (10) y un array alimentador (11). Suponiendo la antena embarcada en un satélite de comunicaciones en una posición orbital geoestacionaria, ésta debe generar un conjunto de haces de alta directividad en polarización circular (16, 17, 21,22; 90, 91, 92, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101) cuyas direcciones y anchos de haz pueden ser reconfigurados sobre una amplia zona de la tierra previamente definida, que se denomina

25 zona de cobertura máxima (ver Figura 11), y que desde un satélite geoestacionario puede verse con un ángulo sólido de entre 6 y 10 grados (teniendo en cuenta que el ángulo subtendido para toda la tierra es de 16°).

La Figura 20 muestra un diagrama de flujo en el que se detallan todos los pasos a seguir para

30 realizar el diseño de una antena con haces reconfigurables en polarización circular formada por un reflectarray polarizador (10), que en el diagrama se designa por sus iniciales "RP", y un array alimentador (11), que debe cumplir con unas especificaciones técnicas dependiendo

de la aplicación seleccionada y de las coberturas requeridas. El método de diseño consta de los siguientes pasos:

- 5 a) En primer lugar, se definen las especificaciones de la antena (102), incluyendo la dirección central de radiación de la antena, la zona de cobertura máxima sobre la que se podrán reconfigurar los haces, las bandas de frecuencia de operación y las especificaciones de los diagramas de radiación. La antena puede trabajar en una sola banda de frecuencia o en dos bandas de frecuencia. En este tipo de aplicaciones, es habitual utilizar una frecuencia para transmitir desde el satélite y otra para recibir. En el
- 10 caso de antenas de banda Ka, se emplean frecuencias en torno a los 20 GHz para transmitir y alrededor de 30 GHz para recibir. La antena propuesta puede trabajar en una sola de estas bandas, operando en transmisión o recepción, o trabajar en ambas bandas operando en transmisión y recepción.
- 15 b) A partir de las especificaciones definidas en el paso anterior, se define la geometría de la antena (103). En primer lugar, se define el tipo de superficie, que puede ser plana, parabólica, cilindra o cualquier otro tipo de superficie, siendo lo más habitual utilizar una superficie parabólica que permite generar haces de alta directividad sin necesidad de una corrección adicional en la fase, o una superficie plana que requiere una distribución de
- 20 fases más compleja para colimar o conformar los haces. El tamaño del reflectarray polarizador (10) debe ser suficiente para proporcionar unos haces con la directividad requerida que puedan ser reconfigurables en toda la zona de cobertura máxima. Ha de tenerse en cuenta que el reflectarray polarizador (10) debe estar sobredimensionado para poder explorar los haces en la zona previamente definida, puesto que dependiendo de la
- 25 dirección de los haces se emplearán zonas distintas de la superficie del reflectarray polarizador (10). Para el reflectarray polarizador (10) se define un punto focal F (50), o foco, y un sistema de referencia cartesiano (X_c , Y_c , Z_c ,) de la antena, de manera que cuando se coloca un alimentador en dicho punto focal (50), el reflectarray polarizador (10) genera un haz directivo en la dirección del eje Z_c . Para poder reconfigurar los haces,
- 30 variando la dirección sobre cualquier punto de la zona de cobertura máxima previamente definida, se define el tamaño y posición de array alimentador (11) respecto del sistema de coordenadas X_c , Y_c y Z_c , teniendo en cuenta que el array alimentador (11) no produzca bloqueo del campo radiado por el reflectarray polarizador (10).

c) Se define una retícula regular (104) sobre la superficie del reflectarray polarizador (10) formada por celdas periódicas (24, 26, 27, 60) de dimensiones próximas a media longitud de onda a la frecuencia central de operación de la antena. En el caso de utilizar una superficie plana para el reflectarray polarizador (10), las celdas periódicas pueden ser rectangulares o con forma de paralelogramo si los ángulos de la retícula son distintos del ángulo recto. Por ejemplo, la retícula (28) puede estar formada por paralelogramos con dos de los lados formando 60° con uno de los ejes principales de la antena. Cuando la superficie es curva, una posible manera de definir la retícula consiste en definir una retícula regular con líneas rectas paralelas, como la utilizada para reflectarrays planos, pero sobre un plano que cubre toda la superficie del reflectarray, que se denomina plano cordal. La retícula (28) en la superficie del reflectarray no plano se define proyectando la retícula del plano cordal sobre la superficie. A parte de estas formas descritas de definición de la retícula, hay otras muchas formas de definir la retícula, pero las dimensiones de cada celda no deben variar mucho a lo largo y ancho de la superficie del reflectarray. Una vez definida la geometría del reflectarray polarizador (10) y la retícula (28) sobre su superficie, se calcula una distribución de fases para todos los puntos de la retícula, de manera que un alimentador colocado sobre el punto focal F (50) produzca un haz colimado en la dirección central de la zona de cobertura (definida como eje Z_c).

d) Para implementar las fases en cada celda definidas en el punto anterior, es necesario utilizar unas celdas desfasadoras en el reflectarray polarizador, que incluyen elementos conductores (14; 20, 25; 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 72, 73, 74, 75, 76, 77) impresos en una o varias capas y cuyas dimensiones y ángulos de rotación son ajustados para conseguir los valores de fase deseados para cada componente del campo eléctrico. En este paso (105), se definen completamente las celdas desfasadoras (24, 26, 27, 60) que se emplearán en el reflectarray polarizador (10), incluyendo el número de capas de material dieléctrico, las propiedades eléctricas y el espesor de cada capa (71, 78), la forma y número de elementos conductores (14; 51, 52, 53; 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 72, 73, 74, 75, 76, 77) en cada capa, y los parámetros geométricos que se emplearán para variar el valor de fase en cada componente del campo eléctrico. Para comprobar si las celdas (24, 26, 27, 60) de reflectarray son adecuadas para cumplir con las características requeridas de fase en las frecuencias de funcionamiento de la antena, es necesario realizar un estudio paramétrico de la celda, analizando las celdas en entorno periódico (para tener en cuenta los efectos de acoplo mutuo con los elementos próximos)

mediante un código de simulación electromagnética, para distintos valores de los parámetros geométricos y eléctricos de la celda (materiales, dimensiones, diferentes metalizaciones, etc.).

5 A modo de ejemplo, en la Figura 5B se muestra un tipo de celda (27) con solo una capa de 3 dipolos inclinados 45° (51, 52, 53) que puede utilizarse en el caso del reflectarray polarizador (10) parabólico, donde solo se ajustan las longitudes de los dipolos para asegurar la diferencia de fase de 90° entre las dos componentes del campo eléctrico reflejado. Para el caso particular de un reflectarray polarizador (10) plano, se han
10 considerado las celdas desfasadoras (60) mostradas en la Figura 7B, que están formadas por varios grupos de dipolos paralelos empleados para ajustar de forma independiente cada componente de campo eléctrico. Este tipo de celda permite implementar cualquier valor de fase necesario para realizar un conformado o colimado del haz en el reflectarray, manteniendo una diferencia de fase de 90° entre las dos componentes de campo eléctrico
15 reflejado, que es la condición necesaria para transformar polarización lineal en circular.

Para la celda (60) mostrada en la Figura 7B se ha realizado un estudio paramétrico que ha permitido definir los materiales y parámetros geométricos de una celda que puede operar en las bandas de 19.7 GHz (en transmisión) y 29.5 GHz (en recepción). Los
20 valores resultantes son: periodo $P_x = P_y = 6,5$ mm, dos capas de dieléctrico (Dielad 880) con constante dieléctrica $\epsilon_{rA} = \epsilon_{rB} = 2,17$ y tangente de pérdidas $\tan\delta_A = \tan\delta_B = 0,001$, y espesores para cada capa: $h_A = 1,5$ mm y $h_B = 1$ mm. Los conjuntos de dipolos orientados en las direcciones X e Y son idénticos, siendo la anchura de los dipolos igual a $w = 0,25$ mm, las separaciones entre los centros de los dipolos paralelos adyacentes en cada capa son: $S_{XA} = S_{YA} = 0,5$ mm y $S_{XB} = S_{YB} = 1$ mm, y las relaciones entre las longitudes de los
25 dipolos laterales y centrales de cada agrupación: $l_{A1} = 0,65 \cdot l_{A3}$, $l_{A2} = 0,8 \cdot l_{A3}$, $l_{A4} = 0,65 \cdot l_{A6}$, $l_{A5} = 0,8 \cdot l_{A6}$, siendo l_{A3} y l_{A6} las longitudes de los dipolos centrales en la capa inferior (71), y $l_{B1} = 0,8 \cdot l_{B2}$, $l_{B3} = 0,8 \cdot l_{B4}$, siendo l_{B2} y l_{B4} las longitudes de los dipolos centrales en la capa superior (78). Las longitudes l_{A3} y l_{A6} se utilizan como variables para controlar las fases de
30 las componentes de campo eléctrico según los ejes X e Y, respectivamente, a la frecuencia de 19.7 GHz. De forma análoga, las longitudes l_{B2} y l_{B4} se utilizan para ajustar las fases de las componentes de campo eléctrico según los ejes X e Y, respectivamente, a la frecuencia de 29,5 GHz.

Para ver el comportamiento de la celda en la frecuencia de transmisión, se han variado de forma independiente las longitudes $l_{A3} = l_{AX}$ y $l_{A6} = l_{AY}$ y se han calculado las fases de las componentes de campo según X (mostradas en la figura 8C). Estas figuras muestran que la fase de la componente X es proporcional a la longitud de los dipolos según el eje X (l_{A3} , tal y como era de esperar). En la Figura 8C se ha marcado con una línea blanca con círculos negros los puntos que corresponden a una fase creciente idéntica a las dos frecuencias (lo que se utiliza en los reflectarrays convencionales), y también se han incluido las líneas marcadas con cuadrados y rombos, que corresponden a celdas del reflectarray polarizador (10) de la presente invención, que introducen un desfase de -90° (cuadrados) o $+90^\circ$ (rombos) en la fase de la componente Y respecto a la fase de la componente X del campo eléctrico tangencial. En dichas figuras puede verse que es posible conseguir cualquier valor de fase en un rango de 360° siguiendo estas líneas, es decir manteniendo la diferencia de fase de $\pm 90^\circ$ para generar polarización circular.

e) Para poder controlar de forma independiente cada componente del campo eléctrico, es necesario en primer lugar descomponer el campo eléctrico tangencial incidente en cada celda de la retícula regular en dos componentes ortogonales sobre la superficie del reflectarray polarizador (106), una componente en una primera dirección y la otra componente en una segunda dirección sobre la superficie del reflectarray polarizador (10), perpendicular a la primera dirección. Para el caso de las celdas (60) mostradas en la Figura 7B, las direcciones utilizadas para descomponer el campo eléctrico se corresponden con las direcciones de los dipolos impresos. Para la celda de la Figura 7B se utilizan las componentes de campo eléctrico según las direcciones de los ejes X e Y, del reflectarray plano. Como se ha visto en el punto anterior y en la figura 8C, las longitudes de los dipolos l_{A3} y l_{A6} permiten controlar de forma independiente las fases de las componentes de campo eléctrico reflejado según X e Y.

f) A partir de la distribución de fases en cada celda (24, 26, 27, 60) de la retícula (28) calculada en el punto c) para genera un haz conformado o colimado, en este paso se obtienen las distribuciones de fase en cada celda para cada componente de campo eléctrico (107). Para una de las componentes de campo eléctrico (primera componente), se toman las fases obtenidas en el paso c), mientras que para la otra componente (segunda componente), las fases se obtienen restando o sumando 90° a las fases de la

primera componente. A modo de ejemplo, si consideramos un reflectarray parabólico la distribución de fases obtenida en el paso c) podría ser uniforme en toda la superficie, en caso de no introducir ninguna corrección de fase y mantener el colimado del haz que realiza la superficie parabólica. En ese caso, las fases de la segunda componente de campo eléctrico serían también uniformes con una diferencia de $\pm 90^\circ$ con respecto a la primera, que es la condición necesaria para transformar el campo incidente de polarización lineal en campo reflejado de polarización circular. En este caso, también se podría introducir alguna corrección de fases adicional para modificar el conformado del haz producido por la superficie parabólica.

En un segundo ejemplo, si se considera un reflectarray plano, como el de la Figura 7A con las celdas (60) de la Figura 7B, la distribución de fases para la primera componente de campo eléctrico, que podemos hacer coincidir con el eje X del reflectarray, tendría una distribución de fases como la mostrada en la Figura 9A, necesaria para colimar un haz con una superficie plana a la frecuencia de 19,7 GHz. Las fases que se deben implementar en la superficie plana del reflectarray polarizador (10) en la segunda componente del campo eléctrico (que en el ejemplo considerado coincidiría con el eje Y), se obtendría restando o sumando 90° a las fases de la primera dirección. Las fases para la componente Y se muestran en la Figura 9B a la frecuencia de 19,7 GHz, y la diferencia de fases entre ambas componentes de campo se muestra en la Figura 9E.

- g) Una vez definidas las fases que tiene que introducir el reflectarray polarizador (10) en cada celda de la retícula, se ajustarán las dimensiones (107) de los grupos de elementos conductores (14; 51,52, 53; 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 72, 73, 74, 75, 76, 77) en cada celda (24, 26, 27; 60) para que introduzcan los valores de fase obtenidos en el apartado f) para las dos componentes de campo eléctrico ortogonales (106), considerando la frecuencia central de diseño. Si consideramos un reflectarray polarizador (10) como el mostrado en la Figura 7A con las celdas (60) de la Figura 7B, los dipolos (61, 62, 63, 64, 65, 72, 73, 74) orientados según el eje X se utilizan para ajustar la componente del campo eléctrico reflejado según X, mientras que los dipolos orientados según el eje Y (66, 67, 68, 69, 70, 75, 76, 77) se emplean para ajustar la componente del campo eléctrico reflejado según Y. Las dimensiones de los dipolos se ajustan en todas las celdas del “reflectarray” de forma secuencial, empleando rutinas de optimización junto con rutinas de simulación electromagnética. La rutina empleada para el ajuste de las dimensiones, que se ejecuta de forma iterativa para cada celda del reflectarray

polarizador (10), calcula las fases que introduce cada celda del reflectarray en cada componente de campo, compara los valores obtenidos con los valores de fase objetivo y realiza pequeñas correcciones empleando un método de gradiente, o cualquier otra técnica de optimización. Para la simulación electromagnética, se considera el ángulo de incidencia en cada celda suponiendo un campo electromagnético radiado desde el punto focal F (50) del reflectarray polarizador (10) definido en el punto c), empleando un simulador electromagnético que analiza el comportamiento de la celda del reflectarray polarizador (10) en un entorno periódico. La iteración termina en cada celda cuando la diferencia entre las fases obtenidas por simulación electromagnética y los valores objetivo de la fase en cada componente de campo sea menor que un cierto umbral de error predefinido. Un valor típico de este umbral de error es en torno a 1° , puesto que las tolerancias de fabricación no pueden asegurar precisiones mejores que unos 10° para antenas de un tamaño del orden de 2 metros. En el ajuste de dimensiones realizado en este paso, se considera únicamente un parámetro geométrico (longitudes de los dipolos centrales, estando los dipolos laterales escalados a un valor fijo) para cada componente de campo eléctrico, y para cada banda de frecuencias. Si la antena se emplea en transmisión y recepción, se necesitan dos capas de dipolos, como las celdas (60) mostradas en la Figura 7B, una para cada banda de frecuencias.

- h) En el paso anterior, las longitudes de los dipolos han sido ajustadas para asegurar los valores de fases para cada componente de campo eléctrico y en cada celda a la frecuencia central de la banda de operación. Si la antena trabaja en transmisión y recepción, se han ajustado los dipolos en cada capa para la frecuencia central de cada banda (en el ejemplo considerado 19.7 GHz en transmisión y 29.5 GHz en recepción). Sin embargo, las antenas en los satélites de comunicaciones deben operar en unos anchos de banda cada vez mayores, actualmente se requiere en torno a 1 GHz de ancho de banda en transmisión. Otro requisito importante en estas antenas es la pureza de polarización que se mide mediante la relación axial (cociente entre los ejes de la elipse de polarización que describe el campo eléctrico). El reflectarray polarizador (10) debe asegurar una buena pureza de polarización en toda la banda de operación de la antena, o en las bandas de transmisión y recepción, si se emplea la misma antena para transmitir y recibir. Para mantener una buena pureza de polarización circular en toda la banda, es necesario que se mantenga la condición de diferencia de fase de 90° entre las dos componentes de campo ortogonales, condición que en el paso anterior se había impuesto a una frecuencia única. Partiendo de las dimensiones de los elementos conductores (14; 51, 52, 53; 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 72, 73, 74, 75, 76, 77) en cada celda obtenidas en el paso anterior, en este

paso se optimizan dichas dimensiones (109) para minimizar una función de error, que considera de forma ponderada los errores de fase y la diferencia de 90° en la fase de las dos componentes de campo (para asegurar la pureza de polarización) a varias frecuencias. Para obtener mejores resultados en la optimización, es necesario añadir más grados de libertad en este paso. Por ejemplo, considerando la celda (60) de reflectarray mostrada en la Figura 7B, se elimina la condición de escalado fijo de los dipolos laterales y se optimizan las longitudes de todos los dipolos, pero manteniendo la simetría de los dipolos laterales. Al igual que en el paso anterior, esta optimización en banda se realiza celda a celda, considerando cada celda en un entorno periódico. En este paso resulta eficiente la utilización de una técnica de tipo gradiente, o cualquier técnica de optimización local, debido a que el punto inicial (que son las dimensiones obtenidas en el paso anterior) se encuentran próximo a la solución deseada.

i) Una vez que el reflectarray polarizador (10) ha sido completamente diseñado y con las dimensiones de los elementos conductores optimizados para generar haces de alta directividad, se pasa a definir el array activo (11) formado por subarrays (110) que se coloca en un plano situado entre el punto focal F (50) definido en c) y el reflectarray polarizador (10). Por lo tanto, los elementos del array alimentador (11) se encuentran situados fuera del foco y en modo transmisión deben generar una distribución de campo electromagnético en su superficie para cada polarización lineal (H y V) que iluminará el reflectarray polarizador (10). De forma similar, en modo recepción los elementos del array alimentador (11) recibirán las señales procedentes del reflectarray polarizador (10) en las dos polarizaciones lineales. Para generar varios haces reconfigurables simultáneos, se considera el array alimentador (11) formado por un número de subarrays (40, 41, 42, 43) “NS”, estando cada subarray formado por una agrupación de elementos radiantes (30) con módulos de transmisión/recepción para operar en recepción, transmisión o en ambos modos simultáneamente. En cada subarray (40, 41, 42, 43), se puede variar la amplitud y fase de cada elemento radiante (30) de forma independiente en las dos polarizaciones lineales para reconfigurar la distribución de campo radiado o recibido, de manera que cada subarray genera dos haces independientes, uno en cada polarización lineal del campo electromagnético.

j) En este paso se define un conjunto de “NC” configuraciones de haces (111) que serán representativos de las posibles reconfiguraciones de diagramas de radiación que se pueden conseguir con la antena. La antena con un array alimentador (11) dividido en M subarrays (40, 41, 42, 43) generará M haces en polarización circular a derechas y otros M

haces en polarización circular a izquierdas, que podrán variar de forma independiente su dirección y ancho de haz dentro de la zona de cobertura máxima definida. Para demostrar dicha capacidad de reconfiguración de los haces, se definen un conjunto de NC configuraciones distintas de haces independientes. En las Figuras 13A y 13B se muestran dos de estas posibles configuraciones de haces sobre Europa, África y Oriente Próximo.

k) Se selecciona una primera configuración de haces (112), $C_n=C_1$, de las NC configuraciones de haces definidas en el paso j);

l) Para generar el conjunto de haces seleccionado, se asocia a cada subarray una pareja de haces de polarizaciones circulares ortogonales (a derechas y a izquierdas) (113).

Ahora es necesario calcular las distribuciones de amplitudes y fases en todos los elementos radiantes (30) de cada subarray (40, 41, 42, 43) y los diagramas de radiación de la antenna completa que produzcan la configuración de haces seleccionada. En primer lugar, se selecciona el primero de los subarrays (114), que denominamos SA1. Como cada subarray genera una pareja de haces de polarizaciones ortogonales, el diseño de cada subarray se hace de forma independiente, siguiendo los siguientes pasos:

m) Se definen las direcciones de radiación y las especificaciones (115) de los dos diagramas de radiación para los dos haces asociados al subarray correspondiente, que denominamos SAn. Las especificaciones de los diagramas de radiación, en general se definen mediante una máscara que especifica los valores máximos y mínimos de radiación en el rango angular asociado a la zona de cobertura máxima definida en el paso a). Cada haz debe dar cobertura a una pequeña región dentro de la zona de cobertura máxima (ver Figuras 13A y 13B), en la que debe asegurarse una ganancia de antenna mínima. La ganancia mínima en esa zona se especifica en decibelios respecto a la antenna isotrópica (dBi). Para cada haz, la máscara también debe especificar un nivel máximo de radiación fuera del haz, también medido en dBi; es decir un nivel máximo de radiación espuria fuera de la zona de interés, para asegurar que no hay interferencias con otros haces. Los haces generados por la antenna deben ser de alta directividad, obtenida gracias al reflectarray polarizador (10), y pueden ser circulares, elípticos o estar conformados, para dar cobertura a una región geográfica irregular, tal como los límites fronterizos de un país.

n) A continuación, se obtiene la distribución de fases para cada polarización lineal en el subarray (116) que genera haces colimados en las direcciones definidas en el apartado m), empleando técnicas conocidas como el trazado de rayos o la óptica geométrica. La forma más sencilla de obtener las distribuciones de fase en los subarrays, consiste en utilizar trazado de rayos y óptica geométrica considerando la antena operando como receptora. Para cada haz, se considera una onda plana formada por rayos paralelos que incide en el reflectarray polarizador (10) desde la dirección de dicho haz, y teniendo en cuenta las distribuciones de fase del reflectarray polarizador (10), se calcula la fase de los rayos que llegan a cada subarray. Teniendo en cuenta que las antenas tienen el mismo comportamiento en transmisión y en recepción, debido al teorema de reciprocidad, si aplicamos la distribución de fases obtenida por óptica geométrica en el subarray, la antena generará un haz en la misma dirección que se ha considerado para calcular la fase con la antena en recepción.

o) La óptica geométrica aplicada en el punto anterior permite generar un haz en la dirección deseada, pero no tienen ningún control sobre el ancho o el conformado del haz. Si se desea ajustar el ancho de haz, generar un haz con un determinado conformado o reducir el nivel de radiación espuria fuera del haz, se deben optimizar las amplitudes y fases para cada polarización lineal en el subarray (117), de manera que la antena genere un haz en cada polarización circular (a derechas y a izquierdas) que cumpla con las especificaciones de los diagramas de radiación para dichos haces especificadas en el apartado m). Esta optimización toma como punto de partida las fases obtenidas en el punto anterior que ya proporcionan un haz en la dirección deseada, lo que simplifica notablemente este paso de optimización. Para la optimización de las amplitudes y fases de cada elemento del subarray se pueden emplear técnicas convencionales de optimización, como MINIMAX, técnicas de gradiente, o algoritmos genéticos. La técnica se debe aplicar de forma independiente para cada polarización lineal en el subarray, de manera que los diagramas de radiación de la antena en las dos polarizaciones circulares ortogonales (a derechas y a izquierdas), producidos por dicho subarray SAn, se ajusten lo mejor posible a las máscaras de especificaciones definidas en el apartado m).

p) Una vez calculadas las amplitudes y fases de los elementos radiantes (30) del subarray, se calculan los diagramas de radiación de la antena (118) mediante simulación de los elementos del array alimentador (11) y del reflectarray polarizador (10) para los dos haces generados por el subarray y se comparan con las máscaras de especificaciones de los diagramas de cada haz en polarización circular definidas en m). Los diagramas de

radiación de los dos haces generados por cada subarray se calculan siguiendo los pasos siguientes:

- 5 - El campo electromagnético calculado en la superficie de cada subarray para cada polarización lineal se utiliza para iluminar la superficie del reflectarray polarizador (10).
- 10 - A partir de las componentes de campo eléctrico y magnético tangencial a la superficie del reflectarray polarizador (10), se calcula el campo radiado por el reflectarray polarizador (10) mediante la conocida técnica de óptica física, utilizando la corrientes eléctrica y magnética equivalentes en cada celda.

Finalmente, se verifica si los diagramas de radiación calculados para los dos haces de polarización circular cumplen las máscaras de especificaciones definidas (1117).

15

- q) Si no se cumplen las especificaciones de alguno de los dos haces generados por el subarray, se vuelven a optimizar las amplitudes y fases de los elementos radiantes del subarray, repitiendo los pasos o) y p) hasta cumplir las especificaciones;
- 20 r) Una vez optimizadas las amplitudes y fases en los elementos del subarray SAn, se obtienen las tensiones de control (120) en cada uno de los elementos del subarray SAn, necesarias para generar las amplitudes y fases obtenidas en el punto o).
- s) Como el diseño se realiza de forma independiente para cada subarray, se deben repetir
25 los pasos de m) a r) para cada uno de los subarrays (121), hasta llegar al último (122).

Con esto se completa el diseño de los distintos subarrays (40, 41, 42, 43) y por lo tanto de una configuración (Cn) de los diagramas de radiación de la antena completa. Como la principal característica de esta antena es su capacidad de reconfigurar varios haces simultáneos desde
30 un satélite geoestacionario, cuando se quiera reconfigurar la cobertura generada por la antena, deben repetirse los pasos desde k) a s) (123). Puesto que se han definido un conjunto de posibles haces en el apartado j), para completar el proceso de diseño y asegurar que todas las configuraciones de haces son realizables, se realiza el paso siguiente:

- t) Repetir los puntos desde k) a s) (123) para cada una de las configuraciones de diagramas de radiación definidas en el punto j).

REIVINDICACIONES

1. Antena multi-haz reconfigurable en polarización circular que comprende un reflectarray polarizador (10) y un array alimentador (11), **caracterizada** por que:

5

- el reflectarray polarizador (10) comprende una superficie conductora (56) recubierta por al menos una primera capa de dieléctrico (54) con grupos de elementos conductores (14; 20, 25; 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 72, 73, 74, 75, 76, 77) impresos sobre su superficie, dispuestos en las celdas (24, 26, 27, 60) de una retícula regular (28), donde el reflectarray polarizador (10) comprende medios de ajuste del tamaño y la orientación de los elementos conductores (14; 20, 25; 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 72, 73, 74, 75, 76, 77) en relación con la retícula regular (28), tal que mediante el ajuste del tamaño y orientación de los elementos conductores (14; 20, 25; 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 72, 73, 74, 75, 76, 77) se permite controlar independientemente dos componentes ortogonales del campo electromagnético reflejado por las celdas (24, 26, 27, 60) del reflectarray polarizador (10), en una o varias bandas de frecuencias, manteniendo una diferencia de fases de 90° entre ambas componentes ortogonales del campo electromagnético reflejado, y;

10

15

20

- el array alimentador (11) comprende una pluralidad de elementos radiantes (30) con módulos de transmisión/recepción configurados para emitir y/o recibir un campo electromagnético dirigido hacia y/o desde el reflectarray polarizador (10) en la forma de señales de polarización lineal (13), donde el array alimentador (11) comprende medios de ajuste de la amplitud y fase de las señales de polarización lineal (13) emitidas y/o recibidas por los elementos radiantes (30).

25

30

2. Antena multi-haz reconfigurable en polarización circular según la reivindicación 1, **caracterizada** por que el array alimentador (11) se encuentra situado a una distancia de entre 0,5 y 2 veces la dimensión máxima del reflectarray polarizador (10).

35

3. Antena multi-haz reconfigurable en polarización circular según la reivindicación 1 ó 2, **caracterizada** por que los elementos radiantes (30) del array alimentador (11) están

distribuidos en una pluralidad de subarrays, donde cada subarray está configurado para emitir/recibir un campo electromagnético predeterminado de forma independiente en dos polarizaciones lineales (13) ortogonales.

- 5 4. Antena multi-haz reconfigurable en polarización circular según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** por que:
 - 10 - el reflectarray polarizador (10) comprende al menos una segunda capa de dieléctrico (55, 78), con grupos de elementos conductores (72, 73, 74, 75, 76, 77) impresos sobre su superficie, dispuestos en las celdas (24, 26, 27, 60) de la retícula regular (28) definida para la primera capa de dieléctrico (54, 71), y;
 - 15 - en cada celda (24, 26, 27, 60) de la retícula regular, los elementos conductores (14; 20, 25; 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70) en la primera capa de dieléctrico (54, 71) están configurados según unas dimensiones y una orientación para controlar de forma independiente la fase de cada componente del campo electromagnético reflejado en una primera banda de frecuencias, mientras que los elementos conductores (72, 73, 74, 75, 76, 77) en la segunda capa de dieléctrico (78) están configurados según unas dimensiones y una orientación para controlar de forma independiente la fase de cada componente del campo electromagnético en una segunda banda de frecuencias.
 - 20
- 25 5. Antena multi-haz reconfigurable en polarización circular según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** por que los elementos conductores (14; 20, 25; 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 72, 73, 74, 75, 76, 77) de cada celda (24, 26, 27, 60) están dispuestos según al menos tres dipolos paralelos.
- 30 6. Antena multi-haz reconfigurable en polarización circular según las reivindicaciones 4 y 5, **caracterizada** por que en cada celda (24, 26, 60), los elementos conductores (14; 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70,) en la primera capa de dieléctrico (54, 71) y los elementos conductores (72, 73, 74, 75, 76, 77) en la segunda capa de dieléctrico (55, 78) están dispuestos respectivamente según un primer conjunto de al menos tres dipolos paralelos (61, 62, 63, 64, 65; 72, 73, 74) orientados en una primera dirección
- 35

y según un segundo conjunto de al menos tres dipolos paralelos (66, 67, 68, 69, 70; 75, 76, 77) orientados en una segunda dirección ortogonal a la primera dirección.

7. Antena multi-haz reconfigurable en polarización circular según la reivindicación 5, **caracterizada** por que los elementos conductores (14; 20, 25; 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 72, 73, 74, 75, 76, 77) de cada celda (24, 26, 27, 60) de una misma capa de dieléctrico (54, 55; 71, 78) están dispuestos según un primer conjunto de al menos tres dipolos paralelos (61, 62, 63, 64, 65; 72, 73, 74) orientados en una primera dirección y según un segundo conjunto de al menos tres dipolos paralelos (66, 67, 68, 69, 70; 75, 76, 77) orientados en una segunda dirección ortogonal a la primera dirección.

8. Antena multi-haz reconfigurable en polarización circular según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** por que el reflectarray polarizador (10) comprende una geometría en forma de paraboloide.

9. Antena multi-haz reconfigurable en polarización circular según las reivindicaciones 8 y 5, **caracterizada** por que los elementos conductores (14; 20, 25; 51, 52, 53) de cada celda (24, 26, 27) en una misma capa de dieléctrico (54) están dispuestos según un primer conjunto de al menos tres dipolos paralelos (51, 52, 53) orientados según una dirección que forma 45° con respecto a la orientación de las celdas (24, 26, 27) de la retícula regular (28), donde las dimensiones de los dipolos se han ajustado para mantener una diferencia de fase de 90° entre las componentes del campo electromagnético reflejado en las direcciones paralela y perpendicular a la dirección de los dipolos.

10. Antena multi-haz reconfigurable en polarización circular según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizada** por que el reflectarray polarizador (10) comprende una geometría seleccionada entre: plana, esférica o cilíndrica.

11. Antena multi-haz reconfigurable en polarización circular según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** por que el reflectarray polarizador incluye capas dieléctricas adicionales, como capas de pegamento, separadores, o una capa dieléctrica externa (55) para proteger los elementos conductores impresos, a modo de radomo.

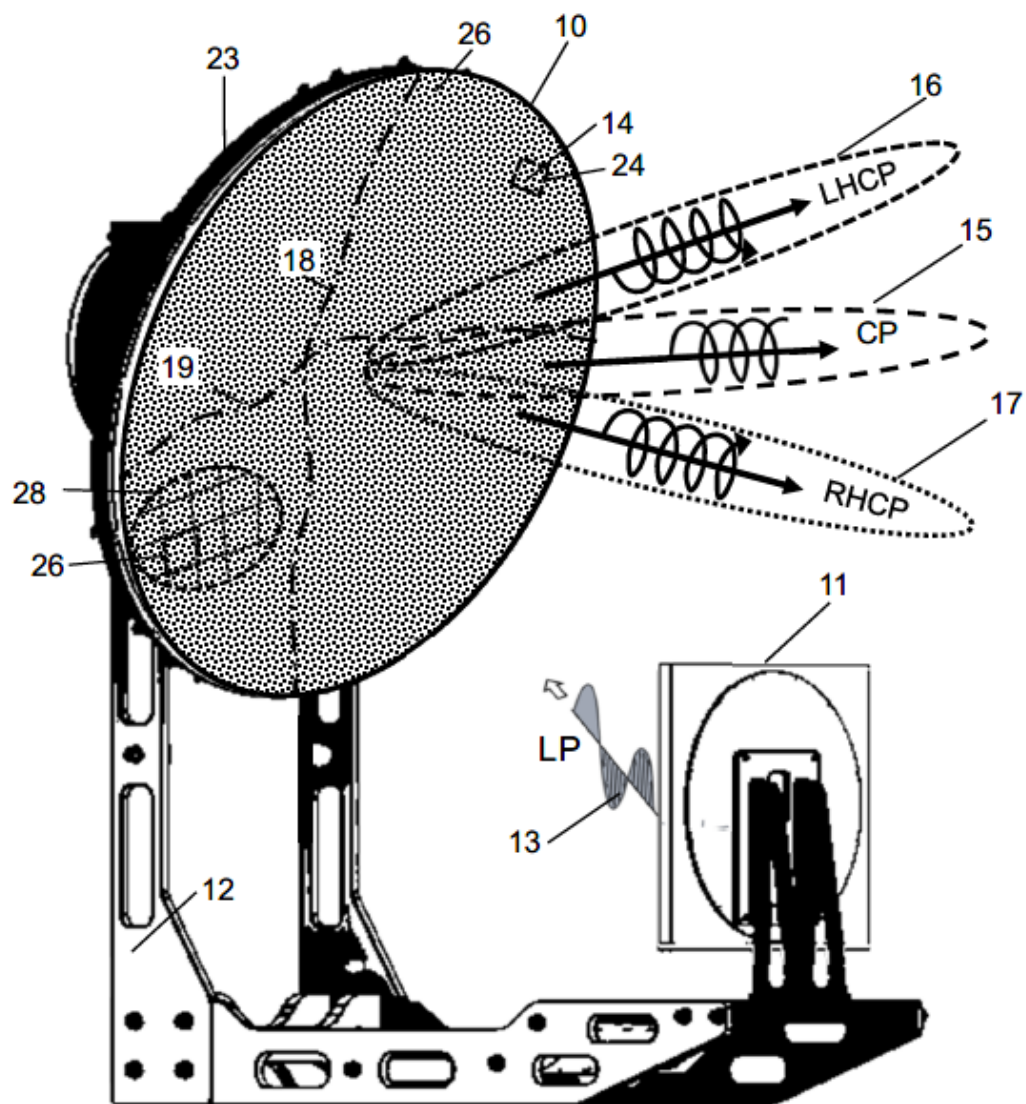


Fig. 1

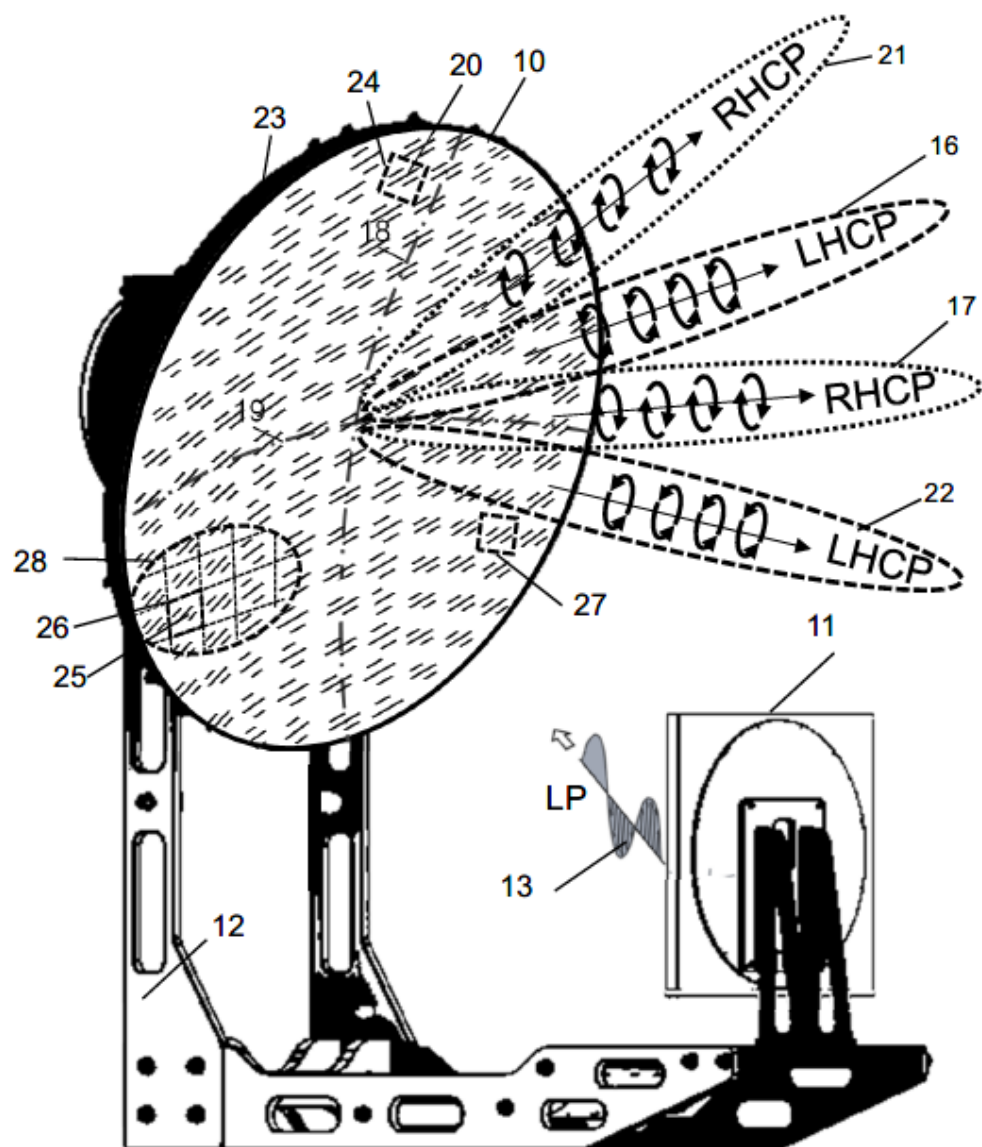


Fig. 2

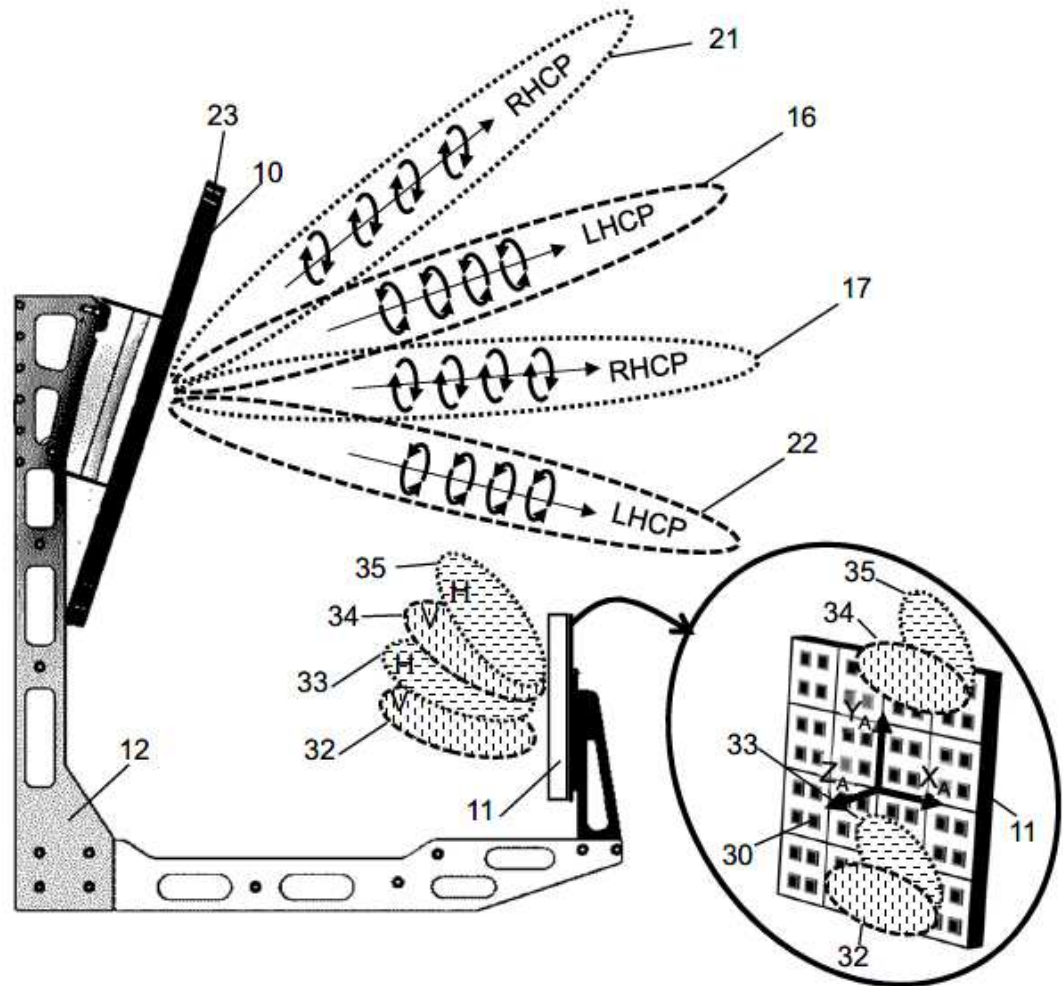


Fig. 3

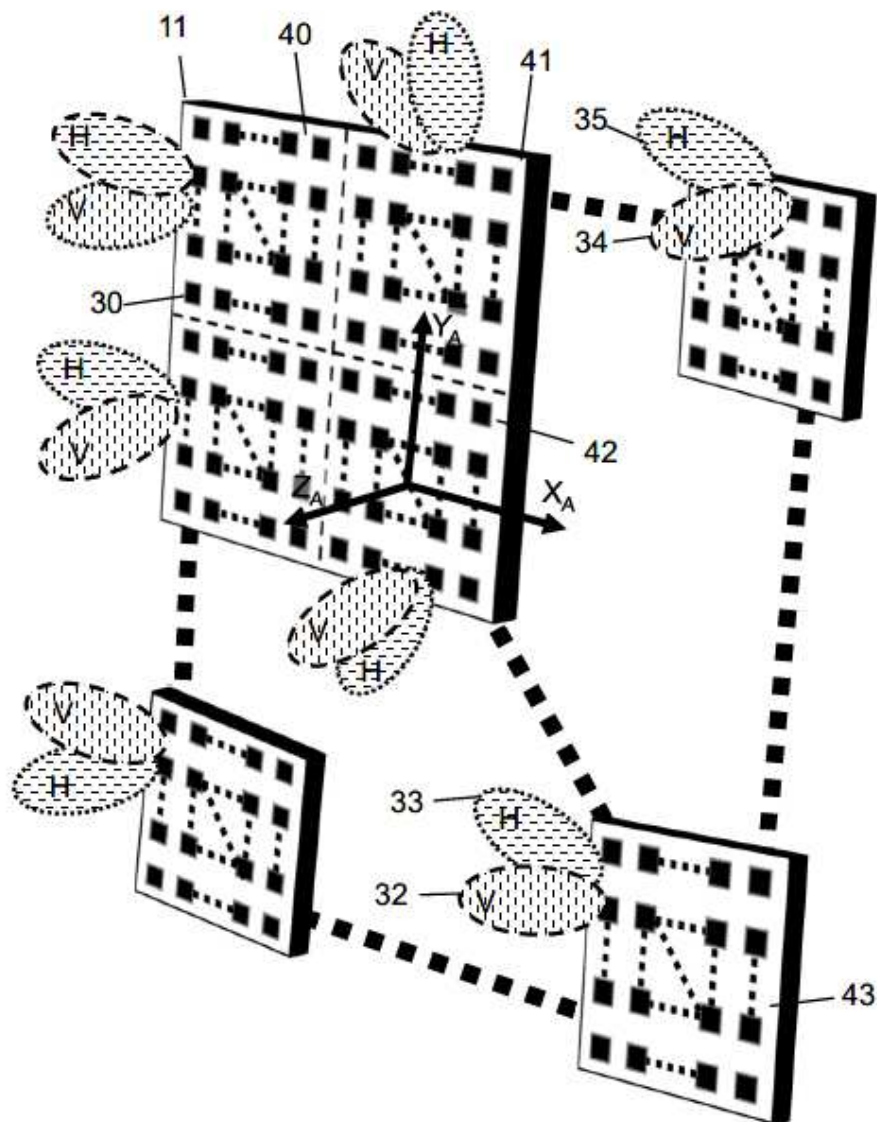


Fig. 4

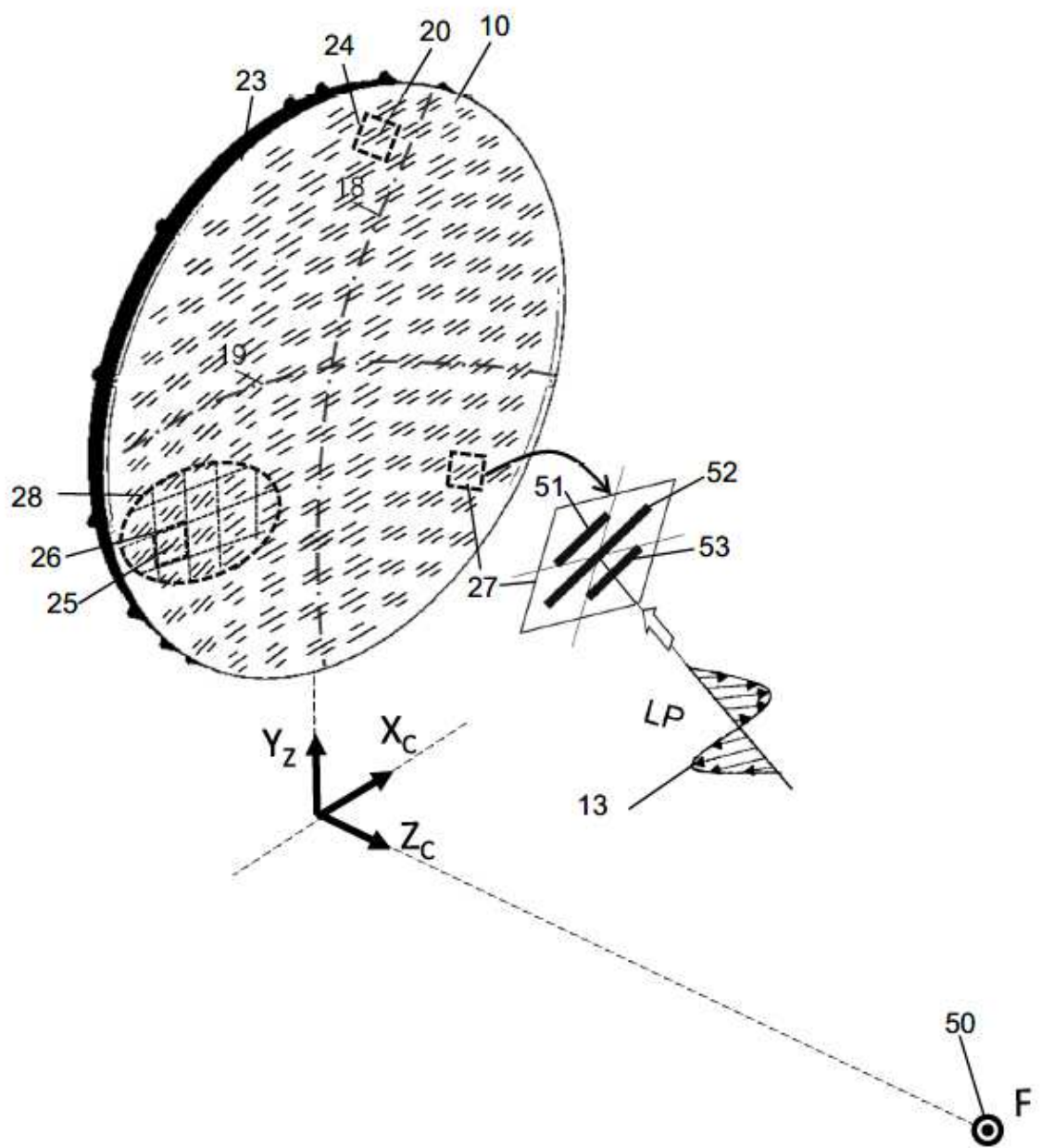


Fig.5A

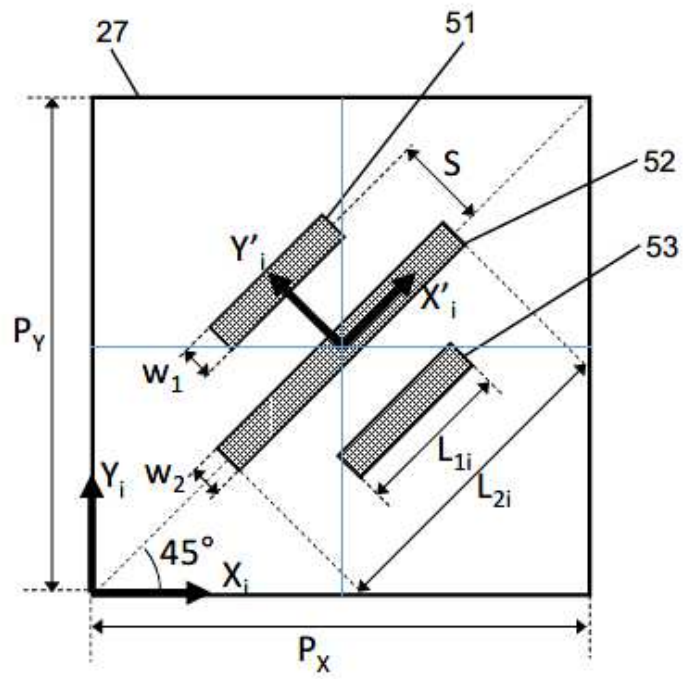


Fig. 5B

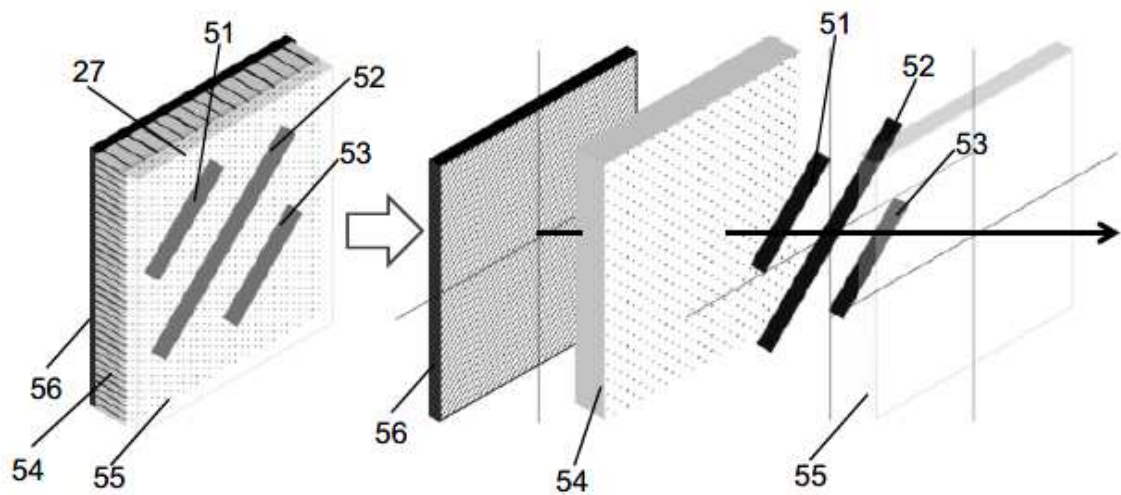


Fig. 5C

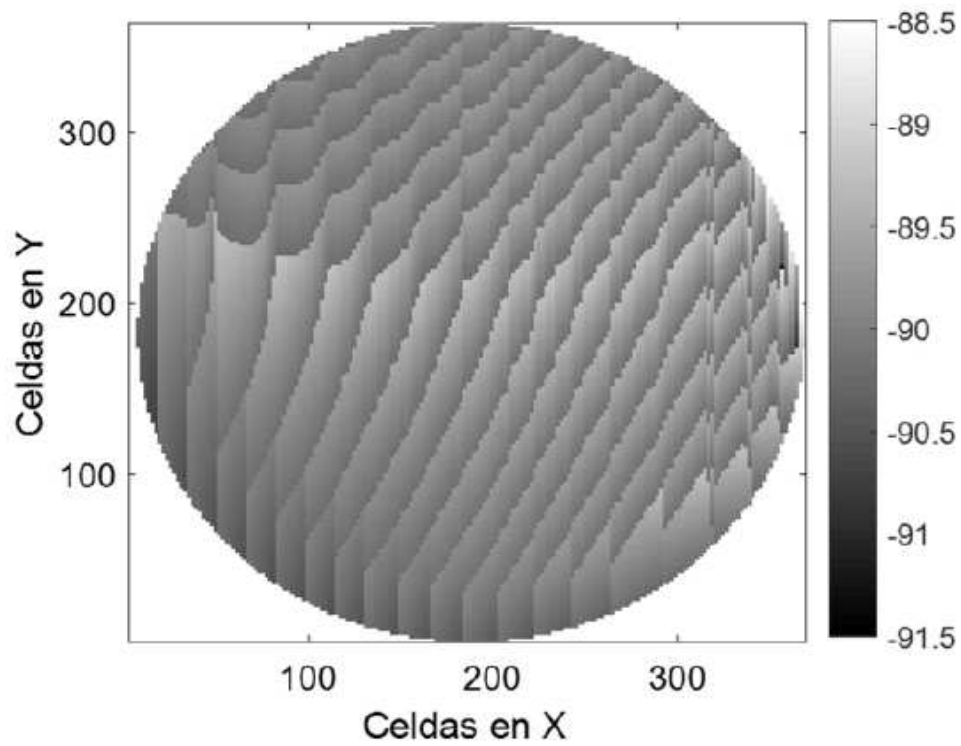


Fig. 6A

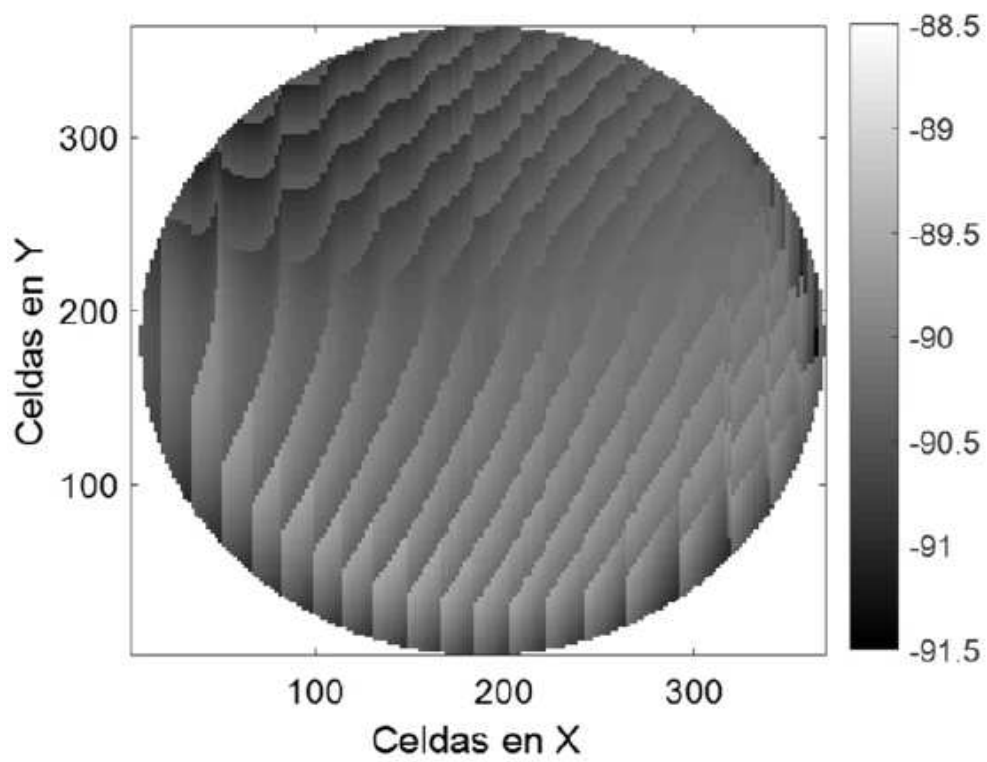


Fig. 6B

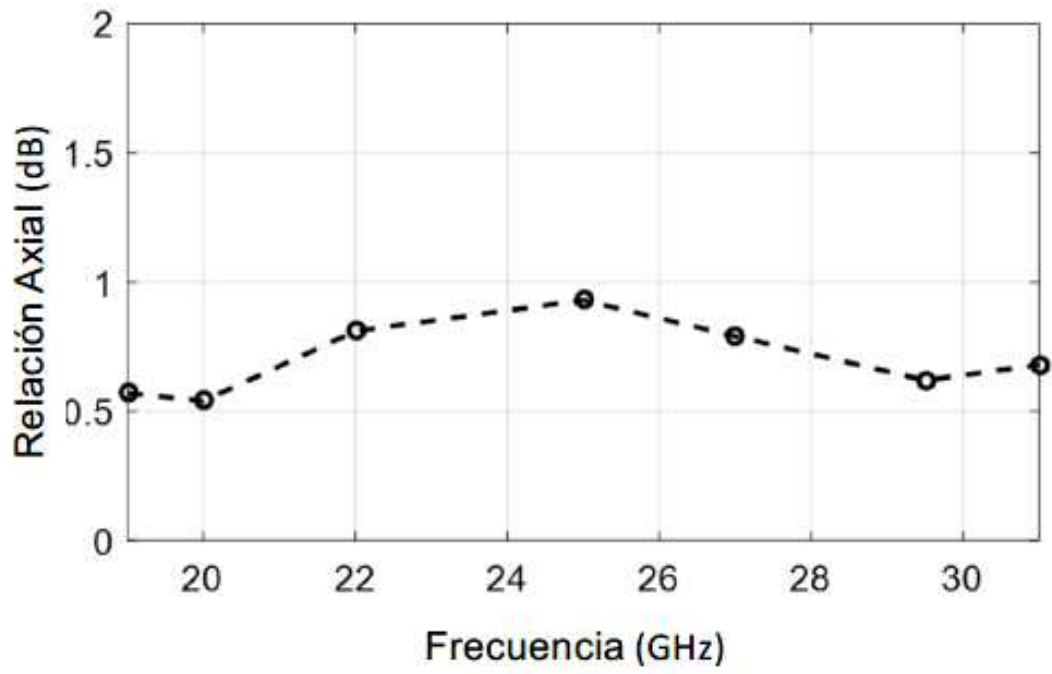


Fig. 6C

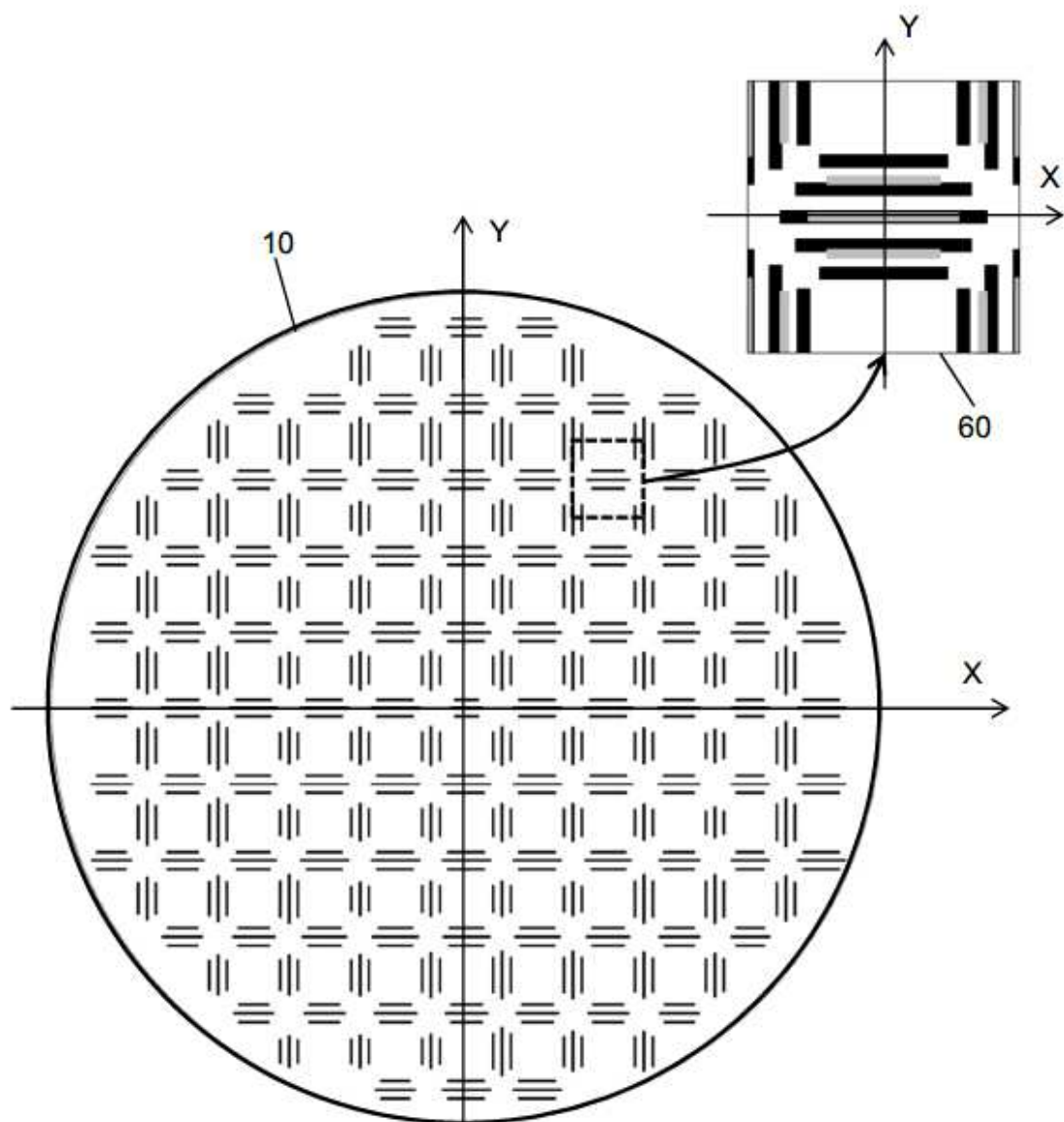


Fig. 7A

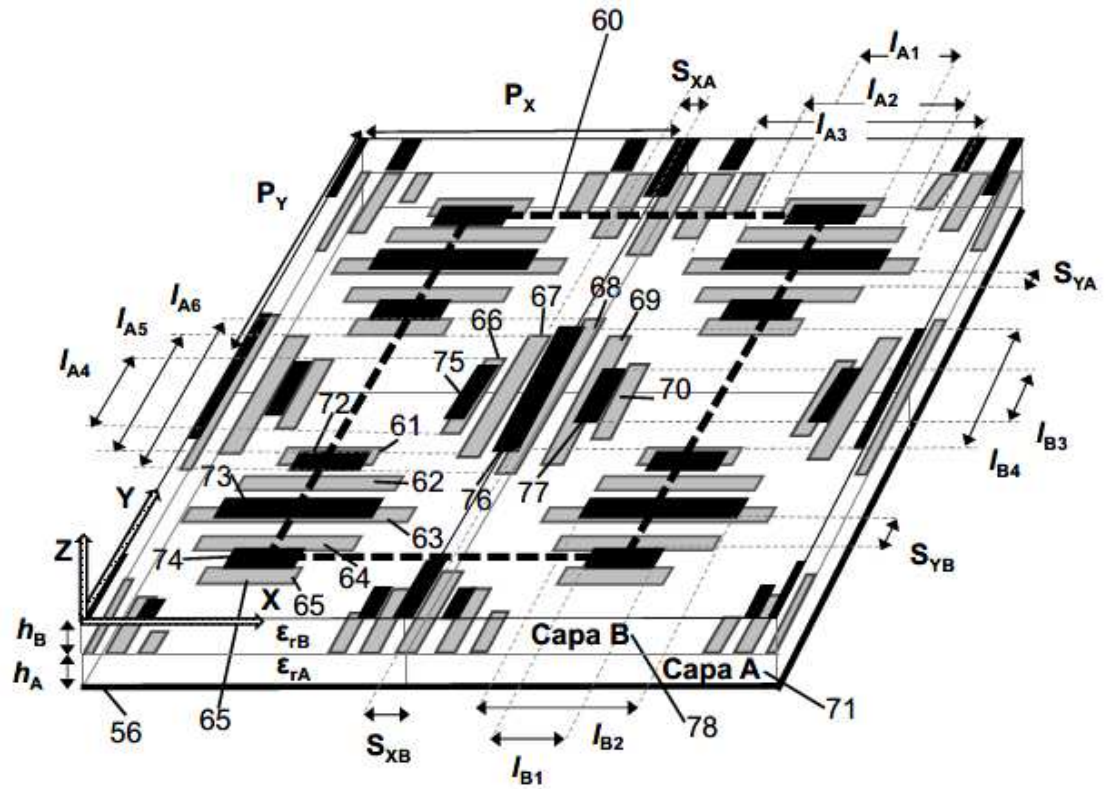


Fig. 7B

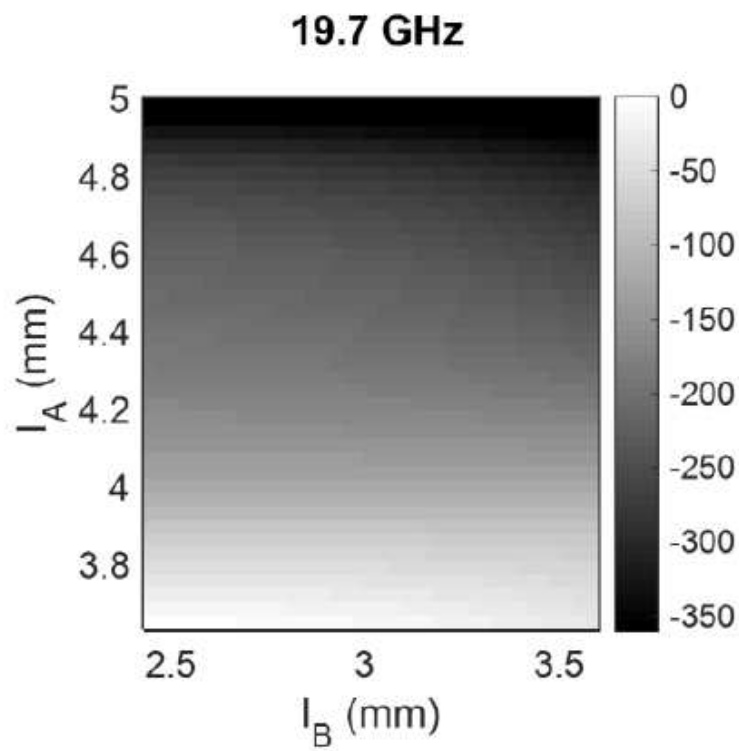


Fig. 8A

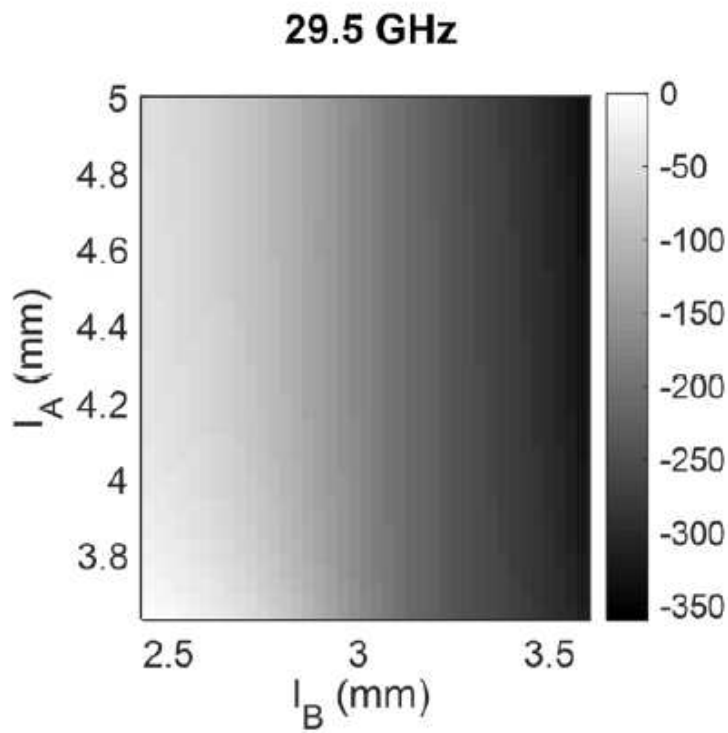


Fig. 8B

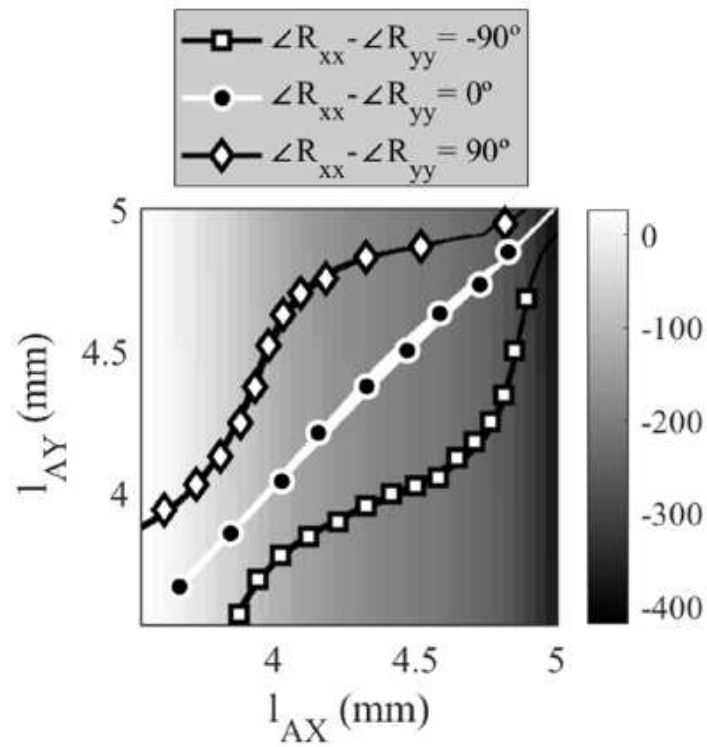


Fig. 8C

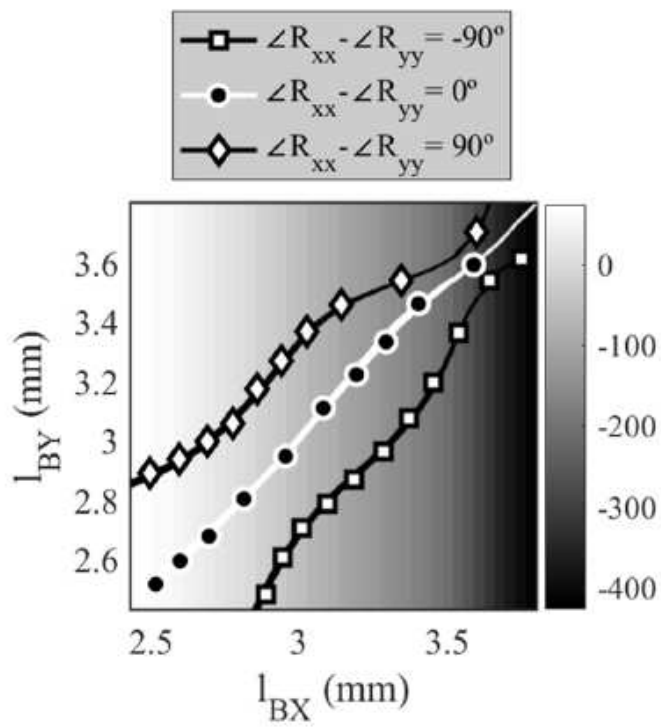


Fig. 8D

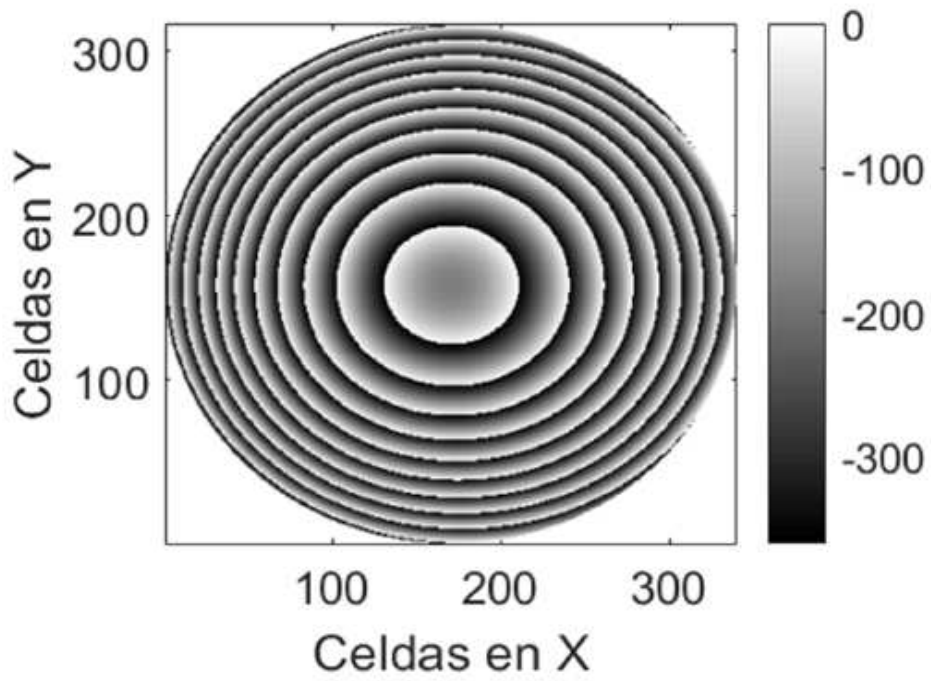


Fig. 9A

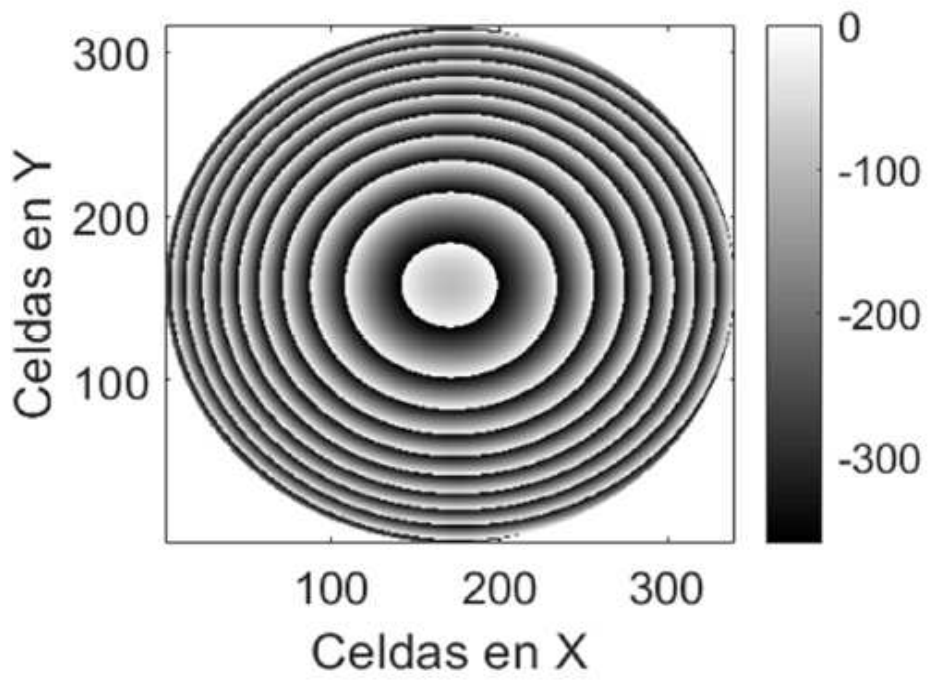


Fig. 9B

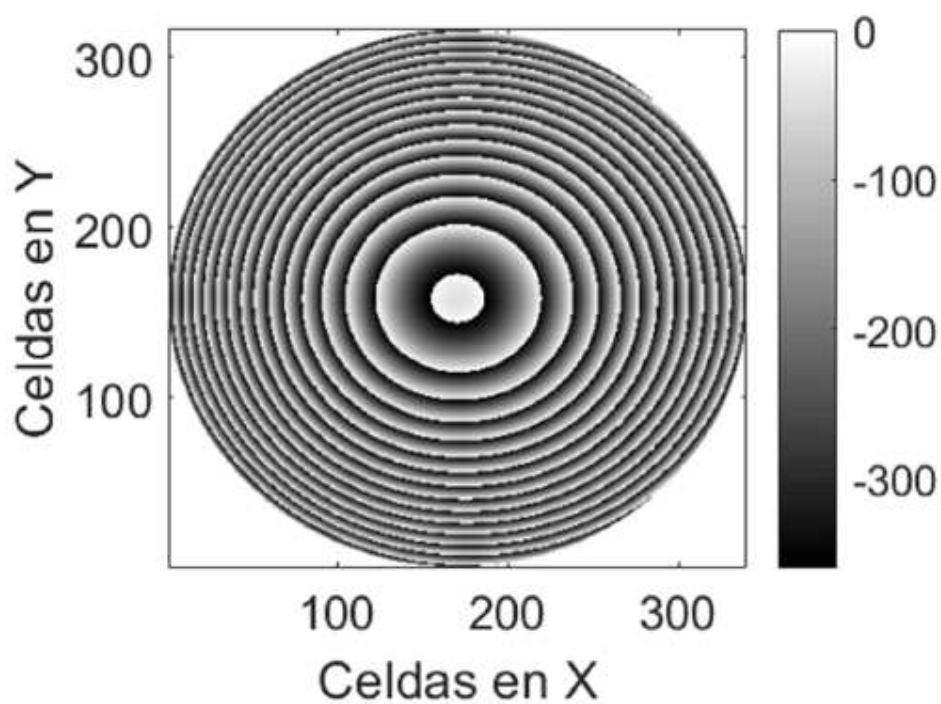


Fig. 9C

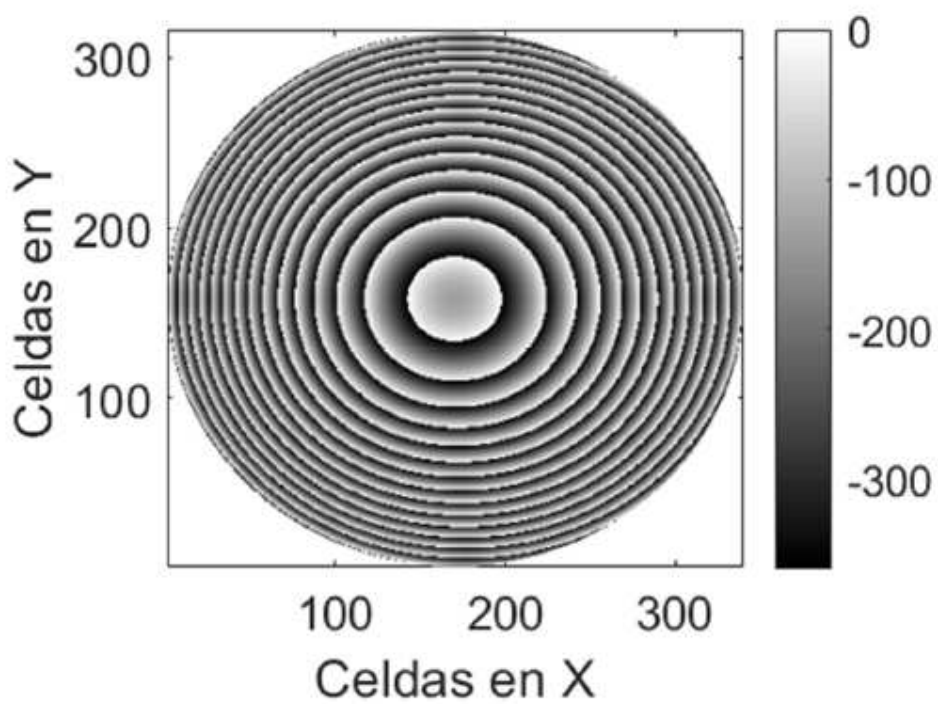


Fig. 9D

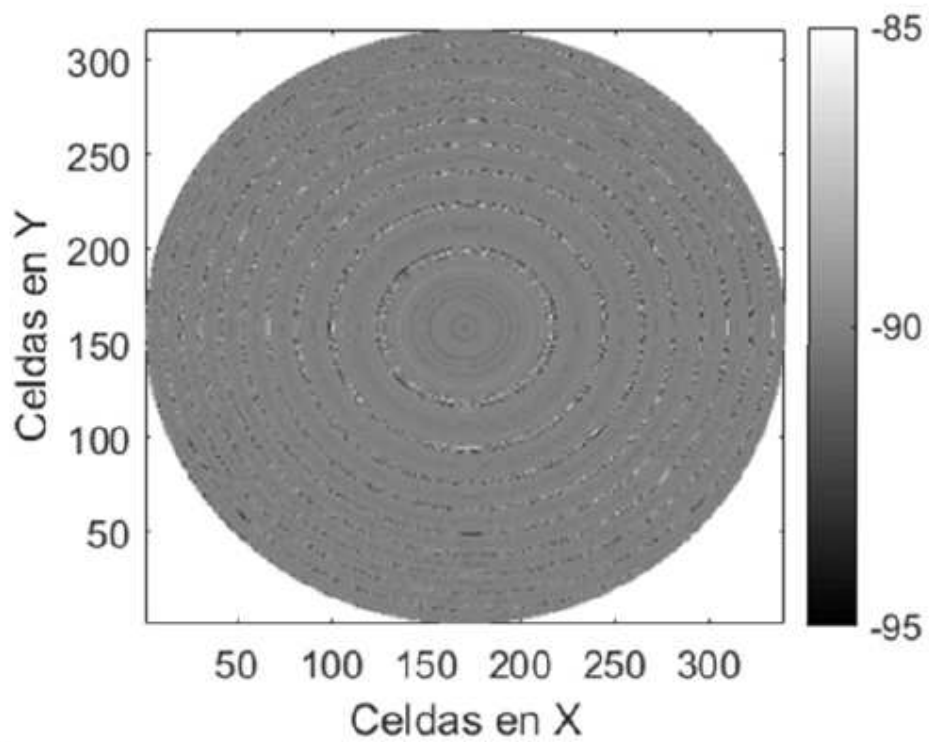


Fig. 9E

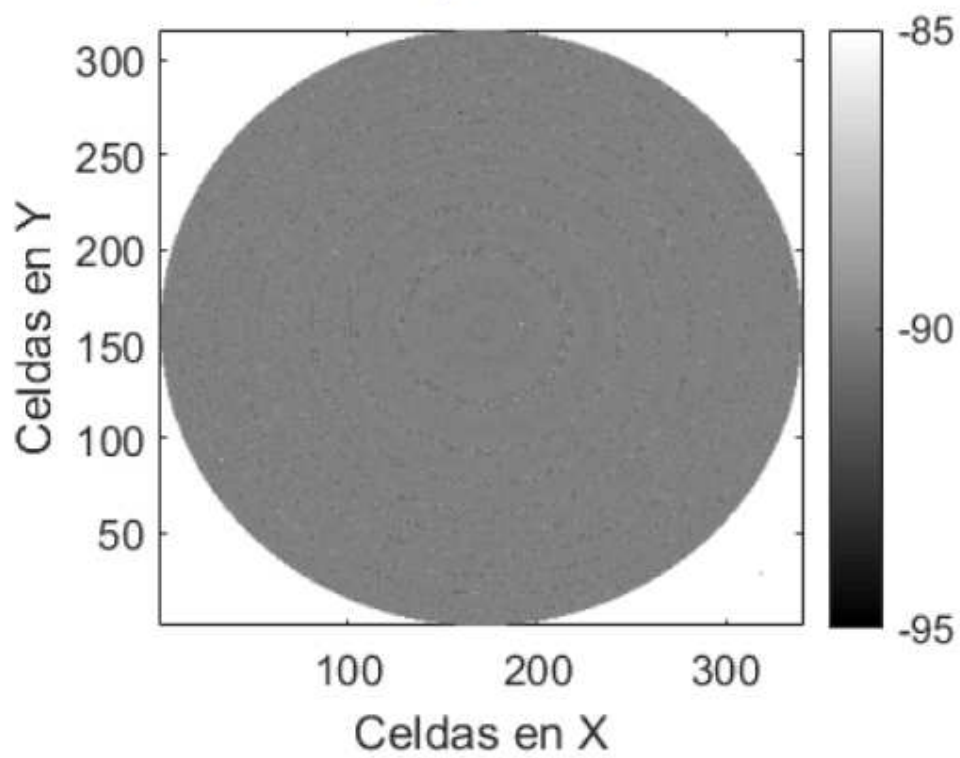


Fig. 9F

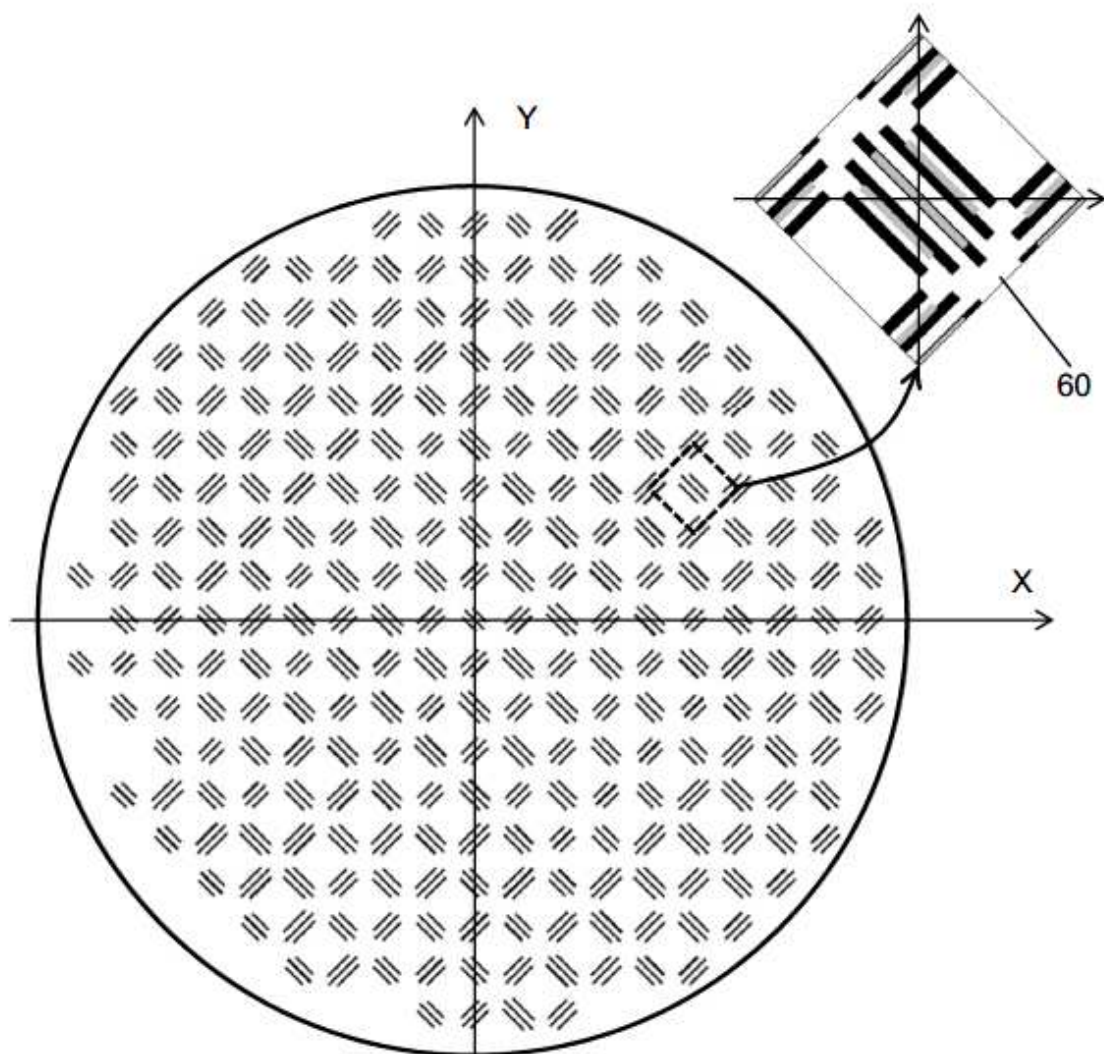


Fig. 10

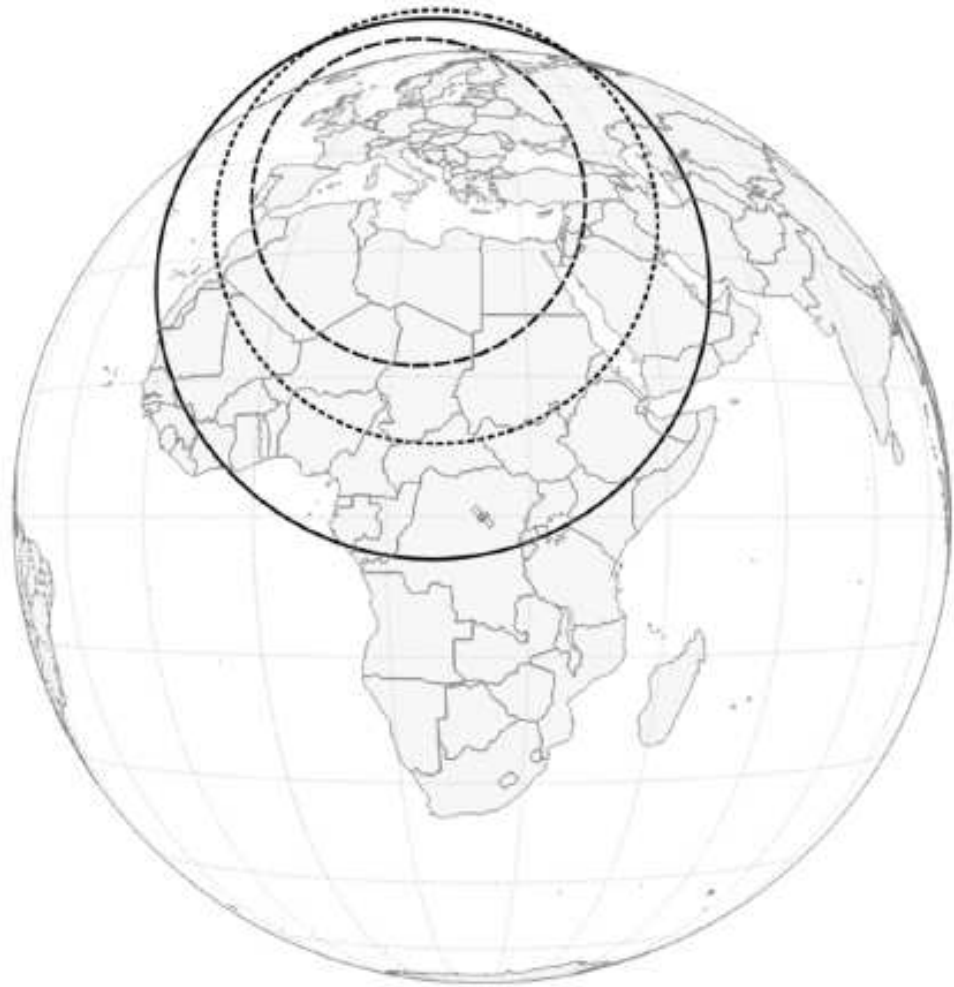


Fig. 11

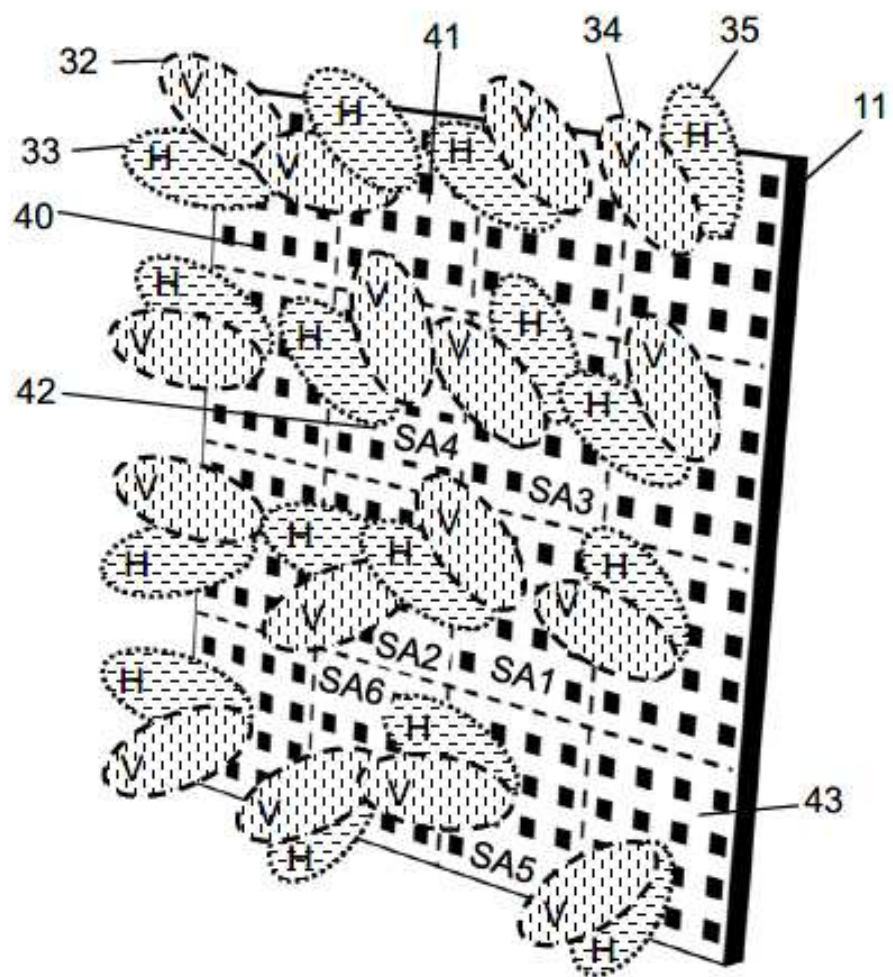


Fig. 12A

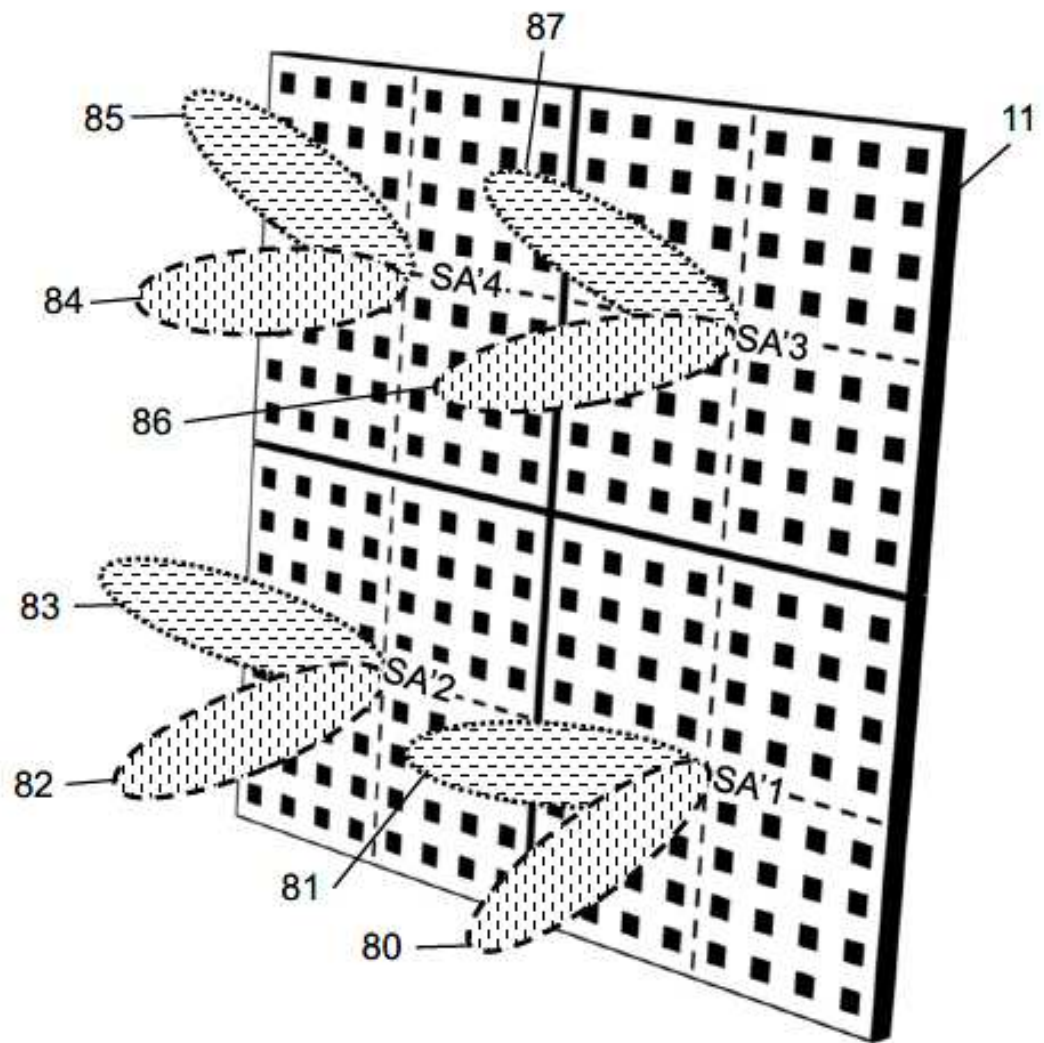


Fig. 12B

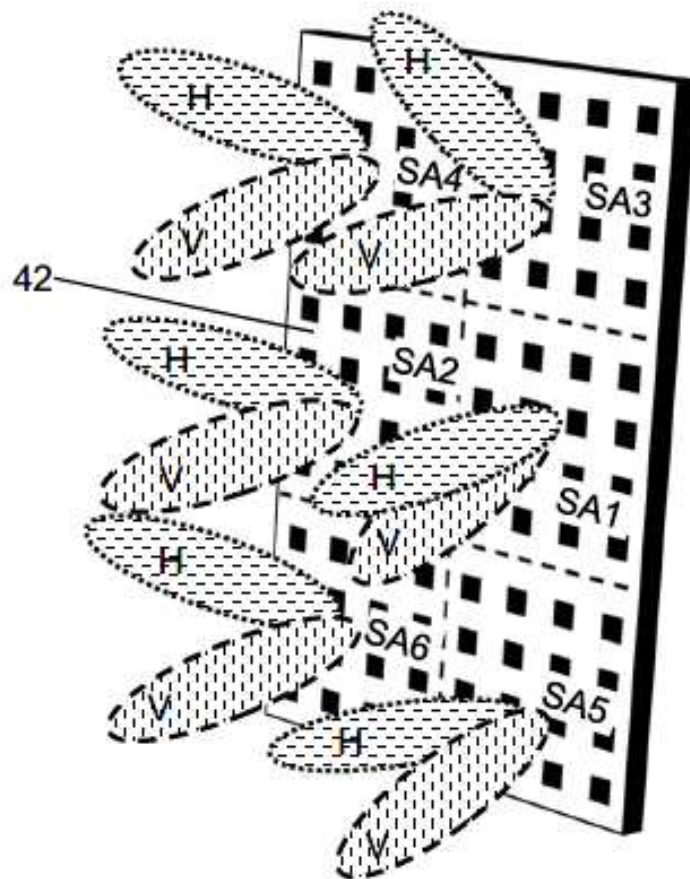


Fig. 12C

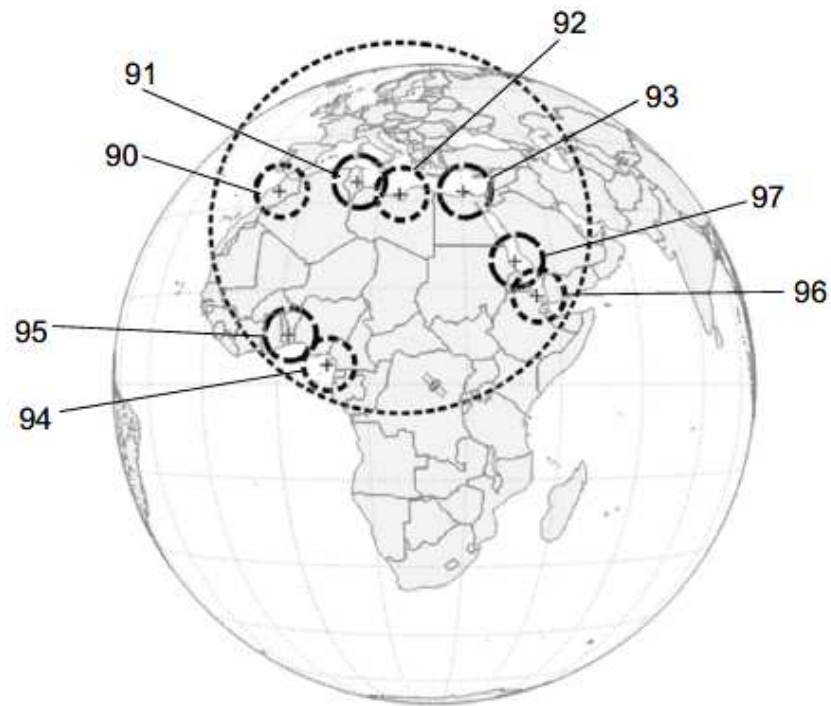


Fig. 13A

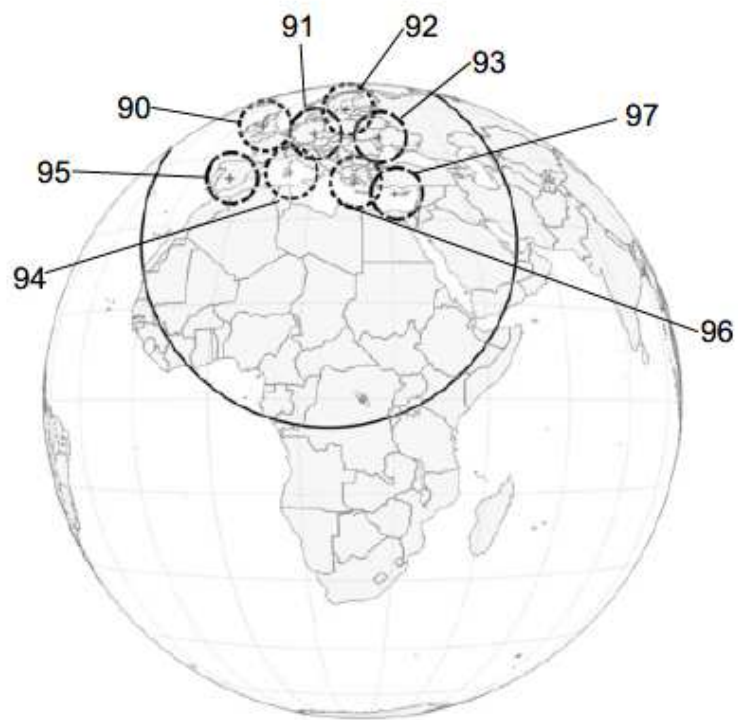


Fig. 13B

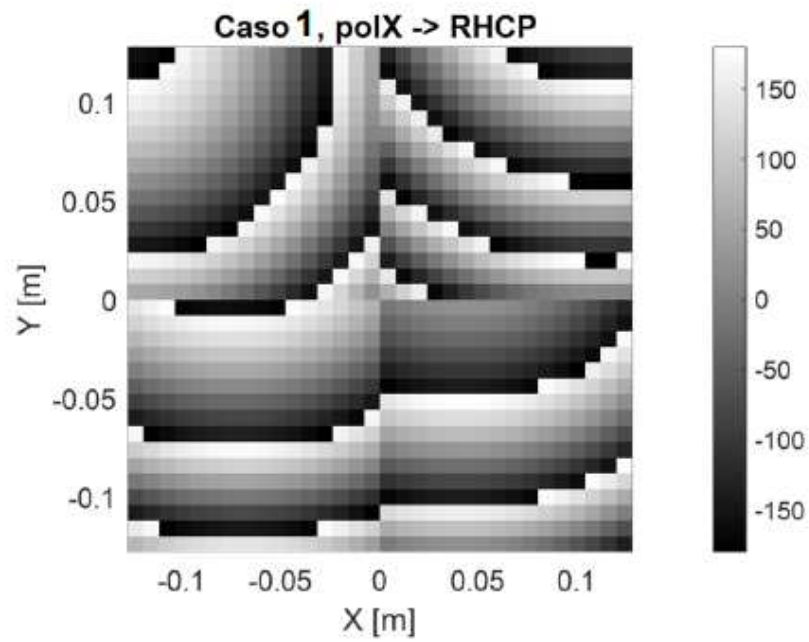


Fig. 14A

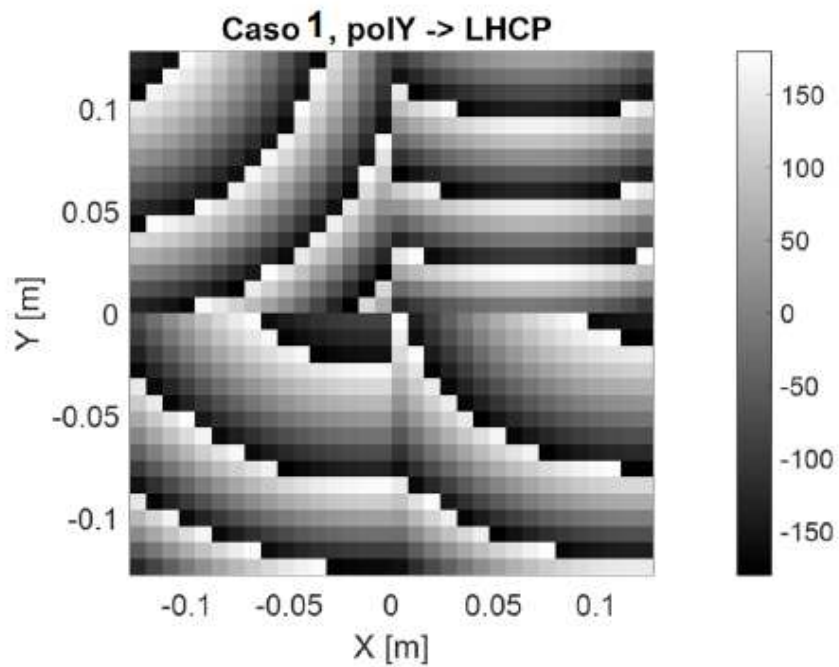


Fig. 14B

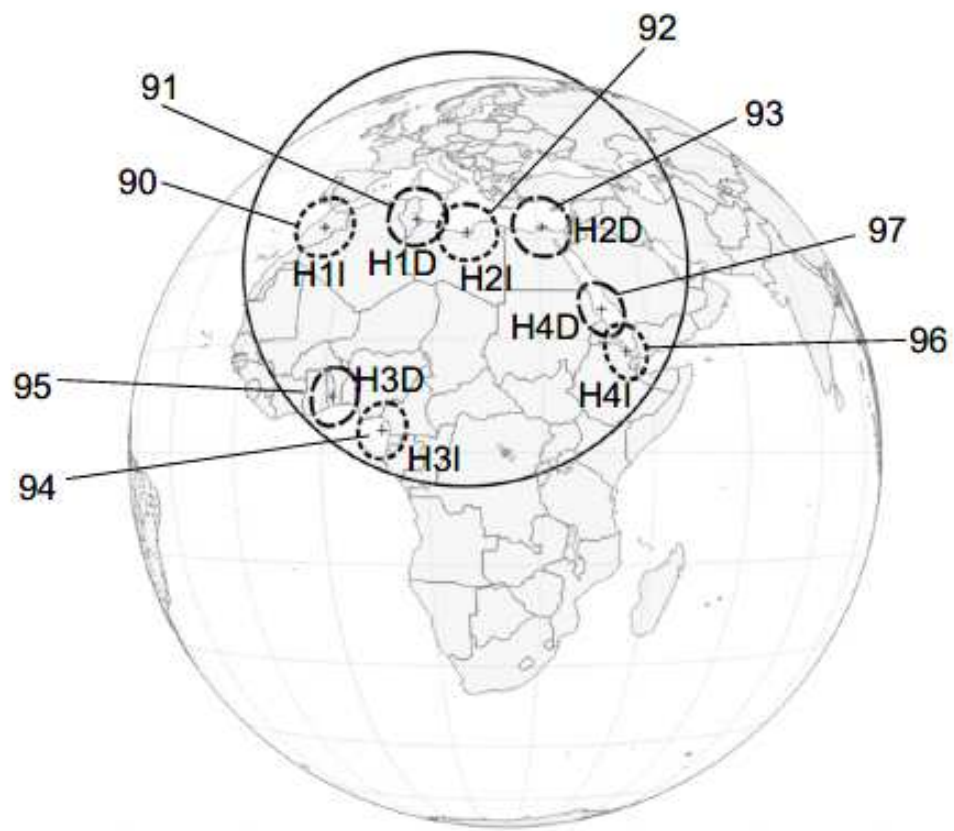


Fig. 15

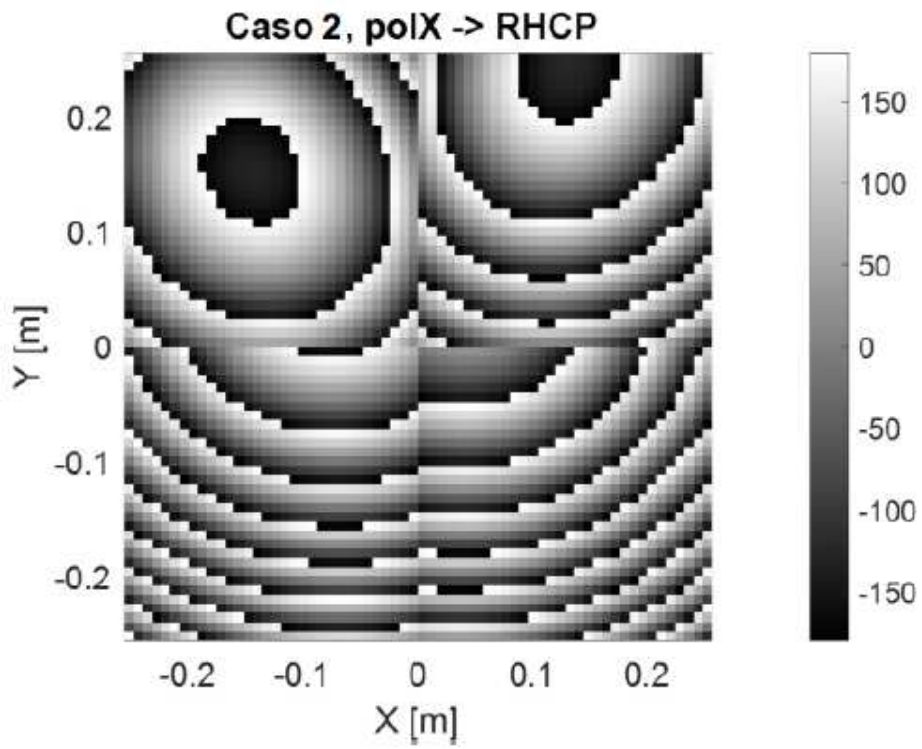


Fig. 16A

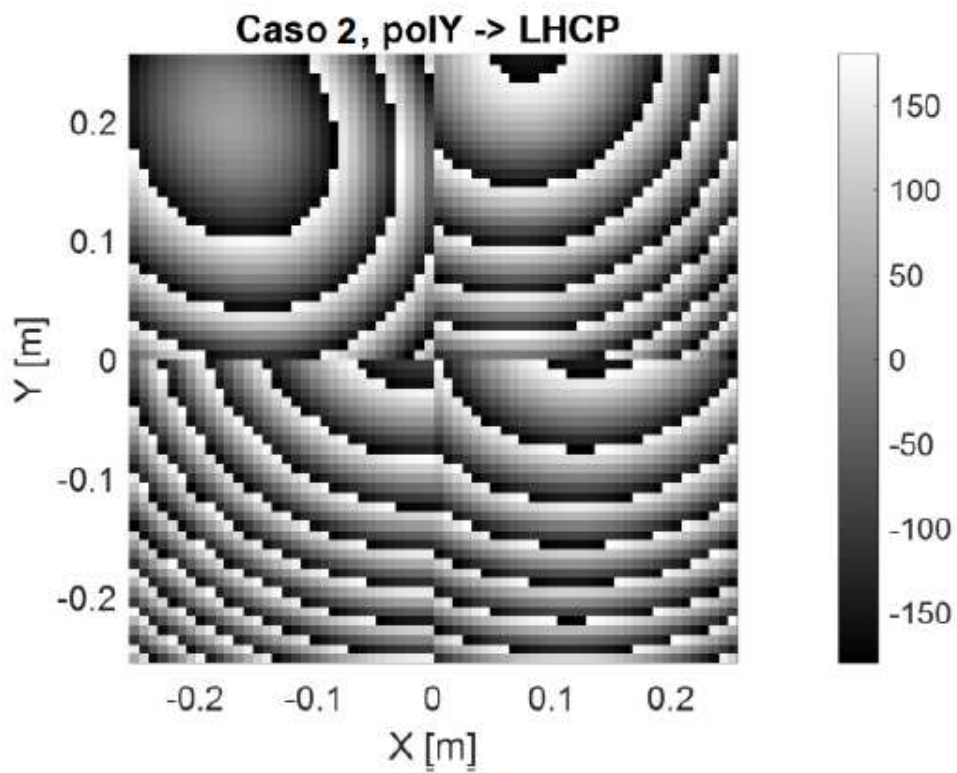


Fig. 16B

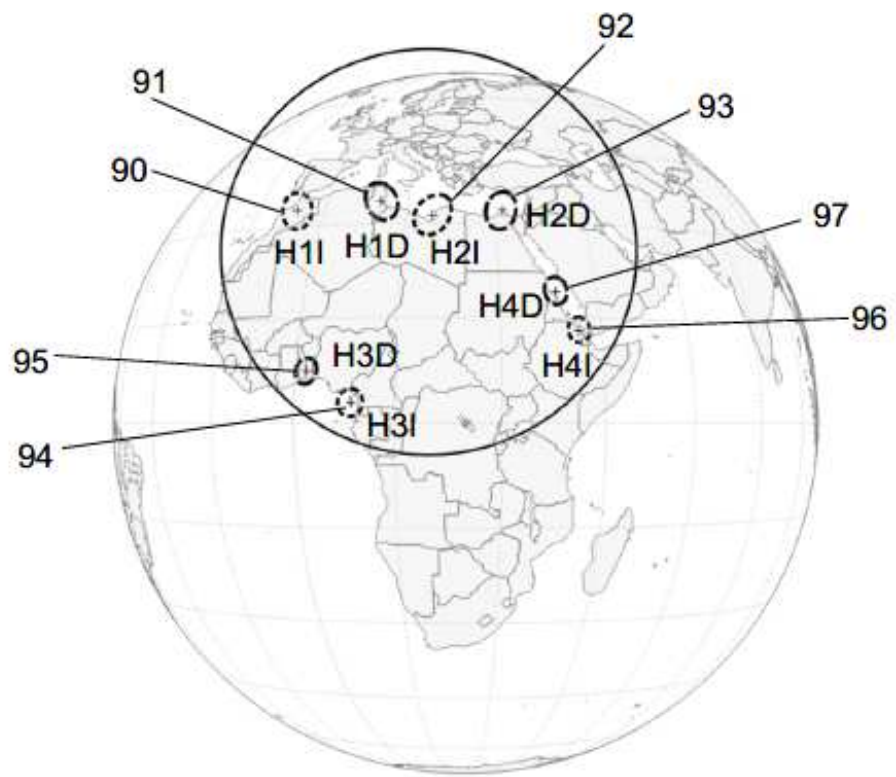


Fig. 17

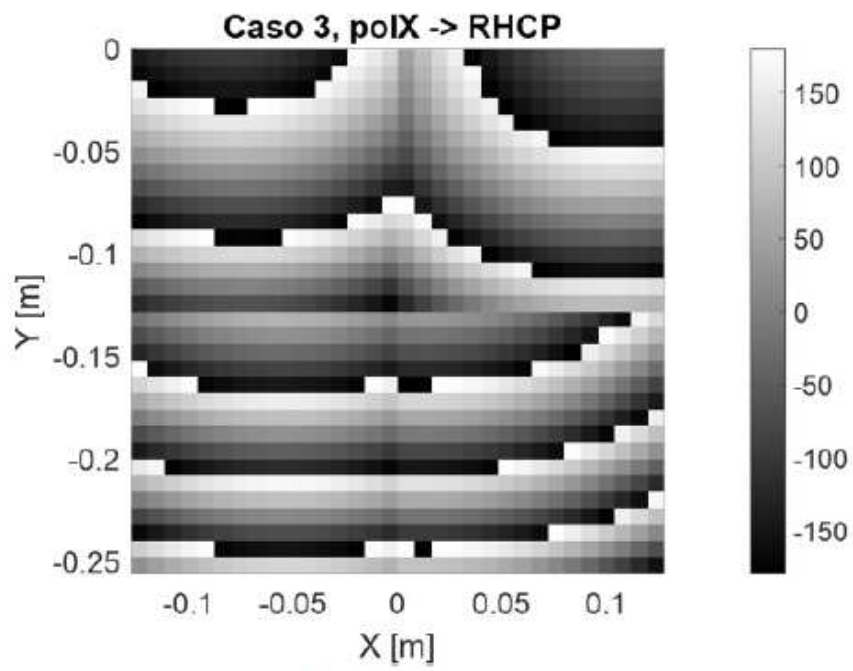


Fig. 18A

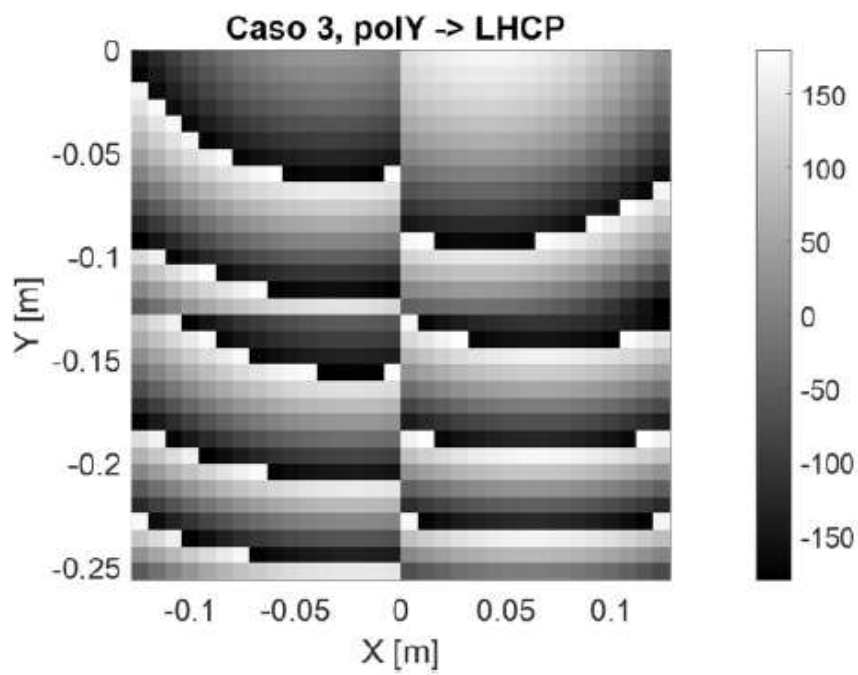


Fig. 18B

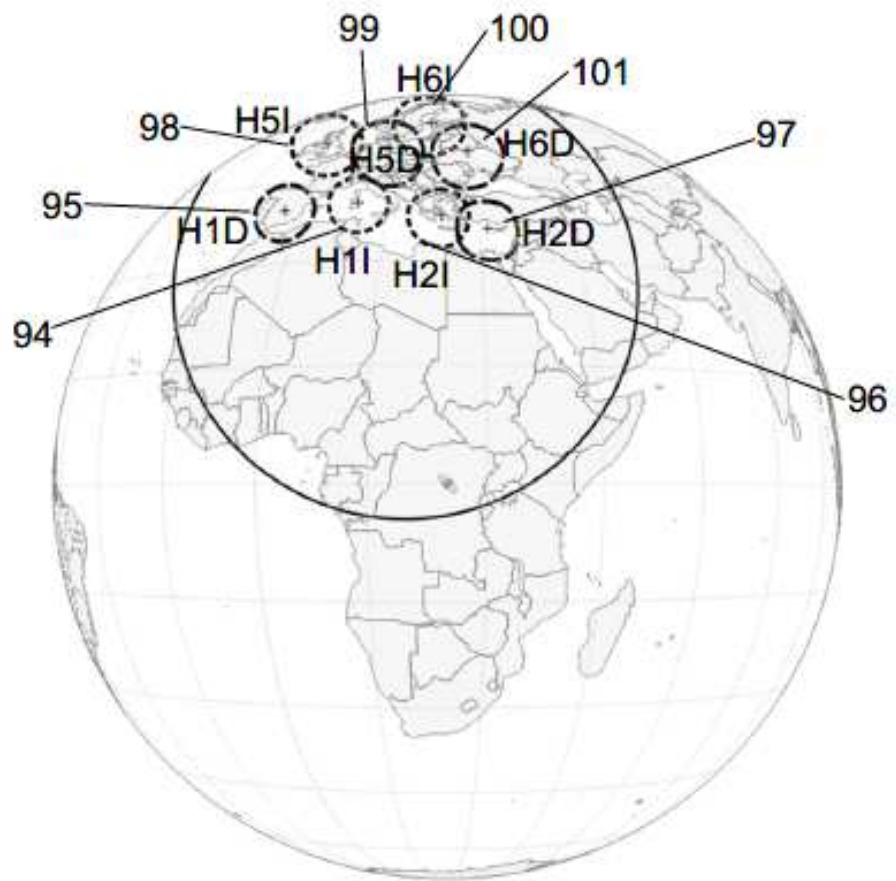


Fig. 19

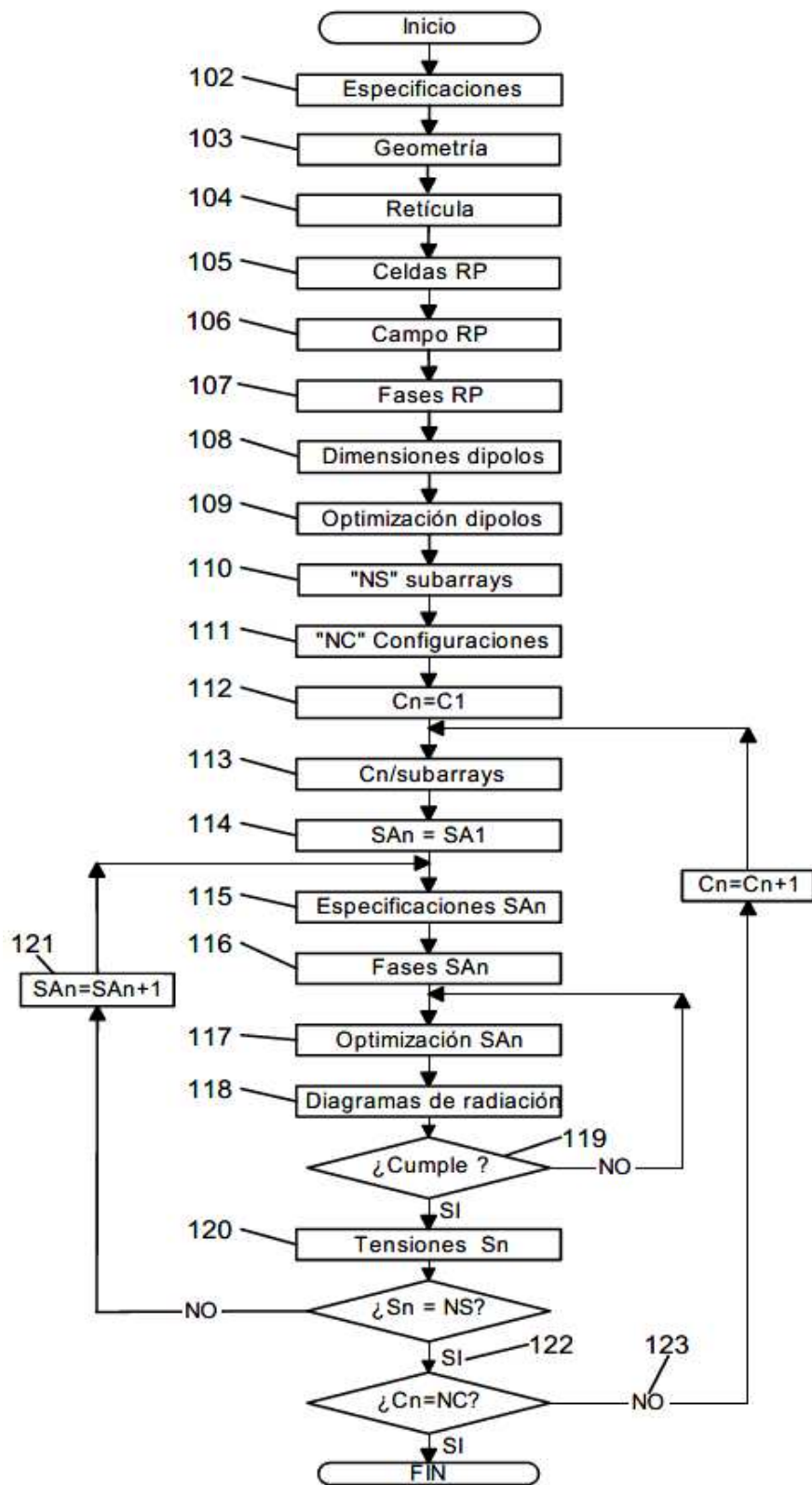


Fig. 20



21 N.º solicitud: 202430305
22 Fecha de presentación de la solicitud: 18.04.2024
32 Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

51 Int. Cl.: **H01Q3/46** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	56 Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
Y	MARTINEZ-DE-RIOJA, DANIEL et al.: "Multibeam Compact Dual Reflectarray Antenna for High-Throughput Satellites in Ka-Band". 2024 18th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), 20240317 European Association of Antennas and Propagation, 17/03/2024, Páginas 1 - 4, <DOI: 10.23919/EuCAP60739.2024.10501442>.	1-11
Y	NAYERI, PAYAM et al.: "Beam-Scanning Reflectarray Antennas: A technical overview and state of the art". IEEE ANTENNAS AND PROPAGATION MAGAZINE, 20150801 IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, 01/08/2015, Vol. 57, Páginas 32 - 47, ISSN 1045-9243, <DOI: 10.1109/MAP.2015.2453883>.	1-11
Y	MARTINEZ-DE-RIOJA, EDUARDO et al.: "Dual Polarized Reflectarray Transmit Antenna for Operation in Ku- and Ka-Bands With Independent Feeds". IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 20170601 IEEE, USA, 01/06/2017, Vol. 65, Páginas 3241 - 3246, ISSN 0018-926X, <DOI: 10.1109/TAP.2017.2689059>.	4-11
A	MARTINEZ-DE-RIOJA, EDUARDO et al.: "Broadband Linear-to-Circular Polarizing Reflector for Space Applications in Ka-Band". IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 20200227 IEEE, USA, 27/02/2020, Vol. 68, Páginas 6826 - 6831, ISSN 0018-926X, <DOI: 10.1109/TAP.2020.2975617>.	1-11

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:

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

H01Q

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.