



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 318 326**

51 Int. Cl.:
H01Q 13/10 (2006.01)
H01Q 5/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **04766898 .3**
96 Fecha de presentación : **03.08.2004**
97 Número de publicación de la solicitud: **1788664**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **23.05.2007**

54 Título: **Antena plana.**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.05.2009

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.05.2009

73 Titular/es: **Fundación Labein**
c/ Geldo, Edificio 700
Parque Tecnológico de Bizkaia
48160 Derio, Vizcaya, ES
Universidad Pública de Navarra

72 Inventor/es: **Beruete, Miguel;**
Sorolla, Mario;
Campillo, Igor y
Sánchez, Jorge

74 Agente: **Arizti Acha, Mónica**

ES 2 318 326 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Antena plana.

La presente invención se refiere a antenas de perfil plano acopladas a guías de onda y en particular a antenas totalmente planas, de aplicación en telefonía móvil, radares y comunicaciones espaciales. Dichas antenas planas basan su funcionamiento en la transmisión de ondas electromagnéticas, principalmente en el rango de las microondas y ondas milimétricas, a través de una apertura finita de altura inferior a la longitud de onda, disponiendo de corrugaciones en el entorno de dicha apertura, de manera que se consigue una transmisión maximizada de la onda así como la colimación de la misma en una dirección definida hacia ondas de fugas mediante un mecanismo resonante de acoplo.

Antecedentes de la invención

En el Estado de la Técnica existen diferentes antenas con formas y modos de funcionamiento distintos, cuyos diseños son habitualmente dirigidos a una aplicación concreta, tal y como puede ser, comunicaciones espaciales, telefonía, televisión y radares entre otras.

Se conocen bien mecanismos de acoplo para transmitir radiación de microondas a través de aberturas de sublongitud de onda a partir del trabajo de Hans Bethe, véase "The Physical Review, Vol. 66, n.º 7 y 8, 1 y 15 de octubre de 1944, pp. 163-182". Métodos de diseño y análisis con aplicaciones a dispositivos de guía de ondas se tratan en profundidad en "Waveguide Handbook" de Nathan Marcuvitz, McGraw-Hill Book Co., 1951.

Una de las primeras patentes relacionadas con el párrafo anterior es el documento GB-A-600 433, en el que se presenta una superficie de frecuencia selectiva que comprende una pluralidad de ranuras sobre una placa metálica que permite manejar ondas electromagnéticas.

En particular, en la patente mencionada anteriormente, es muy relevante la aplicación descrita en la figura 3 en la que la superficie de frecuencia selectiva se coloca en la abertura de salida de una pared interior lisa de una antena de bocina metálica. En la misma, también se describe el caso en el que varias superficies de frecuencia selectiva se apilan dentro de la bocina.

Es muy significativo observar que el caso en el que la superficie de frecuencia selectiva se coloca exactamente sobre el cuello de bocina no se describe debido al hecho de que provocaría un patrón de radiación en campo lejano demasiado isotrópico, que es consecuencia del hecho de que cuanto mayor sea la abertura en cuanto a la longitud de onda, más directivo se vuelve el patrón de radiación en campo lejano, lo que lo hace incompatible con el fin de las antenas de bocina que alimentan reflectores parabólicos. Este es el motivo por el que en el estado de la técnica la abertura mínima de bocinas coincide con la del cuello de bocinas, que es idéntica a las aberturas de guías de ondas. Por consiguiente, la presente invención, en la que la abertura es mucho más pequeña que el cuello de bocinas, es sustancialmente diferente del estado de la técnica anterior. Además, la invención anteriormente descrita no da a conocer la posibilidad de una bocina plana como en el presente caso.

Son conocidas las antenas basadas en tecnología de circuitos planos de microondas y milimétricas, por ejemplo, en la solicitud de patente europea número EP-0910134-A, se describe una antena plana para transmisión por microondas. La antena comprende al menos un circuito impreso y tiene elementos activos tales como líneas de transmisión y elementos de radiación. La antena está compuesta por una placa y una caja, unidas ambas entre sí y entre las que se sitúa el circuito impreso de la antena, un polarizador y una placa de tierra, estando todos los elementos separados entre sí por medio de espuma de separación. Pese a tratarse de una antena plana, además de no presentar la misma estructura y composición que la antena objeto de la presente invención, su funcionamiento es diferente y no permite un acoplo fácil de las ondas desde una guía de onda hacia la antena.

Las bocinas corrugadas se propusieron por primera vez en los años sesenta del siglo veinte, véase "A. F. Kay, US Air Force Cambridge Research Laboratories, informe 62-757, octubre de 1962".

La explicación de la base de funcionamiento de bocinas corrugadas se basa en el hecho de que las paredes corrugadas modifican los campos electromagnéticos de una bocina de pared lisa de modo que el patrón radiado es más simétrico, presenta lóbulos laterales más bajos y un bajo nivel de polarización cruzada.

Una descripción completa de los principios de diseño de estas bocinas está disponible en los libros clásicos de P.B.J. Clarricoats y A.D. Olver, "Corrugated Horns for Microwave Antennas", IEE Peter Peregrinus Ltd, London, 1984 y de A.D. Olver, P.B.J. Clarricoats, A. A. Kishk, y L. Shafai, "Microwave Horns and Feeds", IEE, London, 1994.

Una característica esencial de las bocinas corrugadas es el hecho de que el número de periodos de corrugación necesarios para obtener la estructura de campo deseada es muy superior a la longitud de onda que funciona en espacio libre, es decir $d \ll \lambda$, donde d indica la periodicidad de corrugación y λ la longitud de onda, y la profundidad de la corrugación se diseña para ser un cuarto de esta longitud de onda de espacio libre.

El caso singular de guías de ondas corrugadas usadas como bocinas simplificadas se describe en M. Thumm, A. Jacobs, y M. Sorolla, IEEE Trans. Microwave Theory y Techniques, Vol. 39, pp. 301-309, 1991. En él hay un análisis

detallado relativo a la influencia de la profundidad de corrugación para el caso de muchos periodos de corrugación por cada longitud de onda.

La patente estadounidense número 6.639.566-B, describe una antena no plana basada en bocinas para la producción de dos señales ortogonales polarizadas. Está compuesta por dos placas conductoras paralelas separadas para definir una apertura interna para la transmisión de señales de microondas. Asimismo posee extensiones acopladas a los bordes de las placas de manera que las aperturas en las extensiones se dirigen hacia las superficies reflectantes de la antena. Una guía de onda suministra señales de microondas cuyas densidades de potencia se estrechan debido a la superficie corrugada de las extensiones. Esta patente supone un antecedente en el campo de las antenas pero las principales diferencias con la antena propuesta es la diferente estructura no plana de la misma, lo cual impide su aplicación en las mismas condiciones que la antena objeto de la presente invención. Otra diferencia entre la antena dada a conocer en esta patente y la invención que se da a conocer aquí, es el uso de un espejo para llevar a cabo la transmisión/recepción de la onda electromagnética en la patente estadounidense nuestra antena no necesita este elemento adicional para llevar a cabo el mecanismo de transmisión/recepción

La posibilidad de una bocina plana se dio a conocer en primer lugar en el documento de patente US 3.212.096 en el que una guía de ondas se conecta con una placa metálica corrugada con el fin de alimentar una antena parabólica. Tal como se describe en esta patente, el fin de la placa metálica corrugada es accionar una inductancia de onda de superficie. Con el fin de conseguir esta inductancia de onda de superficie, basta con tener un mayor número de periodos de corrugación por longitud de onda de espacio libre y una profundidad de corrugación de un cuarto de esta longitud de onda.

De manera muy similar, la patente estadounidense 4.622.559 describe una bocina plana con corrugaciones de sección decreciente que actúan, como en la patente anterior, para evitar excitación de onda de superficie, es decir, de nuevo como inductancia de onda de superficie. En esta antena se emplea un paraboloide también para llevar a cabo la transmisión/recepción de la onda electromagnética.

En ambas patentes, el número de periodos de corrugación por longitud de onda es grande (es decir $d \ll \lambda$ lo que proporciona inductancia de onda de superficie). Esto es muy diferente en esencia de la física que explica nuestra invención en la que se consigue excitación de onda de fuga en lugar de ondas de superficie.

Además, en los casos anteriormente mencionados, la abertura mínima de las bocinas coincide con la del cuello de bocinas que es idéntica a la abertura de guía de ondas. Por consiguiente, debe observarse que en las figuras 3 y 5 del documento US 4.622.559 se obtiene un ancho de haz de -10 dB de casi 150° a 13 GHz. En contraposición, en nuestro caso, se obtienen 12° en plano E y 35° en plano H a pesar del hecho de que se emplea una abertura mucho más pequeña en nuestra estructura. De hecho, es mucho más conveniente una abertura de sublongitud de onda con el fin de obtener un haz menos direccional que excita intensamente las ondas de fuga. Esto hace a la presente invención sustancialmente diferente del anterior estado de la técnica.

La solicitud internacional WO-03019245-A describe un aparato para la transmisión óptica con control de divergencia y dirección de las ondas de luz desde al menos una apertura. Dicho aparato comprende: una superficie insensible a la luz con al menos una apertura, una topografía periódica o casi periódica en su superficie que comprende una o varias características asociadas a dicha apertura, en la que la luz emergente de dicha apertura interactúa con ondas de superficie sobre dicha superficie, proporcionando un control sobre la dirección y divergencia óptica de la luz emitida. La principal diferencia entre este documento y la antena plana propuesta es que pese a describir un funcionamiento similar, no se aplica ni sugiere la aplicación a la transmisión de ondas diferentes a las del rango óptico y por tanto tampoco menciona su aplicación en el sector de las antenas.

Debe mencionarse que la aplicación de principios de diseño óptico en las bandas de frecuencia milimétrica es un tema bien conocido, puesto que se conoce de, "Quasioptical Methods de Formación y Transfer de Millimeter Waves", Uspeki Fiziki Nauka, Vol. 13, n.º 3, 1969 de B.Z. Katsenelenbaum; "Quasioptical Systems-Gaussian Beam Quasioptical Propagation y Applications", IEEE Press, Piscataway, 1998 de P.F. Goldsmith, y, "Diffractional Optics de Millimetre Waves", The Institute of Physics Publishing, Bristol, 2004 de O.V. Minin, y I.V. Minin.

Al mismo tiempo, la patente WO 03/019725 da a conocer un divisor de haz variable cuasióptico, en la que sin conocer los efectos técnicos que regulan el régimen cuasióptico puede resultar claro que los conceptos de diseño cuasióptico pueden escalar fácilmente al espectro de frecuencia de onda milimétrica.

Sin embargo, la presente invención se basa principalmente en el concepto introducido recientemente de transmisión óptica mejorada (Enhanced Optical Transmission, EOT), véase "Extraordinary optical transmission through sub-wavelength hole arrays", Nature 391, 667-669 (1998) de T. W. Ebbesen, *et al.*, "Beaming light from a sub-wavelength aperture", Science 297, 820-822 (2002) de y H.J. Lezec, *et al.* EOT ha producido una intensa controversia en los mecanismos de explicación, que inicialmente se ha atribuido a excitación de plasmón de superficie, un fenómeno resonante que aparece normalmente en el régimen electromagnético óptico, pero no en los regímenes de microondas y onda milimétrica, en los que no pueden existir los plasmones. Por tanto resulta que EOT, en la que se basa la presente invención, no puede extrapolarse directamente desde el régimen óptico a los regímenes de microondas y onda milimétrica.

Aparte de este punto básico la solicitud internacional WO-03019245-A describe el guiado de las ondas por medio del uso de acoplos resonantes para mejorar la transmisión de onda. Y finalmente, tampoco menciona la aparición modos transversales asociados al ancho finito de la ranura.

El artículo “Grantingless enhanced microwave transmission through a subwavelength aperture in a thick metal plate”, Applied Physics Letters, volumen 81, págs. 4661 a la 4663, analiza la transmisión mejorada de radiación a través de una ranura en un sustrato ancho de metal, estando la ranura centrada respecto a dos rendijas. En dicho artículo se concluye que mientras que las rendijas sobre la superficie iluminada pueden incrementar el flujo de potencia total a través de la ranura, las rendijas en la superficie del sustrato pueden usarse para restringir la dirección del haz a un rango angular limitado. En este artículo tampoco se menciona la aplicación del principio técnico de funcionamiento a la tecnología de antenas y en absoluto se emplea el acoplamiento resonante desde una guía de onda hasta la rendija corrugada. Tampoco se menciona la aparición de modos transversales asociados a la finitud de la ranura.

El artículo “Multiple paths to enhance optical transmission through a single subwavelength slit”, Physical Review Letters, volumen 90, págs. 213901-1 a 213901 -3, analiza las propiedades de transmisión ópticas de una ranura en una placa de metal corrugado. Se concluye que existen tres mecanismos que mejoran la transmisión, alcanzando ésta su máximo estímulo cuando los tres mecanismos cooperan, y pudiendo ser controlado con los parámetros geométricos del dispositivo. Al igual que en los documentos anteriores no se hace referencia a la aplicación en antenas en un rango distinto al óptico, ni la utilización de guías de onda, ni la aparición de modos transversales.

Por último, se ha propuesto el uso de microrruptores electromecánicos, los denominados MEMS, para la aplicación en antenas de ranura, tal como se da a conocer en el documento US 2001/0040530.

Descripción de la invención

La presente invención describe una antena con perfil plano que, aprovechando la excitación, mediante una ranura practicada sobre dicha superficie, de mecanismo de radiación EOT de onda de fuga sobre una estructura corrugada practicada sobre dicha superficie, permite reducir el tamaño de la placa de la antena y operar con ondas de microondas o milimétricas que se propagan en el espacio libre, dado que hace más fácil y simple su manejo.

Un objetivo de la presente invención es obtener unas antenas, planas, miniaturizadas y con bajo perfil, que operen directamente con ondas guiadas, ya sea en cable, guía de onda, circuito impreso, monolítico, etc., y permitan su emisión y recepción aprovechando el mecanismo físico descrito anteriormente.

De acuerdo con este objetivo, la antena propuesta consiste en una guía de onda que se acopla a la onda radiada mediante una ranura resonante practicada en una placa metálica que posee diversas corrugaciones. La radiación se produce al transferir la potencia de las ondas guiadas mediante acoplamiento resonante hacia las ondas de fuga, es decir, aquellas ondas guiadas que permiten emitir radiación simultáneamente, que soporta la placa corrugada.

Una forma preferente de realización consiste en una antena con guía de onda que se acopla por resonancia longitudinal, es decir, mediante el espesor de la placa metálica que separa el interior de la guía y el espacio libre. Con el objetivo de minimizar las dimensiones de la estructura únicamente se incluye sólo una corrugación sobre la placa metálica.

Otra forma de realización consiste en una antena plana con un mayor número de corrugaciones de manera que pese a aumentar las dimensiones, se consigue una mejor y mayor focalización.

De acuerdo con una realización, y concretamente para la aplicación de la antena en bandas de comunicaciones móviles en el rango de las microondas, la longitud de onda resultante es elevada por lo que un diseño compacto es inviable, aunque para frecuencias de ondas milimétricas el diseño descrito resulta apropiado ya que el espesor de la placa metálica se encuentra en torno a pocos milímetros. Para conseguir la utilización de antenas planas en el rango de las microondas para comunicaciones móviles, es necesario reducir el espesor del metal conservando intactas las características de radiación, y para ello se hace que la ranura resuene en su dimensión transversal, relacionada directamente con la anchura de la ranura, en lugar de longitudinalmente.

Otra realización permite el diseño de una antena plana con al menos dos pares de corrugaciones, con capacidad para operar en dos bandas de frecuencia independientes, aprovechando que en la ranura se pueden excitar dos resonancias independientes, una resonancia longitudinal y una resonancia transversal. Asimismo mediante el control de la distancia y profundidad de las corrugaciones es posible conseguir el enfoque de las ondas a diferentes frecuencias. Esta construcción permite la obtención de una antena bi-banda cuyas frecuencias de resonancia se pueden fijar de forma completamente independiente entre sí mediante el control de la anchura y el espesor de la ranura central. El aumento de la ganancia se consigue mediante la colocación de corrugaciones a los lados, siendo cada una de estas únicamente sensible sólo a su frecuencia de diseño mientras que es transparente para la otra resonancia.

Otra realización incluye, dentro de la cavidad formada por las corrugaciones, un material dieléctrico de bajas pérdidas y una permitividad dieléctrica relativa adecuada, de manera que permite reducir el espesor de la placa de la antena. Esta realización permite realizar antenas ultraplanas.

De acuerdo con otra realización se dispone de una antena sin la alimentación mediante guía de onda, que consiste en una antena ranurada sobre una placa de circuito impreso de alta frecuencia. En esta realización, la resonancia de la ranura es transversal, como la descrita anteriormente para reducir el espesor, y se encuentra rodeada de placas metálicas corrugadas estando estas rellenas de sustrato de permitividad dieléctrica elevada. Esto permite que la compatibilidad con la tecnología de circuitos planos y monolíticos esté garantizada mediante un diseño completamente plano en sustrato de microondas, con corrugaciones excavadas en el sustrato y metalización posterior. Además, permite la inclusión de via-holes (vías de metalización o agujeros por los que se realizan conexiones a masa entre diferentes placas de circuito) que faciliten la conexión entre placas.

Finalmente, otra realización consiste en una antena que emplea corrugaciones concéntricas alrededor de la ranura, con resonancias transversales y longitudinales respectivamente.

Breve descripción de los dibujos

Diversas configuraciones de perfiles planos corrugados y sus propiedades se representan esquemáticamente y sólo a título de ejemplos en las figuras adjuntas para mayor comprensión de cuanto se ha expuesto.

La figura 1a muestra un esquema de una ranura rodeada de corrugaciones sobre una placa metálica.

La figura 1b muestra los resultados de transmisión en plano E para una estructura como la de la figura 1a, medida en dos configuraciones: la superficie corrugada mirando al emisor (línea a trazos con puntos cuadrados blancos) y mirando al receptor (línea continua con puntos negros). También se muestran los resultados para una placa con una ranura sin estar rodeada de ninguna corrugación (línea a puntos con triángulos invertidos blancos). Los resultados confirman la mejora en la transmisión y la canalización del haz transmitido para una estructura como la de la figura 1a.

La figura 2a muestra una vista en planta de una forma preferida de la invención destacando los siguientes parámetros de diseño: anchura de la placa (a), altura de la placa (L), anchura de la ranura (w), altura de la ranura (h), altura de la corrugación (s) y distancia entre la ranura y la corrugación (d).

La figura 2b muestra vistas laterales respectivas de una forma preferida de la invención, destacando los siguientes parámetros de diseño: espesor de la placa (E), altura de la guía de onda (b) y profundidad de la corrugación (p).

La figura 3a muestra una vista en perspectiva de una antena plana corrugada acoplada a una guía de onda.

La figura 3b muestra una vista lateral de la figura 3b y el efecto sobre la densidad de potencia de la resonancia longitudinal de la ranura.

La figura 3c muestra la densidad de corriente de una resonancia longitudinal.

La figura 3d muestra la densidad de corriente de una resonancia transversal.

La figura 3e muestra las pérdidas de retorno simuladas (línea gris) y medidas (línea negra) con la frecuencia para ambas resonancias.

La figura 3f muestra la simulación del patrón de radiación en campo lejano en formato tridimensional para la primera resonancia en ausencia de las corrugaciones.

La figura 3g muestra la simulación del patrón de radiación en campo lejano en formato tridimensional para la primera resonancia con el efecto colimador de las corrugaciones.

La figura 3h muestra la simulación del patrón de radiación en campo lejano en Plano-E, en coordenadas polares, para la primera resonancia en presencia de las corrugaciones.

La figura 3i muestra la simulación del patrón de radiación en campo lejano en Plano-H, en coordenadas polares, para la primera resonancia en presencia de las corrugaciones.

La figura 3j muestra la simulación (línea continua) comparada con la medida (línea con puntos) del patrón de radiación en campo lejano en Plano-E, en coordenadas cartesianas, para la primera resonancia en presencia de las corrugaciones.

La figura 3k muestra la simulación (línea continua) comparada con la medida (línea con puntos) del patrón de radiación en campo lejano en Plano-H, en coordenadas cartesianas, para la primera resonancia en presencia de las corrugaciones.

La figura 3l muestra la comparación de la ganancia respecto a la antena isotrópica para la antena objeto de la patente (línea inferior) y una bocina convencional (línea superior).

La figura 3m muestra una fotografía de varias antenas objeto de la presente invención.

La figura 4a muestra una antena con un aumento de corrugaciones respecto a la antena de la figura 2.

5 La figura 4b muestra una antena como la de la figura 4a, pero con una asimetría en las corrugaciones.

La figura 4c muestra la simulación del patrón de radiación en campo lejano en formato tridimensional de la antena de la figura 4a, donde se observa un efecto colimador mayor que en una antena de una corrugación.

10 La figura 4d muestra la simulación del patrón de radiación en campo lejano en formato tridimensional de la antena de la figura 4b, donde se observa una simetría en la colimación con respecto a la antena simétrica.

La figura 5a muestra una antena bi-banda.

15 La figura 5b muestra la densidad de corriente superficial en la cara radiante para una de las frecuencias de operación de la antena bi-banda de la figura 5a.

La figura 5c muestra la densidad de corriente superficial en la cara radiante para la otra frecuencia de operación, diferente a la de la figura 5b, en la antena bi-banda de la figura 5a.

20 La figura 5d muestra una fotografía de una antena bi-banda.

La figura 6a muestra una antena en la que se ha introducido un material de índice de refracción elevado en las corrugaciones.

25 La figura 6b muestra una fotografía de una antena ultraplana.

La figura 7a muestra una antena con corrugaciones anulares.

30 La figura 7b muestra las pérdidas de retorno simuladas (línea gris) y medidas (línea negra) con la frecuencia.

La figura 7c muestra la simulación del patrón de radiación en campo lejano en formato tridimensional.

35 La figura 7d muestra la simulación del patrón de radiación en campo lejano en Plano-E, en coordenadas polares, donde se aprecia el fuerte efecto colimador de las corrugaciones anulares.

La figura 7e muestra la simulación del patrón de radiación en campo lejano en Plano-H, en coordenadas polares.

40 La figura 7f muestra la simulación (línea continua) comparada con la medida (línea a puntos) del patrón de radiación en campo lejano en Plano-E, en coordenadas cartesianas.

La figura 7g muestra la simulación (línea continua) comparada con la medida (línea a puntos) del patrón de radiación en campo lejano en Plano-H, en coordenadas cartesianas.

45 La figura 7h muestra la comparación de la ganancia respecto a la antena isotrópica para la antena objeto de la patente (línea negra) y una bocina convencional (línea gris).

La figura 7i muestra una antena con corrugaciones anulares.

50 Descripción de realizaciones preferidas

La figura 1 muestra un esquema de una antena objeto de la presente solicitud compuesta por una ranura rodeada de un número indefinido de corrugaciones a cada uno de sus lados y dispuestas sobre una placa metálica. El comportamiento de dicha antena en cuanto a colimación y transmisión en plano E puede observarse en la figura 1 b. Para el caso de iluminar la estructura con una onda plana, la comparación entre el patrón de radiación en Plano-E para el caso de ausencia de corrugaciones, se observa como una línea a puntos con triángulos invertidos, mientras que para el caso en que las corrugaciones están frente a la fuente de ondas se representa como una línea a trazos con cuadrados y, finalmente, para el caso en que las corrugaciones están en el lado opuesto aparece en línea a trazos con puntos negros. Es éste el caso en que se produce la colimación de la radiación emitida.

65 En las figuras 2a y 2b se detalla una antena plana con una corrugación a cada lado de la ranura y que resuena longitudinalmente. La figura 2a muestra la cara transversal radiante en la que se detalla la longitud de la placa metálica L, su anchura a, que puede coincidir con la anchura exterior de la guía de onda de alimentación, la anchura de la ranura w, su altura h, la distancia de las corrugaciones al eje de simetría horizontal de la antena d, y la altura de dichas corrugaciones, s. En la figura 2b se presenta un corte longitudinal de la antena con el espesor E de la placa metálica, la altura exterior de la guía de onda de alimentación b, la profundidad de las corrugaciones p, y su espesor s.

La forma más inmediata de diseñar esta antena consiste en una guía de onda que se acopla por resonancia longitudinal, es decir, mediante el espesor de la placa metálica que separa el interior de la guía y el espacio libre, tal y como se observa en la figura 3a. Con el objetivo de minimizar la estructura únicamente se ha incluido en esta realización una corrugación a cada lado de la ranura sobre la placa metálica. Debido a que la ranura presenta una profundidad de media longitud de onda y actúa como un resonador Fabry-Perot en su resonancia fundamental, existe un acoplamiento de potencia tal y como se observa en la figura 3b. Dichas corrugaciones externas únicamente ejercen una labor colimadora sobre la potencia difractada en forma de onda de superficie en la cara posterior.

En un ejemplo de aplicación de la antena en bandas de comunicaciones móviles, la longitud de onda resultante es elevada lo que hace inviable un diseño compacto, siendo el diseño apropiado para frecuencias del rango de onda milimétrica puesto que el espesor del metal de la antena está en torno a unos pocos milímetros. Por tanto para la aplicación al rango de las microondas es necesario reducir el espesor del metal conservando intactas las características de radiación, logrando una resonancia diferente a la frecuencia de trabajo y de esta manera no estar obligados a mantener un espesor mínimo de la estructura metálica. Para resolver esto se hace que la ranura resuene en la dimensión transversal en lugar de la resonancia longitudinal, estando dicha resonancia transversal directamente relacionada con la anchura de la ranura, tal y como puede apreciarse en las figuras 3c y 3d.

En la figura 3e se muestra la respuesta en frecuencias y en la misma se observan dos resonancias, una correspondiente a la resonancia transversal, asociada a la anchura de la ranura, y otra, que aparece a más alta frecuencia, es la resonancia longitudinal, asociada al espesor de la ranura. Esto permite el funcionamiento de la antena en dos bandas de frecuencia, siendo necesario un ajuste de las corrugaciones a la banda seleccionada.

Para optimizar la radiación en campo lejano es necesario variar la distancia entre la ranura y las corrugaciones. Las figuras 3f y 3g equivalentes a los patrones de radiación tridimensionales para una ranura aislada y otra ranura con corrugaciones, respectivamente, permiten comparar las radiaciones de ambas. Se obtiene un patrón de radiación isótropo para el caso de una ranura sin corrugaciones (3f), mientras que se observa un diagrama de radiación colimado para el caso en que se han dispuesto las corrugaciones (3g). Asimismo los detalles de dichos patrones, en los planos E y H, se muestran también en las figuras 3h y 3i, en formato de coordenadas polares, para el caso con presencia de corrugaciones.

La buena correspondencia entre la simulación y las medidas realizadas en una cámara anecoica se presentan en las figuras 3j y 3k para los planos E y H respectivamente en formato de coordenadas cartesianas, es decir, en abscisas el ángulo de barrido de la antena y en ordenadas el nivel de señal relativo al máximo en decibelios.

También se ha comparado en frecuencia la ganancia de la antena objeto de la invención con una antena de bocina de dimensiones ostensiblemente mayores tal y como se observa en la figura 3l.

Finalmente, se muestran en la figura 3m diferentes diseños fabricados que demuestran la posibilidad de realizar modelos intrínsecamente planos y compactos.

En el ejemplo de realización mostrado en las figuras 4a y 4b, se emplean un número mayor de corrugaciones, consiguiendo una mejora apreciable en la colimación, como se aprecia en el patrón de radiación tridimensional en campo lejano de la figura 4c. En la figura 4d se muestra el patrón de radiación tridimensional en campo lejano de la antena de la figura 4b, demostrándose así la posibilidad de obtener una colimación asimétrica mediante el empleo de una estructura corrugada asimétrica, es decir, con corrugaciones únicamente a uno de los lados de la ranura.

Tras la descripción anterior, es posible realizar una antena capaz de operar en dos bandas de frecuencia independientes aprovechando que en la ranura se pueden excitar dos resonancias independientes, una longitudinal y otra transversal, siendo posible además conseguir un enfoque a diferentes frecuencias mediante la regulación de la distancia y profundidad de las corrugaciones.

En la figura 5a se muestra una antena plana como la descrita anteriormente en la que se han introducido unas corrugaciones adicionales, concretamente una corrugación adicional a cada lado de la ranura con el objetivo de conseguir la focalización a otra frecuencia de manera que la respuesta en frecuencia no se ve apenas afectada por la introducción de las citadas corrugaciones adicionales. Las distribuciones de corrientes para las dos frecuencias de trabajo se han representado en las figuras 5b y 5c.

En esta antena con dos corrugaciones a cada lado de la ranura, dichas corrugaciones sólo se excitan a la frecuencia que les corresponde y son transparentes para la otra resonancia. Conviene destacar que al igual que en el caso de la antena anterior con únicamente una corrugación a cada lado de la ranura, sus correspondientes diagramas de radiación en campo lejano tridimensionales a ambas frecuencias mejoran con respecto a los que se obtienen sin corrugaciones.

En la antena bi-banda anterior es posible, mediante el control de la anchura y el espesor de la ranura central, fijar de manera completamente independiente entre sí sus frecuencias de resonancia, siendo las corrugaciones únicamente sensibles a su frecuencia de diseño y transparentes para la otra resonancia. En la figura 5d se muestra un diseño fabricado de antena bi-banda.

ES 2 318 326 T3

Para conseguir un correcto funcionamiento es indispensable respetar un espesor mínimo de un cuarto de onda para poder excavar las corrugaciones en el metal, pudiendo esta condición hacer inviable la antena para ciertas aplicaciones en las que el carácter ultraplano de la antena sea fundamental.

5 Para resolver lo anterior se propone la introducción de un elemento dieléctrico de bajas pérdidas y permitividad dieléctrica relativa adecuada dentro de la cavidad formada por las corrugaciones. La introducción de dicho elemento dieléctrico permite una reducción notable del espesor, tal y como puede observarse en la figura 6a y en la fotografía de la figura 6b, en la que se muestra un prototipo fabricado de antena ultraplana.

10 Gracias a las propiedades descritas con anterioridad es posible realizar una antena plana que evite alimentar la antena con una guía de onda, permitiendo la aplicación de antenas planas a circuitos planos y monolíticos mediante un diseño completamente plano en sustrato de microondas, con corrugaciones excavadas en el sustrato y metalización posterior, siendo posible incluir via- holes que faciliten la conexión entre placas.

15 También es posible realizar un diseño de antena plana empleando corrugaciones concéntricas alrededor de la ranura con resonancia transversal y longitudinal, tal y como puede observarse en la figura 7a. En la figura 7b se muestra la respuesta en frecuencias, observándose dos resonancias, correspondientes a los modos transversal y longitudinal. El efecto colimador de esta antena es mucho más marcado que los diseños anteriores, como puede observarse en las figuras 7c a 7e, en las que se representan las simulaciones del patrón de radiación en campo lejano tridimensional en plano E (7d) y en plano H (7e). Las simulaciones se han visto confirmadas por las medidas realizadas, como puede apreciarse en las figuras 7f y 7g, para el patrón de radiación en campo lejano para los planos E y H, respectivamente, representado en coordenadas cartesianas.

20 También se ha comparado en frecuencia la ganancia de la antena objeto de la invención con una antena de bocina de dimensiones ostensiblemente mayores tal y como se observa en la figura 7h.

Finalmente, se muestra en la figura 7i un diseño fabricado de esta antena.

30 La estructura plana de las antenas anteriormente descritas, puede ser empleada sin conexión a una guía de onda o a un circuito, simplemente como una superficie selectiva que recibe las ondas en el espacio libre y deja pasar aquellas que tengan una determinada frecuencia y un determinado ángulo de incidencia. Cualquiera de las realizaciones anteriormente descritas pueden ser aplicadas a esta superficie selectiva.

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

1. Antena (1) de doble frecuencia de perfil plano, usada para la emisión y recepción de ondas electromagnéticas, preferiblemente en los márgenes milimétricos y de microondas, que comprende una superficie (2) plana de pequeño espesor (E) con al menos una ranura (3) finita que atraviesa la superficie (2) plana de pequeño espesor (E), siendo la longitud (W) de dicha ranura finita menor que la longitud de onda de la onda emitida y recibida, y **caracterizada** porque dicha superficie (2) plana presenta al menos dos pares de corrugaciones (4) alrededor de la ranura (3) finita de modo que la onda electromagnética es emitida y recibida por medio de una resonancia a través de dicha ranura (3), combinando la antena una resonancia transversal asociada a la longitud de la ranura y una resonancia longitudinal asociada al espesor de la ranura, para funcionar simultáneamente en al menos dos frecuencias.

2. Antena (1) de doble frecuencia según las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** porque presenta una guía de ondas conectada para la emisión y recepción de ondas electromagnéticas.

3. Antena (1) de doble frecuencia según las reivindicaciones 1 a 2, **caracterizada** porque dentro de las corrugaciones (4) presenta un material con un índice de refracción diferente al del aire.

4. Antena (1) de doble frecuencia según la reivindicación 2 o la reivindicación 3, dependiente de la reivindicación 2, **caracterizada** porque dentro de la guía de ondas presenta un material con un índice de refracción diferente al del aire.

5. Antena (1) de doble frecuencia según las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** porque las corrugaciones (4) son simétricas con respecto al eje transversal de la antena (1).

6. Antena (1) de doble frecuencia según las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** porque las corrugaciones (4) están ubicadas sólo sobre un lado del eje transversal de la antena (1).

7. Antena (1) de doble frecuencia según las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** porque las corrugaciones (4), son rectas.

8. Antena (1) de doble frecuencia según las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** porque las corrugaciones (4), son curvas y están dispuestas alrededor de la ranura (3) finita.

9. Antena (1) de doble frecuencia según las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** porque está acoplada a un circuito de tecnología plana por medio de la ranura (3) resonante.

10. Antena (1) de doble frecuencia según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** porque está acoplada a un circuito monolítico llevado a cabo por medio de procesos de fabricación de circuitos integrados monolíticos por medio de la ranura (3) resonante.

11. Antena (1) de doble frecuencia según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** porque se fabrica por medio de procesos de fabricación de micromecanización.

12. Antena (1) de doble frecuencia según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** porque es de un material metálico.

13. Antena (1) de doble frecuencia según las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** porque el perfil de corrugación, es rectangular.

14. Antena (1) de doble frecuencia según las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** porque el perfil de corrugación, es triangular.

15. Antena (1) de doble frecuencia según las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** porque el perfil de corrugación, es sinusoidal.

16. Antena (1) de doble frecuencia según las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** porque incorpora elementos activos, tales como microrruptores electromecánicos de tipo MEMS (Sistemas microelectromecánicos).

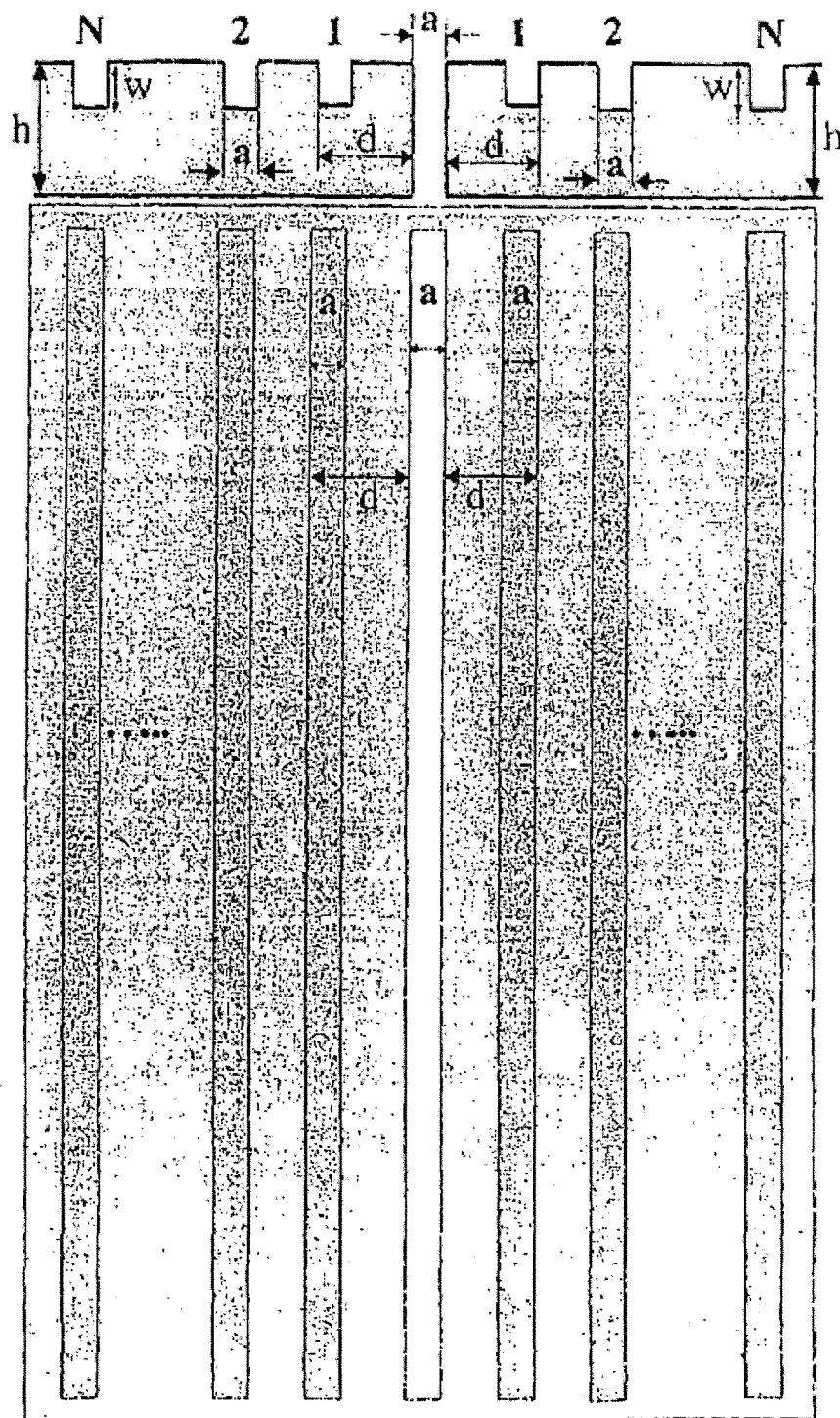


FIG. 1a

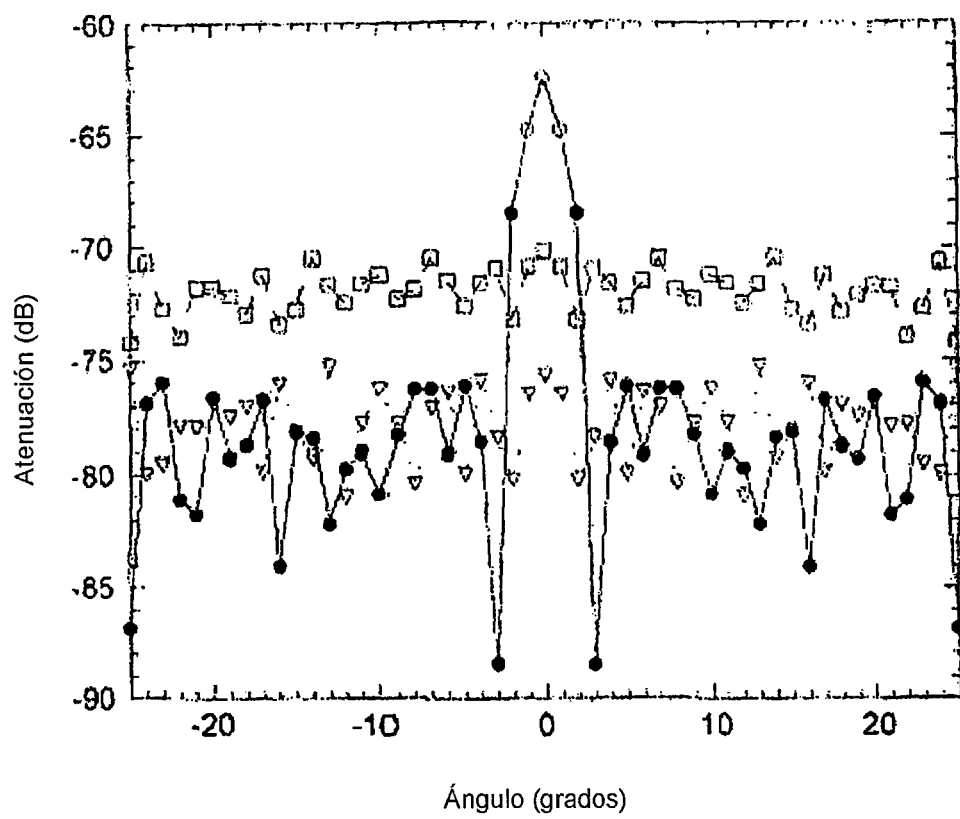


FIG. 1b

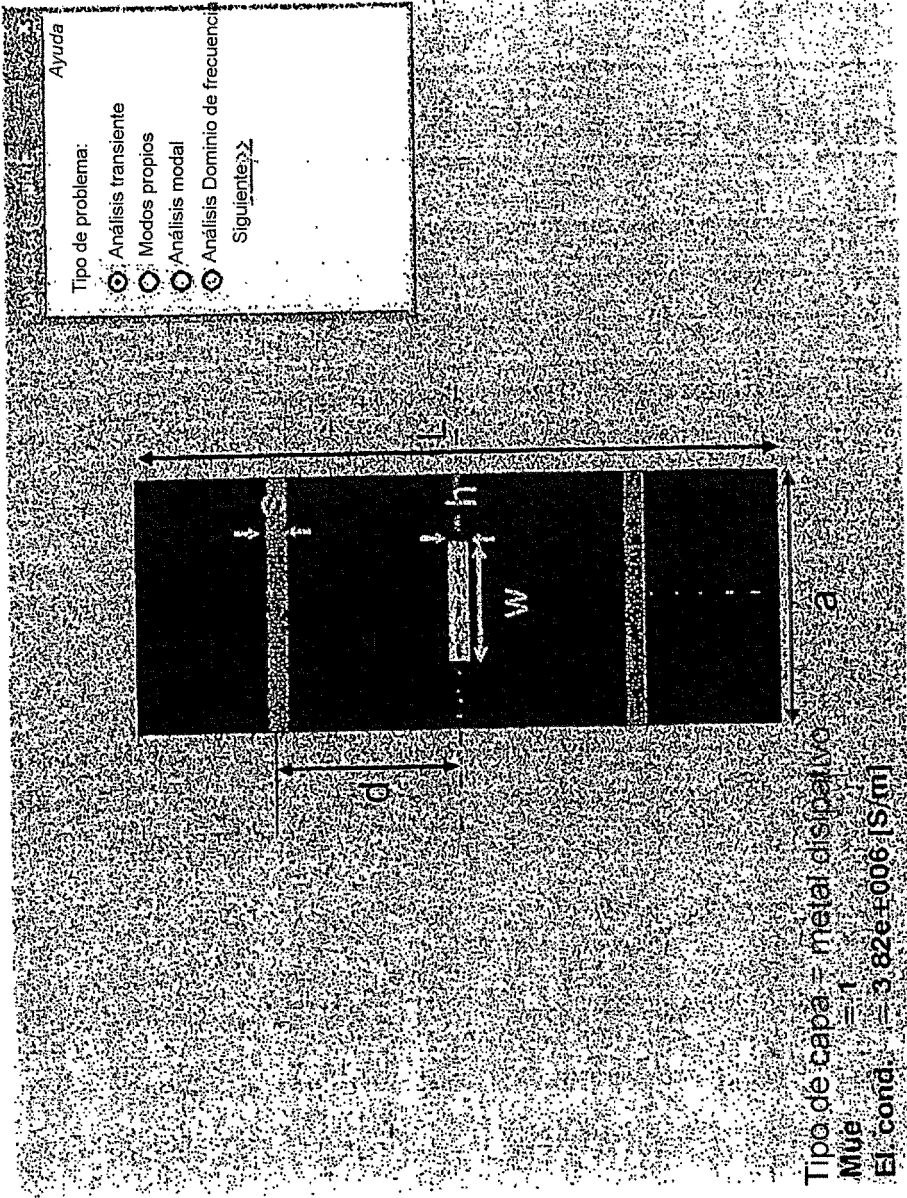


FIG. 2a

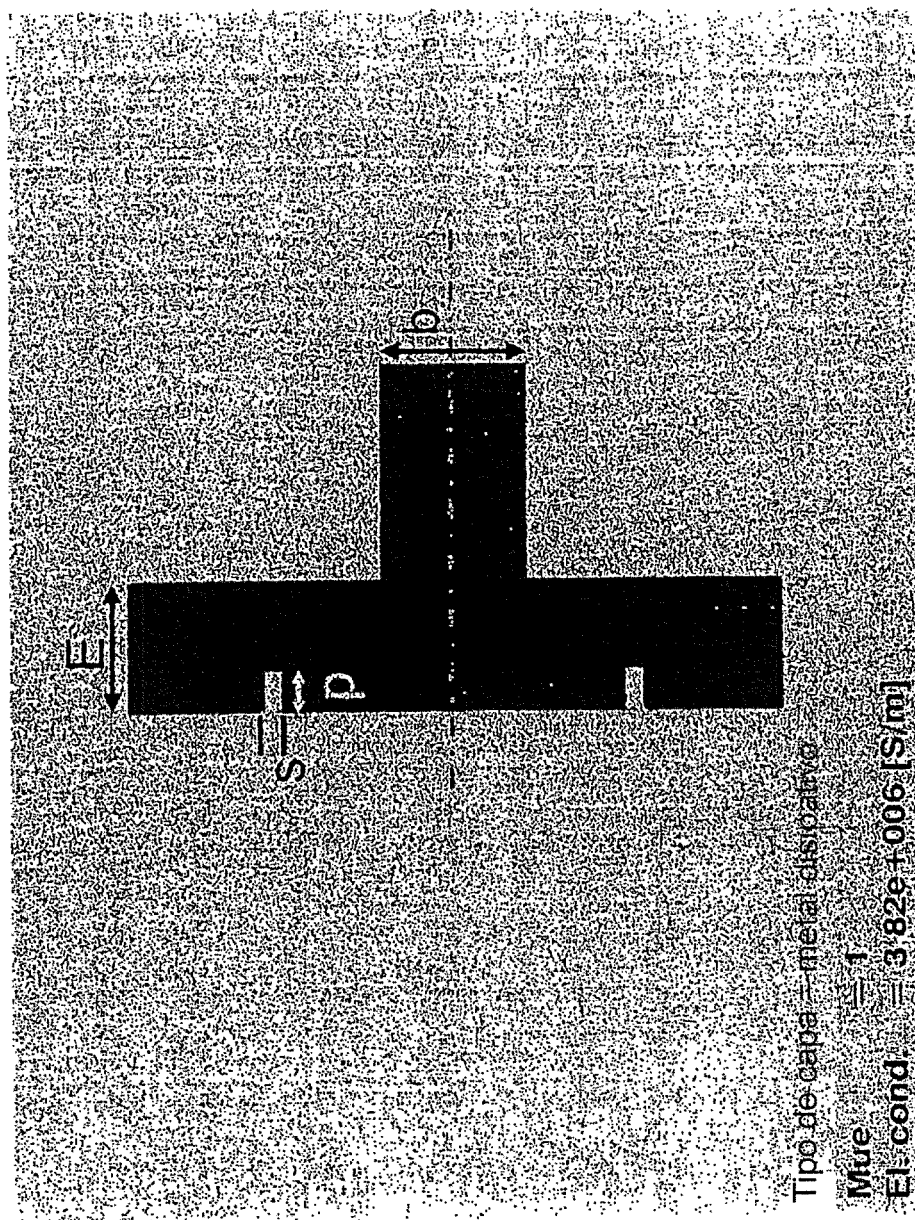
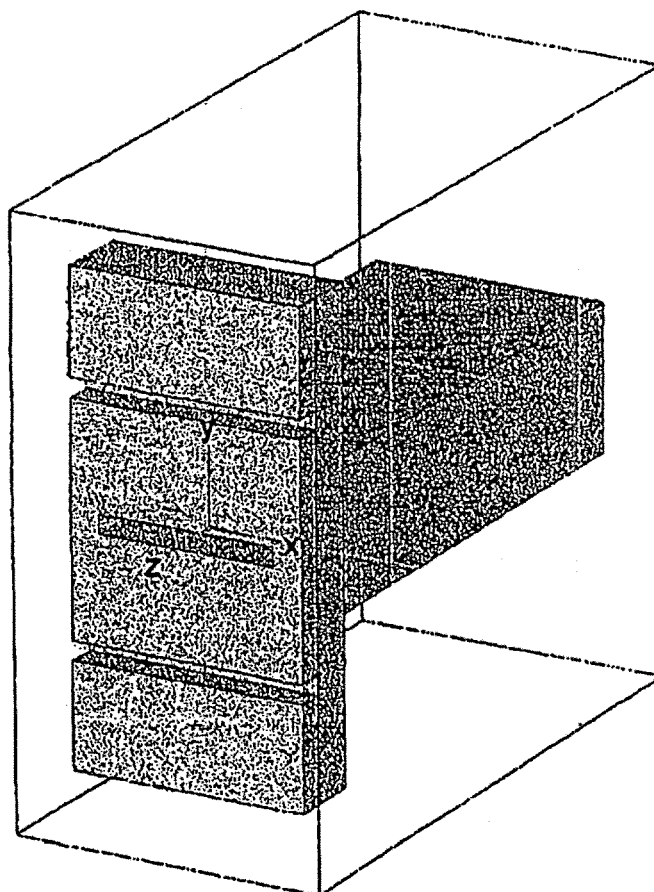


FIG. 2b



Tipo de capa = metal disipativo

Mue = 1

El. cond = $3,27e+007$ [S/n]

FIG. 3a

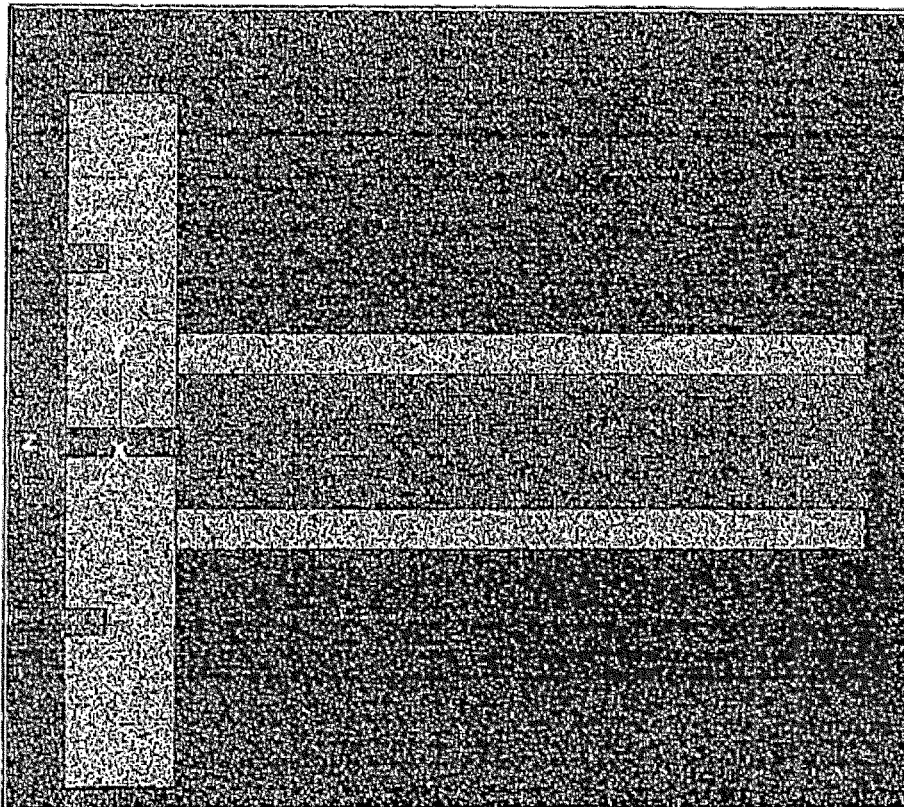


FIG. 3b

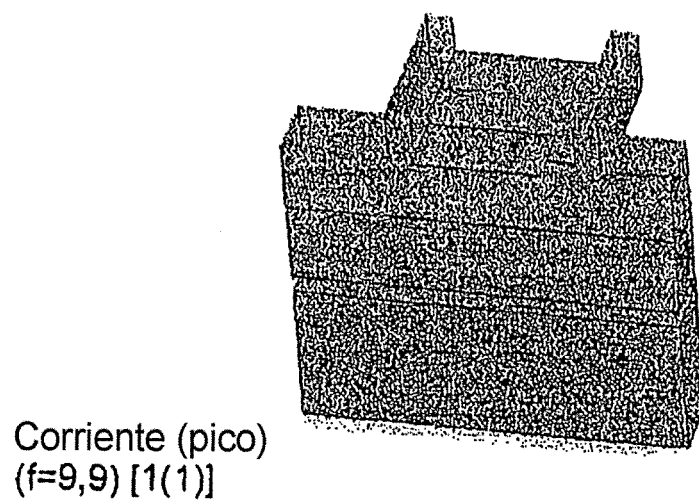
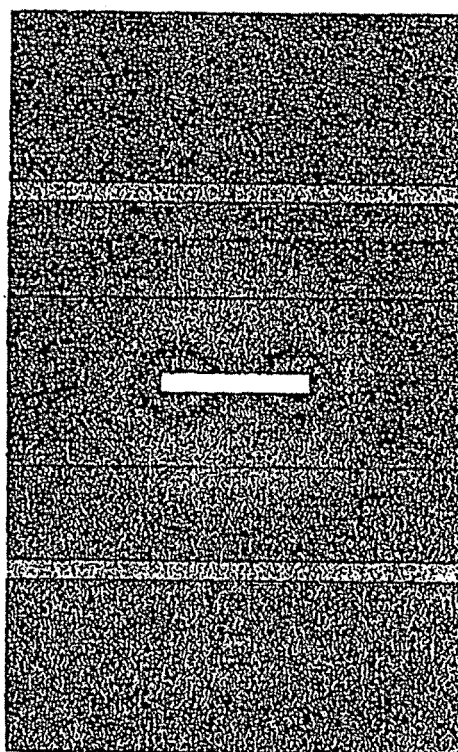


FIG. 3c

10)



(pico)

FIG. 3d

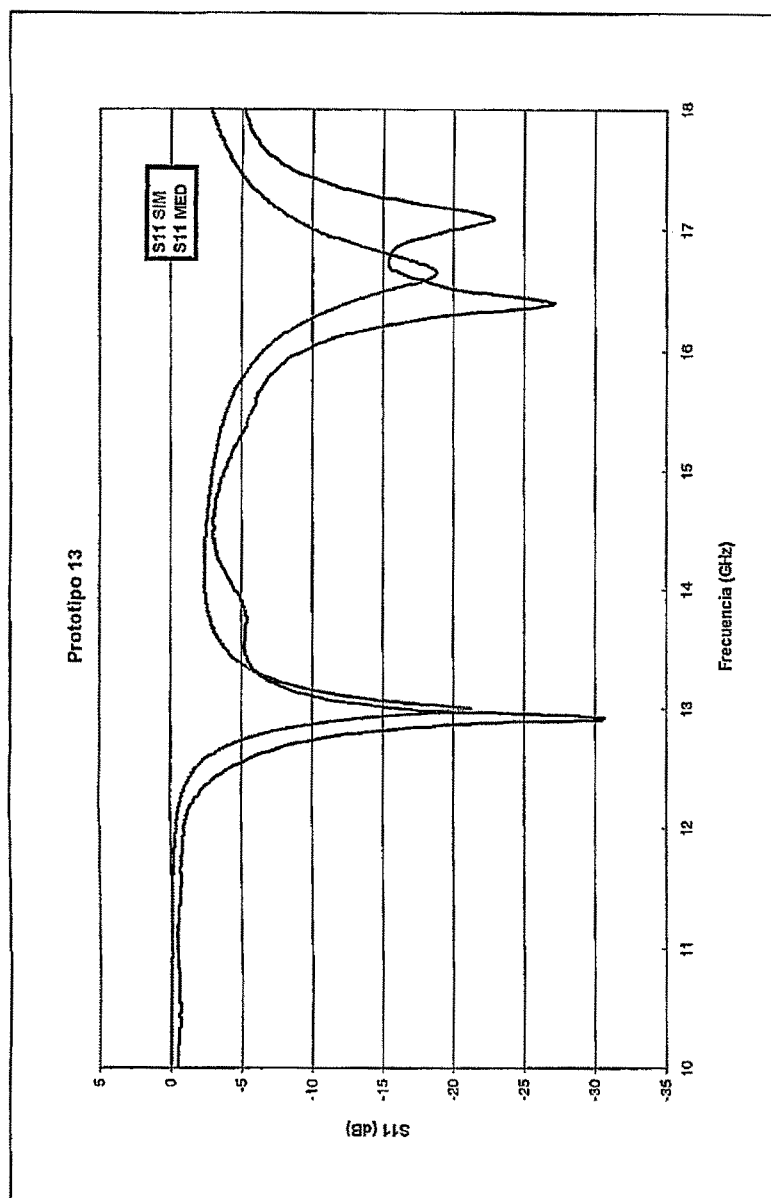


FIG. 3e

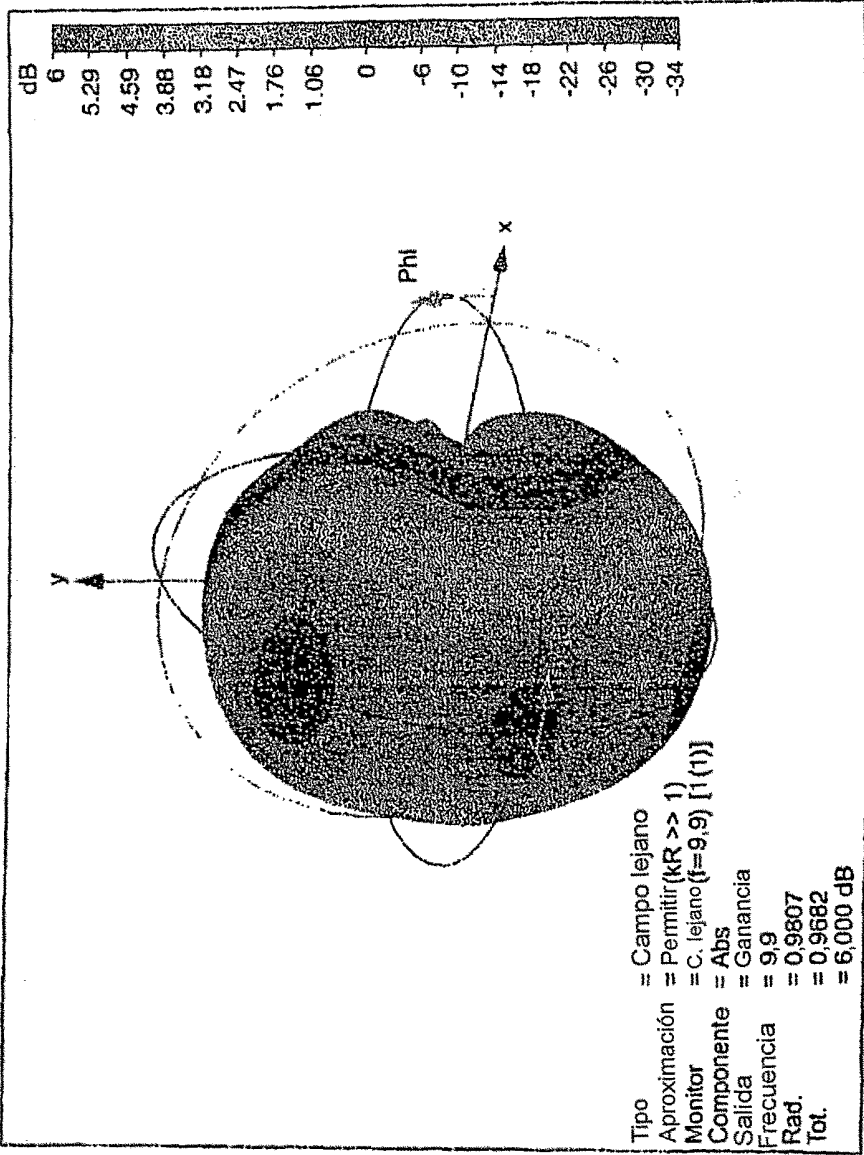


FIG. 3f

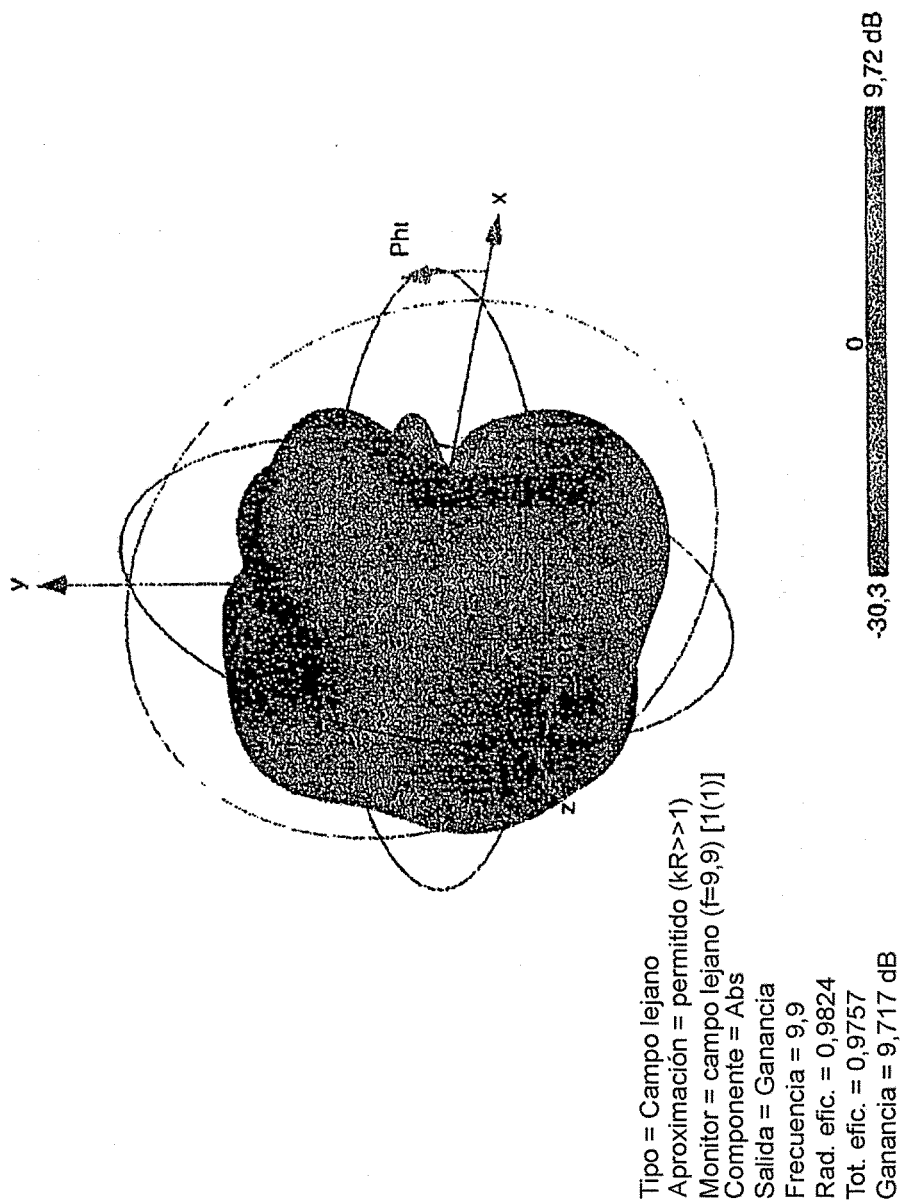
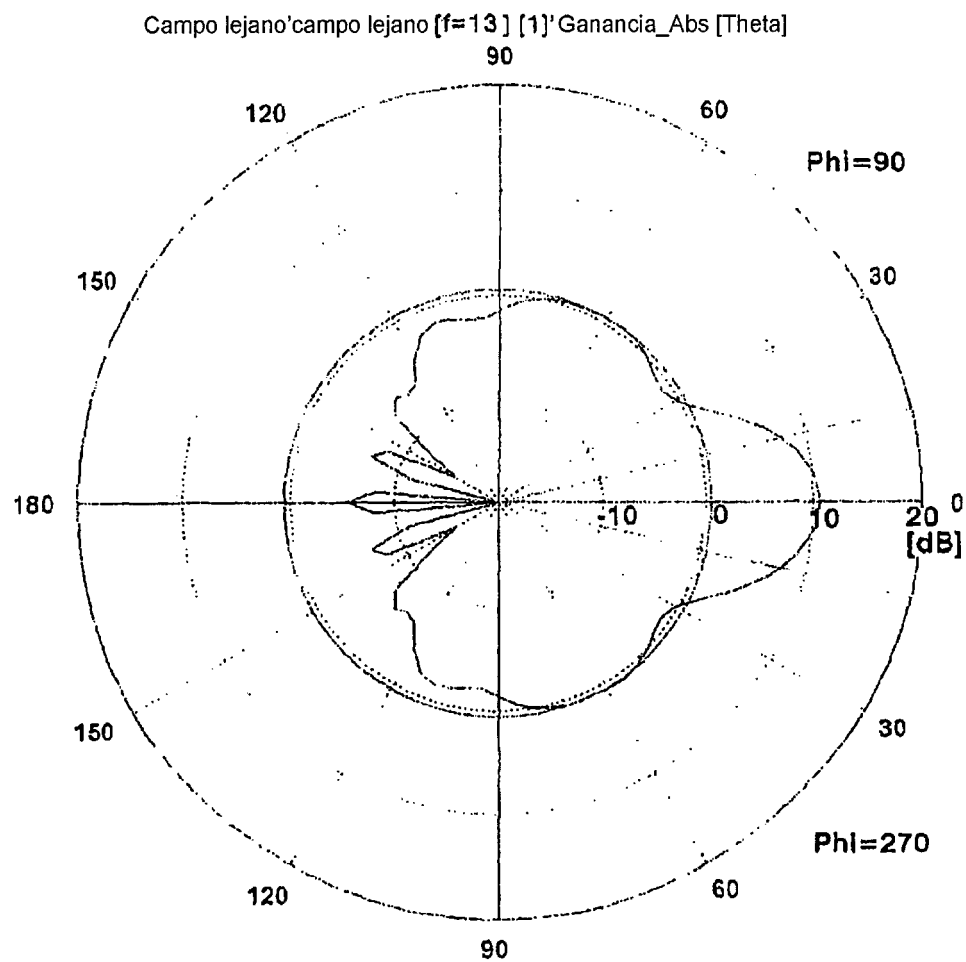
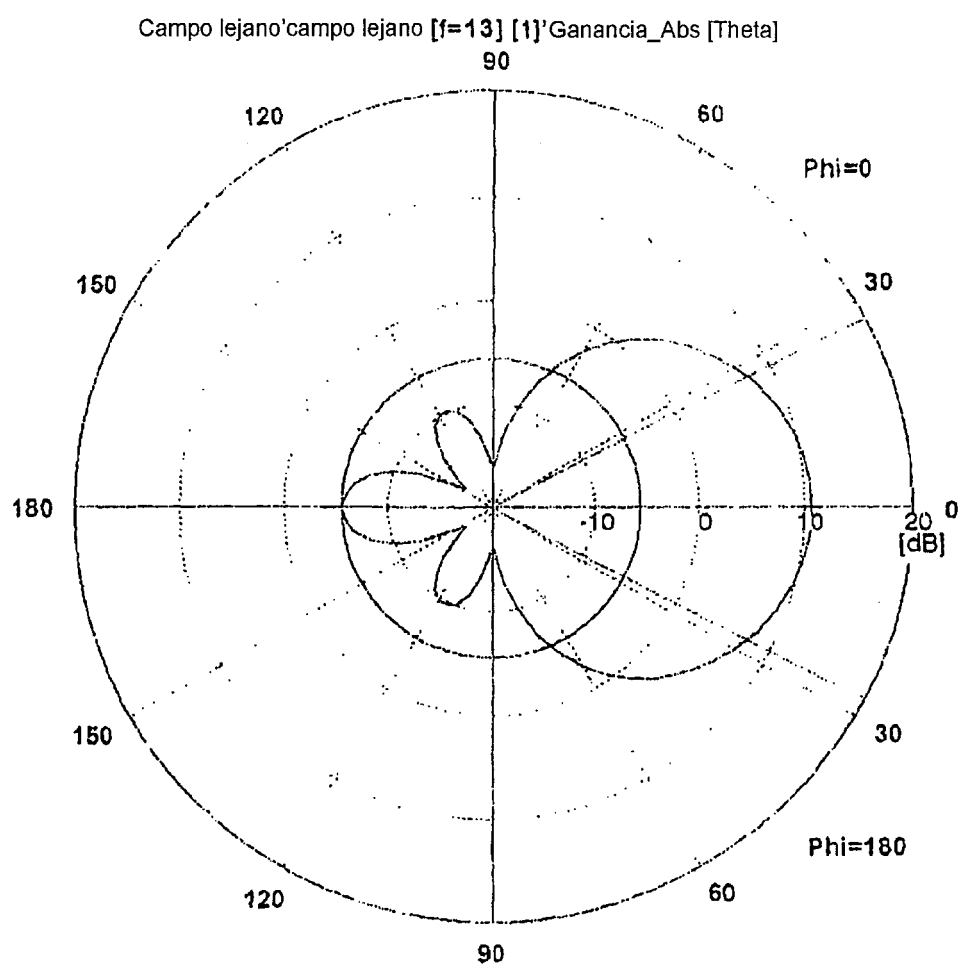


FIG. 3g



Frecuencia = 13
 Magnitud de lóbulo principal = 10,6 db
 Dirección de lóbulo principal = 0,0 deg.
 Ancho angular (3 dB) = 26,0 deg
 Nivel de lóbulo lateral = -10,0 dB

FIG. 3h



Frecuencia = 13
 Magnitud de lóbulo principal = 10,6 dB
 Dirección de lóbulo principal = 0,0 deg.
 Ancho angular (3 dB) = 54,6 deg.
 Nivel de lóbulo lateral = -16,2 dB

FIG. 3i

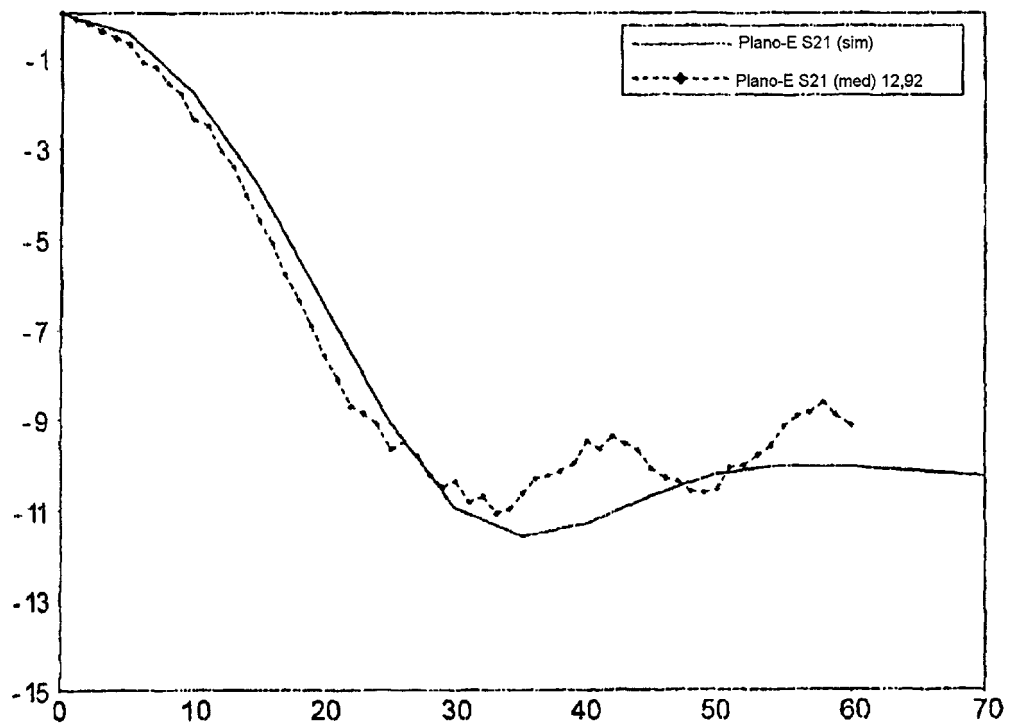


FIG. 3j

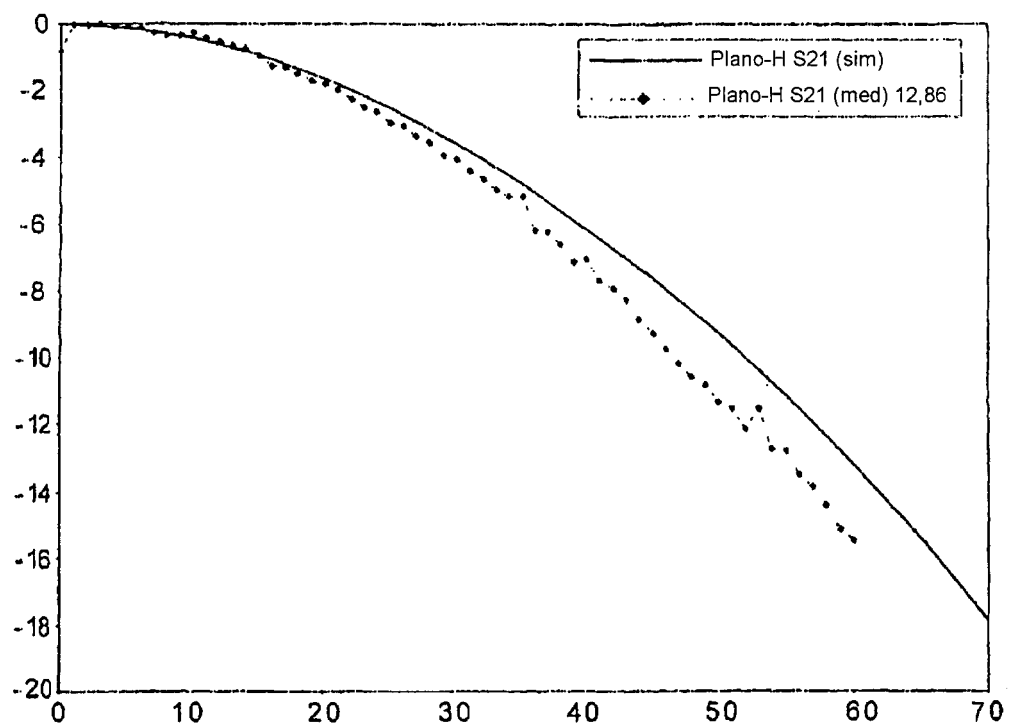


FIG. 3k

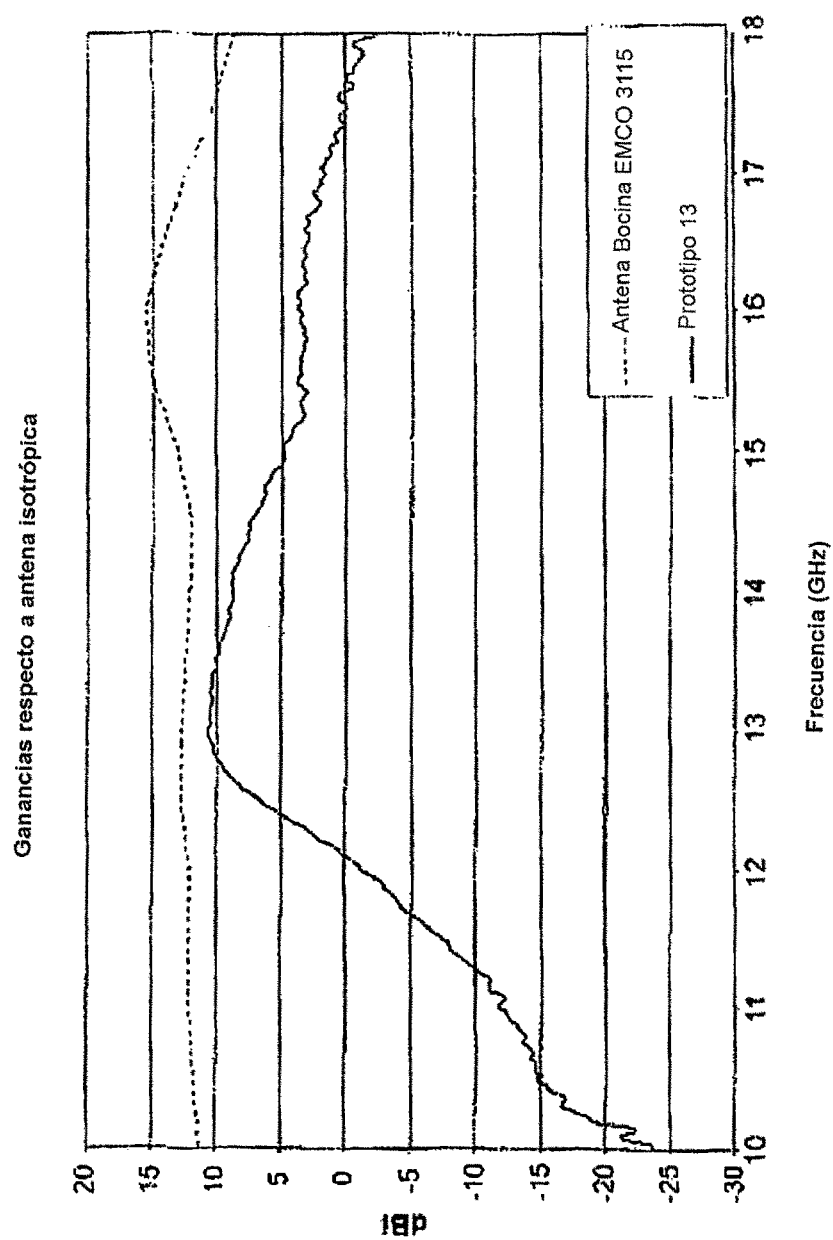


FIG. 31

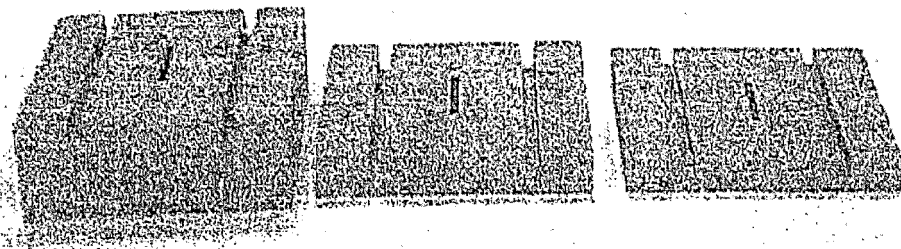


FIG. 3m

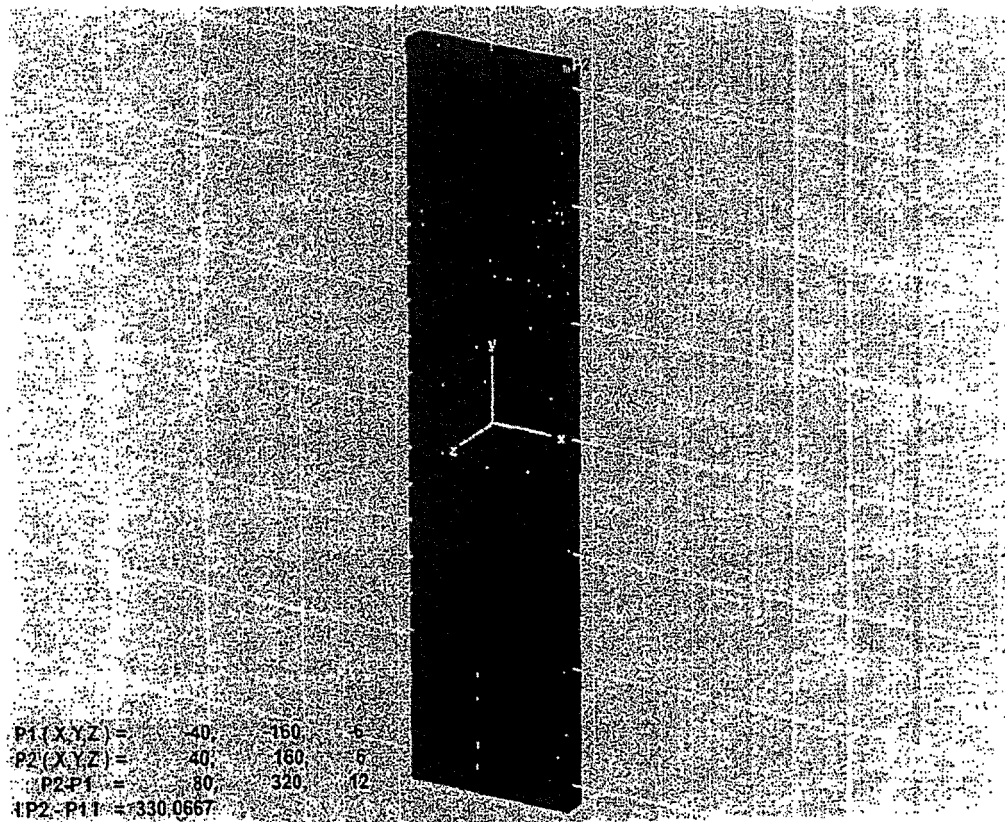


FIG. 4a

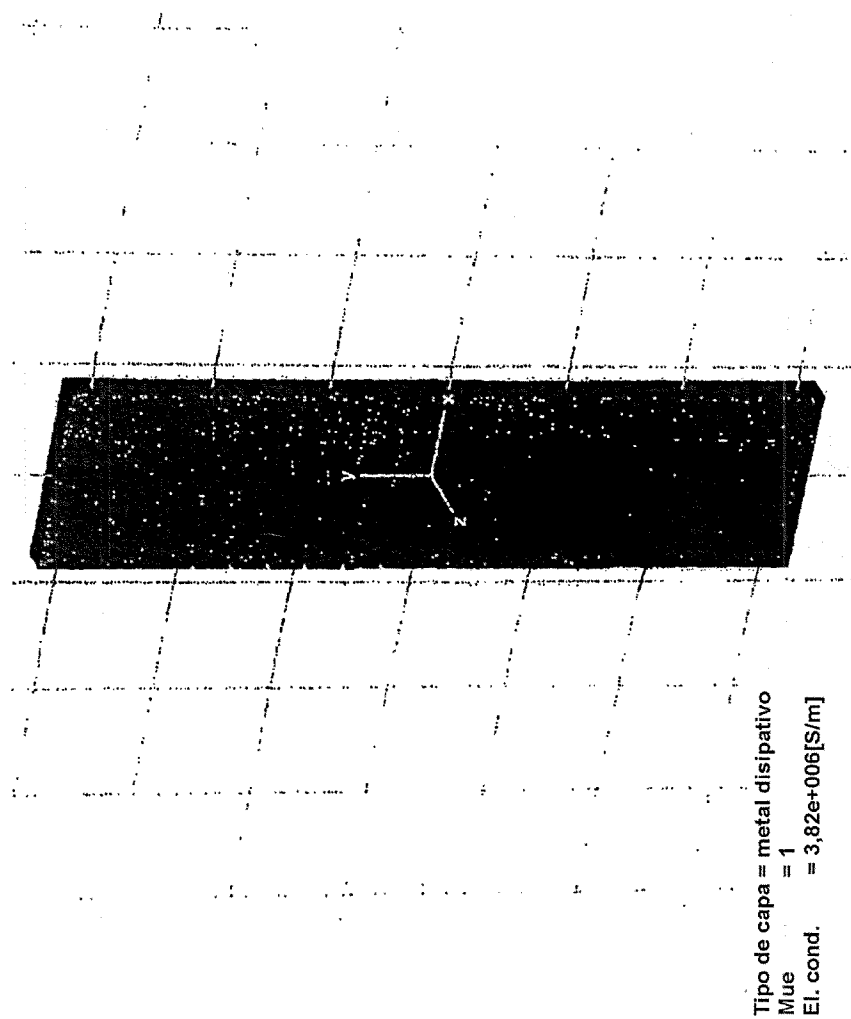


FIG. 4b

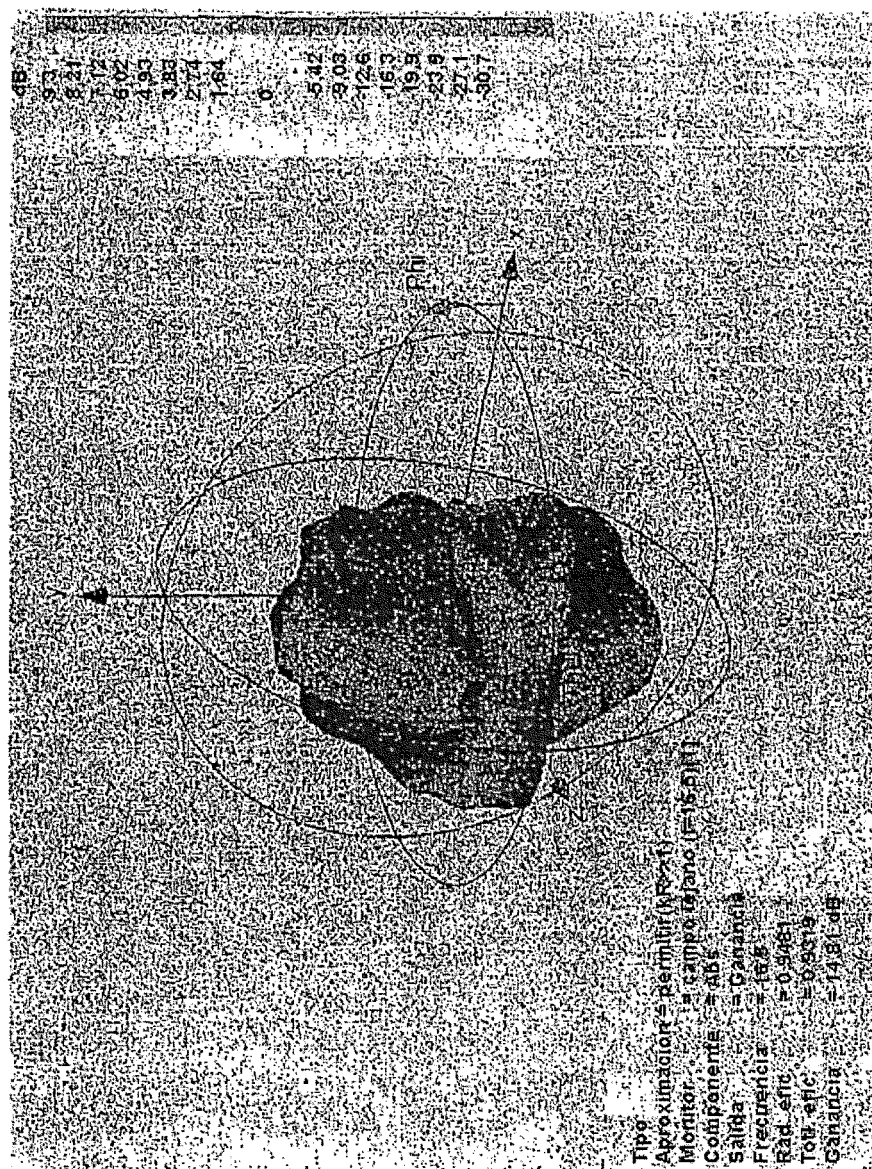


FIG. 4c

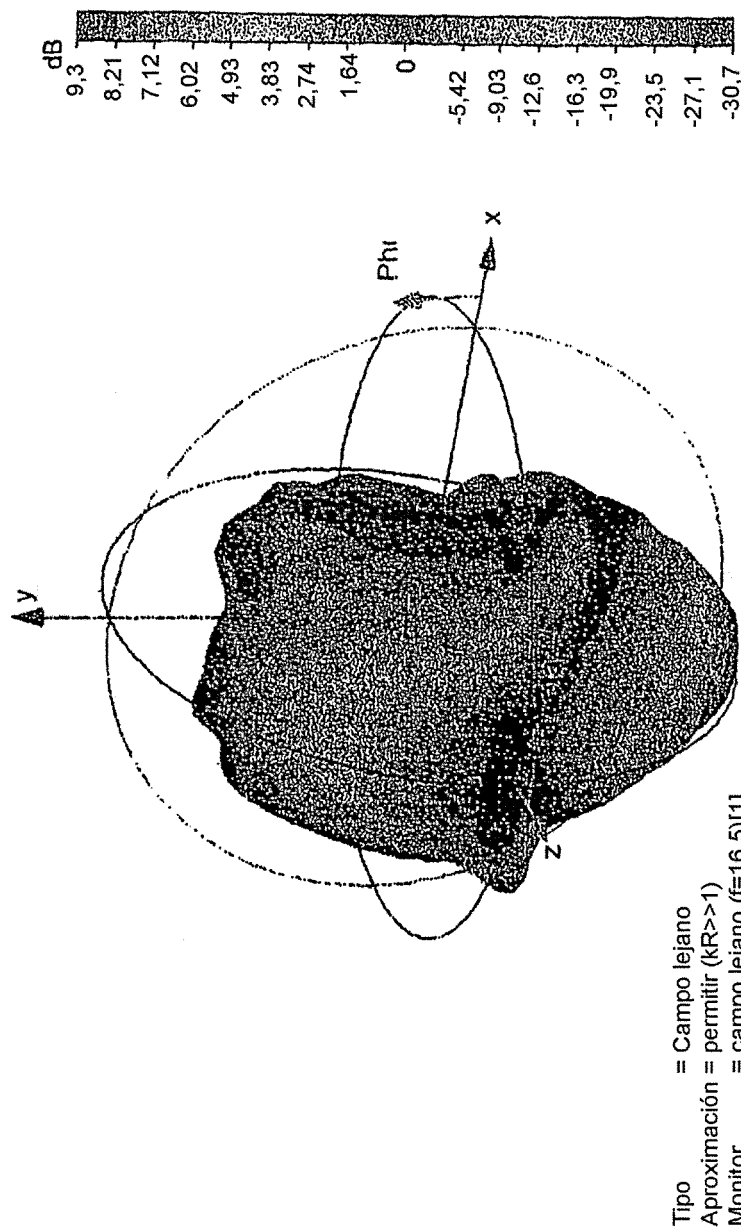


FIG. 4d

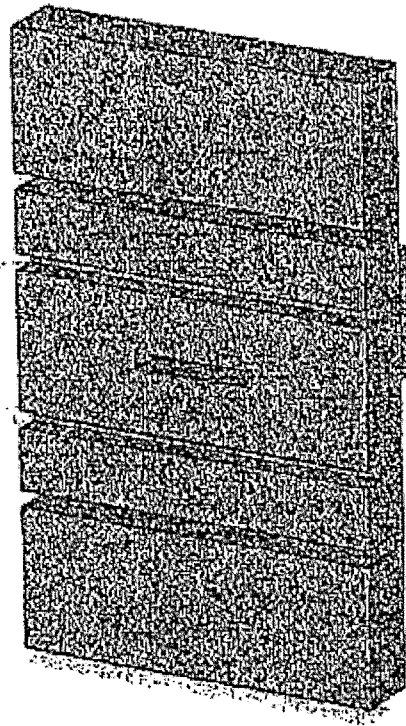


FIG. 5a

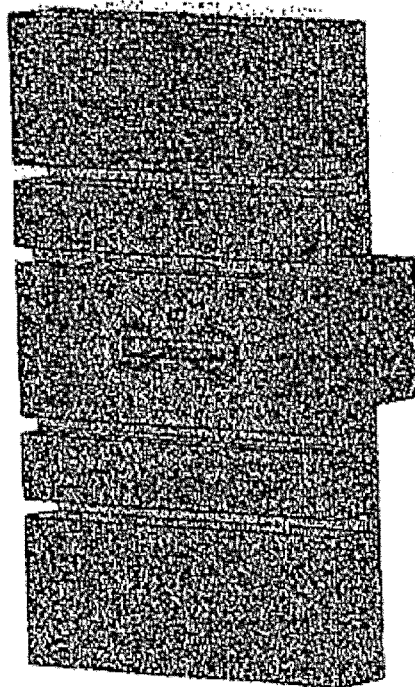


FIG. 5b

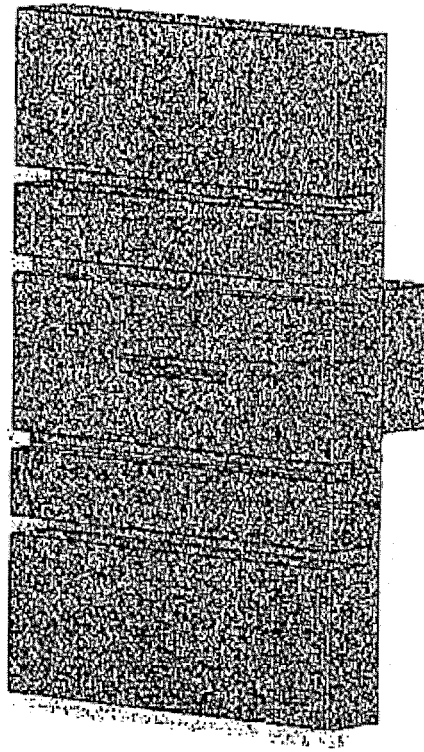


FIG. 5c

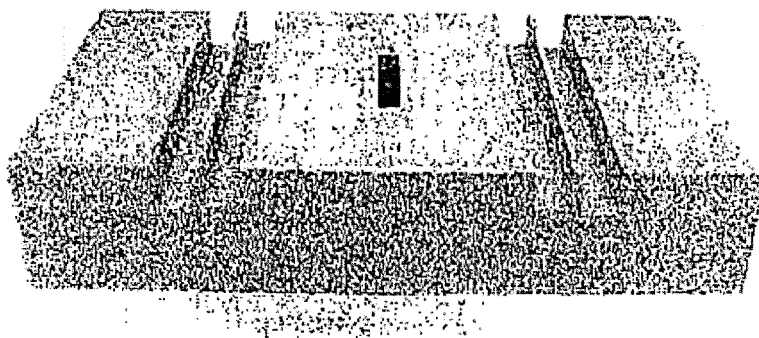


FIG. 5d

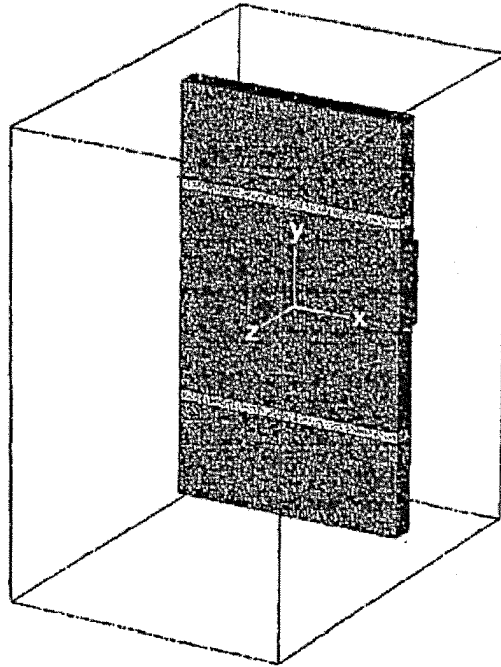


FIG. 6a

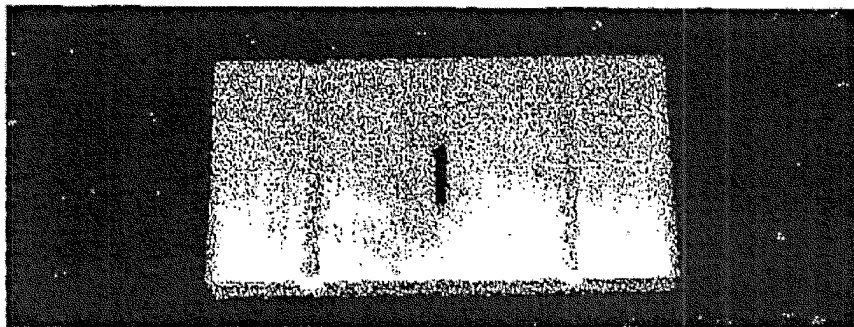


FIG. 6b

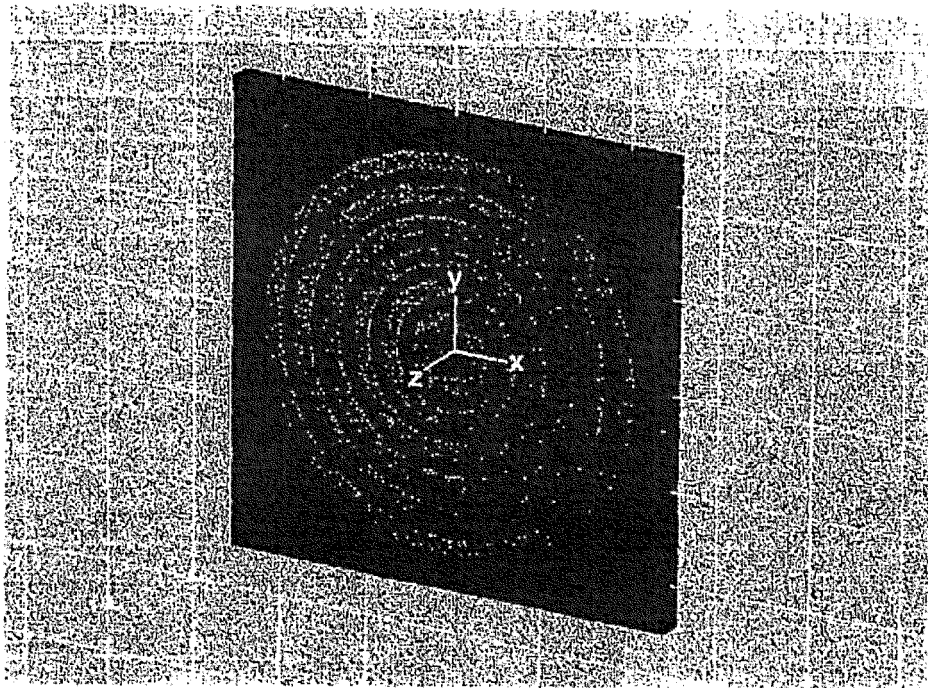


FIG. 7a

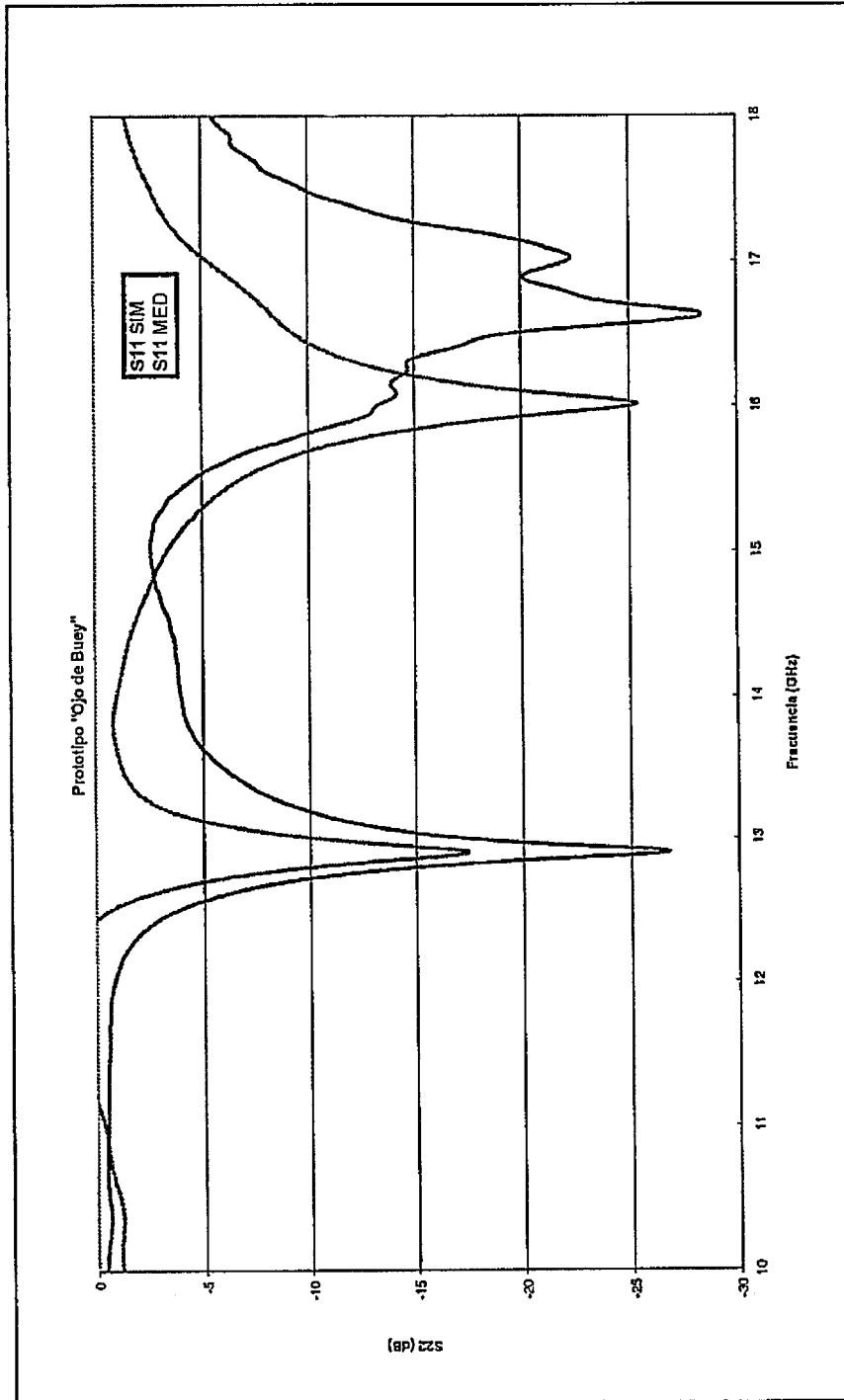


FIG 7b

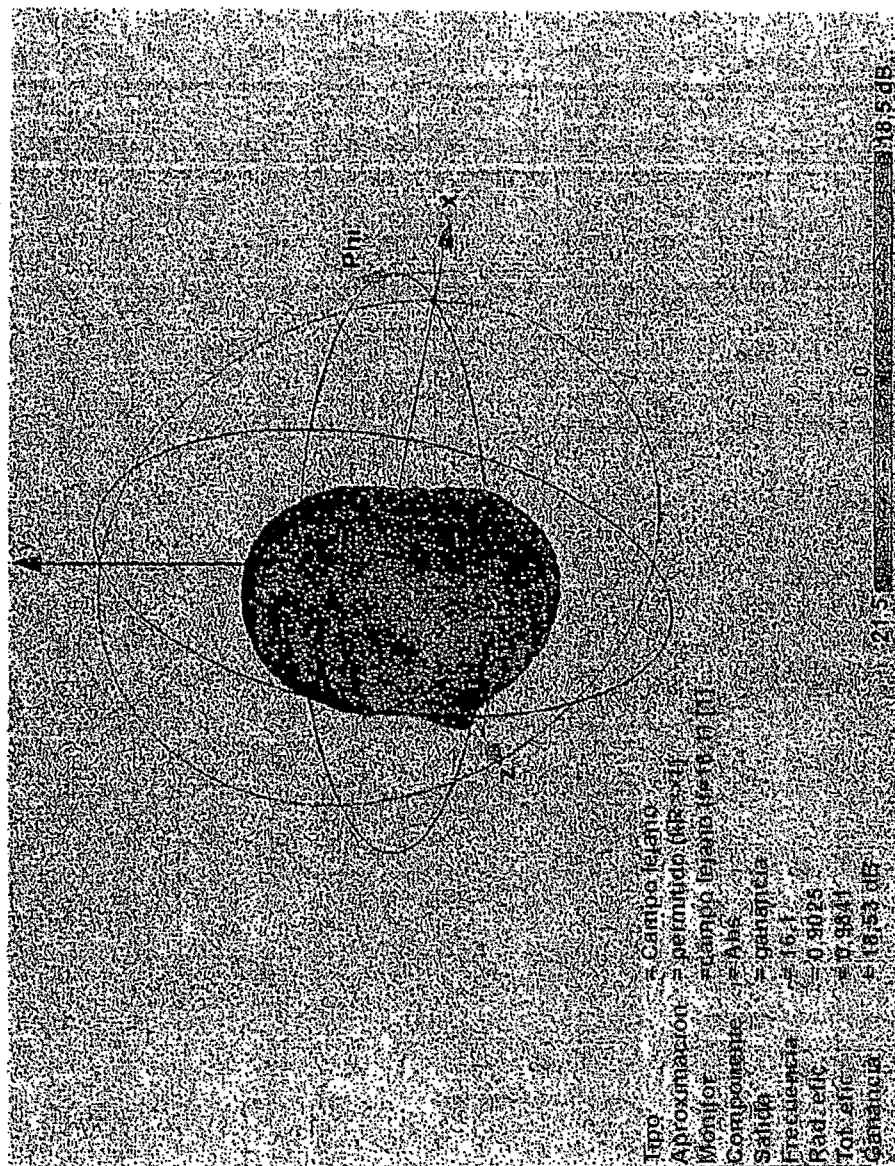


FIG. 7c

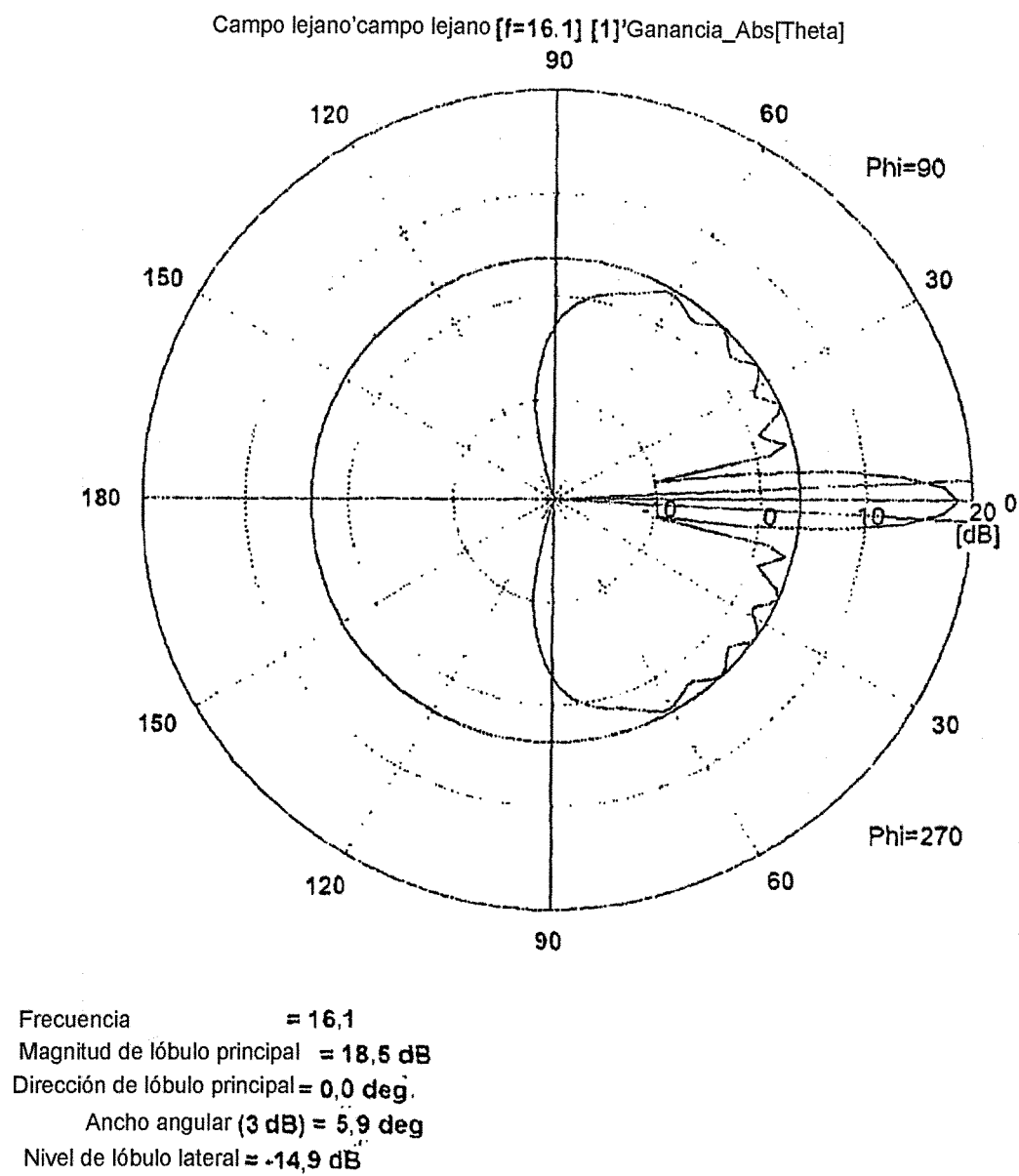
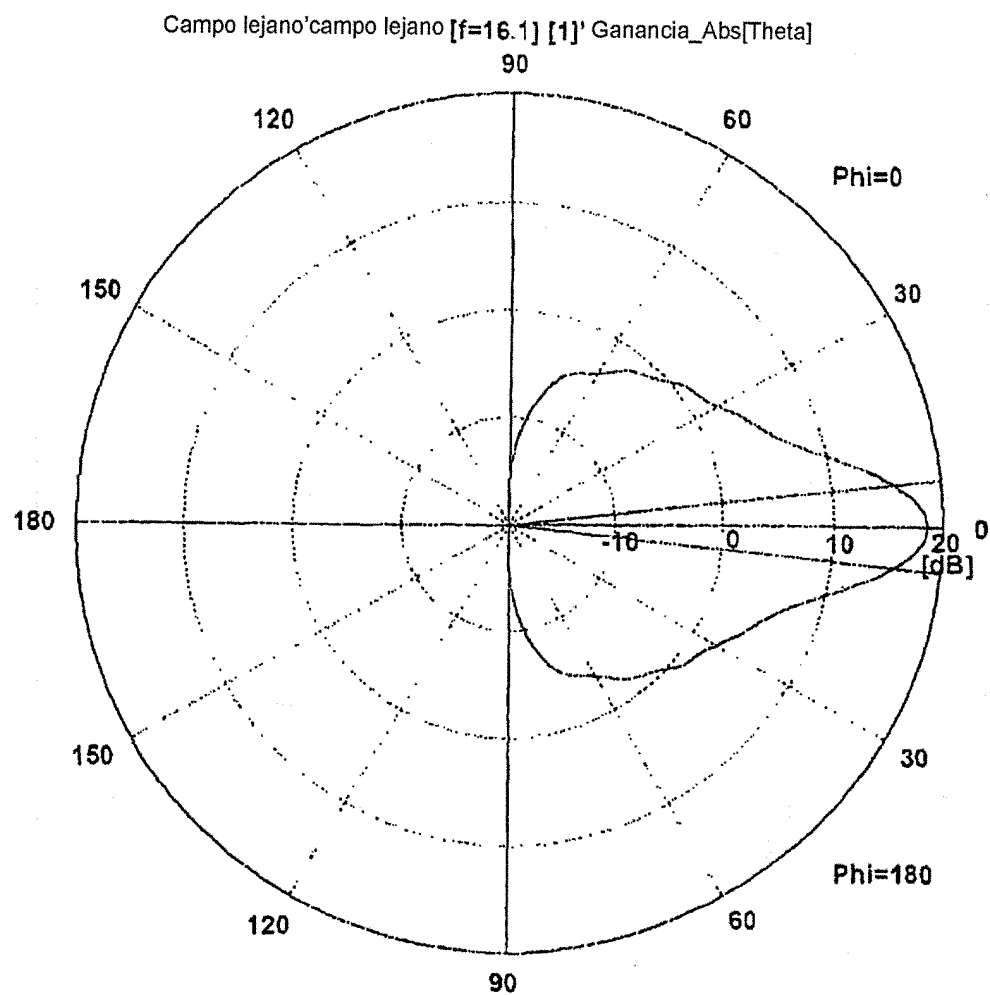


FIG. 7d



Frecuencia = 16,1
 Magnitud de lóbulo principal = 18,5 dB
 Dirección de lóbulo principal = 0,0 deg.
 Ancho angular (3 dB) = 12,7 deg.
 Nivel de lóbulo lateral = -39,1 dB

FIG. 7e

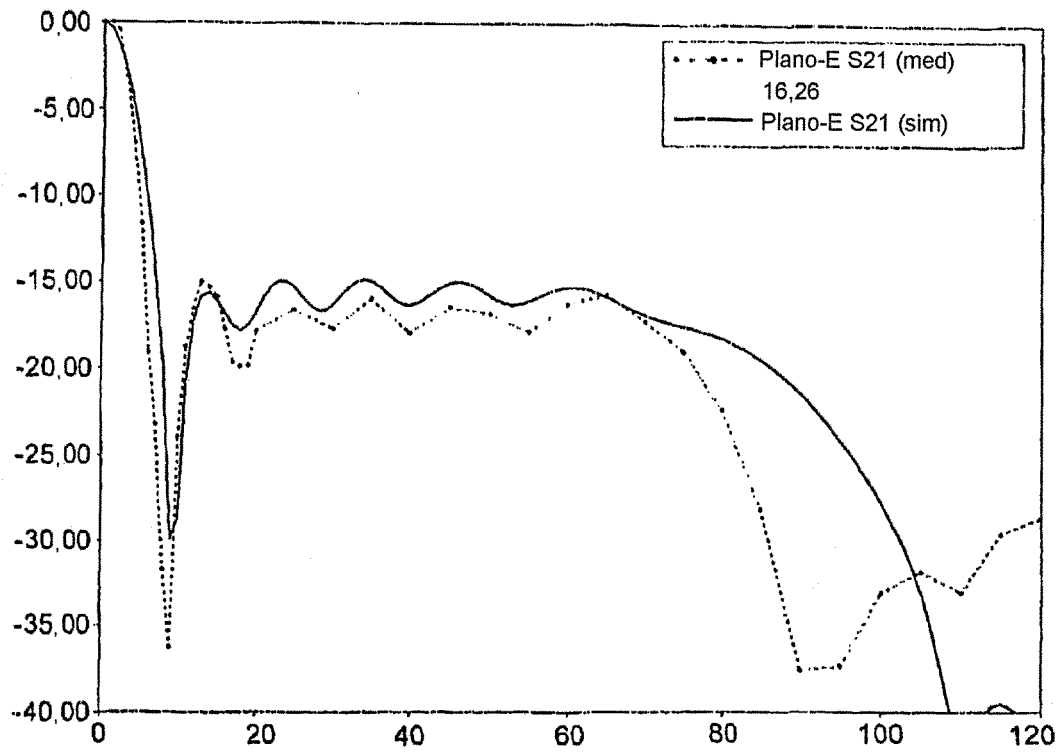


FIG. 7f

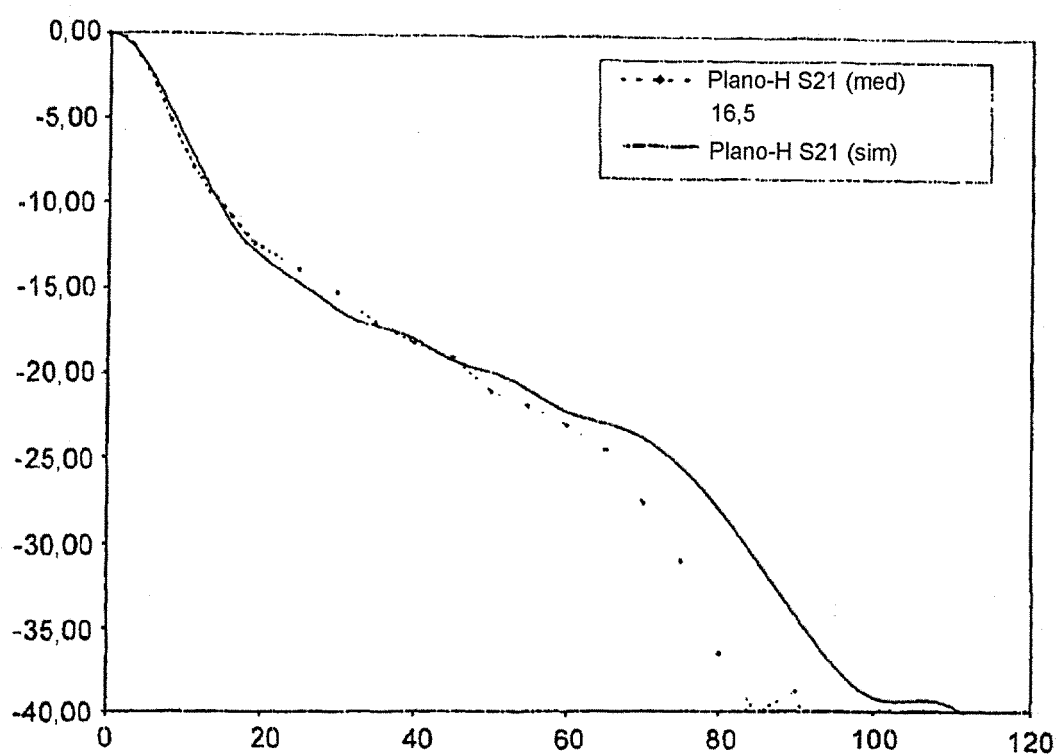


FIG. 7g

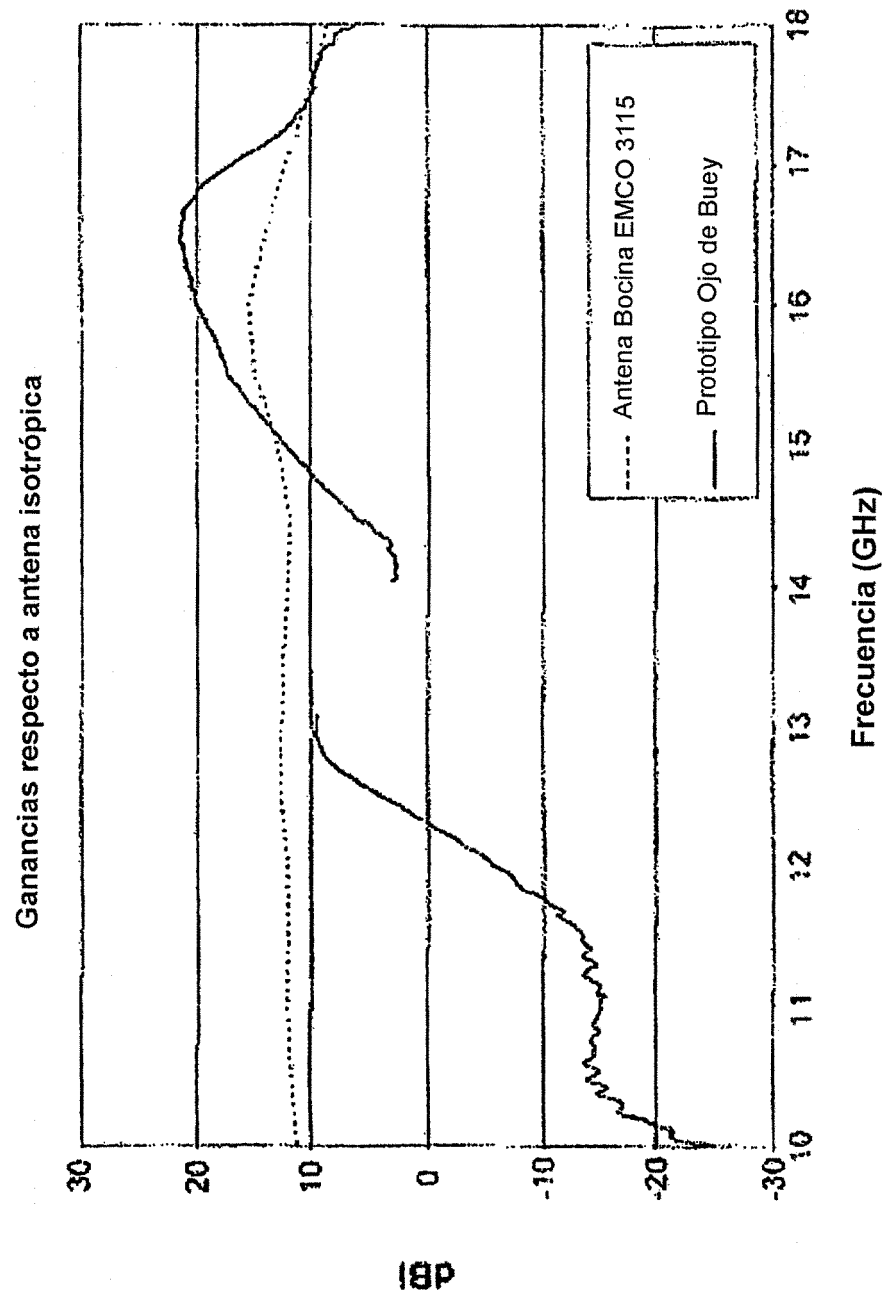


FIG. 7h

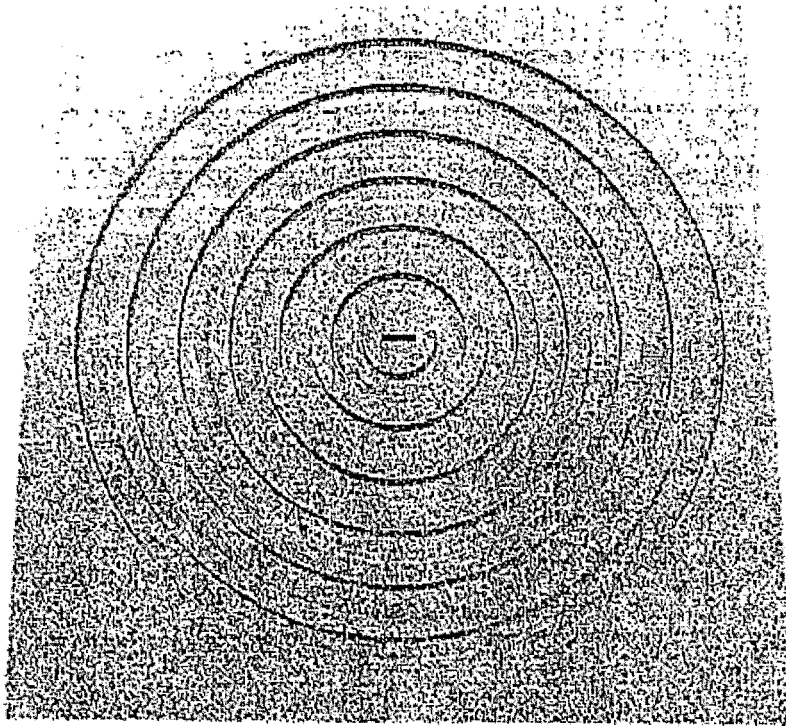


FIG. 7i