

OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

① Número de publicación: **2 257 194**

② Número de solicitud: 200402583

⑤ Int. Cl.

H01Q 1/36 (2006.01)

H01Q 15/00 (2006.01)

⑫

SOLICITUD DE PATENTE

A1

⑫ Fecha de presentación: **27.10.2004**

⑬ Fecha de publicación de la solicitud: **16.07.2006**

⑬ Fecha de publicación del folleto de la solicitud: **16.07.2006**

⑦ Solicitante/s: **Universidad Pública de Navarra
Campus de Arrosadia, s/n (OTRI)
Edificio El Sario
31006 Pamplona, Navarra, ES**

⑦ Inventor/es: **Gonzalo García, Ramón;
Ederra Urzainqui, Iñigo;
Sáinz Sáez, Elena y
Río Bocio, Carlos del**

⑦ Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

⑤ Título: **Estructuras de tipo zurdo como superestratos y/o substratos de antenas planas.**

⑤ Resumen:

Estructuras de tipo zurdo como superestratos y/o substratos de antenas planas diseñadas como sistema radiante y formado por una antena plana de cualquier tipo combinada con un superestrato, un substrato o ambos que están formados por cualquier estructura (11) de tipo "left-handed" que sirve para conseguir un sistema de radiación de altas prestaciones.

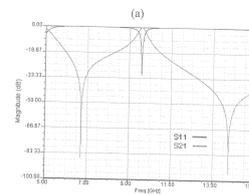
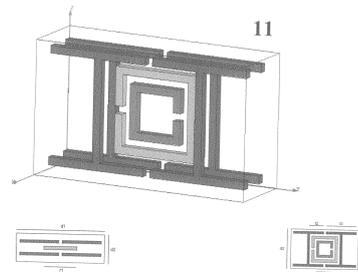


Fig. 1

ES 2 257 194 A1

DESCRIPCIÓN

Estructuras de tipo zurdo como superestratos y/o substratos de antenas planas.

5 Objeto de la invención

La presente invención se refiere a una antena plana adyacente a estructuras de tipo zurdo, left-handed, para radiar energía a frecuencias de microondas y milimétricas. Dicho dispositivo antena permite obtener sistemas radiantes planos muy compactos, altamente eficientes con diagramas de radiación muy simétricos.

10

Estado de la técnica

Desde que Veselago predijo en 1968 (“The electrodynamics of substances with simultaneously negative values of ϵ and μ ”, Sov. Phys. Usp. 10, 509 (1968)) la existencia de los materiales zurdos o según su nomenclatura internacional, materiales o estructuras “left-handed”, se están llevando a cabo muchos estudios para diseñar y verificar el comportamiento de este tipo de estructuras. Una estructura tipo “left-handed” es un material construido artificialmente que poseen propiedades electromagnéticas que no se encuentran en la naturaleza, como una permitividad y una permeabilidad negativas que dan lugar a índices de refracción también negativos.

15

20

Por otro lado han existido muchas propuestas de estructuras de tipo “left-handed”, en concreto Ziolkowski ha presentado varias posibilidades basadas en el uso de un substrato con incrustaciones de guías cargadas capacitivamente (CLSs), que producen fuertes respuestas dieléctricas y resonadores en anillo (SSR) que producen fuertes respuestas magnéticas (“Design, Fabrication, and Testing of Double Negative Metamaterials”, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 51, No. 7, July 2003).

25

Hasta ahora la novedad en el uso de estas estructuras está basado en la potencialidad para la creación de lentes perfectas que son capaces de enfocar el espectro completo, tanto la señal que se propaga como la evanescente. Hasta ahora se han venido diseñando diferentes configuraciones para intentar conseguir esas lentes perfectas y se está extendiendo su aplicación al diseño de filtros (R. Marqués, J. D. Baena, J. Martel, F. Medina, F. Falcone, M. Sorolla, F. Martín, “Novel small resonant electromagnetic particles for metamaterial and filter design” Proc. of Int. Conf. on Electromag. In Advanced App. (ICEAA’03), pp. 439-442, Torino (Italy) 2003). Sin embargo, nadie los ha utilizado en conjunción con antenas planas bien sea como superestrato, substrato o como superestrato y substrato al mismo tiempo con la finalidad de mejorar los parámetros de radiación de las antenas planas, creando sistemas radiantes más eficientes.

30

35

Por otro lado, en aplicaciones de comunicaciones vía satélite, se está proponiendo recientemente (R. Chantalat, T. Monédière, M. Thévenot, B. Jecko, P. Dumon, “Multibeam antenna with interlaced focal feeds by using a 1-D dielectric EBG resonator” Proceedings of the 27th ESA Antenna Technology Workshop on Innovative Periodic Antennas: Electromagnetic Bandgap, Left-Handed Materials, Fractal and Frequency Selective Surfaces, Santiago de Compostela (Spain) 2004) el uso de configuraciones formadas por antenas planas junto con superestratos de tipo “Electromagnetic Band Gap” para mejorar las prestaciones del sistema final, formado por el sistema radiante más un reflector.

40

Consecuentemente, se hace necesario desarrollar una antena plana adyacente a una estructura tipo “left-handed”, dicha disposición de antena presenta claras ventajas como son la mayor compactidad, sistema radiante más plano y mayor eficiencia de radiación.

45

Caracterización de la invención

La presente invención busca resolver o reducir uno o más de los inconvenientes expuestos anteriormente por medio de una antena plana como es reivindicada en la reivindicación 1. Realizaciones de la invención son establecidas en las reivindicaciones dependientes.

50

Un objeto de la presente invención es implementar una antena plana, bien sea un dipolo, un parche, una ranura o “slot”, o cualquier otra antena plana conocida debajo, encima o en medio de una estructura tipo “left-handed”.

55

La estructura “left-handed” es una estructura resonante que, diseñándose para que la frecuencia de resonancia coincida con la de radiación de la antena, permite que la energía que emite la antena la atraviese y para el resto de frecuencias se refleja toda la energía que le llega.

60

Otro objeto de la presente invención es utilizar una estructura “left-handed” uniforme, es decir, sintonizada a una frecuencia de resonancia (todas las celdas de las mismas dimensiones), como el uso de una estructura “left-handed” no uniforme sintonizada a diferentes frecuencias de trabajo (diferentes celdas con diferentes dimensiones).

Aún otro objeto de la presente invención es colocar la estructura “left-handed” sobre la antena plana, para mejorar sus prestaciones de radiación, por ejemplo, aumenta la eficiencia de radiación hasta valores cercanos al 100%, obtiene diagramas de radiación muy simétricos, reduce la radiación trasera y mejora la adaptación. Colocando más de una antena plana, se puede conseguir obtener como salida de las estructuras diferentes diagramas de radiación, uno por cada antena que se tenga, que se solapen pero con un bajo acoplo entre las diferentes antenas.

65

Si la antena se coloca sobre un sustrato tipo “left-handed”, el cual este sintonizado a una frecuencia diferente de la de radiación de la antena, pero actuando este como un conductor magnético perfecto, se evita la propagación de ondas de superficie, que suponen un mecanismo de pérdidas de la antena y favorece el acoplo mutuo entre antenas. Además como la estructura “left-handed” presenta unas propiedades electromagnéticas de altos valores de permitividad y permeabilidad se puede al mismo tiempo miniaturizar la antena manteniendo sus propiedades de radiación.

Otro objeto de la presente invención es colocar la antena plana en el medio de la estructura “left-handed”, que permite un control total sobre el diagrama de radiación; en función del diseño de la frecuencia de resonancia de la estructura “left-handed” se puede permitir el paso de la energía en la dirección deseada, por ejemplo, hacia arriba o hacia abajo. Esta configuración final toma las ventajas de las dos anteriores.

Además y como valor añadido a lo anterior, si se usan diferentes estructuras “left-handed” sintonizadas a diferentes frecuencias (diferentes dimensiones físicas) que permitan pasar unas determinadas frecuencias o rechazarlas según se desee, se puede conformar el diagrama de radiación resultante del sistema radiante para tener la forma que se desee. Por otro lado, además de mejorar dicho diagrama de radiación y sus características de radiación, eficiencia y adaptación, se puede diseñar un sistema radiante compuesto por antenas planas trabajando a diferentes frecuencias con un gran aislamiento entre ellas y con diferentes estructuras “left-handed” sintonizadas para actuar a cada frecuencia de trabajo de cada antena mejorando sus características. Por ejemplo, que dos antenas planas colocadas en el interior de una estructura “left-handed” formada por un superestrato sintonizado a la frecuencia de una de las antenas y un sustrato a la otra. Como resultado una antena radiará hacia arriba, y la otra hacia abajo, teniendo ambas un superestrato y un sustrato con las mejoras que en prestaciones que se han comentado para cada antena individualmente.

Aún otro objeto de la presente invención es permitir la miniaturización de la antena, la creación de una estructura plana y compacta, la supresión de modos de sustrato y reduce el acoplo entre antenas. Además de permitir acercar las antenas hasta una distancia menor de media longitud de onda en el espacio libre lo que facilita grandes ángulos de barrido en aplicaciones de seguimiento realizadas con agrupaciones de antenas planas.

Breve enunciado de las figuras

Ahora serán descritos dispositivos que materializan la invención, a modo de ejemplo solamente, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que todos los dibujos que presentan las configuraciones de los dispositivos se han dividido por la mitad para facilitar su representación:

- las figuras 1.a y 1.b muestran una selección de una estructura de tipo zurdas, a saber, “left-handed” de acuerdo a la invención,

- las figuras 2.a, 2.b y 2.c muestran otras configuraciones relativas a la descrita en el apartado anterior de acuerdo a la invención,

- la figura 3 muestra otra configuración con una estructura “left-handed” uniforme de acuerdo a la invención,

- la figura 4 muestra la antena dentro de una estructura “left-handed” de acuerdo a la invención, y

- la figura 5.a, 5.b y 5.c muestran una serie de resultados con las propiedades de las anteriores configuraciones de acuerdo a la invención.

Descripción de la invención

Como estructura 11 de tipo zurdo “left-handed” se puede utilizar cualquiera que sea reflejado en la técnica anterior, tal como para este caso se ha utilizado una como la que se puede observar en la figura 1.a.

En dicha figura 1.a se encuentra esquemáticamente ilustrada una estructura 11 que está formada por la repetición periódica de una celda unidad que en este caso está compuesta de seis estructuras metálicas insertadas dentro de un material dieléctrico.

En concreto, las estructuras son 2 anillos cuadrados metálicos uno dentro del otro y 4 estructuras con forma de H. Estas últimas actúan como condensadores y las primeras como bobinas. La figura 1.b muestra una respuesta en frecuencia del comportamiento de la estructura 11. La resonancia corresponde con la frecuencia de comportamiento como material “left-handed”.

La figura 2 muestra una antena, en este caso un dipolo, con una estructura 11 “left-handed” como superestrato. Se presentan las dos posibilidades, con una celda de estructura “left-handed” uniforme figura 2.a y con una no uniforme. Para este último se representan a su vez otras dos posibilidades como ejemplo, figuras 2.b y 2.c.

La figura 3 es otra antena plana, en este caso también un dipolo, sobre una estructura “left-handed”. En este caso solo se muestra sobre una estructura “left-handed” uniforme.

ES 2 257 194 A1

La figura 4 muestra la antena dentro de la estructura 11 left-handed. La parte superior presenta unas dimensiones diferentes de la de la parte inferior, de tal forma que se puedan conseguir al mismo tiempo los dos efectos que consiguen con cada uno de las realizaciones anteriores. En este caso y para seguir mostrando diferentes posibilidades, se muestra la configuración con 2 antenas de tipo dipolo.

De aquí en adelante se toma como ejemplo, a fin de realizar una descripción en detalle de la presente invención una antena plana tipo dipolo y se muestran como son algunas de las características de radiación de dicha antena cuando se utilizan en combinación con estructuras 11 “left-handed”.

Como se ha indicado, en la figura 1.a se representa una posible estructura 11 “left-handed”. Una vez seleccionada la estructura, se debe analizar en frecuencia para verificar la situación de la frecuencia de resonancia de la misma. La misma figura 1 presenta este análisis para una celda unidad de dicha estructura, formado por un “Spring Ring Resonador” (SSR) entre dos pares de “Capacitively Loaded Strips” (CLSs) con las siguientes dimensiones, la anchura de todos los gaps y líneas es de 0.254 mm, la celda unidad mide $d1 = 7.366$ mm, $d2 = 2.3622$ mm y $d3 = 4.318$ mm. La altura de los CLS es de $l1 = 3.81$ mm, la longitud de la mitad de la tira capacitiva es de $l2 = 1.778$ mm y el total $l3 = 3.556$ mm. La longitud del anillo exterior es de $r1 = 2.794$ mm y el interior de $r2 = 1.778$ mm. Toda la estructura esta dentro de un material dieléctrico de permitividad 2.2.

Volviendo a la figura 2, se puede apreciar que la estructura resuena a una frecuencia de 9.5782 GHz, donde la transmisión (S21) es máxima y la reflexión mínima (S11).

Una vez se tiene el diseño de la estructura 11 “left-handed” se procede a diseñar una antena plana trabajando a 9.5782 GHz. En este ejemplo se usa una antena tipo dipolo de media longitud de onda que tiene una longitud de 10.5422 mm, y una anchura de 1 mm, y que se encuentra situado dentro de un material dieléctrico con el mismo valor de permitividad que el usado anteriormente en la estructura “left-handed” 2.2. La antena se diseña dentro del sustrato dieléctrico para hacer el dispositivo uniforme.

Como resultados y, utilizando como ejemplo la configuración que se presenta en la figura 2.b, se obtienen las características de radiación de la figura 5. Destacar que en este caso, la estructura 11 “left-handed” que se ha colocado como superestrato de la antena dipolo esta formada por 4 celdas de las dimensiones comentadas anteriormente rodeada de 3 celdas a cada lado de una estructura 11 “left-handed” 0.8 veces más pequeña que presenta una frecuencia de resonancia a 11.98 GHz.

La figura 5.a presenta un dibujo de la repuesta de las pérdidas de retorno (S11) de la configuración completa, donde se puede ver que resuena con un valor de - 25 dB alrededor de 10.02, junto con un dibujo de la directividad en función de la frecuencia, que determina que la mejor directividad se obtiene a 10.1 GHz con un valor de 7.3 dB. La eficiencia de esta configuración puede obtenerse sin más que aplicar la fórmula:

$$\eta = \frac{A_{\text{efectiva}}}{A_{\text{física}}}$$

donde el Área física se puede obtener de las dimensiones reales de la configuración, dadas por $l_x = 0.72 \lambda$ en la dirección x, $l_y = 0.59 \lambda$, en la dirección y. Por otro lado, el Área efectiva se puede calcular aplicando la siguiente fórmula:

$$A_{\text{efectiva}} = \frac{D \cdot \lambda^2}{4 \cdot \pi}$$

donde D es la directividad (7.3 dB) y λ es la longitud de onda a la frecuencia de trabajo.

Haciendo la correspondiente operación, resulta una eficiencia de radiación de aproximadamente el 100%.

Además, en la misma figura, en concreto en la figura 5.b, se representa el diagrama de radiación, en concreto los cortes de 0° y 90°, planos E y H respectivamente, resultante de la configuración propuesta. Como se puede apreciar se obtiene un diagrama de radiación muy simétrico y con baja radiación trasera.

Para observar las mejoras que introduce la configuración “left-handed”-dipolo, se compara el diagrama de radiación del dipolo con el de la configuración anterior en la figura 5.c. Se aprecia como se simetriza el haz, como el plano H reduce su radiación lateral y como se reduce la radiación trasera. Además existe un incremento en el valor de la directividad de 2.15 dB para el dipolo a 7.3 dB para la configuración completa.

La frecuencia de este diseño concreto es $f = 9.65$ GHz, y la longitud total de la antena es de 194 mm. (6.2 longitudes de onda, $\lambda = c/f = 31$ mm., siendo $c = 3 \cdot 10^8$ la velocidad de la luz en el espacio libre). El radio de entrada es de 11.7 mm., y el radio de salida es de 81.2 mm.

Este nuevo tipo de antenas es aplicable especialmente en el sector de las telecomunicaciones tanto espaciales como

ES 2 257 194 A1

terrestres, debido a que son antenas planas de reducido tamaño, muy eficientes como radiadores, ligeras, y con unas características de radiación excelentes.

5 En multitud de aplicaciones de comunicaciones que utilizan frecuencias de la banda de microondas y milimétricas, se utilizan actualmente antenas planas sin el uso de este tipo de superestratos o substratos. Estas podrían ser rediseñadas y directamente intercambiables por los dispositivos presentados aquí, mejorando las prestaciones electromagnéticas de las antenas, a la vez que se aumenta la eficiencia de radiación y disminuye el tamaño.

10 Las realizaciones y ejemplos establecidos en esta memoria se presentan como la mejor explicación de la presente invención y su aplicación práctica y para permitir de ese modo que los expertos en la técnica pongan en práctica y utilicen la invención. No obstante, los expertos en la técnica reconocerán que la descripción y los ejemplos anteriores han sido presentados con el propósito de ilustrar y solamente como ejemplo. La descripción como se expone no está destinada a ser exhaustiva o a limitar la invención a la forma precisa descrita. Muchas modificaciones y variaciones son posibles a la luz de la enseñanza anterior sin salirse del espíritu y alcance de las reivindicaciones siguientes.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

- 5 1. Estructura de tipo zurdo de un sistema radiante; **caracterizada** porque el sistema radiante comprende una estructura (11) zurda, a saber, “left-handed” adyacente a una antena plana.
2. Estructura zurda de acuerdo a la reivindicación 1; **caracterizada** porque la estructura “left-handed” está colocada como supestrato de la antena plana.
- 10 3. Estructura zurda de acuerdo a la reivindicación 2; **caracterizada** porque la estructura (11) “left-handed” está colocada como sustrato de la antena plana.
4. Estructura zurda de acuerdo a la reivindicación 3; **caracterizada** porque la estructura (11) “left-handed” está colocada como supestrato y sustrato de la antena plana.
- 15 5. Estructura zurda de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4; **caracterizada** porque el sistema radiante comprende una pluralidad de de estructuras (11) “left-handed” básicas de diferentes dimensiones dispuestas de manera predeterminada para controlar la dirección de la radicación del sistema radiante.
- 20 6. Estructura zurda de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4; **caracterizada** porque el sistema radiante comprende una agrupación de antenas con antenas funcionando a diferentes frecuencias y que, a su vez, incorporan cada una de las mismas la estructura (11) “left-handed” básica de dimensiones predeterminadas diferentes.
7. Estructura zurda de acuerdo a la reivindicación 1; **caracterizada** porque el sistema radiante comprende la estructura (11) zurda, a saber, “left-handed” adyacente a una agrupación de antenas planas.
- 25 8. Estructura zurda de acuerdo a la reivindicación 7; **caracterizada** porque la estructura (11) “left-handed” está colocada como supestrato de la agrupación de antenas planas.
9. Estructura zurda de acuerdo a la reivindicación 8; **caracterizada** porque la estructura (11) “left-handed” está colocada como sustrato de la agrupación de antenas planas.
- 30 10. Estructura zurda de acuerdo a la reivindicación 9; **caracterizada** porque la estructura (11) “left-handed” está colocada como supestrato y sustrato de la agrupación de antenas planas.

35

40

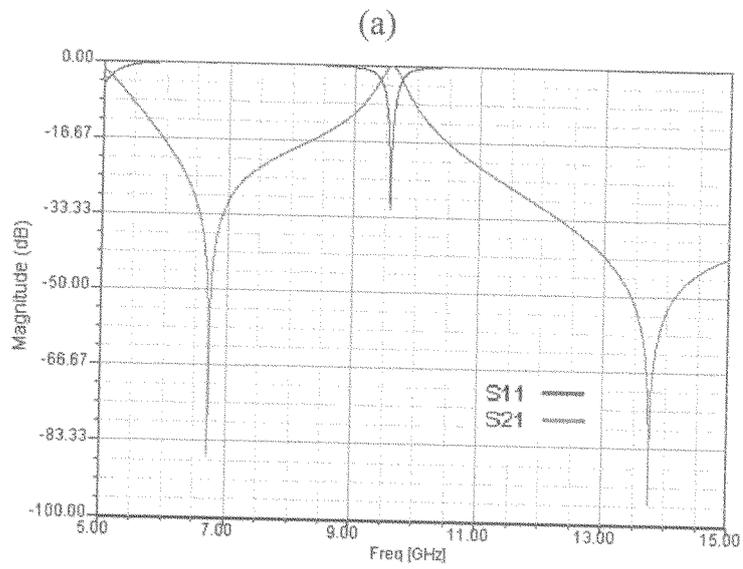
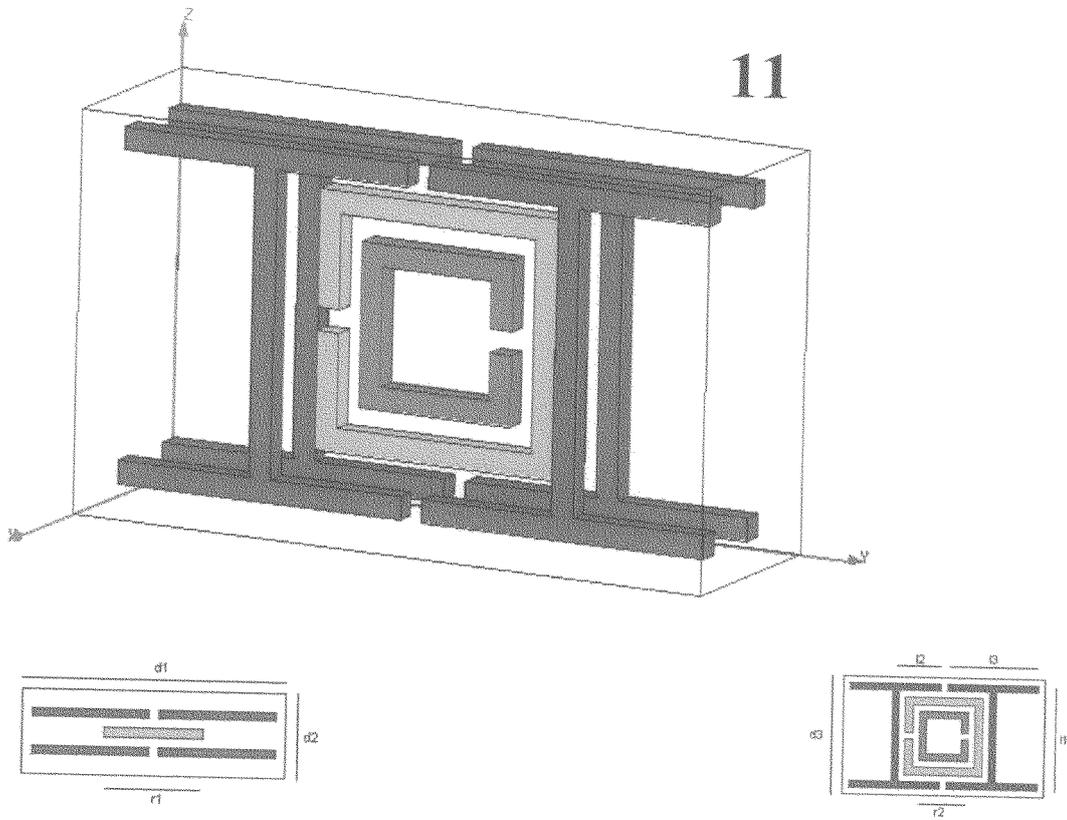
45

50

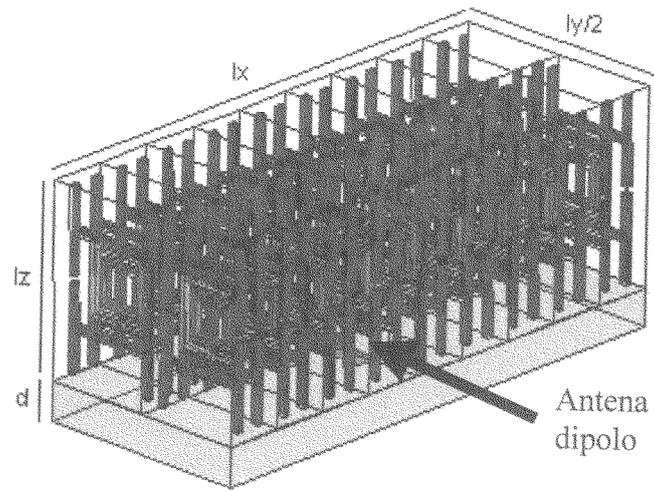
55

60

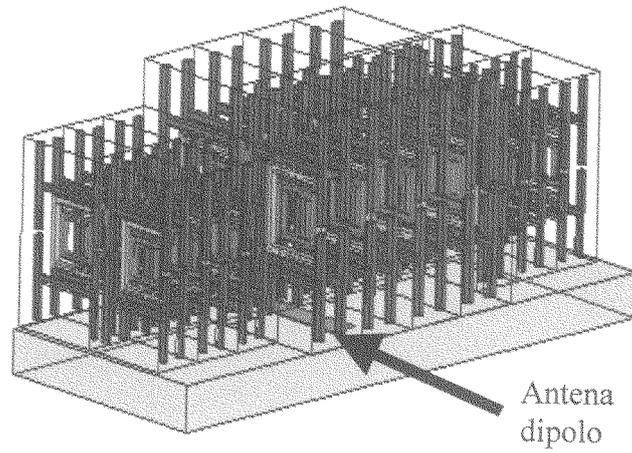
65



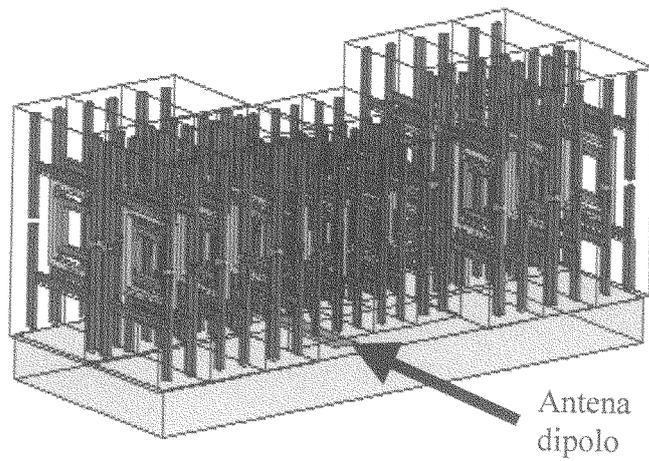
(b)
Fig. 1



(a)



(b)



(c)

Fig. 2

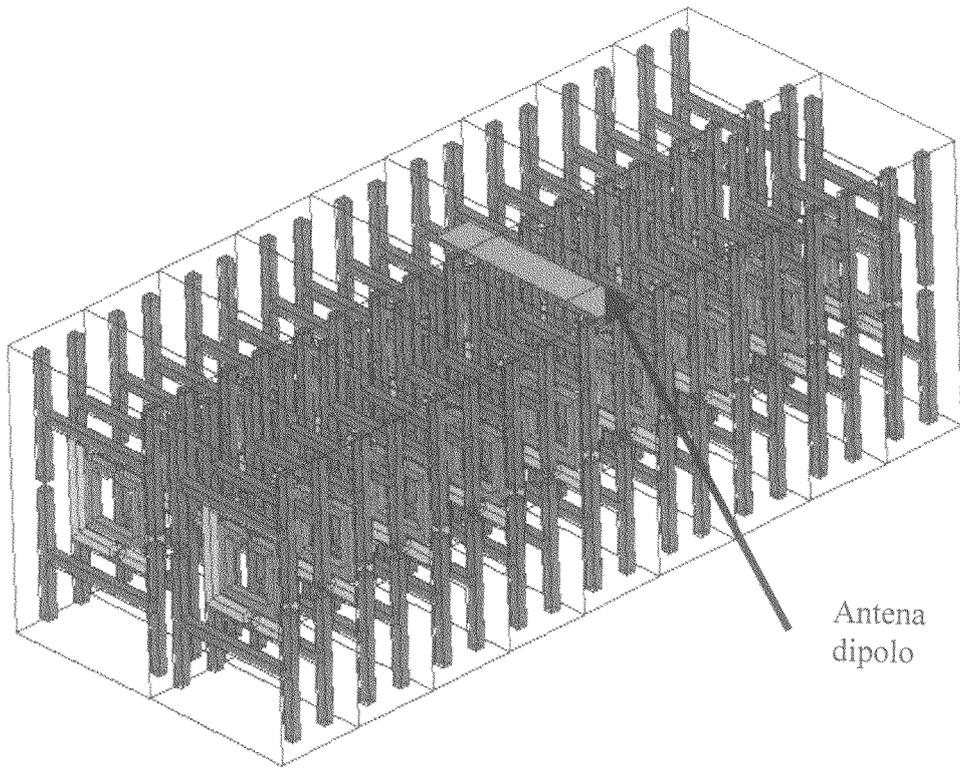


Fig. 3

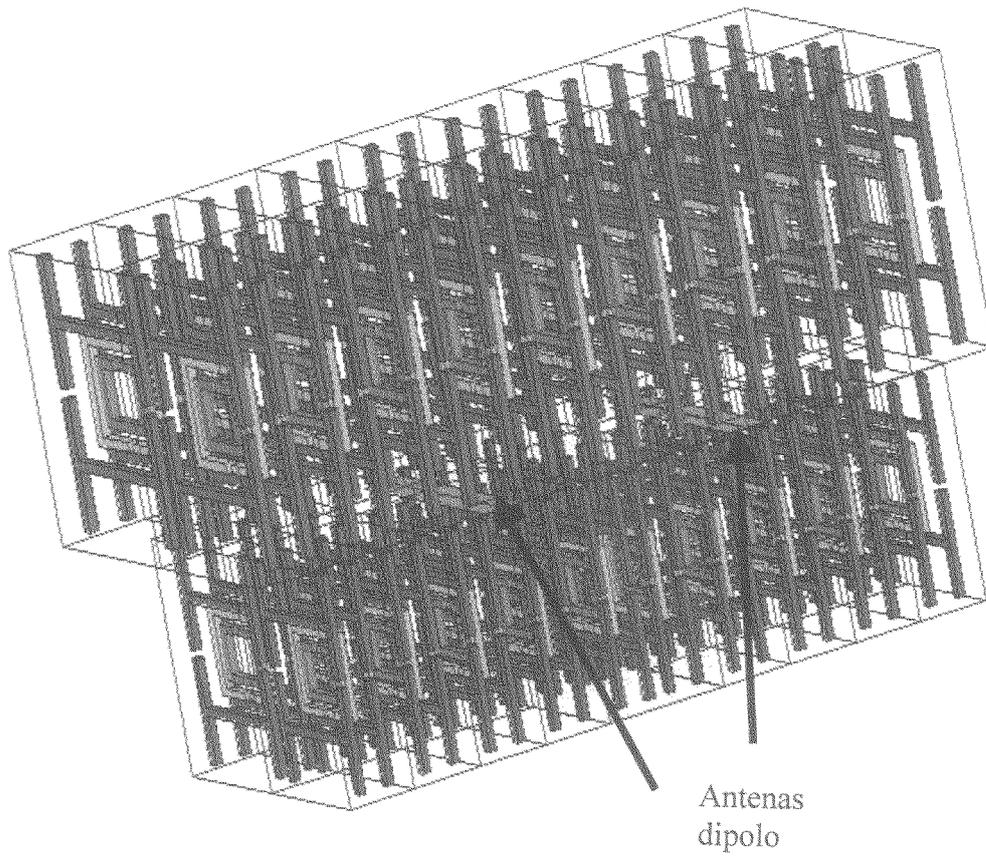
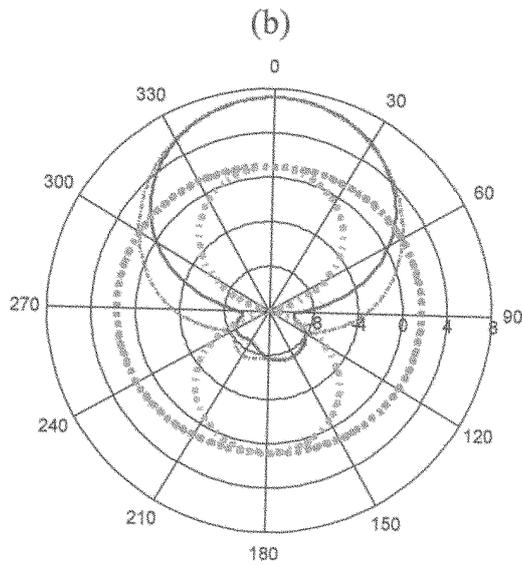
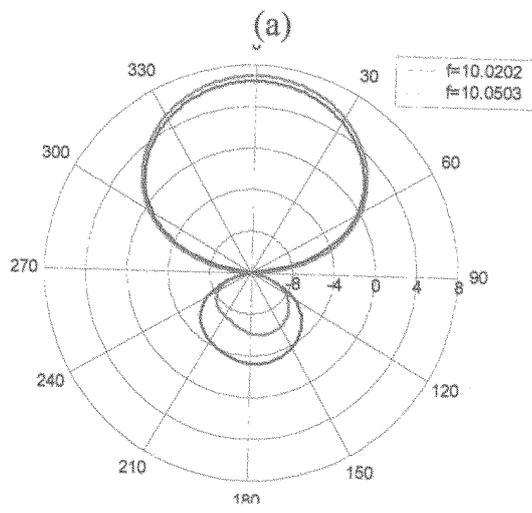
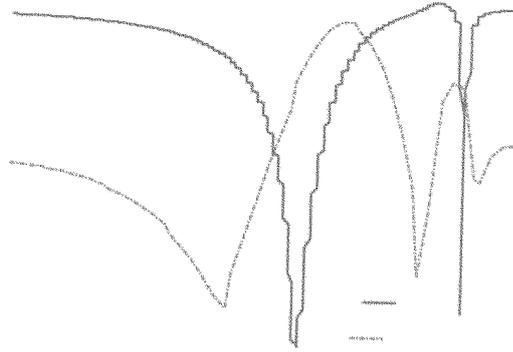


Fig. 4



(c)

Fig. 5



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

① ES 2 257 194

② Nº de solicitud: 200402583

③ Fecha de presentación de la solicitud: 27.10.2004

④ Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤ Int. Cl.: **H01Q 1/36** (2006.01)
H01Q 15/00 (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	HSU et al.: "Electromagnetic resonance in deformed split ring resonators of left-handed meta-materials". J. Appl. Phys., Vol. 96, Nº 4. 15 Agosto 2004. Páginas 1979-1982.	1-6
A	KATSARAKI et al.: "Electric coupling to the magnetic resonance of split ring resonators". J. Appl. Phys., Vol. 84, Nº 5. 12 Abril 2004. Páginas 2943-2945.	1-6
A	ENOCH et al.: "A metamaterial for directive emission". Physical Review Letters. 18 Noviembre 2002. Páginas 1-4.	1-6
A	MARKOS et al.: "Numerical studies of left-handed materials and arrays of split rings resonators". American Physical Society. Vol. 65. 7 Marzo 2002. Páginas 1-8.	1-6

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

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

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

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

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

El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe

23.06.2006

Examinador

M. Pérez Formigó

Página

1/1