

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 619 685**

51 Int. Cl.:

H01Q 15/08 (2006.01)

H01Q 5/307 (2015.01)

H01Q 1/38 (2006.01)

H01Q 5/00 (2015.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.10.2008 PCT/US2008/079753**

87 Fecha y número de publicación internacional: **16.04.2009 WO09049303**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.10.2008 E 08838349 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.12.2016 EP 2201645**

54 Título: **Metalización monocapa y estructuras de metamaterial sin vía**

30 Prioridad:

11.10.2007 US 979384 P

13.11.2007 US 987750 P

30.01.2008 US 24876 P

22.08.2008 US 91203 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
26.06.2017

73 Titular/es:

**TYCO ELECTRONICS SERVICES GMBH (100.0%)
Rheinstrasse 20
8200 Schaffhausen, CH**

72 Inventor/es:

**GUMMALLA, AJAY;
ACHOUR, MAHA;
LEE, CHENG-JUNG;
PATHAK, VANEET y
POILASNE, GREGORY**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 619 685 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

Metalización monocapa y estructuras de metamaterial sin vía

Antecedentes

La presente solicitud se refiere a estructuras de metamaterial.

- 5 La propagación de las ondas electromagnéticas en la mayor parte de los materiales obedece a la regla de la mano derecha para los campos vectoriales (\mathbf{E} , \mathbf{H} , β), en el que \mathbf{E} es el campo eléctrico, \mathbf{H} es el campo magnético, y β es el vector de onda. La dirección de la velocidad de fase es la misma que la dirección de propagación de la energía de la señal (velocidad de grupo) y el índice de refracción es un número positivo. Dichos materiales son materiales "diestros" (RH). La mayor parte de los materiales naturales son materiales RH. Los materiales artificiales también pueden ser materiales RH.

- 10 Un metamaterial (MTM) tiene una estructura artificial. Cuando se diseña con un tamaño unitario de celda promedio estructural p mucho más pequeño que la longitud de onda de la energía electromagnética guiada por el metamaterial, el metamaterial puede comportarse como un medio homogéneo para la energía electromagnética guiada. A diferencia de los materiales RH, un metamaterial puede presentar un índice de refracción negativo siendo la permitividad ϵ y la permeabilidad μ simultáneamente negativas, y la dirección de la velocidad de fase es opuesta a la dirección de propagación de energía de la señal en la que las direcciones relativas de los campos vectoriales (\mathbf{E} , \mathbf{H} , β), siguen la regla de la mano izquierda. Los materiales que soportan solo un índice de refracción negativo siendo la permitividad ϵ y la permeabilidad μ simultáneamente negativas son metamateriales "zurdos" (LH) puros.

- 15 Muchos metamateriales son mezclas de metamateriales LH y materiales RH y son así metamateriales compuestos zurdos y diestros (CRLH). Un metamaterial CRLH puede comportarse como un metamaterial LH a bajas frecuencias y como un material RH a altas frecuencias. Los diseños y propiedades de varios metamateriales CRLH se describen en, por ejemplo, Caloz e Itoh, "Electromagnetic Metamaterials: Transmission Line Theory and Microwave Applications", John Wiley & Sons (2006). Los metamateriales CRLH y sus aplicaciones en antenas se describen por Tatsuo Itoh en "Invited paper: Prospects for Metamaterials", *Electronics Letters*, Vol. 40, n.º 16 (agosto, 2004).

- 20 Los metamateriales CRLH pueden estructurarse y diseñarse para presentar propiedades electromagnéticas que se adaptan para aplicaciones específicas y pueden usarse en aplicaciones en donde puede ser difícil, impráctico o inviable usar otros materiales. Además, los materiales CRLH pueden usarse para desarrollar nuevas aplicaciones y para construir nuevos dispositivos que pueden no ser posibles con materiales RH.

- 25 El documento de SIMION, S. et al.: "CPW Antenna Fabricated on Silicon Substrate, Based on Transmission Line Metamaterial Approach", *2007 International Conference on Electromagnetics in Advance Applications*, 17-21 de septiembre de 2007, Turín, Italia, páginas 488-491, divulga una antena de metamaterial con una estructura de guía ondas coplanaria.

- 30 El documento de SANADA A et al.: "A planar zeroth-order resonator antenna using a left-handed transmission line", *34th European Microwave Conference*, 12-14 de octubre de 2004, Amsterdam, PISCATAWAY, NJ, Estados Unidos, IEEE, 14 de octubre de 2004 (2004-10-14), páginas 1341-1344, divulga una antena y un procedimiento tal como se expone en el preámbulo de las reivindicaciones 1 y 9.

Sumario

Técnicas y aparatos basados en estructuras de metamaterial proporcionados para dispositivos de antena y línea de transmisión, incluyendo metalización monocapa y estructuras de metamaterial sin vía.

- 40 En un aspecto, se presenta un metamaterial en la reivindicación 1.

En otro aspecto, un procedimiento de formación de un dispositivo de metamaterial se presenta en la reivindicación 9.

Estos y otros aspectos e implementaciones y sus variaciones se describen en detalle en los dibujos adjuntos, las descripciones detalladas y las reivindicaciones.

Breve descripción de los dibujos

- 45 La FIG. 1 muestra un ejemplo de una TL de MTM CRLH 1D basado en cuatro celdas unitarias.
La FIG. 2 muestra un circuito equivalente de la TL de MTM CRLH 1D mostrada en la FIG. 1.
La FIG. 3 muestra otra representación del circuito equivalente de la TL de MTM CRLH 1D mostrada en la FIG. 1.
La FIG. 4A muestra una representación de una matriz de red de dos puertos para el circuito equivalente de la TL CRLH 1D mostrada en la FIG. 2.
50 La FIG. 4B muestra otra representación de una matriz de red de dos puertos para el circuito equivalente de la TL CRLH 1D mostrada en la FIG. 3.
La FIG. 5 muestra un ejemplo de una antena de MTM CRLH 1D basada en cuatro celdas unitarias.
La FIG. 6A muestra una representación de una matriz de red con dos puertos del circuito equivalente de la

antena CRLH 1D análoga al caso de la TL mostrada en la FIG. 4A.
 La FIG. 6B muestra otra representación de una matriz de red con dos puertos del circuito equivalente de la
 antena CRLH 1D análoga al caso de la TL mostrada en la FIG. 4B.
 La FIG. 7A muestra un ejemplo de una curva de dispersión para el caso equilibrado.
 5 La FIG. 7B muestra un ejemplo de una curva de dispersión para el caso desequilibrado.
 La FIG. 8 muestra un ejemplo de una TL de MTM CRLH 1D con una tierra truncada basada en cuatro celdas
 unitarias.
 La FIG. 9 muestra un circuito equivalente de la TL de MTM CRLH 1D con la tierra truncada mostrada en la FIG.
 8.
 10 La FIG. 10 muestra un ejemplo de una antena de MTM CRLH 1D con una tierra truncada basada en cuatro
 celdas unitarias.
 La FIG. 11 muestra un ejemplo de una TL de MTM CRLH 1D con una tierra truncada basada en cuatro celdas
 unitarias.
 La FIG. 12 muestra un circuito equivalente de la TL de MTM CRLH 1D con la tierra truncada mostrada en la FIG.
 15 11.
 Las FIGS. 13(a) – 13(c) muestran un ejemplo de una estructura de antena de MTM de SLM de una celda,
 ilustrando la vista en 3D, la vista superior de la capa superior y la vista lateral, respectivamente.
 La FIG. 14(a) muestra la pérdida de retorno simulada de la antena de MTM de SLM de una celda mostrada en
 las FIGS. 13(a) – 13(c).
 20 La FIG. 14(b) muestra la pérdida de retorno simulada de la antena de MTM de SLM de dos celdas mostrada en
 la FIG. 14.
 La FIG. 14(c) muestra la pérdida de retorno medida de la antena de MTM de SLM de una celda fabricada tal
 como se muestra en las FIGS. 13(a) – 13(c).
 La FIG. 15 muestra la vista en 3D de un ejemplo de una antena de MTM de SLM de dos celdas.
 25 La FIG. 16(a) muestra la impedancia de entrada simulada de la antena de MTM de SLM de dos celdas mostrada
 en la FIG. 15.
 La FIG. 16(b) muestra la impedancia de entrada simulada de la antena de MTM de SLM de dos celdas mostrada
 en la FIG. 15.
 La FIG. 17 muestra un ejemplo de una TL de MTM de tres celdas.
 30 La FIG. 18 muestra la pérdida de retorno simulada de la TL de MTM de tres celdas mostrada en la FIG. 17.
 Las FIGS. 19(a) y 19(b) muestran las longitudes de onda guiadas electromagnéticas correspondientes a la
 resonancia de 1,6 GHz y resonancia de 1,8 GHz, respectivamente.
 Las FIGS. 20(a) – 20(d) muestran un ejemplo de una estructura de antena de MTM de TLM-VL de una celda,
 ilustrando la vista en 3D, vista lateral, vista superior de la capa superior y vista superior de la capa inferior,
 35 respectivamente.
 La FIG. 21(a) muestra un circuito equivalente simplificado para una estructura de MTM bicapa con una vía.
 La FIG. 21(b) muestra un circuito simplificado equivalente para una estructura de MTM bicapa sin una vía y con
 una línea de vía sobre la capa inferior.
 La FIG. 22(a) muestra la pérdida de retorno simulada de la antena de MTM de TLM-VL de una celda mostrada
 40 en las FIGS. 20(a) – 20(d).
 La FIG. 22(b) muestra la pérdida de retorno simulada de la antena de MTM de TLM-VL de una celda mostrada
 en las FIGS. 20(a) – 20(d) con una vía añadida que conecta el centro del parche de celda y el centro de la tierra
 truncada inferior.
 La FIG. 23 muestra el patrón de radiación de la antena de MTM de TLM-VL de una celda mostrada en las FIGS.
 45 20(a) – 20(d) a 2,4 GHz.
 Las FIGS. 24(a) – 24(d) muestran un ejemplo de una estructura de antena de MTM de TLM-VL con una línea de
 vía conectada a un electrodo de conexión a tierra extendido, ilustrando la vista en 3D, vista lateral, vista superior
 de la capa superior y vista superior de la capa inferior, respectivamente.
 La FIG. 25 muestra la pérdida de retorno simulada de la antena de MTM de TLM-VL mostrada en las FIGS. 24(a)
 50 – 24(d).
 Las FIGS. 26(a) y 26(b) muestran fotos de la antena de MTM de TLM-VL fabricada tal como se muestra en las
 FIGS. 24(a) – 24(d).
 La FIG. 27 muestra la pérdida de retorno medida de la antena de MTM de TLM-VL mostrada en las FIGS. 26(a) y
 26(b).
 55 Las FIGS. 28(a) – 28(d) muestran otro ejemplo de una estructura de antena de MTM de SLM de una celda,
 ilustrando la vista en 3D, vista lateral, vista superior de la capa superior y vista superior de la capa inferior,
 respectivamente.
 La FIG. 29(a) muestra la pérdida de retorno simulada de la antena de MTM de SLM de una celda mostrada en
 las FIGS. 28(a) – 28(d).
 60 La FIG. 29(b) muestra la impedancia de entrada simulada de la antena de MTM de SLM de una celda mostrada
 en las FIGS. 28(a) – 28(d).
 Las FIGS. 30(a) y 30(b) muestran la eficiencia medida de la antena de MTM de SLM de una celda fabricada tal
 como se muestra en las FIGS. 28(a) – 28(d), trazando la eficiencia de la banda de celda y la eficiencia PCS/DSC,
 respectivamente.
 65 La FIG. 31 muestra otro ejemplo de una estructura de antena de MTM de SLM de una celda con modificaciones.
 Las FIGS. 32(a) y 32(b) muestran la eficiencia medida de la antena de MTM de SLM de una celda fabricada tal

como se muestra en la FIG. 31, trazando la eficiencia de la banda celular y la eficiencia PCS/DSC, respectivamente.

Las FIGS. 33(a) y 33(b) muestran el efecto de un electrodo de conexión a tierra extendido sobre la eficiencia, trazando la eficiencia de la banda celular y la eficiencia PCS/DSC, respectivamente, mediante la comparación de los casos con y sin el electrodo de conexión a tierra extendido.

Las FIGS. 34(a) – 34(d) muestran otro ejemplo de una estructura de antena TLM-VL, ilustrando la vista en 3D, vista lateral, vista superior de la capa superior y vista superior de la capa inferior, respectivamente.

La FIG. 35(a) muestra la pérdida de retorno simulada de la antena TLM-VL mostrada en las FIGS. 34(a) – 34(d).

La FIG. 35(b) muestra la impedancia de entrada simulada de la antena TLM-VL mostrada en las FIGS. 34(a) – 34(d).

Las FIGS. 36(a) -36(d) muestran un ejemplo de una estructura de antena de MTM de semi-monocapa, ilustrando la vista en 3D, vista lateral, vista superior de la capa superior con la capa inferior superpuesta y la vista superior de la capa inferior con la capa superior superpuesta, respectivamente.

La FIG. 37(a) muestra la pérdida de retorno simulada de la antena de semi-monocapa mostrada en las FIGS. 36(a) -36(d).

La FIG. 37(b) muestra la impedancia de entrada simulada de la antena de semi-monocapa mostrada en las FIGS. 36(a) -36(d).

La FIG. 38 muestra otro ejemplo de una estructura de antena de MTM de SLM, ilustrando la vista superior de la capa superior.

La FIG. 39 muestra otro ejemplo de una estructura de antena de MTM de SLM (con serpenteo), ilustrando la vista superior de la capa superior.

La FIG. 40 muestra las pérdidas de retorno simuladas de la antena de MTM de SLM mostrada en la FIG. 38 y de la antena de MTM de SLM (con serpenteo) mostrada en la FIG. 39.

La FIG. 41 muestra una foto de la antena de MTM de SLM (con serpenteo) fabricada tal como se muestra en la FIG. 39.

La FIG. 42 muestra la pérdida de retorno medida de la antena de MTM de SLM fabricada mostrada en la FIG. 41.

Las FIGS. 43(a) y 43(b) muestran la eficiencia medida de la antena de MTM de SLM mostrada en la FIG. 41, trazando la eficiencia de la banda celular y la eficiencia de la banda PCS/DCS, respectivamente.

La FIG. 44 muestra la antena de MTM de SLM con serpenteo mostrada en la FIG. 39 con un condensador concentrado entre la placa de lanzamiento y el parche de celda.

La FIG. 45 muestra la antena de MTM de SLM con serpenteo mostrada en la FIG. 39 con un inductor concentrado en el trazado de línea de vía acortada.

La FIG. 46 muestra la antena de MTM de SLM con serpenteo mostrada en la FIG. 39 con un inductor concentrado en el trazado de línea de serpenteo acortada.

La FIG. 47 muestran las pérdidas de retorno simuladas de la antena de MTM de SLM con serpenteo para los casos con el condensador concentrado en la FIG. 44, con el inductor concentrado en la FIG. 45, con el inductor concentrado en la FIG. 46, y sin ningún elemento concentrado en la FIG. 39.

Las FIGS. 48(a) – 48(f) muestran un ejemplo de una estructura de antena de MTM tricapa con un acoplamiento vertical, ilustrando la vista en 3D, vista superior de la capa superior, vista superior de la capa media, vista superior de la capa inferior, vista superior de las capas superior y media superpuestas, y la vista lateral, respectivamente.

La FIG. 49(a) muestra la pérdida de retorno simulada de la antena de MTM tricapa con el acoplamiento vertical mostrado en las FIGS. 48(a) – 48(f).

La FIG. 49(b) muestra la impedancia de entrada simulada de la antena de MTM tricapa con el acoplamiento vertical mostrado en las FIGS. 48(a) – 48(f).

Las FIGS. 50(a) – 50(c) muestran una realización de una antena de MTM de TLM-VL con el acoplamiento vertical, ilustrando la vista en 3D, vista superior de la capa superior y vista superior de la capa inferior, respectivamente.

La FIG. 51(a) muestra la pérdida de retorno simulada de la antena de MTM de TLM-VL con el acoplamiento vertical mostrada en las FIGS. 50(a) – 50(c).

La FIG. 51(b) muestra la impedancia de entrada simulada de la antena de MTM de TLM-VL con el acoplamiento vertical mostrada en las FIGS. 50(a) – 50(c).

Descripción detallada

Las estructuras de metamaterial (MTM) pueden usarse para construir antenas y otros componentes y dispositivos eléctricos, permitiendo un amplio intervalo de avances tecnológicos tal como reducción de tamaño y mejoras de rendimiento. Las estructuras de antena de MTM pueden fabricarse sobre varias plataformas de circuitos, incluyendo tarjetas de circuitos tales como una tarjeta de circuito impreso (PCB) FR-4 o una tarjeta de circuito impreso flexible (FPC). Ejemplos de otras técnicas de fabricación incluyen técnicas de fabricación de película delgada, técnicas de sistema sobre chip (SOC), técnicas de cerámica co-cocida a baja temperatura (LTCC), y técnicas de circuitos integrados de microondas monolíticos (MMIC).

Los ejemplos e implementaciones de estructuras de MTM descritas en el presente documento incluyen estructuras de antena de MTM de Metalización Monocapa (SLM) que sitúan los componentes conductores de una estructura de MTM, incluyendo un electrodo de conexión a tierra en una única capa de metalización conductora formada sobre un

lado del sustrato dieléctrico o tarjeta, y estructuras de antena de MTM de Metalización Bicapa Sin Vía (TLM-VL) en las que se usan dos capas de metalización conductoras sobre dos superficies paralelas de un sustrato dieléctrico o tarjeta para formar una estructura de MTM sin que tenga una vía conductora para conectar un componente de la estructura de MTM sobre una capa de metalización conductora del sustrato dieléctrico o tarjeta a otro componente de la estructura de MTM sobre la otra capa de metalización conductora del sustrato dieléctrico o tarjeta. Dichas estructuras de MTM de SLM y de MTM de TLM-VL pueden estructurarse en diversas configuraciones y pueden acoplarse con otros circuitos de MTM o no MTM y elementos de circuitos sobre tarjetas de circuitos.

Por ejemplo, dichas estructuras de MTM de SLM y de MTM de TLM-VL pueden usarse en dispositivos que tengan sustratos delgados o materiales en los que no puedan taladrarse y/o platearse orificios de vía. Como por ejemplo, dichas estructuras de antena de MTM de SLM y TLM-VL pueden envolverse en el interior o alrededor de un recinto de una envolvente de producto. Las antenas basadas en dichas estructuras de MTM de SLM y de MTM de TLM-VL pueden fabricarse conformantes con la pared interna de una carcasa de un producto, la superficie exterior de un portador de antena o un contorno de un empaquetado de dispositivo. Ejemplos de sustancias delgadas o materiales en los que no pueden taladrarse y/o platearse orificios de vía incluyen sustratos FR4 con un grosor menor de 0,254 mm, materiales de vidrio delgado, películas Flex, y sustratos de película delgada con un grosor de 0,0762 mm – 0,127 mm. Algunos de estos materiales pueden doblarse fácilmente con buena capacidad de manipulación. Ciertos materiales FR-4 y vidrio pueden requerir doblado por calor u otras técnicas para conseguir las formas curvadas o dobladas deseadas.

Las estructuras de antena de MTM descritas en el presente documento pueden configurarse para generar múltiples bandas de frecuencia incluyendo una “banda baja” y una “banda alta”. La banda baja incluye al menos una resonancia de modo zurdo (LH) y la banda alta incluye al menos una resonancia de modo diestro (RH). Las estructuras de antena de MTM multibanda descritas en el presente documento pueden usarse en aplicaciones de teléfonos celulares, aplicaciones de dispositivos portátiles (por ejemplo, PDA y teléfonos inteligentes) y otras aplicaciones de dispositivos móviles, en los que se espera que la antena soporte múltiples bandas de frecuencia con un rendimiento adecuado bajo restricciones de espacio limitado. Los diseños de antena de MTM divulgados en el presente documento pueden adaptarse y diseñarse para proporcionar una o más ventajas sobre otras antenas, tales como tamaño compacto, múltiples resonancias basándose en una única solución de antena, resonancias que son estables e insensibles a desviaciones provocadas por la interacción del usuario, y frecuencias de resonancia que son sustancialmente independientes del tamaño físico. La configuración de elementos en una estructura de antena de MTM puede estructurarse para conseguir las bandas y anchos de banda deseables basándose en una única solución de antena con las propiedades CRLH.

Las antenas de MTM descritas en el presente documento pueden diseñarse para operar en varias bandas, incluyendo bandas de frecuencia para teléfonos celulares y aplicaciones de dispositivos móviles, aplicaciones Wi-Fi, aplicaciones WiMax y otras aplicaciones de comunicación inalámbrica. Ejemplos para las bandas de frecuencia para teléfonos celulares y aplicaciones de dispositivos móviles son: la banda celular (824 - 960 MHz) que incluye dos bandas, bandas CDMA y GSM; y la banda PCS/DCS (1710 - 2170 MHz) que incluye tres bandas: las bandas PCS, DCS y WCDMA. Puede usarse una antena tetra-banda para cubrir una de las bandas CDMA y GSM en la banda celular y las tres bandas en la banda PCS/DCS. Puede usarse una antena penta-banda para cubrir todas las cinco bandas con dos en la banda celular y tres en la banda PCS/DCS. Ejemplos de bandas de frecuencia para aplicaciones WiFi incluyen dos bandas: una que va desde 2,4 a 2,48 GHz, y la otra que va desde 5,15 GHz a 5,835 GHz. Las bandas de frecuencia para aplicaciones WiMax implican tres bandas: 2,3 - 2,4 GHz, 2,5 - 2,7 GHz, y 3,5 - 3,8 GHz.

Una antena de MTM o una línea de transmisión (TL) de MTM es una estructura de MTM con una o más celdas unitarias de MTM. El circuito equivalente para cada celda unitaria de MTM incluye una inductancia en serie diestra (LR), una capacidad en derivación diestra (CR), una capacidad en serie zurda (CL), y una inductancia en paralelo zurda (LL). Las LL y CL están estructuradas y conectadas para proporcionar propiedades zurdas a la celda unitaria. Este tipo de TL o antenas CRLH pueden implementarse mediante el uso de elementos de circuito distribuidos, elementos de circuito concentrados o una combinación de los mismos. Cada celda unitaria es menor de $\sim\lambda/4$ en la que λ es la longitud de onda de la señal electromagnética que se está transmitiendo en la TL o antena CRLH.

Un metamaterial LH puro sigue la regla de la mano izquierda para la terna de vectores (\mathbf{E} , \mathbf{H} , β), y la dirección de la velocidad de fase es opuesta a la propagación de energía de la señal. Tanto la permitividad ϵ como la permeabilidad μ del material LH son negativas. Un metamaterial CRLH puede presentar modos de propagación electromagnéticos tanto zurdos como diestros dependiendo del régimen o frecuencia de operación. Bajo ciertas circunstancias, un metamaterial CRLH puede presentar una velocidad de grupo no cero cuando el vector de onda de una señal es cero. Esta situación ocurre cuando están equilibrados ambos modos zurdo y diestro. En un modo desequilibrado, hay una banda prohibida en la que se prohíbe la propagación de la onda electromagnética. En el caso equilibrado, la curva de dispersión no muestra ninguna discontinuidad en el punto de transición de la constante de propagación $\beta(\omega_0) = 0$ entre los modos zurdo y diestro, en la que la longitud de onda guiada es infinita, es decir, $\lambda_g = 2\pi/|\beta| \rightarrow \infty$, mientras la velocidad de grupo es positiva:

$$v_g = \left. \frac{d\omega}{d\beta} \right|_{\beta=0} > 0$$

5 Este estado corresponde al modo de orden cero $m = 0$ en una implementación de TL en la región LH. La estructura del CRLH soporta un espectro fino de bajas frecuencias con la relación de dispersión que sigue a la región parabólica β negativa. Esto permite que se construya un dispositivo físicamente pequeño que sea electromagnéticamente grande con capacidades únicas en capacidad de manipulación y control de los patrones de radiación del campo cercano. Cuando se usa esta TL como un Resonador de Orden Cero (ZOR), permite una resonancia de amplitud y fase constantes a través de todo resonador. El modo ZOR puede usarse para construir, basados en MTM, combinadores de potencia y repartidores o divisores, a compradores direccionales, redes de adaptación y antenas de fuga de onda.

10 En el caso de resonadores de TL RH, la frecuencia de resonancia corresponde a las longitudes eléctricas $\theta_m = \beta_m = m\pi$ ($m = 1, 2, 3\dots$), En la que 1 es la longitud de la TL. La longitud de la TL debería ser larga para alcanzar un espectro de frecuencias de resonancia bajo y más ancho. Las frecuencias de operación de un material LH puro están en las bajas frecuencias. Una estructura de MTM CRLH es muy diferente de un material RH o LH y puede usarse para alcanzar regiones espectrales tanto alta como baja en los intervalos de un espectro de RF. En el caso de CRLH, $\theta_m = \beta_{ml} = m\pi$, en el que 1 es la longitud de la TL CRLH y el parámetro $m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3\dots \pm\infty$.

15 Se describen a continuación ejemplos de estructuras de antena de MTM específicas. Cierta información técnica asociada con estos ejemplos se describe en la solicitud de patente de Estados Unidos n.º 11/741.674 titulada "Antennas, Devices, and Systems Based on Metamaterial Structures", presentada el 27 de abril de 2007, y la solicitud de patente de Estados Unidos n.º 11/844.982 titulada "Antennas Based on Metamaterial Structures", presentada el 24 de agosto de 2007, que se incorporan por referencia como parte de la especificación del presente documento.

20 La FIG. 1 ilustra un ejemplo de una línea de transmisión (TL) de MTM CRLH mono-dimensional (1D) basada en cuatro celdas unitarias. Una celda unitaria incluye un parche de celda y una vía, que es un bloque de construcción para la construcción de una estructura de MTM deseada. El ejemplo de la TL ilustrada incluye cuatro celdas unitarias formadas en dos capas de metalización conductora de un sustrato en donde se forman cuatro parches de celda conductora sobre la capa de metalización conductora superior del sustrato y el otro lado del sustrato tiene una capa de metalización como el electrodo de conexión a tierra. Se forman cuatro vías conductoras centradas para penetrar a través del sustrato para conectar los cuatro parches de celda al plano de tierra, respectivamente. El parche de celda unitaria en el lado izquierdo se acopla electromagnéticamente a la primera línea de alimentación y el parche de celda unitaria sobre el lado derecho se acopla electromagnéticamente a una segunda línea de alimentación. En algunas implementaciones, cada parche de celda unitaria se acopla electromagnéticamente a un parche de celda unitaria adyacente sin estar directamente en contacto con la celda unitaria adyacente. Esta estructura forma la línea de transmisión de MTM para recibir una señal de RF desde una línea de alimentación y para producir la salida de la señal de RF en la otra línea de alimentación.

35 La FIG. 2 muestra un circuito de red equivalente de la TL de MTM CRLH 1D en la FIG. 1. Los Z_{Lin}' y Z_{Lout}' corresponden a la impedancia de carga de entrada de la TL y la impedancia de carga de salida de la TL, respectivamente, y se deben al acoplamiento de la TL en cada extremo. Este es un ejemplo de una estructura bicapa impresa. La LR se debe al parche de celda sobre el sustrato dieléctrico, y la CR se debe al sustrato dieléctrico que está intercalado entre el parche de celda y el plano de tierra. La CL se debe a la presencia de dos parches de celda adyacentes, y la vía induce la LL.

Cada celda unitaria individual puede tener dos resonancias ω_{SE} y ω_{SH} correspondientes a la impedancia Z serie (SE) y a la admitancia Y en paralelo (SH). En la FIG. 2, el bloque $Z/2$ incluye una combinación serie de $LR/2$ y $2CL$, y el bloque Y incluye una combinación paralelo de LL y CR. La relación entre estos parámetros se expresa como sigue:

$$\omega_{SH} = \frac{1}{\sqrt{LL CR}}; \omega_{SE} = \frac{1}{\sqrt{LR CL}}; \omega_R = \frac{1}{\sqrt{LR CR}}; \omega_L = \frac{1}{\sqrt{LL CL}}$$

45 en las que, $Z = j\omega LR + \frac{1}{j\omega CL}$ e $Y = j\omega CR + \frac{1}{j\omega LL}$ Ec. (1)

Las dos celdas unitarias en los bordes de entrada/salida en la FIG. 1 no incluyen CL, dado que CL representa la capacidad entre dos parches de celda adyacentes y faltan en estos bordes de entrada/salida. La ausencia de la parte de CL en el borde de las celdas unitarias impide que la frecuencia ω_{SE} resuene. Por lo tanto, solo aparece ω_{SH} como una frecuencia de resonancia $m = 0$.

50 Para simplificar el análisis computacional, una parte del condensador serie de Z_{Lin}' y Z_{Lout}' se incluye para compensar la parte de CL faltante, y las impedancias de carga de entrada y salida restantes se indican como Z_{Lin} y Z_{Lout} , respectivamente, tal como se ve en la FIG. 3. En esta condición, todas las celdas unitarias tienen idénticos

parámetros como se ha representado por los dos bloques serie Z/2 y un bloque Y paralelo en la FIG. 3, en la que el bloque Z/2 incluye una combinación en serie de LR/2 y 2CL, y el bloque Y incluye una combinación en paralelo de LL y CR.

5 La FIG. 4A y la FIG. 4B ilustran una representación de matriz de red de dos puertos para circuitos de TL sin la impedancia de carga tal como se muestra en la FIG. 2 y la FIG. 3, respectivamente.

La FIG. 5 ilustra un ejemplo de una antena de MTM CRLH 1D basada en cuatro celdas unitarias. A diferencia de la TL de MTM CRLH 1D en la FIG. 1, la antena en la FIG. 5 acopla la celda unitaria sobre el lado izquierdo a una línea de alimentación para conectar la antena a un circuito de antena y la celda unitaria sobre el lado derecho es un circuito abierto de modo que las cuatro celdas se interrelacionan con el aire para transmitir o recibir una señal de RF.

10 La FIG. 6A muestra la representación de una matriz de red de dos puertos para el circuito de la antena de la FIG. 5. La FIG. 6B muestra una representación de una matriz de red de dos puertos para el circuito de la antena de la FIG. 5 con la modificación en los bordes para tener en cuenta la parte de CL faltante para tener todas las celdas unitarias idénticas. Las FIGS. 6A y 6B son análogos a los circuitos de TL mostrados en las FIGS. 4A y 4B, respectivamente.

En rotación matricial, la FIG. 4B representa la relación dada como se muestra continuación:

$$15 \quad \begin{pmatrix} V_{in} \\ I_{in} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} AN & BN \\ CN & AN \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_{out} \\ I_{out} \end{pmatrix}, \quad \text{Ec. (2)}$$

en la que AN = DN debido a que el circuito de la TL de MTM CRLH en la FIG. 3 es simétrico cuando se ve desde los extremos Vin y Vout.

20 En las FIGS. 6A y 6B, los parámetros GR' y GR representan una resistencia a la radiación, y los parámetros ZT' y ZT representan una impedancia de terminación. Cada uno de los ZT', ZLin' y ZLout' incluyen una contribución desde el 2CL adicional como se expresa a continuación:

$$ZLin' = ZLin + \frac{2}{j\omega CL}, \quad ZLout' = ZLout + \frac{2}{j\omega CL}, \quad ZT' = ZT + \frac{2}{j\omega CL} \quad \text{Ec. (3)}$$

25 Dado que la resistencia de radiación GR o GR' puede deducirse mediante bien la construcción o bien la simulación de la antena, puede ser difícil optimizar el diseño de la antena. Por lo tanto, se prefiere adoptar la aproximación de la TL y a continuación simular sus antenas correspondientes con diversas terminaciones ZT. La relación en la Ec. (1) es válida para el circuito de la FIG. 2 con los valores modificados AN', BN', y CN', lo que refleja la parte de CL faltante en los dos bordes.

30 Las bandas de frecuencia pueden determinarse a partir de la ecuación de dispersión deducida dejando a la estructura de la celda CRLH N resonar con una longitud de fase de propagación nπ, en la que n = 0, ±1, ±2, ... ±N. En este caso, cada una de las N celdas CRLH está representada por Z e Y en la Ec. (1), que es diferente de la estructura mostrada en la FIG. 2, en la que CL falta en las celdas del extremo. Por lo tanto, se podría esperar que las resonancias asociadas con estas dos estructuras fueran diferentes. Sin embargo, amplios cálculos muestran que todas las resonancias son la misma excepto para n = 0, en la que tanto ωSE como ωSH resuenan en la estructura de la FIG. 3, y solo ωSH resuena en la estructura de la FIG. 2. Los desplazamientos de fase positivos (n > 0) corresponden a las resonancias de la región RH y los valores negativos (n < 0) se asocian con resonancias de la región LH.

35 La relación de dispersión de N celdas CRLH idénticas con los parámetros Z e Y viene dada como sigue:

$$\left\{ \begin{array}{l} N\beta p = \cos^{-1}(A_N), \Rightarrow |A_N| \leq 1 \Rightarrow 0 \leq \chi = -ZY \leq 4 \forall N \\ \text{en la que } A_N = 1 \text{ con resonancias pares } |n| = 2m \in \left\{ 0, 2, 4, \dots, 2 \times \text{Int}\left(\frac{N-1}{2}\right) \right\} \\ \text{y } A_N = -1 \text{ con resonancias impares } |n| = 2m+1 \in \left\{ 1, 3, \dots, \left(2 \times \text{Int}\left(\frac{N}{2}\right) - 1 \right) \right\} \end{array} \right. \quad \text{Ec. (4),}$$

40 en la que Z e Y vienen dadas en la Ec. (1), AN se deduce de la cascada lineal de N celdas unitarias CRLH idénticas, en la FIG. 3, y p es el tamaño de celda. Las resonancias impar n = (2m+1) y par n = 2m se asocian con AN = -1 y AN = 1, respectivamente. Para AN' en la FIG. 4A y la FIG. 6A, el modo n = 0 resuena a ω0 = ωSH solamente y no tanto a ωSE como a ωSH debido a la ausencia de CL en las celdas del extremo, independientemente del número de celdas. Las frecuencias de orden más alto se dan en las siguientes ecuaciones para diferentes valores de χ especificados en la Tabla 1:

$$\text{Para } n > 0, \omega_{\pm n}^2 = \frac{\omega_{SH}^2 + \omega_{SE}^2 + \chi\omega_R^2}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\omega_{SH}^2 + \omega_{SE}^2 + \chi\omega_R^2}{2}\right)^2 - \omega_{SH}^2\omega_{SE}^2} \quad \text{Ec. (5)}$$

La Tabla 1 proporciona valores de χ para $N = 1, 2, 3$ y 4 , debería tomarse nota de que las resonancias de orden más alto $|n| > 0$ son las mismas independientemente de si está presente la CL completa en las celdas del borde (FIG. 3) o ausente (FIG. 2). Adicionalmente, las resonancias próximas a $n = 0$ tienen valores de χ pequeños (cerca del límite inferior 0 de χ), mientras que las resonancias de orden más alto tienden a alcanzar el límite superior 4 de χ como se establece en la Ec. (4).

Tabla 1: resonancias para $N = 1, 2, 3$ y 4 celdas

N \ Modos	 n = 0	 n = 1	 n = 2	 n = 3
N = 1	$\chi_{(1,0)} = 0; \omega_0 = \omega_{SH}$			
N = 2	$\chi_{(2,0)} = 0; \omega_0 = \omega_{SH}$	$\chi_{(2,1)} = 2$		
N = 3	$\chi_{(3,0)} = 0; \omega_0 = \omega_{SH}$	$\chi_{(3,1)} = 1$	$\chi_{(3,2)} = 3$	
N = 4	$\chi_{(4,0)} = 0; \omega_0 = \omega_{SH}$	$\chi_{(3,1)} = 2 - \sqrt{2}$	$\chi_{(4,2)} = 2$	

La curva de dispersión β en función de la frecuencia ω se ilustra en las FIGS. 7A y 7B para los casos de $\omega_{SE} = \omega_{SH}$ (equilibrado, es decir, LR CL = LL CR) y $\omega_{SE} \neq \omega_{SH}$ (desequilibrado), respectivamente. En el último caso, hay una banda de frecuencia entre $\text{mín}(\omega_{SE}, \omega_{SH})$ y $\text{máx}(\omega_{SE}, \omega_{SH})$. Los valores de las frecuencias límite $\omega_{\text{mín}}$ y $\omega_{\text{máx}}$ vienen dados por las mismas ecuaciones de resonancia de la Ec. (5) alcanzando χ su límite superior $\chi = 4$ como se establece en las siguientes ecuaciones:

$$\omega_{\text{mín}}^2 = \frac{\omega_{SH}^2 + \omega_{SE}^2 + 4\omega_R^2}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\omega_{SH}^2 + \omega_{SE}^2 + 4\omega_R^2}{2}\right)^2 - \omega_{SH}^2\omega_{SE}^2}$$

$$\omega_{\text{máx}}^2 = \frac{\omega_{SH}^2 + \omega_{SE}^2 + 4\omega_R^2}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\omega_{SH}^2 + \omega_{SE}^2 + 4\omega_R^2}{2}\right)^2 - \omega_{SH}^2\omega_{SE}^2} \quad \text{Ec. (6)}$$

Además, las FIGS. 7A y 7B proporcionan ejemplos de la posición de resonancia a lo largo de las curvas de dispersión. En la región RH ($n > 0$) el tamaño de estructura $1 = Np$, en la que p es el tamaño de celda, aumenta con la disminución de frecuencia. Por el contrario, en la región LH, se alcanzan frecuencias más bajas con valores más pequeños de Np , de ahí la reducción de tamaño. Las curvas de dispersión proporcionan alguna indicación del ancho de banda alrededor de estas resonancias. Por ejemplo, las resonancias LH tienen el ancho de banda estrecho debido a que las curvas de dispersión son casi planas. En la región RH, el ancho de banda es más ancho debido a que las curvas de dispersión están escalonadas. Por ello, la primera condición para obtener amplios anchos de banda, 1ª condición BB, puede expresarse como sigue:

$$\text{COND1: 1ª condición BB } \left| \frac{d\beta}{d\omega} \right|_{\text{res}} = \left| \frac{\frac{d(AN)}{d\omega}}{\sqrt{(1-AN^2)}} \right|_{\text{res}} \ll 1 \text{ cerca de } \omega = \omega_{\text{res}} = \omega_0, \omega_{\pm 1}, \omega_{\pm 2}, \dots$$

$$\Rightarrow \left| \frac{d\beta}{d\omega} \right|_{\text{res}} = \left| \frac{\frac{d\chi}{d\omega}}{2p\sqrt{\chi\left(1-\frac{\chi}{4}\right)}} \right|_{\text{res}} \ll 1 \text{ con } p = \text{tamaño de celda y } \left. \frac{d\beta}{d\omega} \right|_{\text{res}} = \frac{2\omega_{\pm n}}{\omega_R^2} \left(1 - \frac{\omega_{SE}^2\omega_{SH}^2}{\omega_{\pm n}^4} \right) \quad \text{Ec. (7)}$$

En la que χ se da en la Ec. (4) y ω_R se define en la Ec. (1). La relación de dispersión de la Ec. (4) indica que las resonancias ocurren cuando $|AN| = 1$, lo que conduce a un denominador cero en la 1ª condición BB (COND1) de la Ec. (7). Como recordatorio, AN es la primera entrada de la matriz de transmisión de las N celdas unitarias idénticas (FIG. 4B y FIG. 6B). El cálculo muestra que COND1 es realmente independiente de N y viene dado por la segunda ecuación en Ec. (7). Son los valores del numerador y χ en las resonancias, lo que se muestra en la Tabla 1, que define las pendientes de las curvas de dispersión, y por ello los posibles anchos de banda. Las estructuras objetivo son como mucho $Np = \lambda/40$ en tamaño con el ancho de banda superando el 4 %. Para estructuras con tamaños p de celda pequeños, la Ec. (7) indica que altos valores de ω_R satisfacen la COND1, es decir, bajos valores de CR y LR, dado que para $n < 0$ la resonancias ocurren a valores de χ próximos a 4 en la Tabla 1, en otros términos ($1 - \chi/4 \rightarrow 0$).

Como se ha indicado previamente, una vez que las pendientes de la curva de dispersión tienen valores escalonados, entonces la siguiente etapa es identificar la adaptación adecuada. Las impedancias de adaptación tienen valores fijos y pueden no requerir grandes superficies ocupadas de redes de adaptación. En este caso, la expresión "adaptación de impedancia" se refiere a una línea de alimentación y terminación en el caso de un único lado de alimentación tal como en las antenas. Para analizar la red de adaptación de entrada/salida, pueden calcularse Z_{in} y Z_{out} para el circuito de la TL de la FIG. 4B. Dado que la red de la FIG. 3 es simétrica, es directo demostrar que $Z_{in} = Z_{out}$. Puede demostrarse que Z_{in} es independiente de N tal como se indica en la ecuación a continuación:

$$Z_{in}^2 = \frac{BN}{CN} = \frac{B1}{C1} = \frac{Z}{Y} \left(1 - \frac{\chi}{4}\right), \quad \text{Ec. (8)}$$

que tiene solo valores reales positivos. Una razón por la que $B1/C1$ es mayor que cero se debe a la condición de $|AN| \leq 1$ en la Ec. (4), que conduce a la siguiente condición de impedancia:

$$0 \leq -ZY = \chi \leq 4.$$

La 2ª condición de banda ancha (BB) es que Z_{in} varíe ligeramente con la frecuencia cerca de las resonancias para mantener la adaptación constante. Recuérdese que la impedancia de entrada real Z_{in}' incluye una contribución de la capacidad en serie CL como se establece en la Ec. (3). La 2ª condición BB se da a continuación:

$$\text{COND2: 2ª condición BB: cerca de las resonancias, } \left. \frac{dZ_{in}}{d\omega} \right|_{\text{cerca res}} \ll 1. \quad \text{Ec. (9)}$$

A diferencia del ejemplo de línea de transmisión de la FIG. 2 y la FIG. 3, los diseños de antena tienen un lado de extremo abierto con una impedancia infinita que difícilmente se adapta a la impedancia del borde de la estructura. La terminación de la capacidad se da por la ecuación a continuación:

$$Z_T = \frac{AN}{CN}, \quad \text{Ec. (10)}$$

que depende de N y es puramente imaginaria. Dado que las resonancias LH son típicamente más estrechas que las resonancias RH, los valores de adaptación seleccionados están más próximos a los deducidos en la región $n < 0$ que en la región $n > 0$.

Un procedimiento para incrementar el ancho de banda de las resonancias LH es reducir el condensador CR en paralelo. Esta reducción puede conducir a valores de ω_R más altos de las curvas de dispersión escalonadas tal como se explica en la Ec. (7). Hay varios procedimientos para disminuir CR, incluyendo, pero sin limitarse a: 1) incrementar el grosor del sustrato, 2) reducir el área del parche de celda, 3) reducir el área de tierra bajo el parche de celda superior, dando resultado una "tierra truncada", o combinaciones de las técnicas anteriores.

Las estructuras de TL y antena de MTM en las FIGS. 1 y 5 usan una capa conductora para cubrir toda la superficie inferior del sustrato como todo el electrodo de conexión a tierra. Puede usarse un electrodo de conexión a tierra truncado que haya sido estampado para exponer una o más partes de la superficie del sustrato para reducir el área del electrodo de conexión a tierra a menos de toda la superficie del sustrato. Esto puede incrementar el ancho de banda de resonancia y sintonizar la frecuencia de resonancia. Los ejemplos de una estructura de tierra truncada se explican con referencia a las FIGS. 8 y 11, en las que se ha reducido la cantidad de electrodo de conexión a tierra en el área en la superficie ocupada de un parche de celda sobre el lado del electrodo de conexión a tierra del sustrato, y la línea de la tira (línea de vía) restante se usa para conectar la vía del parche de celda a un electrodo de conexión a tierra principal fuera de la superficie ocupada del parche de celda. Esta aproximación de tierra truncada puede implementarse en diversas configuraciones para conseguir resonancias de banda ancha.

La FIG. 8 ilustra un ejemplo de un electrodo de conexión a tierra truncado para una línea de transmisión de MTM tetra-celda en la que el electrodo de conexión a tierra tiene una dimensión que es menor que el parche de celda a lo largo de una dirección por debajo del parche de celda. La capa conductora de tierra incluye una línea de vía que se conecta a las vías y pasa a través y por debajo de los parches de celda. La línea de vía tiene un ancho que es menor que una dimensión del parche de celda de cada celda unitaria. El uso de una tierra truncada puede ser una elección preferida sobre otros procedimientos en implementaciones de dispositivos comerciales en los que el grosor del sustrato no puede incrementarse o el área del parche de celda no puede reducirse debido a la disminución asociada en las eficiencias de antena. Cuando se trunca la tierra, se introduce otro inductor L_p (FIG. 9) por la tira de metalización (línea de vía) que conecta las vías a la tierra principal tal como se ilustra en la FIG. 8. La FIG. 10 muestra una antena de cuádruple celda equivalente con la tierra truncada análoga a la estructura de la TL de la FIG. 8.

La FIG. 11 ilustra otro ejemplo de una antena de MTM que tiene una estructura de tierra truncada. En este ejemplo, la capa conductora de tierra incluye líneas de vía y una tierra principal que se forma fuera de la superficie ocupada

de los parches de celda. Cada línea de vía se conecta a la tierra principal en un primer extremo distal y se conecta a la vía en un segundo extremo distal. La línea de vía tiene un ancho que es menor que una dimensión del parche de celda de cada celda unitaria.

5 Las ecuaciones para la estructura de tierra truncada pueden deducirse. En los ejemplos de tierra truncada, la capacidad en paralelo CR se hace pequeña, y las resonancias siguen las mismas ecuaciones que en las Ecs. (1), (5) y (6) y Tabla 1. Se presentan dos aproximaciones. Las FIGS. 8 y 9 representan la primera aproximación, Aproximación 1, en la que las resonancias son las mismas que en las Ecs. (1), (5) y (6) y la Tabla 1 después de sustituir LR por (LR + Lp). Para $|n| \neq 0$, cada modo tiene dos resonancias que corresponden a (1) $\omega \pm n$ para LR que es sustituida por (LR + Lp) y (2) $\omega \pm n$ para LR que es sustituida por (LR + Lp/N) en la que N es el número de celdas unitarias. Bajo esta Aproximación 1, la ecuación de impedancia se convierte en:

$$Z_{in}^2 = \frac{BN}{CN} = \frac{B1}{C1} = \frac{Z}{Y} \left(1 - \frac{X + X_p}{4} \right) \frac{(1 - X - X_p)}{(1 - X - X_p/N)}, \text{ en la que } X = -YZ \text{ y } X = -YZ_p \quad \text{Ec. (11)}$$

en la que $Z_p = j\omega L_p$ y Z, Y se definen en la Ec. (2). La ecuación de impedancia en la Ec. (11) aporta que las dos resonancias ω y ω' tienen impedancias alta y baja, respectivamente. Por ello, es fácil sintonizar cerca de la resonancia ω en la mayor parte de casos.

15 La segunda aproximación, Aproximación 2, se ilustra en las FIGS. 11 y 12 y las resonancias son las mismas que las Ecs. (1), (5) y (6) y la Tabla 1 después de sustituir LL por (LL + Lp). En la segunda aproximación, el inductor paralelo combinado (LL + Lp) aumenta mientras el condensador paralelo CR disminuye, lo que conduce a frecuencias LH más bajas.

20 Las estructuras de MTM ejemplares anteriores se forman sobre dos capas de metalización y una de las dos capas de metalización se usa como el electrodo de conexión a tierra y se conecta a la otra capa de metalización a través de una vía conductora. Dichas TL y antenas de MTM CRLH bicapa con una vía pueden construirse con un electrodo de conexión a tierra completo tal como se muestra en las FIGS. 1 y 5 o un electrodo de conexión a tierra truncado como se muestra en las FIGS. 8 y 10.

25 Las estructuras de MTM de SLM y TLM-VL descritas en este caso simplifican el diseño anterior de vía-bicapa mediante la reducción del diseño bicapa a un diseño de capa simple de metalización o al proporcionar un diseño bicapa sin las vías de interconexión. Las estructuras de MTM de SLM y TLM-VL pueden usarse para reducir el coste del dispositivo y simplificar la fabricación. Se describen a continuación ejemplos específicos e implementaciones de dichas estructuras de MTM de SLM y estructuras de MTM de TLM-VL.

30 Una estructura de MTM de SLM, a pesar de su estructura más simple, puede implementarse para realizar funciones de una estructura de MTM CRLH bicapa con una vía conectada a una tierra truncada. En una estructura MTM CRLH bicapa con una vía que conecta las dos capas de metalización, la capacidad CR en paralelo se induce en el material dieléctrico entre el parche de celda sobre la capa superior y la metalización de tierra sobre la capa inferior y el valor de CR tiende a ser pequeño con el electrodo de conexión a tierra truncado en comparación con un diseño que tenga un electrodo de conexión a tierra completo.

35 Puede formarse una estructura de MTM de SLM en una única capa conductora para tener diversos componentes de circuito y el electrodo de conexión a tierra. En una implementación, una estructura de MTM de SLM incluye un sustrato dieléctrico que tiene una primera superficie de sustrato y una superficie de sustrato opuesta, una capa de metalización formada sobre la primera superficie del sustrato y estampada para tener dos o más partes de metalización para formar una estructura de metamaterial monocapa dentro de la capa de metalización sin una vía conductora que penetre en el sustrato dieléctrico. Las partes de metalización en la capa de metalización incluyen un primer parche metálico como un parche de celda unitaria de la estructura de MTM de SLM, un segundo parche metálico como un electrodo de conexión a tierra para la celda unitaria y especialmente separado del parche de celda unitaria, una línea metálica de vía que interconecta el electrodo de conexión a tierra y el parche de celda unitaria, una línea de alimentación de señal que acopla electromagnéticamente el parche de celda unitaria sin estar directamente en contacto con el parche de celda unitaria.

40 Por lo tanto, no hay material dieléctrico verticalmente intercalado entre dos partes de metalización en esta estructura de MTM de SLM. Como resultado, la capacidad CR en paralelo de la estructura de MTM de SLM es insignificamente pequeña con un diseño apropiado. Una capacidad en paralelo pequeña puede inducirse aún entre el parche de celda y el electrodo de conexión a tierra, ambos de los cuales están en la única capa de metalización. La inductancia LL en paralelo en la estructura de MTM de SLM es insignificante debido a la ausencia de la vía que penetra en el sustrato, pero la inductancia Lp puede ser relativamente grande debido a la línea de metal de vía en la capa de metalización conectada al electrodo de conexión a tierra.

55 Las FIGS. 13(a) – 13(c) muestran un ejemplo de una antena de MTM de SLM de una celda, mostrando la vista en 3D, vista superior de la capa superior y vista lateral, respectivamente. Esta antena de MTM de SLM de una celda se forma sobre el sustrato 1301. Se forma una capa de metalización superior sobre la superficie superior del sustrato 1301 y se estampa para formar componentes de la celda SLM y el electrodo de conexión a tierra para la celda SLM.

Más específicamente, la capa de metalización superior se estampa en varias partes metálicas: un electrodo 1324 de conexión a tierra superior, un parche 1308 metálico y un parche de celda que está separado del electrodo 1324 de conexión a tierra superior, una placa 1304 de lanzamiento separada del parche 1308 de celda mediante un espacio 1328 de acoplamiento, y una línea 1312 de vía que interconecta el electrodo 1324 de conexión a tierra superior y el parche 1308 de celda. Se forma una línea 1316 de alimentación en la capa de metalización superior y se conecta a la placa 1304 de lanzamiento para dirigir una señal o para recibir una señal desde el parche 1308 de celda. Este diseño de capa de metalización simple elimina la necesidad de una tierra truncada formada sobre la superficie inferior del sustrato 1301 y una vía conductora que penetre a través del sustrato 1301 para conectar el parche 1308 de celda y la tierra truncada.

En el ejemplo ilustrado, la superficie inferior del sustrato 1301 tiene una capa de metalización inferior que no se usa para construir un componente de la estructura de MTM de SLM. Esta capa de metalización inferior se estampa para formar un electrodo 1325 de conexión a tierra inferior que ocupa una parte del sustrato 1301 mientras expone otra parte de la superficie inferior del sustrato 1301. El parche 1308 de celda de la estructura de MTM de SLM formada en la capa de metalización superior se localiza por encima de la parte de la superficie inferior que está libre de la metalización inferior y no está por encima del electrodo 1325 de conexión a tierra inferior para eliminar o minimizar la capacidad en paralelo asociada con el parche 1308 de celda. El electrodo 1324 de conexión a tierra superior se forma por encima del electrodo 1325 de conexión a tierra inferior de modo que puede formarse una alimentación 1320 de guía ondas coplanaria (CPW) en la tierra 1324 del electrodo superior. Esta alimentación 1320 de CPW se conecta a la línea 1316 de alimentación para dirigir una señal a, o recibir una señal desde, el parche 1308 de celda. Por lo tanto, en este ejemplo particular, la tierra de CPW se forma mediante los planos o electrodos 1324 y 1325 de conexión a tierra superior e inferior y el electrodo 1325 de conexión a tierra inferior se proporciona para lograr el diseño de CPW para la línea de alimentación. En otras implementaciones en las que no se usa el diseño de CPW particular anterior, el electrodo 1325 de conexión a tierra inferior puede eliminarse. Por ejemplo, la antena formada por la estructura de MTM de SLM puede alimentarse con una línea de CPW que no requiera un electrodo 1325 de conexión a tierra inferior y está soportada por el electrodo 1324 de conexión a tierra superior solamente, o un parche con sonda, o un conector de cable.

Hasta un cierto grado, la antena de MTM de SLM puede verse como una estructura de MTM en la que la vía y la línea de vía en una antena de MTM bicapa se sustituye por una línea de vía localizada sobre la capa de metalización superior. La posición y longitud de la línea 1312 de vía pueden diseñarse para producir las condiciones de adaptación de impedancia deseadas y para producir una o más bandas de frecuencia deseadas.

Notablemente, en esta estructura de antena de MTM de SLM de celda simple, la parte de la superficie inferior del sustrato 1301 por debajo del parche 1308 de celda está libre de una parte metálica y no hay tierra truncada o áreas de metalización directamente por debajo del parche 1308 de celda sobre la capa inferior del sustrato 1301. La línea 1316 de alimentación proporciona la potencia de una señal electromagnética desde la alimentación 1320 de CPW a la placa 1304 de lanzamiento, que acopla capacitivamente la señal electromagnética al parche 1308 de celda a través de un espacio 1328 de acoplamiento. La dimensión del espacio 1328 puede fijarse basándose en el diseño, tal como unas pocas centésimas de milímetro (unas pocas milésimas de pulgada) en una implementación. El parche 1308 de celda se conecta al electrodo 1324 de conexión a tierra a través de la línea 1312 de vía. El circuito equivalente de la antena de MTM de SLM es similar al circuito equivalente para la antena de MTM CRLH bicapa con una vía conectada a una tierra truncada, analizada en las secciones anteriores, excepto que la capacidad paralelo CR y el inductor paralelo LL son despreciables pero L_p es grande en la antena de MTM de SLM.

La Tabla 2 es un resumen de los elementos de la estructura de antena SLM de una celda mostrada en las FIGS. 13(a), 13(b) y 13(c).

Tabla 2

Parámetro	Descripción		Localización
Elemento de antena	Cada elemento de antena comprende una celda SLM conectada a la alimentación 1320 de CPW a través de una placa 1304 de lanzamiento y la línea 1316 de alimentación.		
Línea de alimentación	Conecta la placa 1304 de lanzamiento con la línea 1320 de CPW de alimentación.		Capa superior
Placa de lanzamiento	Forma rectangular que conecta un parche 1308 de celda a la línea 1316 de alimentación. Hay un espacio 1328 de acoplamiento entre la placa 1304 de lanzamiento y el parche 1308 de celda.		Capa superior
Celda SLM	Parche de celda	Forma rectangular.	Capa superior
	Línea de vía	Línea que conecta el parche 1308 de celda con el electrodo 1324 de conexión a tierra superior.	Capa superior

La estructura de antena SLM de una celda mostrada en las FIGS. 13(a), 13(b) y 13(c) puede implementarse para

varias aplicaciones. Por ejemplo, los parámetros de diseño asociados con la antena de MTM de SLM específicamente para aplicaciones Wi-Fi pueden seleccionarse como sigue: el sustrato 1332 tiene un ancho de 20 mm y un grosor de 0,787 mm; el material es FR4 con una constante dieléctrica de 4,4; la línea 1316 de alimentación tiene 0,4 mm de ancho; el espacio entre la placa 1304 de lanzamiento y el borde del electrodo 1324 de conexión a tierra es de 2,5 mm; la placa 1304 de lanzamiento tiene 3,5 mm de ancho y 2 mm de longitud; el parche 1308 de celda es de 8 mm de largo y 5 mm de ancho y se localiza separada 0,1 mm de la placa 1304 de lanzamiento; y la parte de la línea 1312 de vía que conecta al parche 1308 de celda está desplazada 2 mm respecto a la longitud media de la celda.

Los análisis para estructuras de MTM bicapa se describen en las secciones anteriores. Pueden llevarse a cabo análisis similares para el caso de una tierra truncada con una capacidad CR en paralelo despreciable para la antena de MTM de SLM de una celda ($N = 1$). Esta antena ejemplar con los valores de parámetros anteriores tiene dos bandas de frecuencia como se ilustra en la pérdida de retorno simulada en la FIG. 14(a) y la pérdida de retorno medida en la FIG. 14(b). La banda más baja tiene contribuciones LH y se centra en 2,45 GHz. Esta banda tiene un ancho de banda de aproximadamente 100 MHz a -10 dB tal como se muestra en la FIG. 14(a). La adaptación a 50 Ω ocurre en el borde de la alta frecuencia de la banda LH tal como se ilustra en la FIG. 14(c), que muestra la impedancia de entrada simulada.

La antena de MTM de SLM de una celda formada en la estructura de metamaterial monocapa puede usarse para construir antenas de MTM de SLM con dos o más celdas acopladas electromagnéticamente. Dicha antena de MTM de SLM incluye al menos un primer parche metálico de celda formado en una primera localización sobre una primera superficie del sustrato de un sustrato y un segundo parche de metal de celda formado en una segunda localización sobre la primera superficie del sustrato, un electrodo de conexión a tierra formado en una tercera localización sobre la primera superficie del sustrato que está separada de la primera y segunda localizaciones como la tierra para el primer y segundo parches metálicos de celda, y al menos una línea de alimentación formada sobre la primera superficie del sustrato y acoplada electromagnéticamente a uno del primer y segundo parches metálicos de celda. Para cada parche metálico de celda, se forma una línea de vía sobre la primera superficie del sustrato para incluir un primer extremo que se conecta al electrodo de conexión a tierra y un segundo extremo que se conecta al parche metálico de celda. Sobre la segunda superficie de sustrato en el lado opuesto de la primera superficie del sustrato, no se forma ninguna parte metálica en la localización que corresponde al parche metálico de celda sobre la primera superficie del sustrato.

La FIG. 15 ilustra un ejemplo de una antena de MTM de SLM de dos celdas, que es similar en estructura a la antena de MTM de SLM de una celda de la FIG. 13(a), excepto en que el electrodo de conexión a tierra superior se extiende al frente de los parches 1508-1 y 1508-2 de dos celdas para conectar los dos parches 1508-1 y 1508-2 de celda mediante dos líneas 1512-1 y 1512-2 de vía al electrodo de conexión a tierra superior. De modo similar a la FIG. 13(a), la superficie inferior del sustrato de la antena de MTM de SLM de dos celdas de la FIG. 15 tiene una capa de metalización inferior que se estampa para formar un electrodo de conexión a tierra inferior que forma la tierra de CPW con el electrodo 1524 de conexión a tierra superior y no se usa para construir un componente de la estructura de MTM de SLM. Esta capa de metalización inferior se estampa con el electrodo de conexión a tierra inferior para ocupar una parte de la superficie inferior del sustrato mientras expone otra parte de la superficie inferior del sustrato. El electrodo 1524 de conexión a tierra superior y las dos celdas 1508-1 y 1508-2 de SLM se forman sobre la superficie superior del sustrato. Los parches 1508-1 y 1508-2 de celda unitaria en la capa de metalización superior se localizan por encima de la parte de la superficie inferior que está libre de la metalización inferior para eliminar o minimizar la capacidad en paralelo asociada con los parches 1508-1 y 1508-2 de celda unitaria. El electrodo de conexión a tierra inferior y el electrodo 1524 de conexión a tierra superior se usan para formar la tierra de CPW para soportar la alimentación 1520 de CPW. En otras implementaciones en las que no se usa el diseño de CPW particular anterior que requiere el electrodo de conexión a tierra inferior, la capa de metalización inferior puede eliminarse y puede usarse una línea de CPW que no requiere un plano de tierra inferior, o un parche con sonda, o un conector de cable para suministrar señales a, o recibir señales desde, la antena de dos celdas.

Específicamente, el parche 1 (1508-1) de celda y el parche 2 (1508-2) de celda de la antena SLM de dos celdas se localizan para estar próximos entre sí y separados por un espacio 2 (1528-2) de acoplamiento para proporcionar acoplamiento electromagnético entre ellas. Una placa 1504 de lanzamiento en la capa de metalización superior acopla a la señal electromagnética a, o desde, el parche 1 (1508-1) de celda a través de un espacio 1 (1528-1) de acoplamiento. Una línea 1516 de alimentación formada en la capa de metalización superior conecta una alimentación 1520 de CPW puesta tierra, una tira metálica que está separada del electrodo 1524 de conexión a tierra por un estrecho espacio, con la placa 1504 de lanzamiento. El electrodo 1524 de conexión a tierra superior tiene una parte extendida o resalte 1536 localizada en el frontal de los dos parches 1508-1 y 1508-2 de celda. Esta configuración permite que las dos líneas 1512-1 y 1512-2 de vía que conectan los dos parches 1508-1 y 1508-2 de celda al electrodo de conexión a tierra superior sean sustancialmente iguales en longitud.

Los análisis de las dos estructuras de MTM bicapa se describen en las secciones previas. Pueden llevarse a cabo análisis similares para el caso de una tierra truncada con una capacidad CR en paralelo despreciable para la antena de MTM de SLM de dos celdas ($N = 2$). La pérdida de retorno simulada para la antena de MTM de SLM de dos celdas se muestra en la FIG. 16(a). La comparación de las pérdidas de retorno entre el diseño de una celda de la FIG. 13(a) y el diseño de dos celdas de la FIG. 15 muestra que la resonancia más baja y estrecha de la antena de

MTM de SLM de dos celdas de la FIG. 16(a) corresponde a los modos LH de orden más alto. La impedancia de entrada simulada se muestra en la FIG. 16(b).

La FIG. 17 muestra un ejemplo de una línea de transmisión (TL) de tres celdas en una configuración de MTM de SLM en la que solo se muestra la plantilla de la capa de metalización superior. Los valores de las longitudes de onda electromagnéticas guiadas que corresponden a las dos resonancias en la región de baja frecuencia de esta TL confirma que las resonancias de baja frecuencia están realmente en la región LH. Esta estructura de TL comprende tres parches 1728-1, 1728-2 y 1728-3 de celda colocados en una fila con un espacio de acoplamiento entre dos parches de celda adyacentes para proporcionar acoplamiento electromagnético sin contacto directo. Los parches 1728-1, 1728-2 y 1728-3 de celda se conectan al electrodo 1724 de conexión a tierra a través de tres líneas 1712-1, 1712-2 y 1712-3 de vía, respectivamente. Dos líneas 1716-1 y 1716-2 de alimentación se acoplan electromagnéticamente a dos parches 1708-1 y 1708-3 de celda del extremo como la entrada y la salida de la TL. Se conectan dos alimentaciones 1720-1 y 1720-2 de CPW a las líneas 1716-1 y 1716-2 de alimentación, respectivamente para proporcionar alguna potencia de señal en ambos extremos de la serie de tres celdas, respectivamente. El resto de la potencia de la señal se radia. El primer parche 1708-1 de celda está acoplado capacitivamente sobre un espacio 1 (1728-1) de acoplamiento a una placa 1 (1704-1) de lanzamiento, que se acopla a la alimentación 1 (1720-1) de CPW a través de la línea 1 (1716-1) de alimentación. El segundo parche 2 (1708-2) de celda se acopla capacitivamente al primer parche 1 (1708-1) de celda sobre un espacio 1728-2 de acoplamiento, y el tercer parche 1708-3 de celda se acopla capacitivamente al segundo parche 1708-2 de celda sobre un espacio 1728-3 de acoplamiento. El otro extremo del tercer parche 1708-3 de celda se acopla a la alimentación 2 (1720-2) de CPW a través de una placa 2 (1704-2) de lanzamiento y la línea 2 1716-2 de alimentación, con un espacio 4 (1728-4) de acoplamiento entre la placa 2 (1704-2) de lanzamiento y el tercer parche (1708-3) de celda.

Los parámetros de diseño se eligen para generar las resonancias de 1,6 GHz y 1,8 GHz en la pérdida de retorno simulada tal como se muestra en la FIG. 18. Las longitudes de onda electromagnéticas guiadas que corresponden a estas dos resonancias se representan en las FIGS. 19(a) y 19(b), respectivamente. En los circuitos de RF convencionales no de MTM diestros (RH), la longitud de onda guiada aumenta cuando disminuye la frecuencia, haciendo por ello las estructuras de RF RH mayores para frecuencias más bajas. Por otro lado, en los circuitos de RF de MTM zurdos (LH), la longitud de onda guiada disminuye cuando disminuye la frecuencia. Por ello, las FIGS. 19(a) y 19(b) confirman que estas resonancias bajas están realmente en la región LH.

Además de las estructuras de MTM de SLM, las estructuras de MTM de TLM-VL también simplifican la estructura de la antena de MTM CRLH bicapa con una vía conectada a una tierra truncada inferior mediante la eliminación de la vía como una estructura de MTM sin vía (VL). Dicha estructura de MTM de TLM-VL puede incluir un sustrato dieléctrico que tiene una primera superficie de sustrato y una superficie de sustrato opuesta, y una primera capa de metalización formada sobre la primera superficie de sustrato y estampada para comprender una parte de electrodo de conexión a tierra y una parte metálica de celda que están separadas entre sí. Se forma una línea de alimentación sobre la primera superficie del sustrato y se acopla electromagnéticamente a un extremo del parche metálico de celda. Esta estructura de MTM de TLM-VL incluye una segunda capa de metalización formada sobre la segunda superficie del sustrato y estampada para incluir un parche metálico localizado por debajo del parche metálico de celda sin estar conectado al parche metálico de celda mediante una vía conductora que penetre a través del sustrato dieléctrico. El parche metálico por debajo del parche metálico de celda superior puede ser una tierra truncada. Cuando se configura apropiadamente, dicha estructura de MTM de TLM-VL puede operarse para lograr las funciones de una antena de MTM CRLH bicapa con una vía conectada a una tierra truncada. A diferencia de la estructura de MTM de SLM, una estructura de MTM de TLM-VL presenta una capacidad en paralelo CR pequeña pero finita entre un parche de celda sobre una capa de metalización y una segunda capa de metalización debido al material dieléctrico intercalado entre el parche de celda sobre la capa superior y la tierra truncada sobre la capa inferior. La inductancia del inductor L_p asociado con la línea de vía metálica es relativamente grande, y la línea de vía está en serie con el condensador paralelo CR. La inductancia en paralelo LL en la MTM de TLM-VL es despreciable debido a la ausencia de la vía. La resonancia LH pueden excitarse en la región de frecuencia por debajo del mínimo de $[\omega_{sh} = 1/\sqrt{(LL\ CR)}, \omega_{se} = 1/\sqrt{(LR\ CL)}]$, en la que LL se define como $(LL + L_p)$ como en la Aproximación 2 anterior.

Un ejemplo de una antena TLM-VL de una celda se representa en las FIGS. 20(a) – 20(d), que muestran la vista en 3D, vista lateral, vista superior de la capa superior y vista superior de la capa inferior, respectivamente. Esta estructura de antena TLM-VL de una celda incluye componentes en capas de metalización superior e inferior. Con referencia a la FIG. 20(c), los componentes en la capa de metalización superior incluyen un electrodo 2024 de conexión a tierra superior, una alimentación 2020 de CPW formada en un espacio en el electrodo 2024 de conexión a tierra superior, una placa 2004 de lanzamiento, una línea 2016 de alimentación que conecta la alimentación 2020 de CPW y la placa 2004 de lanzamiento, y un parche 2008 de celda separado de la placa 2004 de lanzamiento por un espacio 2028 de acoplamiento. La capa de metalización inferior se estampa para formar el electrodo 2025 de conexión a tierra inferior por debajo del electrodo 2024 de conexión a tierra superior, una tierra 2036 truncada inferior por debajo del parche 2008 de celda y una línea 2012 de vía que conecta la tierra 2036 truncada inferior y el electrodo 2025 de conexión a tierra inferior. La línea 2016 de alimentación en este ejemplo se conecta a la alimentación 2020 de CPW que requiere un plano de tierra inferior. Por ello, la tierra de CPW comprende ambos electrodos 2024 y 2025 de conexión a tierra superior e inferior en este ejemplo. En otras implementaciones, la antena puede alimentarse con una línea de CPW convencional que no requiere una tierra inferior, con un parche de

sonda, o simplemente con un conector de cable o una TL de microtira. A diferencia del diseño sin vía (VL) en las estructuras de MTM de SLM, se forma una tierra 2036 truncada inferior que corresponde al parche de celda sobre la superficie superior del sustrato sobre la superficie inferior del sustrato para crear una estructura resonante. La señal se acopla a través del material dieléctrico entre el parche 2008 de celda y la tierra 2036 truncada inferior. La placa 2004 de lanzamiento acopla la señal electromagnética al parche 2008 de celda a través de un espacio 2028 de acoplamiento. La dimensión del espacio 2008 puede ser de unas pocas centésimas de milímetro (unas pocas milésimas de pulgada). Debido a la presencia de la tierra 2036 truncada inferior por debajo del parche 2008 de celda, se hace efectivo un condensador CR en paralelo entre el parche 2008 de celda y la tierra 2036 truncada inferior. La línea 2012 de vía que conecta la tierra 2036 truncada inferior con el electrodo 2025 de conexión a tierra inferior induce una inductancia (Lp) que está en serie con el condensador CR en paralelo como se muestra en la FIG. 21(b). En este ejemplo, el inductor LL en paralelo es despreciable debido a que no hay implicadas vías en la estructura. En la FIG. 21(b), la notación LL representa LL + Lp como en la Aproximación 2. En una estructura de MTM bicapa con una vía, CR está en paralelo con LL, que es inducida por la vía, como se ha explicado en las secciones previas con referencia a las FIGS. 2, 3, 9 y 12. El circuito equivalente simplificado se reproduce para este último caso en la FIG. 21(a) para comparación.

Para la estructura de antena TLM-VL de las figuras 20(a) – 20(d), debido a que LL (es decir, Lp) es grande y CR es finito, la frecuencia $\omega_{sh} = \frac{1}{\sqrt{L_L C_R}}$ es siempre menor que $\omega_{se} = \frac{1}{\sqrt{L_R C_L}}$. Las resonancias LH ocurren por debajo del mínimo de ω_{sh} y ω_{se} . La permitividad y permeabilidad efectivas vienen dadas por las siguientes ecuaciones, respectivamente:

$$\epsilon = -\frac{(\omega_{sh}^2 - \omega^2)}{L_L(\omega^2 \omega_{sh}^2)} < 0 \quad \mu = -L_R \left(\frac{\omega_{se}^2 - \omega^2}{\omega^2} \right) < 0.$$

Las resonancias se deducen en una forma similar como se ha explicado para una estructura de MTM bicapa con una vía, excepto por la modificación explicada anteriormente e ilustrada en las FIGS. 21(a) y 21(b).

Los parámetros de diseño para una antena de TLM-VL de una celda mostrada en las FIGS: 20(a) – 20(d) se determina para producir una resonancia a 2,4 GHz, que sea ancha tal como se ve a partir de la pérdida de retorno simulada en la FIG. 22(a). Para verificar que la resonancia es activada realmente por un modo LH, se añade una vía para conectar el centro del parche 2008 de celda y el centro de la tierra 2036 truncada inferior. Este procedimiento se usa para determinar la localización del modo LH más bajo que corresponde a la estructura de antena con la vía añadida. La antena con la vía tiene una resonancia LH próxima a 2,4 GHz, como se evidencia en la FIG. 22(b). Además, la FIG. 22(a) muestra que, debido a la presencia de un modo RH cerca de 3,6 GHz, se puede lograr una banda ancha que cubra las bandas tanto de Wi-Fi como de WiMax usando esta estructura de antena de MTM de TLM-VL. La FIG. 23 muestra el patrón de radiación de una antena de TLM-VL de una celda de las FIGS. 20(a) – 20(d) a 2,4 GHz. El patrón es sustancialmente omnidireccional en el plano X-Z dado que la forma de la antena es simétrica con respecto al eje Y.

Las FIGS. 24(a) – 24(d) ilustran un ejemplo de una antena de MTM de TLM-VL con una línea 2412 de vía conectada a un electrodo 2440 de conexión a tierra extendida inferior mientras que otros elementos de esta estructura en la capa de metalización superior son similares a los de las FIGS. 20(a) – 20(d). Con referencia a la FIG. 24(d), la capa de metalización inferior se estampa para formar el electrodo 2025 de conexión a tierra inferior con dos partes 2440 de tierra extendida integral. En el ejemplo ilustrado, la parte 2440 de electrodo de conexión a tierra extendida son extensiones simétricas en ambos lados de la tierra 2036 truncada inferior y la línea 2412 de vía conecta una parte 2440 extendida a la tierra 2036 truncada inferior. Son posibles también otros diseños de las extensiones de electrodo de conexión a tierra inferior.

La FIG. 25 muestra la pérdida de retorno simulada y las resonancias de banda ancha similares al resultado de la FIG. 22(a) para un dispositivo sin el electrodo de conexión a tierra extendido. A diferencia de la antena de MTM de TLM-VL de las FIGS. 20(a) – 20(d), la resonancia LH más baja en este caso se genera alrededor de 1,3 GHz, y se generan dos resonancias RH cerca de 2,8 GHz y 3,8 GHz. Las resonancias RH altas producen juntas una banda ancha que cubre las bandas Wi-Fi y WiMax, y la resonancia LH más baja puede usarse para cubrir una banda GPS, por ejemplo.

Las FIGS. 26(a) y 26(b) muestran fotos de una antena TLM-VL fabricada basándose en el diseño de las FIGS. 24(a) – 24(d) con el electrodo 2440 de conexión a tierra extendido. La pérdida de retorno medida para esta antena se representa en la FIG. 27, que muestra tendencias similares que en el resultado de simulación de la FIG. 25.

Las FIGS. 28(a) – 28(d) proporcionan otro ejemplo de una antena de MTM de SLM de una celda, mostrando la vista en 3D, vista lateral, vista superior de la capa superior y vista superior de la capa inferior, respectivamente. Esta antena se diseña específicamente para producir resonancias en tetra-banda para aplicaciones de teléfonos celulares tetra-banda y se forma mediante el uso de dos capas de metalización superior e inferior sobre dos superficies del sustrato 2832. La antena se forma en la capa de metalización superior que se estampa para formar varios

componentes.

Con referencia a la FIG. 28(c), la capa de metalización superior se estampa para incluir un electrodo 2824 de conexión a tierra superior, una alimentación 2820 de CPW formada en un espacio dentro del electrodo 2824 de conexión a tierra superior, una línea 2816 de alimentación conectada a la alimentación 2820 de CPW, una placa 2804 de lanzamiento conectada a la línea 2816 de alimentación, un parche 2808 de celda separado de la placa de lanzamiento mediante un espacio 2828 de acoplamiento, y una línea 2812 de vía que conecta el parche 2808 de celda al electrodo 2824 de conexión a tierra superior. La antena se alimenta mediante una alimentación 2820 de CPW puesta a tierra que puede configurarse para tener una impedancia característica de 50Ω . La línea 2816 de alimentación conecta la alimentación 2820 de CPW a la placa 2804 de lanzamiento. Las localizaciones de un orificio 2840 del PCB y un componente 2844 del PCB se indican en las FIGS. 28(a) – 28(d) para referencia.

Con referencia a la FIG. 28(d), la capa de metalización inferior se estampa para incluir el electrodo 2825 de conexión a tierra inferior, una punta 2836 metálica de ajuste extendida desde el electrodo 2825 de conexión a tierra inferior y uno o más componentes 2844 de la tarjeta PCB. El patrón de la capa de metalización inferior proporciona una región libre de metal por debajo del parche 2808 de celda.

En este ejemplo la línea 2816 de alimentación tiene $0,5 \text{ mm} \times 14 \text{ mm}$. La placa 2804 de lanzamiento tiene en total $0,5 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$. El parche 2808 de celda se acopla capacitivamente a la placa 2804 de lanzamiento a través de un espacio 2828 de acoplamiento de $0,1 \text{ mm}$ (4 milésimas de pulgada). El parche 2804 de celda tiene $4 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$ con un corte en una esquina. El parche 2808 de celda cortocircuita al electrodo 2824 de conexión a tierra a través de la línea 2812 de vía. El ancho de la línea de vía es de $0,3 \text{ mm}$ (12 milésimas de pulgada) y la longitud es de 27 mm en total con dos dobleces. La forma del electrodo 2824 de conexión a tierra se optimiza e incluye la punta 2836 de ajuste para una mejor adaptación tanto en la banda celular (890-960 MHz) como en la banda PCS/DCS (1700-2170 MHz). La antena cubre un área de $17 \text{ mm} \times 24 \text{ mm}$. En general, la adaptación a altas frecuencias puede mejorarse llevando al electrodo 2824 de conexión a tierra superior más próximo a la placa 2804 de lanzamiento. Por otro lado, en este ejemplo, se añade la tierra próxima a la placa de lanzamiento sobre la capa inferior, como se indica por la punta 2836 de ajuste. Este tamaño es de $2,7 \text{ mm} \times 17 \text{ mm}$. El sustrato es un material FR4 standard con una constante dieléctrica de 4,4.

Se usa el software de simulación HFSS EM para simular el rendimiento de la antena. Además, se fabrican y caracterizan algunas muestras mediante mediciones. La pérdida de retorno simulada se muestra en la FIG. 29(a), que indica una buena adaptación tanto en la banda celular como en la PCS/DCS. Cuatro puntos representativos en esta figura son: punto 1 = (0,94 GHz, -2,94 dB), punto 2 = (1,02 GHz, -6,21 dB), punto 3 = (1,75 GHz, -7,02 dB) y punto 4 = (2,20 GHz, -5,15 dB). La impedancia de entrada simulada se traza en la FIG. 29(b).

La eficiencia medida para la antena fabricada se traza en las FIGS. 30(a) y 30(b), que corresponden a la eficiencia en la banda celular y la eficiencia en la banda PCS/DCS, respectivamente. La antena es altamente eficiente teniendo un pico del 52 % en la banda celular y del 78 % en la banda PCS/DCS.

Los teléfonos celulares y dispositivos portátiles tienden a ser compactos y por ello tienen complejas propiedades electromagnéticas, haciendo difícil la integración de la antena. Pueden realizarse algunas verificaciones de la antena en la presente implementación para permitir una operación estable de la antena en el interior del dispositivo.

La FIG. 31 muestra una estructura de antena de MTM de SLM modificada ejemplar basada en la antena de MTM de SLM de las FIGS. 28(a) – 28(d). La capa de metalización superior se estampa para incluir el electrodo 2824 de conexión a tierra superior, la alimentación 2820 de CPW, la línea 3116 de alimentación, la placa 3152 de lanzamiento extendida, el parche 3108 de celda y el parche 3148 de celda extendido, y la línea 3112 de vía que conecta el parche 3108 de celda al electrodo 2824 de conexión a tierra superior. La primera modificación es aumentar el tamaño de la placa de lanzamiento para proporcionar la placa 3152 de lanzamiento extendida para mejorar el componente capacitivo de la impedancia de la antena. Esto hace el bucle mayor en la carta Smith, desadaptando deliberadamente la antena en el espacio libre. Cuando la antena se integra en el dispositivo, el lazo se estrecha debido a la carga de los componentes alrededor de él. Así, este esquema hace a la antena mejor adaptada cuando se integra. La segunda modificación es añadir un parche 3148 de celda extendido con forma de L al parche 3108 de celda. Esto incrementa el acoplamiento capacitivo entre el parche 3108 de celda y el parche 3152 de celda extendido debido a la longitud incrementada del espacio 3128 de acoplamiento, disminuyendo de ese modo la frecuencia de resonancia de la banda baja.

Otro parámetro de ajuste en el dispositivo de la FIG. 31 es el punto de contacto 3114 entre la línea 3112 de vía y el electrodo 3124 de conexión a tierra superior sobre la capa de metalización superior. Este punto 3114 de contacto puede moverse más próximo a la línea 3116 de alimentación para mejorar la adaptación en la banda baja mientras aumenta la desadaptación en la banda alta. El efecto opuesto se ve cuando el punto 3114 de contacto se mueve separándose de la línea 3116 de alimentación. Las localizaciones de un orificio 3140 del PCB y un componente 3144 del PCB en la capa de metalización inferior se indican en la FIG. 31 para referencia.

Se fabricó la antena con las modificaciones anteriores. La eficiencia medida de la antena se muestra en las FIGS. 32(a) y 32(b). La antena es altamente eficiente con picos en el 51 % de la banda celular y 74 % en la banda

PCS/DCS. Para analizar el efecto de reducción de la holgura alrededor de la antena, el electrodo de conexión a tierra de la FIG. 31 se extiende por debajo de la celda de antena y sobre el lateral. Las FIGS. 33(a) y 33(b) resumen el efecto sobre las eficiencias, para la banda celular y la banda PCS/DCS, respectivamente. Puede verse a partir de estas figuras que el rendimiento de la antena está afectado por la extensión de la tierra.

5 Las FIGS. 34(a) – 34(d) muestran un ejemplo de una antena de MTM de TLM-VL de banda cuádruple para aplicaciones de teléfonos celulares, mostrando la vista en 3D, vista lateral, vista superior de la capa superior y vista superior de la capa inferior, respectivamente. Esta antena de MTM de TLM-VL incluye una placa 3404 de lanzamiento y un parche 3408 de celda sobre la capa superior sin tener una línea de vía que conecte el parche 3408 de celda al electrodo 3424 de conexión a tierra superior. En la capa de metalización inferior, esta antena de MTM de
10 TLM-VL incluye una tierra 3436 truncada inferior y una línea 3412 de vía que conecta la tierra 3436 truncada inferior al electrodo 3425 de conexión a tierra inferior. La antena se alimenta mediante una alimentación 3420 de CPW puesta a tierra formada en el electrodo 3424 de conexión a tierra superior y una línea 3416 de alimentación que conecta la alimentación 3420 de CPW a la placa 3404 de lanzamiento. La alimentación puede configurarse para tener una impedancia característica de 50 Ω. También se indican en las figuras para referencia las localizaciones de un orificio 3440 del PCB y un componente 3444 del PCB.
15

En una implementación de este diseño, la línea 3416 de alimentación se compone de dos secciones con finalidades de adaptación. La primera sección es de 1,2 mm x 17,3 mm y la segunda sección es de 0,7 mm x 5,23 mm. La placa 3404 de lanzamiento con forma de L se usa para proporcionar suficiente acoplamiento al parche 3408 de celda y una mejor adaptación de impedancia. Un brazo de la placa 3404 de lanzamiento con forma de L tiene 1 mm x 5,6 mm y el otro brazo es de 0,4 mm x 3,1 mm. El parche 3408 de celda se acopla capacitivamente a la placa 3404 de lanzamiento con espacios de 0,4 mm en el brazo más largo y de 0,2 mm en el brazo más corto. El parche 3408 de celda es de 5,4 mm x 15 mm, y la tierra 3436 truncada inferior es de 5,4 mm x 10,9 mm. El condensador CR en paralelo se reduce debido a la presencia de la tierra 3436 truncada inferior por debajo del parche 3408 de celda. La línea 3412 de vía que conecta la tierra 3436 truncada inferior con el electrodo 3425 de conexión a tierra inferior induce una inductancia (Lp) que está en serie con CR tal como se muestra en la FIG. 21(b). El inductor LL en paralelo es despreciable debido a que no hay vías implicadas en la estructura. En la FIG. 21(b), la notación LL representa LL + Lp como en el Análisis 2. La dimensión de la línea de vía es de 0,3 mm x 40,9 mm. La ruta de la línea de vía se optimiza para adaptarse tanto a la banda celular (824-960 MHz) como a la banda PCS/DCS (1700-2170 MHz). La antena cubre el área de 15,9 mm x 22 mm. El sustrato es un material FR4 con una constante dieléctrica de 4,4.
20
25
30

La Tabla 3 proporciona un resumen de los elementos de la estructura de antena TLM-VL en este ejemplo.

Tabla 3

Parámetro	Descripción		Localización
Elemento de antena	Cada elemento de antena comprende una celda conectada a la alimentación 3420 de CPW de 50 Ω a través de una placa 3404 de lanzamiento y una línea 3416 de alimentación. Tanto la placa 3404 de lanzamiento como la línea 3416 de alimentación se localizan sobre la capa superior del sustrato 3432.		
Línea de alimentación	Conecta la placa 3404 de lanzamiento con la alimentación 3420 de CPW de 50 Ω.		Capa superior
Placa de lanzamiento	La forma de L que acopla un parche 3408 de celda a la línea 3416 de alimentación. Hay un espacio 3428 de acoplamiento entre la placa 3404 de lanzamiento y el parche 3408 de celda.		Capa superior
Celda	Parche de celda superior	Forma rectangular	Capa superior
	Tierra truncada inferior	Forma rectangular	Capa inferior
	Línea de vía	Conecta a la tierra 3436 truncada inferior con el electrodo 3425 de conexión a tierra inferior.	Capa inferior

35 Se usa el software de simulación HFSS EM para simular el rendimiento de la antena. La pérdida de retorno simulada se muestra en la FIG. 35(a) y muestra una buena adaptación tanto en la banda celular como en la PCS/DCS. La impedancia de entrada simulada se muestra en la FIG. 35(b).

En los ejemplos de estructuras de MTM anteriores, cada celda unitaria tiene un único parche de celda que se localiza en una localización. En algunas implementaciones, un parche de celda puede incluir al menos dos parches metálicos localizados en localizaciones diferentes que se interconectan para hacer efectivo un parche de celda “extendido”.
40

Las FIGS. 36(a) – 36(d) muestran un ejemplo de una antena de MTM penta-banda con una estructura semi-monocapa, mostrando la vista en 3D, vista lateral, vista superior de la capa superior y vista superior de la capa

inferior, respectivamente. En este diseño, una celda incluye dos parches metálicos que se forman respectivamente en las capas de metalización superior e inferior y se conectan mediante vías conductoras. De los dos parches metálicos, el parche 3608 de celda en la capa superior es de mayor tamaño que el parche 3644 de celda extendida en la capa inferior y por ello es el parche de celda principal. El parche 3644 de celda extendido en la capa inferior no se conecta a un electrodo de conexión a tierra. Se forma una línea 3612 de vía en la capa superior, la misma capa del parche 3608 de celda, para conectar el parche 3608 de celda al electrodo 3624 de conexión a tierra superior. De ese modo, el electrodo 3624 de conexión a tierra superior es el electrodo de conexión a tierra para el parche 3608 de celda. Por lo tanto, este dispositivo no tiene una tierra truncada inferior para la celda en la capa inferior. Por esta razón, este diseño es una “estructura semi-monocapa”.

Más específicamente, esta antena de MTM tiene una placa 3604 de lanzamiento con una línea 3652 con serpenteo añadido y un parche 3608 de celda, todos los cuales están en la capa superior. El parche 3608 de celda se extiende a una extensión 3644 de parche de celda en la capa inferior mediante el uso de una o más vías 3648 para conectar el parche 3608 de celda en la parte superior y la extensión del parche 3644 de celda en la parte inferior. La placa 3604 de lanzamiento puede extenderse también a una extensión de placa 3636 de lanzamiento en la capa inferior mediante el uso de una o más vías 3640 para conectar la placa 3604 de lanzamiento en la parte superior y la extensión de placa 3636 de lanzamiento en la parte inferior. Puede hacerse referencia también a la extensión de placa 3636 de lanzamiento sobre la capa inferior como una placa 3636 de lanzamiento extendida, y puede hacerse referencia también a la extensión de parche 3644 de celda sobre la capa inferior como un parche de celda 3644 extendido. Las vías respectivas se denominan como vías 3640 de conexión de la placa de lanzamiento y vías 3648 de conexión de celda en las figuras. Dichas extensiones pueden fabricarse para cumplir con los requisitos de espacio en tanto que mantienen un cierto nivel de rendimiento.

La FIG. 36(c) muestra la capa inferior que se superpone con la capa superior. La FIG. 36(d) muestra la capa superior que se superpone con la capa inferior.

La antena es alimentada por una alimentación 3620 de CPW puesta a tierra con una impedancia característica de 50 Ω. La línea 3616 de alimentación conecta la alimentación 3620 de CPW a la placa 3604 de lanzamiento, que tiene la línea 3652 de serpenteo añadida. El parche 3608 de celda tiene una forma poligonal, y se acopla capacitivamente a la placa 3604 de lanzamiento a través de un espacio 3628 de acoplamiento. El parche 3608 de celda se cortocircuita al electrodo 3624 de conexión a tierra superior sobre la capa superior a través de la línea 3612 de vía. La ruta de la línea de vía se optimiza para adaptación. El sustrato 3632 puede fabricarse de un material dieléctrico adecuado, por ejemplo, un material FR4 con una constante dieléctrica de 4,4.

La Tabla 4 proporciona un resumen de los elementos de la estructura de antena de MTM penta-banda monocapa en este ejemplo.

Tabla 4

Parámetro	Descripción		Localización
Elemento de antena	Cada elemento de antena comprende una celda conectada a la alimentación 3620 de CPW de 50 Ω a través de una placa 3604 de lanzamiento y una línea 3616 de alimentación. Tanto la placa 3604 de lanzamiento como la línea 3616 de alimentación se localizan sobre la capa superior del sustrato 3632.		
Línea de alimentación	Conecta la placa 3604 de lanzamiento con la alimentación 3620 de CPW de 50 Ω.		Capa superior
Placa de lanzamiento	Con forma rectangular y se acopla a un parche 3608 de celda a través de un espacio 3628 de acoplamiento. Se fija una línea 3652 de serpenteo a la placa 3604 de lanzamiento.		Capa superior
Línea de serpenteo	Añadida a la placa 3604 de lanzamiento.		
Placa de lanzamiento extendida	Un parche con forma rectangular que es una extensión de la placa 3604 de lanzamiento		Capa inferior
Vías de conexión de la placa de lanzamiento	Vías que conectan la placa 3604 de lanzamiento sobre la capa superior con la placa 3636 de lanzamiento extendida sobre la capa inferior.		
Celda	Parche de celda	Forma poligonal	Capa superior
	Parche de celda extendido	Un parche de forma rectangular que es una extensión del parche 3608 de celda.	Capa inferior
	Línea de vía	Línea que conecta el parche de celda con el electrodo 3624 de conexión a tierra superior.	Capa superior

	Vías que conectan las celdas	Vías que conectan el parche 3608 de celda sobre la capa superior con el parche 3644 de celda extendida sobre la capa inferior.	
--	------------------------------	--	--

Se usa el software de simulación HFSS EM para simular el rendimiento de la antena. La pérdida de retorno simulada se muestra en la FIG. 37(a) y la impedancia de entrada simulada se muestra en la FIG. 37(b). Como se evidencia por estas figuras, la resonancia LH aparece a aproximadamente 800 MHz en este ejemplo.

5 Las antenas de MTM penta-banda pueden construirse basándose en una única capa. Un ejemplo de una antena de MTM penta-banda SLM se muestra en la FIG. 38, que muestra la vista superior de la capa superior. La alimentación de CPW y la tierra de CPW se omiten en esta figura.

10 Se proporcionan a continuación ejemplos para varios parámetros en una implementación ejemplar. La placa 3804 de lanzamiento tiene forma rectangular con dimensiones de 10,5 mm x 0,5 mm. La línea 3816 de alimentación proporciona potencia para la alimentación de CPW a la placa 3804 de lanzamiento, y es de 10 mm x 0,5 mm. La placa 3804 de lanzamiento se acopla capacitivamente al parche 3808 de celda, que tiene 32 mm x 3,5 mm. El espacio 3828 de acoplamiento tiene 0,25 mm de ancho. Hay dos cortes en las esquinas del parche 3808 de celda. El primer corte está próximo a la placa de lanzamiento con dimensiones de 10,5 mm x 0,75 mm. El segundo corte está en la esquina superior del parche 3808 de celda con dimensiones de 4,35 mm x 0,75 mm. El segundo corte no es crítico para el rendimiento pero se conforma para adaptarse al contorno de tarjeta de un producto para la presente aplicación. La línea 3812 de vía conecta el parche 3808 de celda a la tierra de CPW. El ancho de la línea 3812 de vía es de 0,5 mm. La longitud total de la línea de vía es de 45,9 mm. La línea de vía tiene siete segmentos de longitudes 0,4 mm, 23 mm, 3,25 mm, 8 mm, 1,5 mm, 8 mm y 1,75 mm, respectivamente, comenzando desde el parche 3808 de celda a la tierra de CPW.

20 El enrutado de la línea 3812 de vía se muestra en la FIG. 38. En una implementación, la línea 3812 de vía termina en la tierra de CPW a 1 mm de separación de la línea 3816 de alimentación.

25 La FIG. 39 muestra otro ejemplo de una antena penta-banda SLM. Solo se presenta la vista superior de la capa superior y se omiten la alimentación de CPW y la tierra de CPW en esta figura. Se adjunta una línea 3952 de serpenteo a la placa 3904 de lanzamiento. La longitud total del serpenteo es de 84,8 mm en este ejemplo. La estructura restante puede ser idéntica a la mostrada en la FIG. 38.

30 La antena penta-banda SLM mostrada en la FIG. 38 (sin la línea de serpenteo) crea dos bandas distintas, como se evidencia por la pérdida de retorno simulada indicada por la línea con puntos cruzados en la FIG. 40. La banda inferior tiene un ancho de banda suficiente para satisfacer las aplicaciones de teléfono celular tetra-banda pero es demasiado estrecha para satisfacer los requisitos para aplicaciones de teléfono celular penta-banda. La antena penta-banda SLM con la línea 3952 de serpenteo, mostrada en la FIG. 39, puede usarse para aumentar el ancho de banda. La longitud de la línea 3952 de serpenteo se ajusta para crear una resonancia a una frecuencia más alta que, pero próxima a, la resonancia LH. El ancho de banda resultante de los dos modos es suficiente para cubrir la banda baja que va desde 824 MHz a 960 MHz, como puede verse por la pérdida de retorno simulada indicada por la línea con cuadrados abiertos de la FIG. 40. Aunque en este ejemplo particular la línea 3952 de serpenteo se usa para crear el modo adicional en la banda baja, puede usarse para aumentar la banda alta asimismo si es necesario, pero con una longitud de línea de serpenteo más corta. Adicionalmente, es posible usar una espiral, línea de serpenteo multicapa o una combinación de estas para introducir un modo adicional.

40 La Tabla 5 proporciona un resumen de los elementos de la estructura de antena de MTM penta-banda SLM con una línea de serpenteo.

Tabla 5

Parámetro	Descripción	Localización
Elemento de antena	Cada elemento de la antena comprende una celda conectada a la alimentación de CPW de 50 Ω a través de una placa 3904 de lanzamiento y línea 3916 de alimentación. Tanto la placa 3904 de lanzamiento como la línea 3916 de alimentación se localizan sobre la parte superior del sustrato.	
Línea de alimentación	Conecta la placa 3904 de lanzamiento con la alimentación de CPW de 50 Ω.	Capa superior
Placa de lanzamiento	De forma rectangular y se acopla a un parche 3908 de celda a través de un espacio 3928 de acoplamiento. Se fija una línea 3952 de serpenteo a la placa 3904 de lanzamiento.	Capa superior
Línea de serpenteo	Añadida a la placa 3904 de lanzamiento.	Capa superior
Celda	Parche de celda	Forma poligonal
		Capa superior

	Línea de vía	Conecta el parche 3908 de celda con el electrodo de conexión a tierra superior.	Capa superior
--	--------------	---	---------------

5 La FIG. 41 muestra una foto del prototipo de antena de la antena de MTM penta-banda SLM con una línea de serpenteo de la FIG. 39, fabricada basándose en una tarjeta de FR-4 de 1 mm. La FIG. 42 muestra la pérdida de retorno medida del prototipo. Esta antena tiene una pérdida de retorno de -6 dB con el ancho de banda de 240 MHz (760 MHz-1000 MHz) en la banda baja y ancho de banda de 600 MHz en la banda alta.

La eficiencia medida se muestra en las FIGS. 43(a) y 43(b) para la banda baja y banda alta, respectivamente. La eficiencia de pico en la banda baja es del 66 %, y se logra una eficiencia casi constante del 60 % en la banda alta.

10 En muchas situaciones prácticas hay restricciones de espacio que requieren un cierto enrutado de trazados en la estructura de la antena. La antena puede compactarse adicionalmente mediante el uso de elementos de circuito concentrados, tales como condensadores o inductores, para aumentar la inductancia y capacitancia implicada en la estructura. Las FIGS. 44, 45 y 46 muestran dichos ejemplos de diseño en los que se usa la antena de MTM penta-banda SLM con una línea de serpenteo de la FIG. 39.

15 En la FIG. 44, la capacitancia entre la placa 3904 de lanzamiento y el parche 3908 de celda se mejora mediante el uso de un condensador 4410 concentrado. En este ejemplo, el espacio entre la placa 3904 de lanzamiento y el parche 3908 de celda se incrementa desde 0,25 mm a 0,4 mm, y la capacitancia reducida se compensa mediante la capacitancia concentrada añadida de 0,3 pF. En lugar de incrementar el espacio, puede reducirse la longitud del espacio y la capacitancia reducida puede compensarse mediante la capacitancia concentrada añadida.

20 En la FIG. 45, se añade un inductor 4510 concentrado al trazado de la línea de vía. La longitud de la línea 3912 de vía se reduce en 24 mm, pero la inductancia reducida debido a la línea 3912 de vía acortada se compensa mediante la inductancia concentrada añadida de 10 nH.

25 En las FIG. 46, se añade un inductor 4610 concentrado y se reduce la longitud de la línea 3952 de serpenteo. En este ejemplo, el inductor 4610 se acopla a la unión de la línea 3952 de serpenteo y la placa 3904 de lanzamiento. Mediante la adición de una inductancia de 23 nH usando el inductor 4610 concentrado, la línea 3952 de serpenteo impresa requerida para tener la misma resonancia baja igual a la mostrada en la FIG. 40 se reduce ahora de 84,8 mm a 45,7 mm.

30 Dado que los elementos concentrados no radian, los elementos concentrados pueden localizarse en localizaciones en donde hay poca radiación para minimizar el impacto sobre la eficiencia de radiación de la antena. Por ejemplo, es posible obtener la misma resonancia con la línea de serpenteo añadiendo el inductor 4610 al comienzo o al final de la línea de serpenteo. Sin embargo, añadir el inductor 4610 al final de la línea de serpenteo puede reducir significativamente la eficiencia de radiación debido a que el final de la línea de serpenteo tiene la radiación más alta. Debería tomarse nota de que estas técnicas de elementos concentrados pueden combinarse para lograr una miniaturización adicional.

35 La FIG. 47 muestra los resultados de simulación para la antena de MTM penta-banda SLM cargada con los elementos concentrados descritos anteriormente. Como se evidencia en esta figura, pueden obtenerse las bandas y anchos de banda similares a los de la FIG. 40 con las técnicas de carga descritas anteriormente.

40 En los ejemplos de antena de MTM de SLM o TLM-VL descritos hasta el momento, la estructura de acoplamiento para el acoplamiento capacitivamente de la placa de lanzamiento y el parche de celda se implementan de forma plana, esto es, tanto la placa de lanzamiento como el parche de celda se localizan sobre la misma capa y por ello el espacio de acoplamiento entre los dos se forma en el mismo plano. Sin embargo, el espacio de acoplamiento puede formarse verticalmente, esto es, la placa de lanzamiento y el parche de celda pueden localizarse sobre dos capas diferentes, formato de ese modo un espacio de acoplamiento vertical, no plano entre ellos.

45 Un ejemplo de una antena de MTM tricapa con el acoplamiento vertical entre un parche de celda y una placa de lanzamiento en diferentes capas se ilustra en las FIGS. 48(a) – 48(f), que muestran la vista en 3D, vista superior de la capa superior, vista superior de la capa media, vista superior de la capa inferior, vista superior de las capas superior y media superpuestas, y la vista lateral, respectivamente. Como se muestra en la FIG. 48(f), esta estructura de MTM tricapa comprende un sustrato 4832 superior y un sustrato 4833 inferior que están apilados uno encima de otro para proporcionar tres capas de metalización. La capa superior sobre la superficie superior del sustrato 4832 superior, la capa media entre los dos sustratos 4832 y 4833, y la capa inferior sobre la superficie inferior del sustrato 4833. En una implementación, la capa media puede ser de 0,76 mm (30 milésimas de pulgada) y la capa inferior es de 1 mm. Esto mantiene el grosor global de 1 mm igual que una estructura bicapa.

55 La capa superior incluye una línea 4816 de alimentación que conecta la alimentación 4820 de CPW a una placa 4804 de lanzamiento. La alimentación 4829 de CPW puede formarse en una estructura de CPW que tiene un electrodo 4824 de conexión a tierra superior y un electrodo 4825 de conexión a tierra inferior. Tanto la línea 4816 de alimentación como la placa 4804 de lanzamiento tienen una forma rectangular con dimensiones de 6,7 mm x 0,3 mm y 18 mm x 0,5 mm, respectivamente. La capa media incluye un parche 4808 de celda con forma de L que puede, en

una implementación, tener una sección con dimensiones de 6,477 mm x 18,4 mm y la otra sección con dimensiones de 6,0 mm x 6,9 mm. Se forma un espacio 4852 de acoplamiento vertical entre la placa 4804 de lanzamiento sobre la capa superior y el parche 4808 de celda sobre la capa media. Se forma una vía 4840 en el sustrato inferior para acoplar el parche 4808 de celda sobre la capa media a la línea 4812 de vía sobre la capa inferior a través de una placa 4844 de vía. La línea 4812 de vía sobre la capa inferior se cortocircuita con el electrodo 4825 de conexión a tierra inferior con dos dobleces, como puede verse en la FIG. 48(d).

5 La pérdida de retorno simulada de la antena de MTM tricapa con el acoplamiento vertical se traza en la FIG. 49(a), que muestra dos bandas en la pérdida de retorno de -6 dB: la banda baja a 0,925-0,99 GHz y la banda alta 1,48-2,36 GHz.

10 La impedancia de entrada simulada de la antena de MTM tricapa con el acoplamiento vertical se traza en la FIG. 49(b). Generalmente, una adaptación perfecta de 50Ω corresponde a $\text{Real}(Z_{in}) = 50 \Omega$ e $\text{Imaginaria}(Z_{in}) = 0$ dentro de la banda de frecuencia de operación, e implica una buena transferencia de energía entre la alimentación de CPW y la antena. La FIG. 49(b) muestra que tiene lugar una buena adaptación cerca de 950 MHz en la banda baja (modo LH) y cerca de 1,8 GHz en la banda alta (modo RH).

15 La antena de MTM tricapa con el acoplamiento vertical descrita anteriormente puede modificarse para incluir solo dos capas sin vías. Un ejemplo de dicha antena de MTM de TLM-VL con el acoplamiento vertical se ilustra en las FIGS. 50(a) – 50(c), que muestran la vista en 3D, vista superior de la capa superior y vista superior de la capa inferior, respectivamente. Esta antena de MTM de TLM-VL incluye una placa 5004 de lanzamiento sobre la capa superior y un parche 5008 de celda sobre la capa inferior. Una línea 5016 de alimentación conecta la placa 5004 de lanzamiento a la alimentación 5020 de CPW formada en el electrodo 5024 de conexión a tierra superior sobre la capa superior. El espacio 5052 de acoplamiento vertical se forma entre la placa 5004 de lanzamiento sobre la capa superior y el parche 5008 de celda sobre la capa inferior. A diferencia de la equivalente tricapa, esta antena de MTM de TLM-VL tiene una línea 5012 de vía sobre la misma capa inferior que el parche 5008 de celda y conecta directamente el parche 5008 de celda al electrodo 5025 de conexión a tierra inferior.

20
25 La pérdida de retorno simulada de la antena de MTM de TLM-VL con el acoplamiento vertical se traza en la FIG. 51(a), que muestra bandas baja y alta. El ancho de banda de la banda alta es más estrecho que el equivalente tricapa, como puede verse tras la comparación de la FIG. 49(a) y la FIG. 51(a).

30 La impedancia de entrada simulada de la antena de MTM de TLM-VL con el acoplamiento vertical se traza en la FIG. 51(b), que muestra que tiene lugar una buena adaptación cerca de 950 MHz en la banda baja (modo LH) pero no en la banda alta (modo RH).

35 Basándose en los ejemplos anteriores, pueden construirse varias estructuras de MTM CRLH. Un ejemplo es un dispositivo de metamaterial que incluye un sustrato dieléctrico que tiene una primera superficie y una segunda superficie diferente; y una estructura de metamaterial compuesto zurdo y diestro (CRLH) formada sobre el sustrato. Esta estructura incluye un electrodo de conexión a tierra sobre la primera superficie; un parche de celda sobre la primera superficie y separado del electrodo de conexión a tierra; una línea de vía que acopla el parche de celda con el electrodo de conexión a tierra; y una línea de alimentación sobre la primera superficie y electromagnéticamente acoplada al parche de celda a través de un espacio para dirigir una señal a o desde el parche de celda. En una configuración, esta estructura incluye también una extensión del parche de celda formada sobre la segunda superficie y una vía conductora que penetra en el sustrato para conectar el parche de celda sobre la primera superficie a la extensión del parche de celda sobre la segunda superficie. En otra configuración, esta estructura puede incluir adicionalmente una placa de lanzamiento formada sobre la primera superficie y posicionada entre la línea de alimentación y el parche de celda. El parche de lanzamiento se separa de y se acopla electromagnéticamente con el parche de celda y se conecta a la línea de alimentación. Se forma una extensión de la placa de lanzamiento sobre la segunda superficie y una vía conductora que penetra en el sustrato para conectar la placa de lanzamiento sobre la primera superficie a la extensión de la placa de lanzamiento sobre la segunda superficie.

40
45
50 Otro ejemplo de un dispositivo de metamaterial es una estructura de MTM CRLH formada sobre un sustrato dieléctrico que tiene una primera superficie y una segunda superficie diferente. Esta estructura de MTM incluye un parche de celda sobre la primera superficie; un electrodo de conexión a tierra superior separado del parche de celda y localizado sobre la primera superficie; una línea de vía superior sobre la primera superficie que tiene un primer extremo conectado al parche de celda y un segundo extremo conectado al electrodo de conexión a tierra superior; y un electrodo de conexión a tierra de celda inferior formado sobre la segunda superficie por debajo de la parche de celda sobre la primera superficie. El electrodo de conexión a tierra de celda inferior no se conecta directamente al parche de celda a través de una vía conductora que penetre a través del sustrato. Esta estructura de MTM también incluye un electrodo de conexión a tierra inferior formado sobre la segunda superficie separado del electrodo de conexión a tierra de celda inferior; una línea de vía inferior sobre la segunda superficie que tiene un primer extremo conectado al electrodo de conexión a tierra de celda inferior y un segundo extremo conectado al electrodo de conexión a tierra inferior; una placa de lanzamiento sobre la primera superficie separada del parche de celda por un espacio para acoplar electromagnéticamente al parche de celda; y una línea de alimentación conectada a la placa de lanzamiento para dirigir una señal a, o desde, el parche de celda. La segunda superficie está libre en un área de

60

metalización por debajo del parche de celda de la primera superficie.

Solo se divulgan unas pocas implementaciones. Sin embargo, se entiende que pueden realizarse variaciones y mejoras.

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo de metamaterial, que comprende:

un sustrato dieléctrico que tiene una primera superficie y una segunda superficie diferente:

una primera capa de metalización formada sobre la primera superficie; y

una segunda capa de metalización formada sobre la segunda superficie,

en el que la primera y segunda capas de metalización están estampadas para tener dos o más partes conductoras para formar una estructura de metamaterial compuesto zurdo y diestro (CRLH) que comprende una celda unitaria que está libre de una vía conductora que penetre el sustrato dieléctrico para conectar la primera capa de metalización y la segunda capa de metalización,

caracterizado porque las dos o más partes conductoras incluyen:

un primer electrodo (5025) de conexión a tierra formado sobre la primera superficie;

un parche (5008) de celda formado sobre la primera superficie;

una línea (5012) de vía formada sobre la primera superficie, acoplado la línea de vía el parche de celda con el primer electrodo de conexión a tierra; y

una línea (5016) de alimentación formada sobre la segunda superficie, acoplada electromagnéticamente la línea de alimentación al parche de celda a través de una parte del sustrato dieléctrico intercalada entre la línea de alimentación y el parche de celda para dirigir una señal de antena a o desde el parche de celda.

2. El dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el sustrato dieléctrico está conformado para adaptarse a una forma de, y se fija a, otra superficie.

3. El dispositivo de la reivindicación 1, que comprende:

una placa (5004) de lanzamiento de celda formada sobre la segunda superficie por debajo del parche (5008) de celda sobre la primera superficie y configurada para acoplar electromagnéticamente la línea (5016) de alimentación al parche de celda sin que una vía conductora que penetre a través del sustrato esté directamente conectada al parche de celda; en el que el parche de celda, el primer electrodo de conexión a tierra, la línea de vía, la placa de lanzamiento de celda y la línea de alimentación forman la estructura de metamaterial CRLH.

4. El dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1, en el que las dos o más partes conductoras de la estructura de metamaterial están estructuradas para formar una antena de metamaterial y están posicionadas y dimensionadas para generar dos o más resonancias de frecuencia en las que opera la antena de metamaterial.

5. El dispositivo de la reivindicación 1, que comprende un segundo electrodo (5024) de conexión a tierra formado sobre la segunda superficie.

6. El dispositivo de la reivindicación 5, en el que la línea de alimentación, el primer electrodo de conexión a tierra y el segundo electrodo de conexión a tierra están estructurados para proporcionar una estructura de guía de ondas coplanaria (CPW).

7. El dispositivo de la reivindicación 5, en el que el primer electrodo (5025) de conexión a tierra y el segundo electrodo (5024) de conexión a tierra incluyen la misma superficie ocupada.

8. El dispositivo de la reivindicación 5, en el que el segundo electrodo (5024) de conexión a tierra está localizado fuera de la superficie ocupada del parche (5008) de celda proyectado desde la primera superficie sobre la segunda superficie.

9. Un procedimiento de formación de un dispositivo de metamaterial, que comprende:

formar un sustrato dieléctrico que tiene una primera superficie y una segunda superficie diferente:

formar una primera capa de metalización formada sobre la primera superficie; y

formar una segunda capa de metalización formada sobre la segunda superficie,

en el que la primera y segunda capas de metalización incluyen dos o más partes conductoras para formar una estructura de metamaterial compuesto zurdo y diestro (CRLH) que comprende una celda unitaria que está libre de una vía conductora que penetre el sustrato dieléctrico para conectar la primera capa de metalización y la segunda capa de metalización,

caracterizado porque la formación de las dos o más partes conductoras incluye:

formar un primer electrodo de conexión a tierra formado sobre la primera superficie;

formar un parche de celda formado sobre la primera superficie;

formar una línea de vía formada sobre la primera superficie, acoplado la línea de vía el parche de celda con el primer electrodo de conexión a tierra; y

formar una línea de alimentación formada sobre la segunda superficie, acoplada electromagnéticamente la línea de alimentación al parche de celda a través de una parte del sustrato dieléctrico intercalada entre la línea de alimentación y el parche de celda para dirigir una señal de antena a o desde el parche de celda.

10. El procedimiento de la reivindicación 9, que comprende formar un segundo electrodo de conexión a tierra sobre la segunda superficie.

5 11. El procedimiento de la reivindicación 10, que comprende formar una estructura de guía de ondas coplanaria (CPW) que incluye la línea de alimentación, el primer electrodo de conexión a tierra y el segundo electrodo de conexión a tierra.

12. El procedimiento de la reivindicación 10, en el que el primer electrodo de conexión a tierra y el segundo electrodo de conexión a tierra incluyen la misma superficie ocupada.

10 13. El procedimiento de la reivindicación 10, en el que la formación del segundo electrodo de conexión a tierra incluye la localización del segundo electrodo de conexión a tierra fuera de una superficie ocupada del parche de celda proyectado desde la primera superficie sobre la segunda superficie.

14. El procedimiento de la reivindicación 9, que comprende conformar el sustrato dieléctrico a una forma de otra superficie.

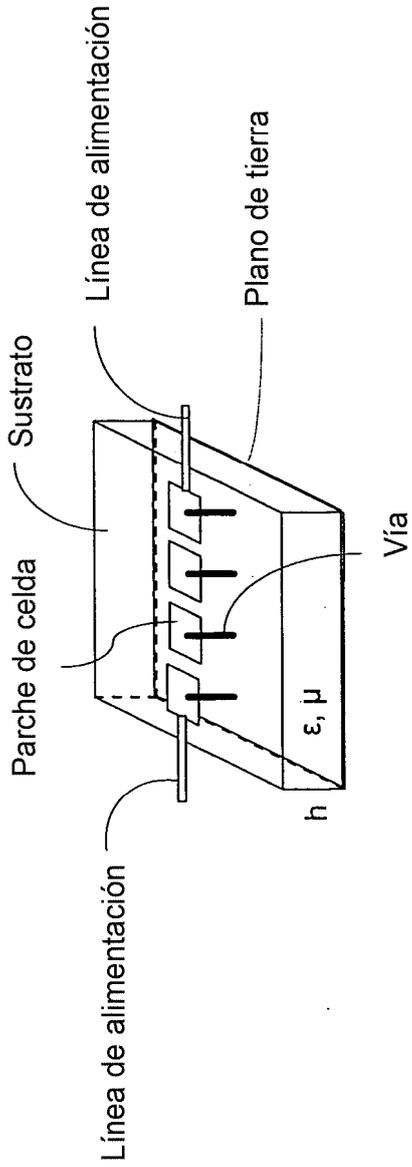


FIG. 1

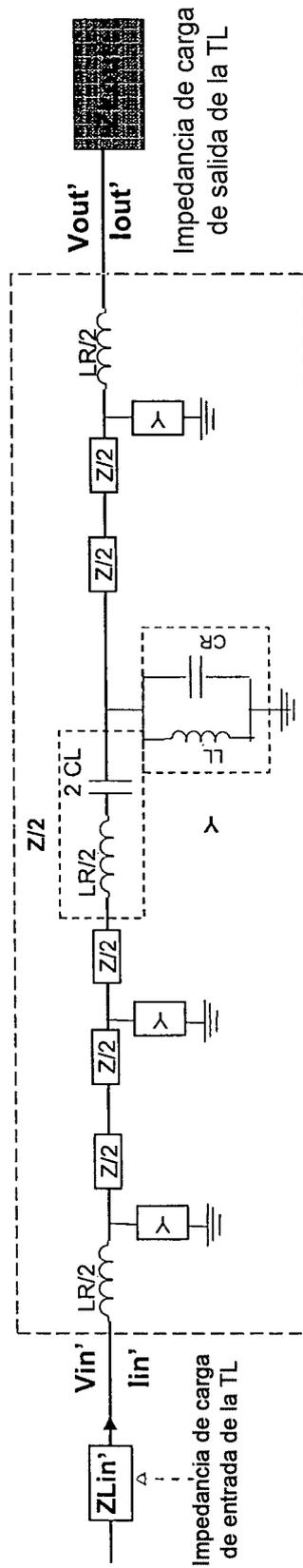


FIG. 2

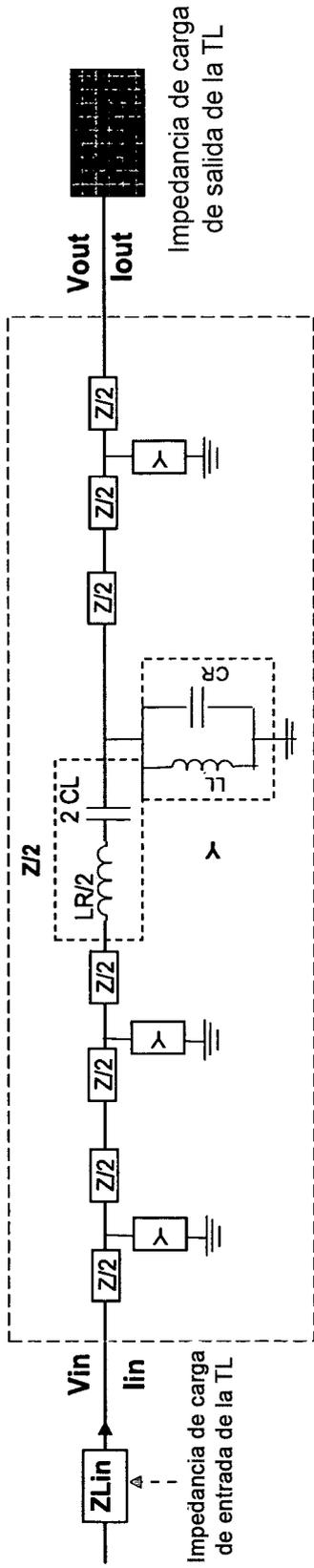


FIG. 3

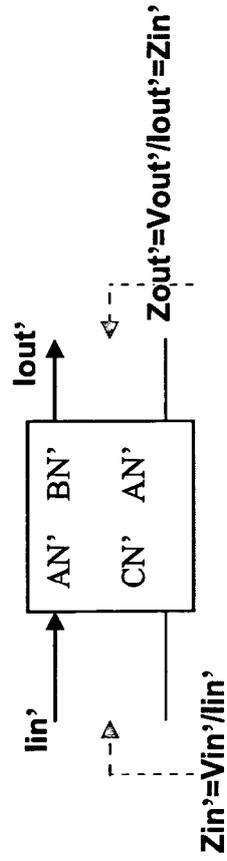


FIG. 4A

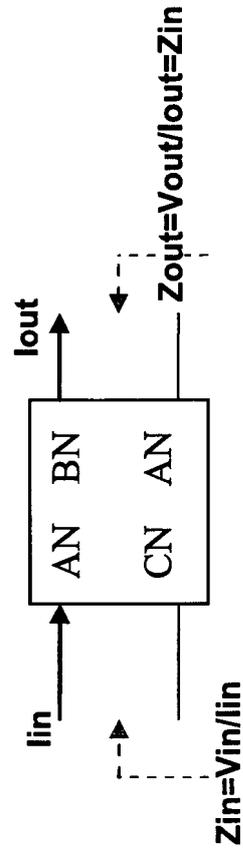


FIG. 4B

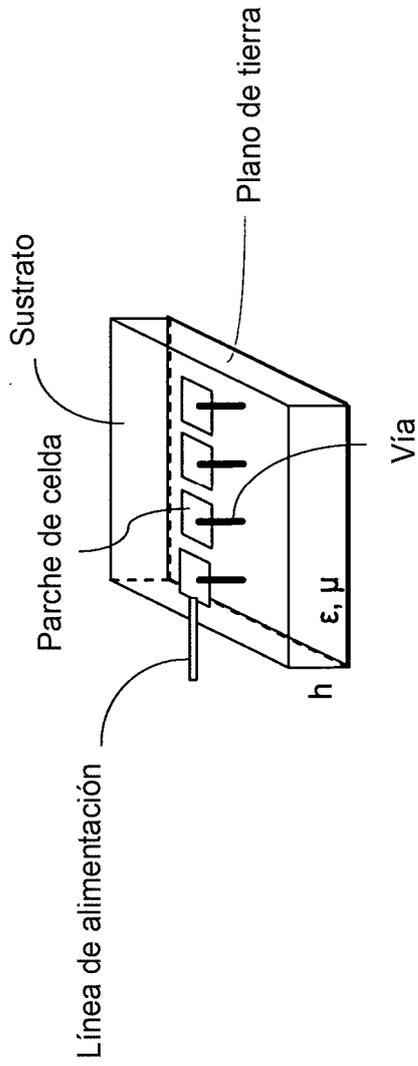


FIG. 5

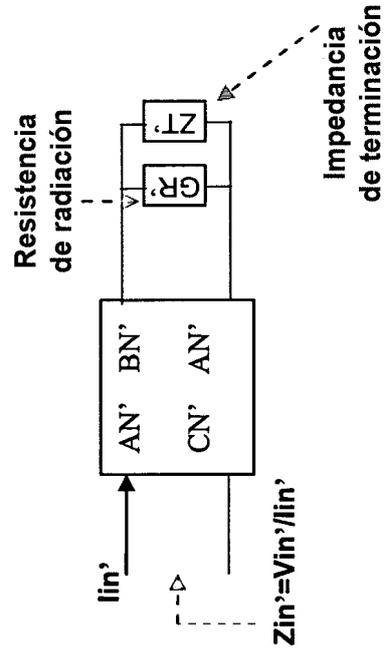


FIG. 6A

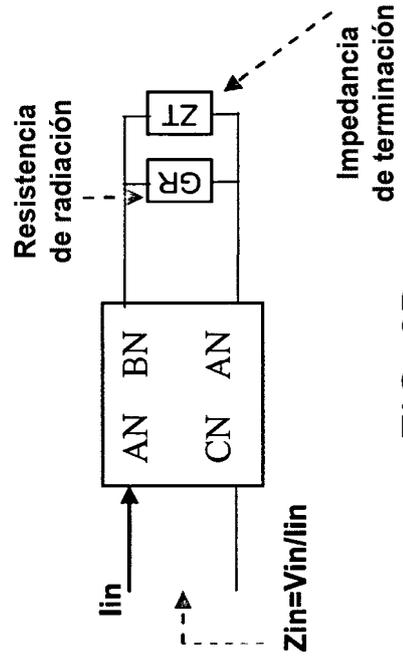


FIG. 6B

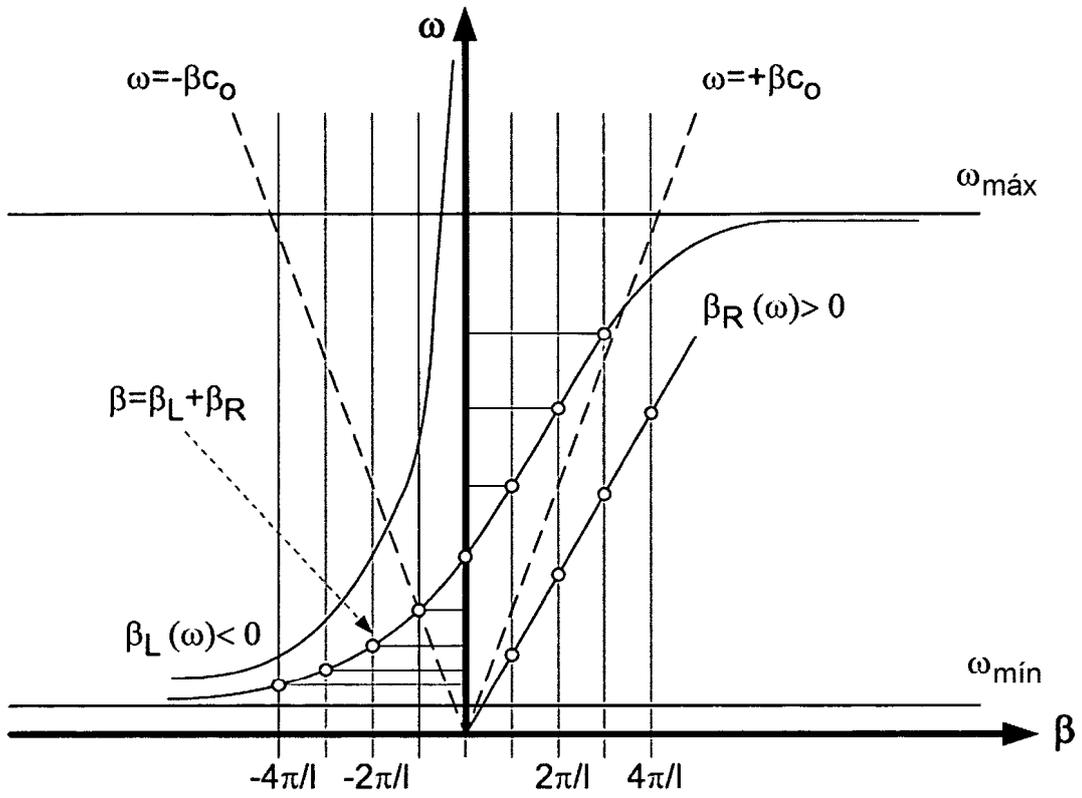


FIG. 7A

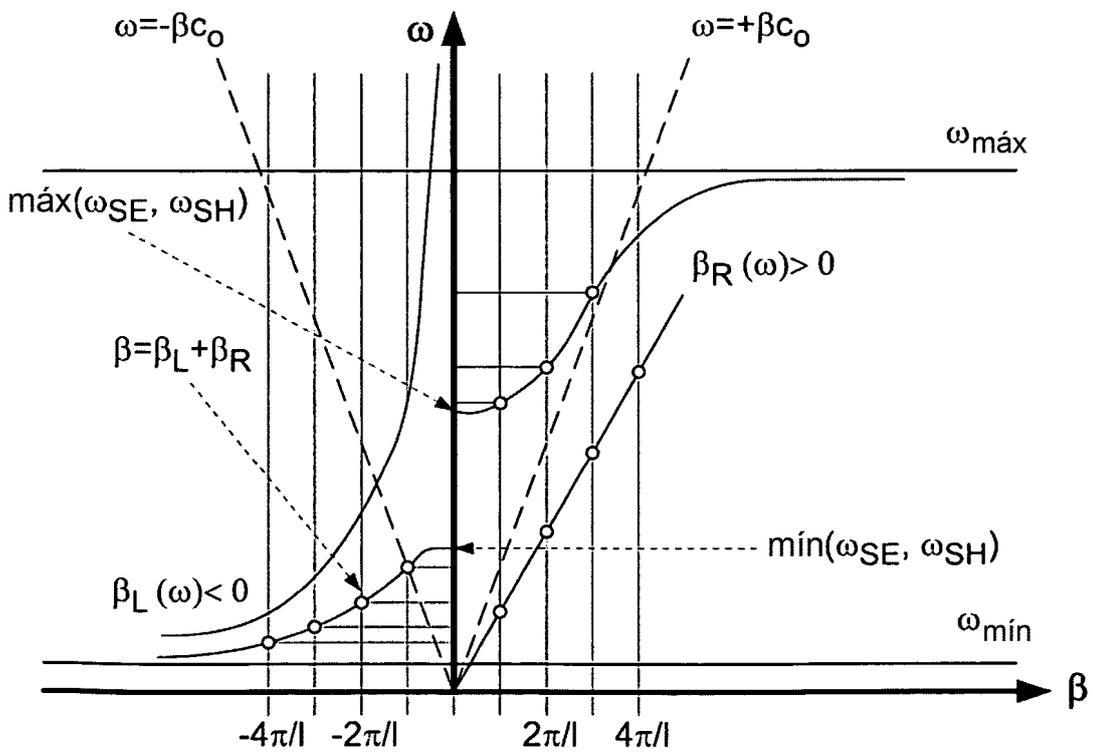


FIG. 7B

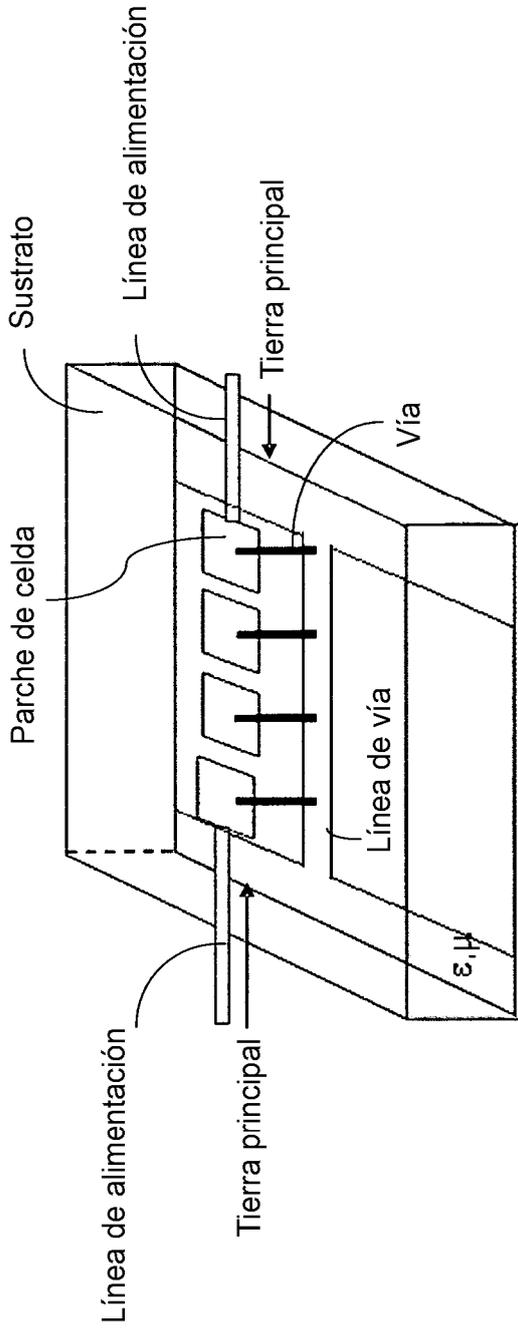


FIG. 8

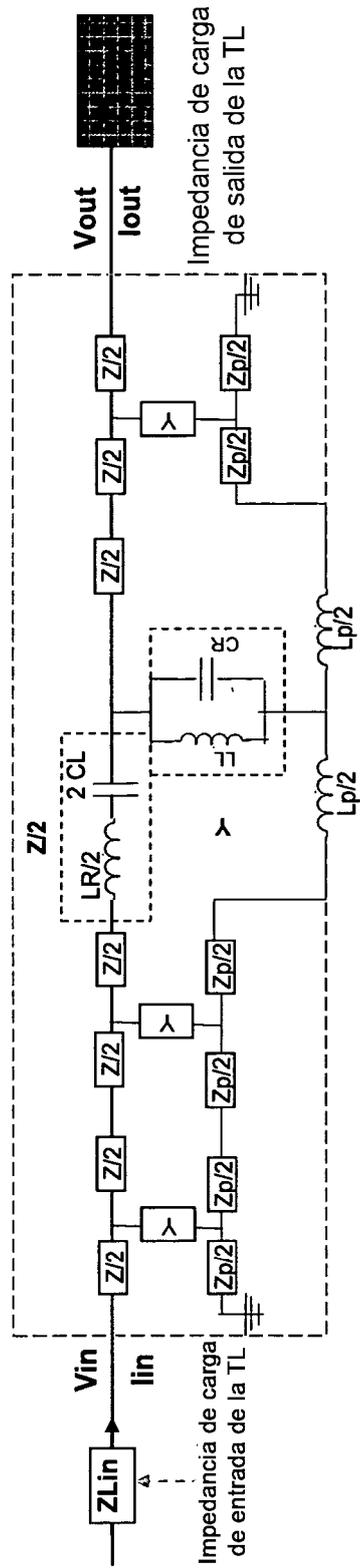


FIG. 9

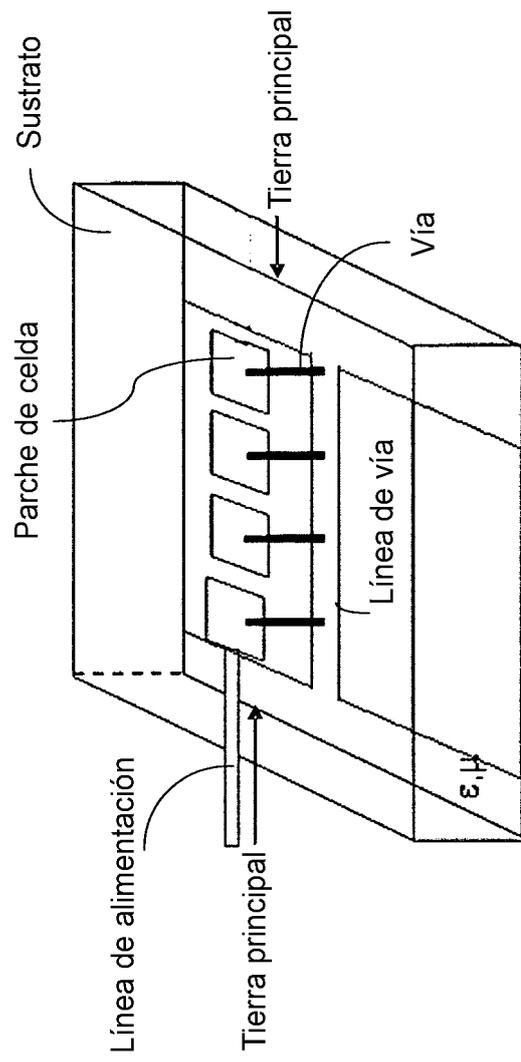


FIG. 10

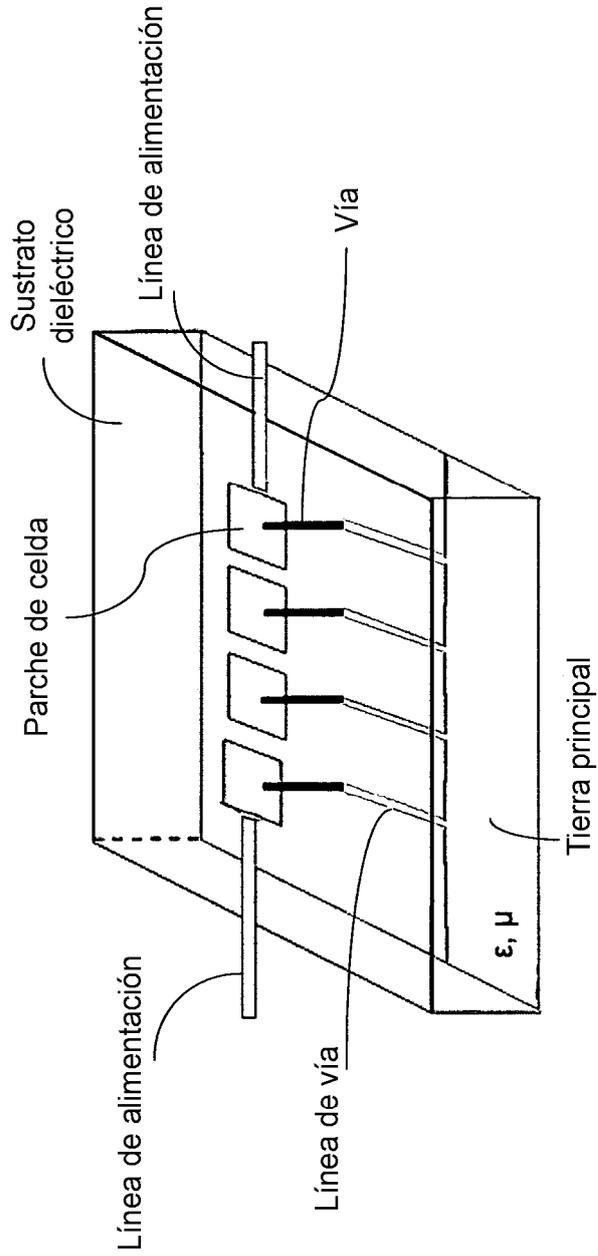


FIG. 11

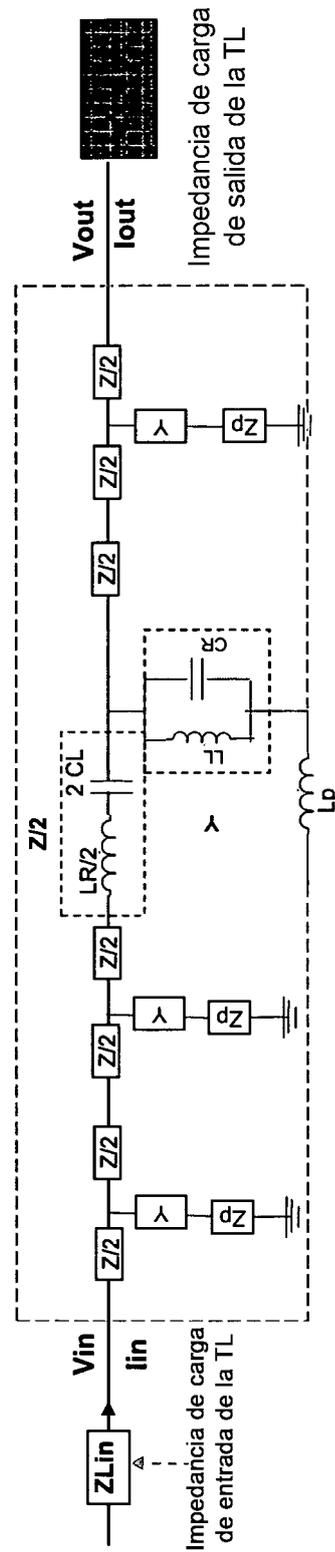


FIG. 12

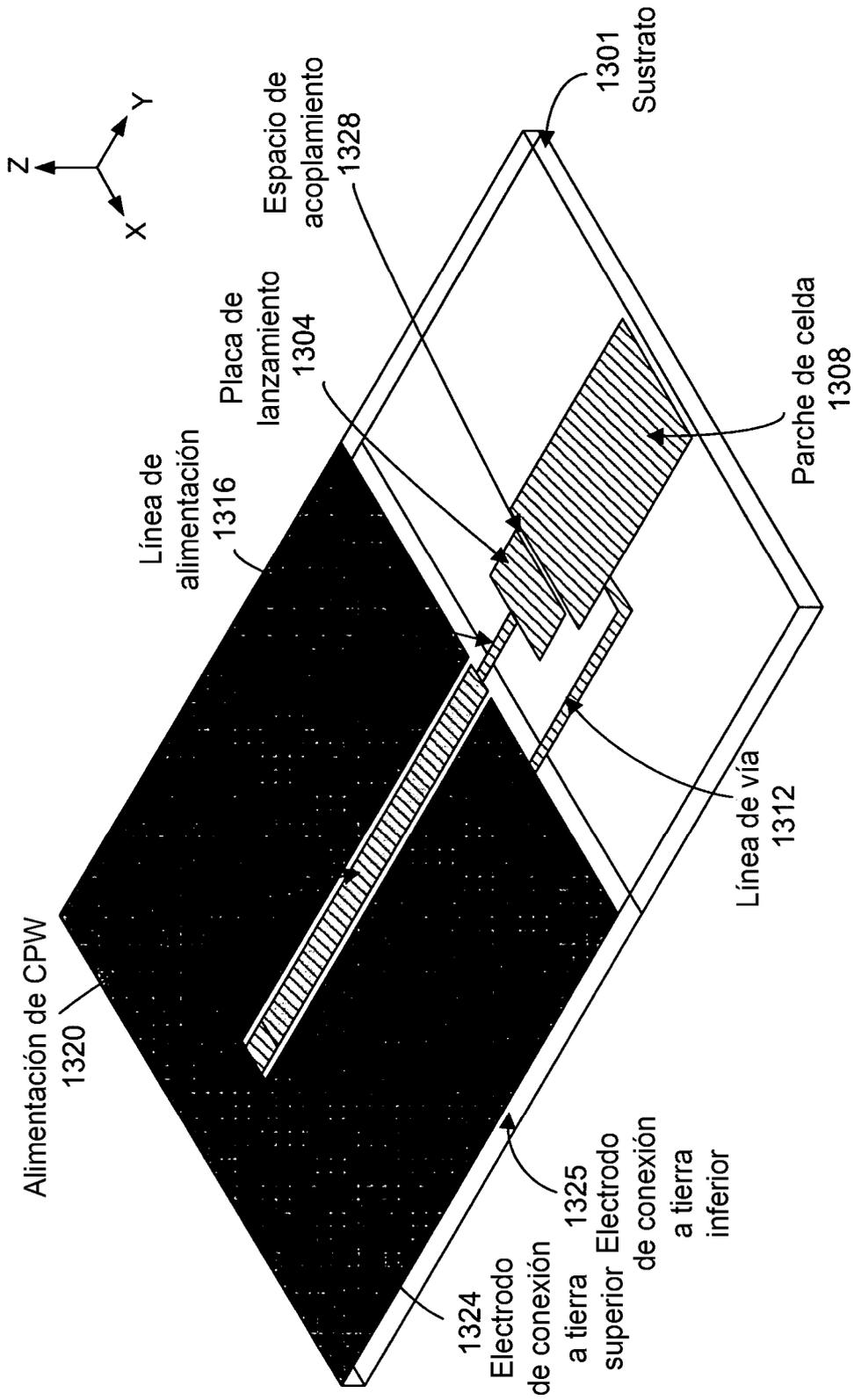


FIG. 13(a)

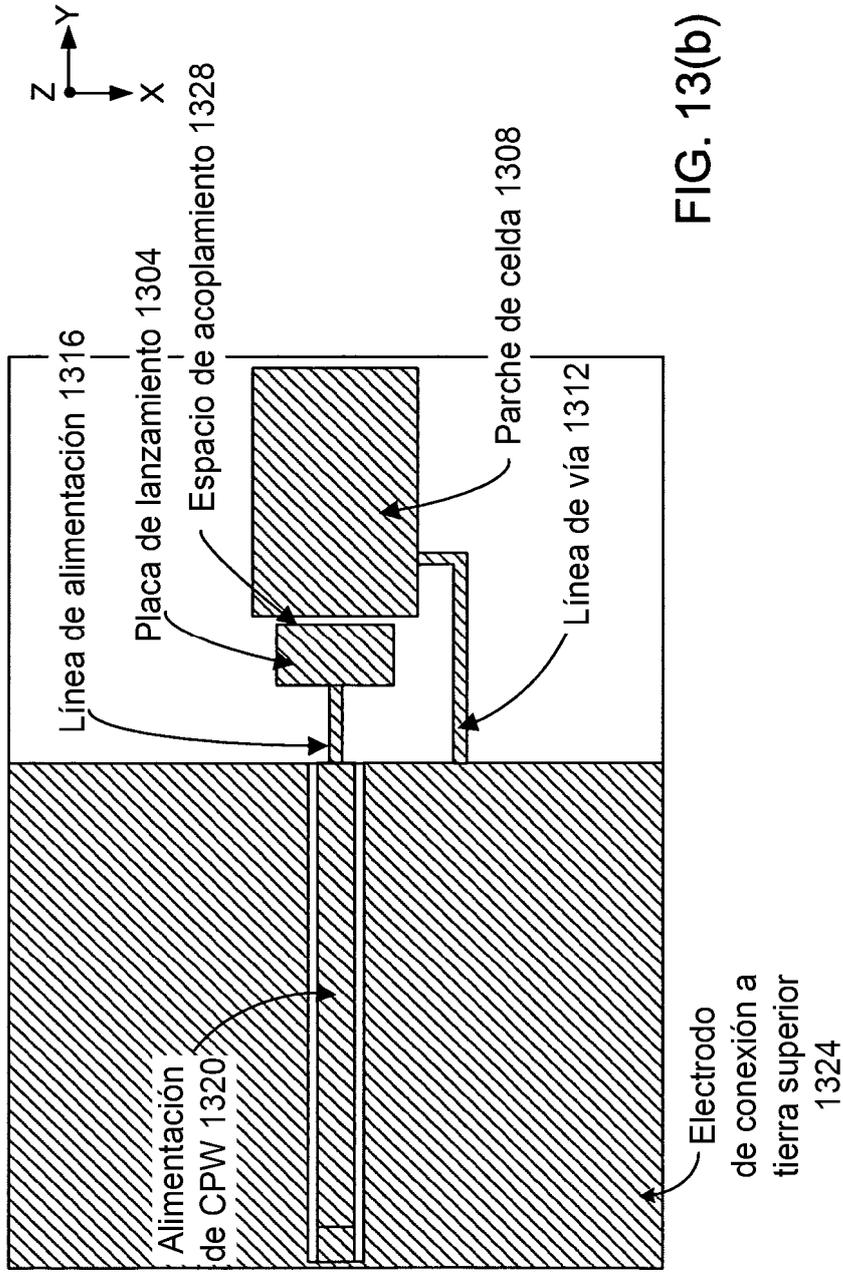


FIG. 13(b)

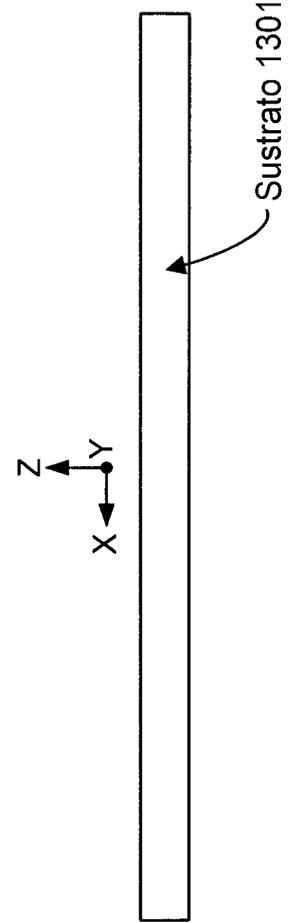


FIG. 13(c)

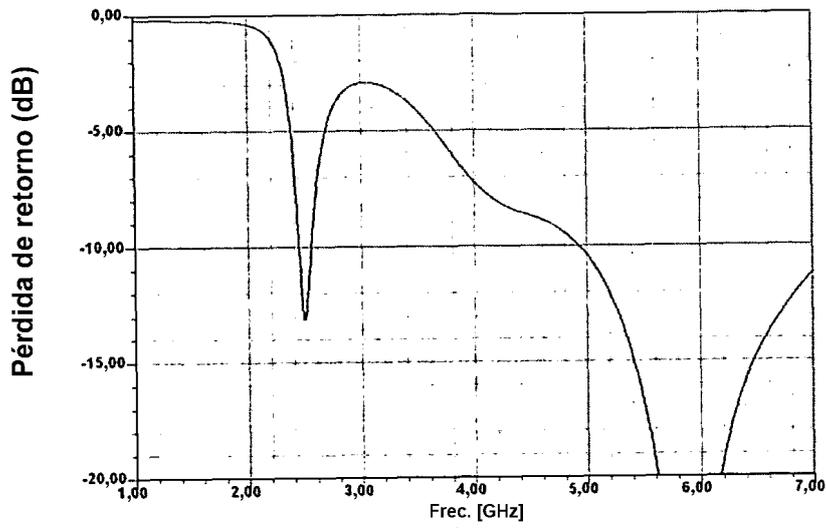


FIG. 14(a)

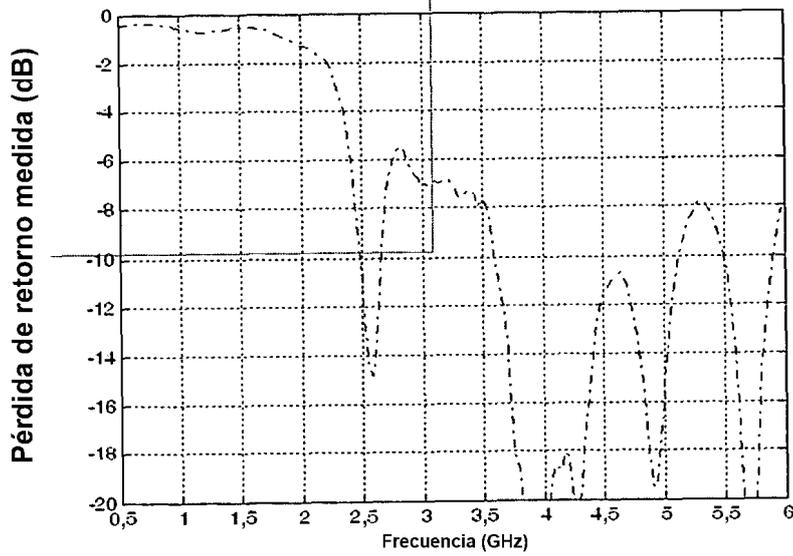


FIG. 14(b)

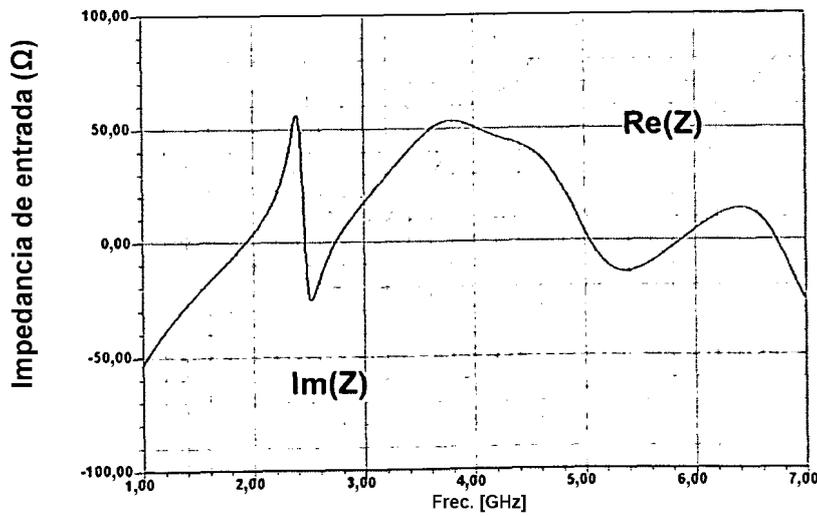


FIG. 14(c)

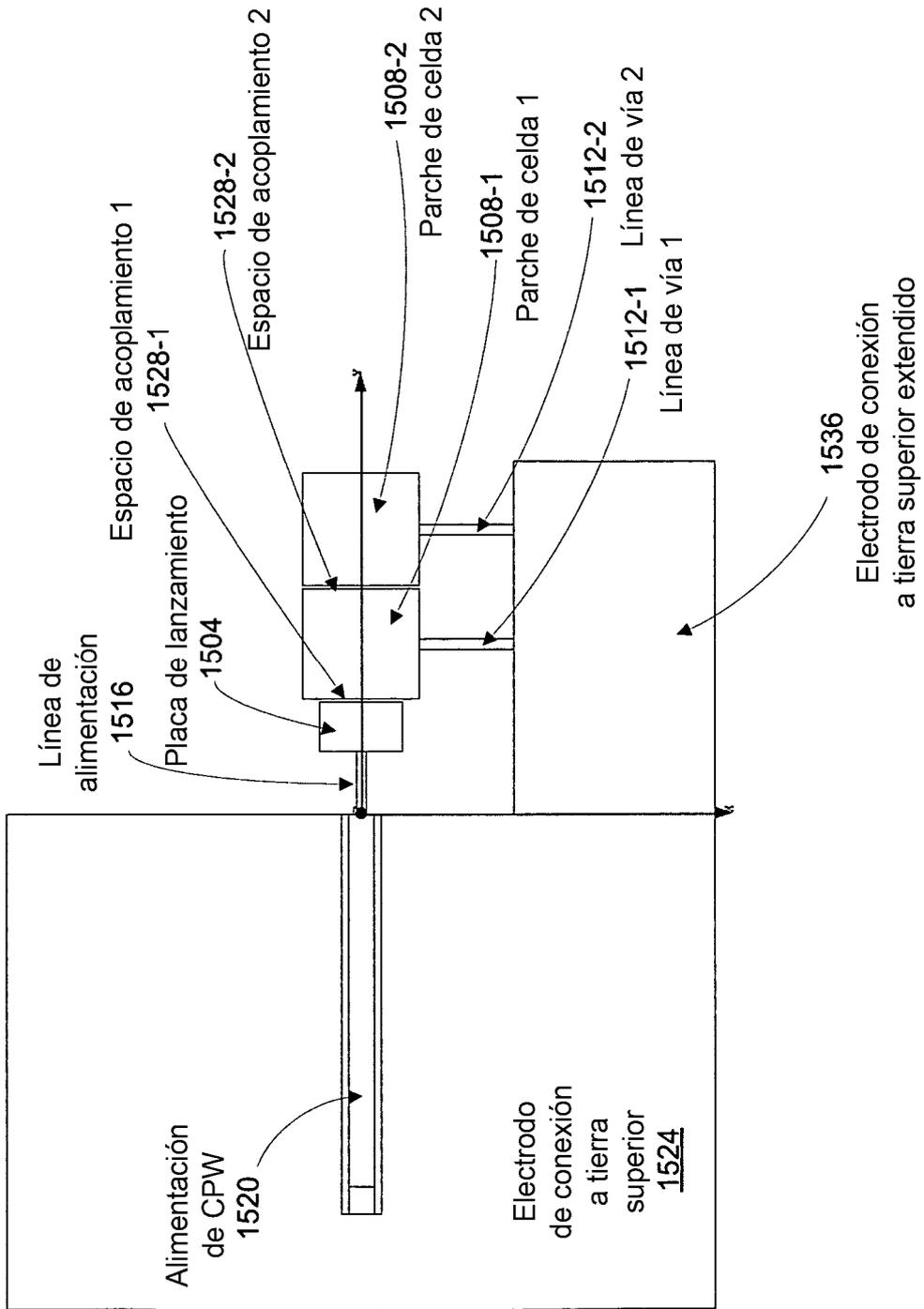


FIG. 15

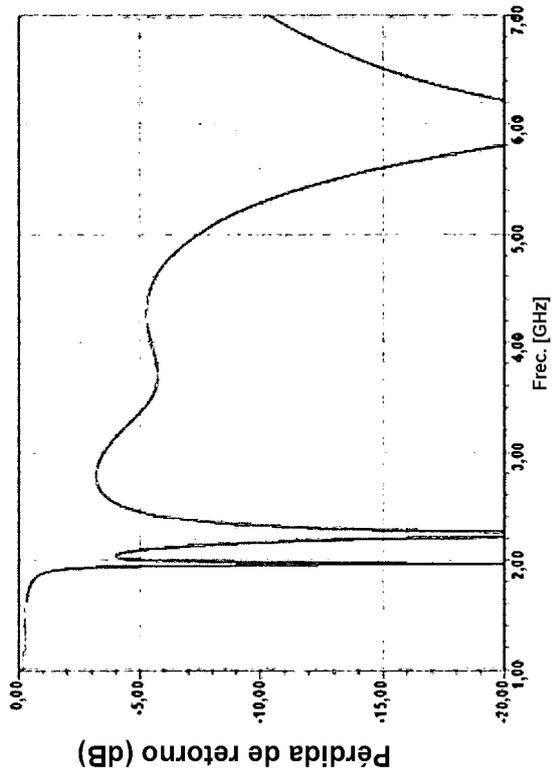


FIG. 16(a)

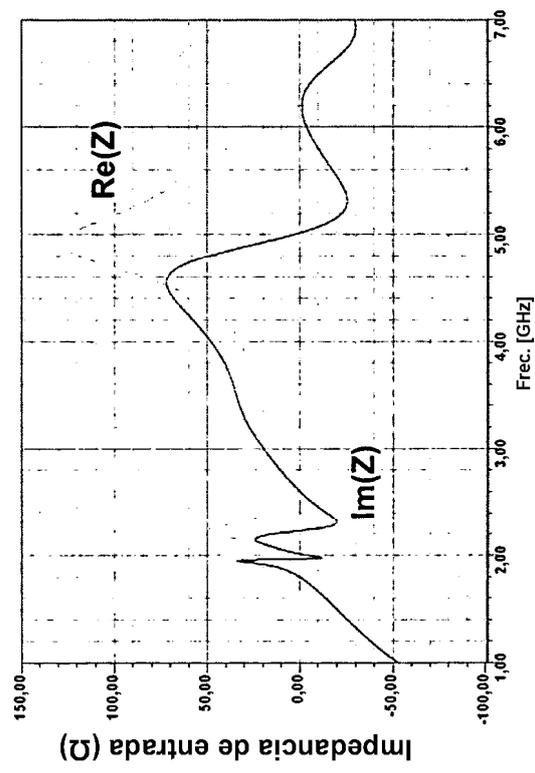


FIG. 16(b)

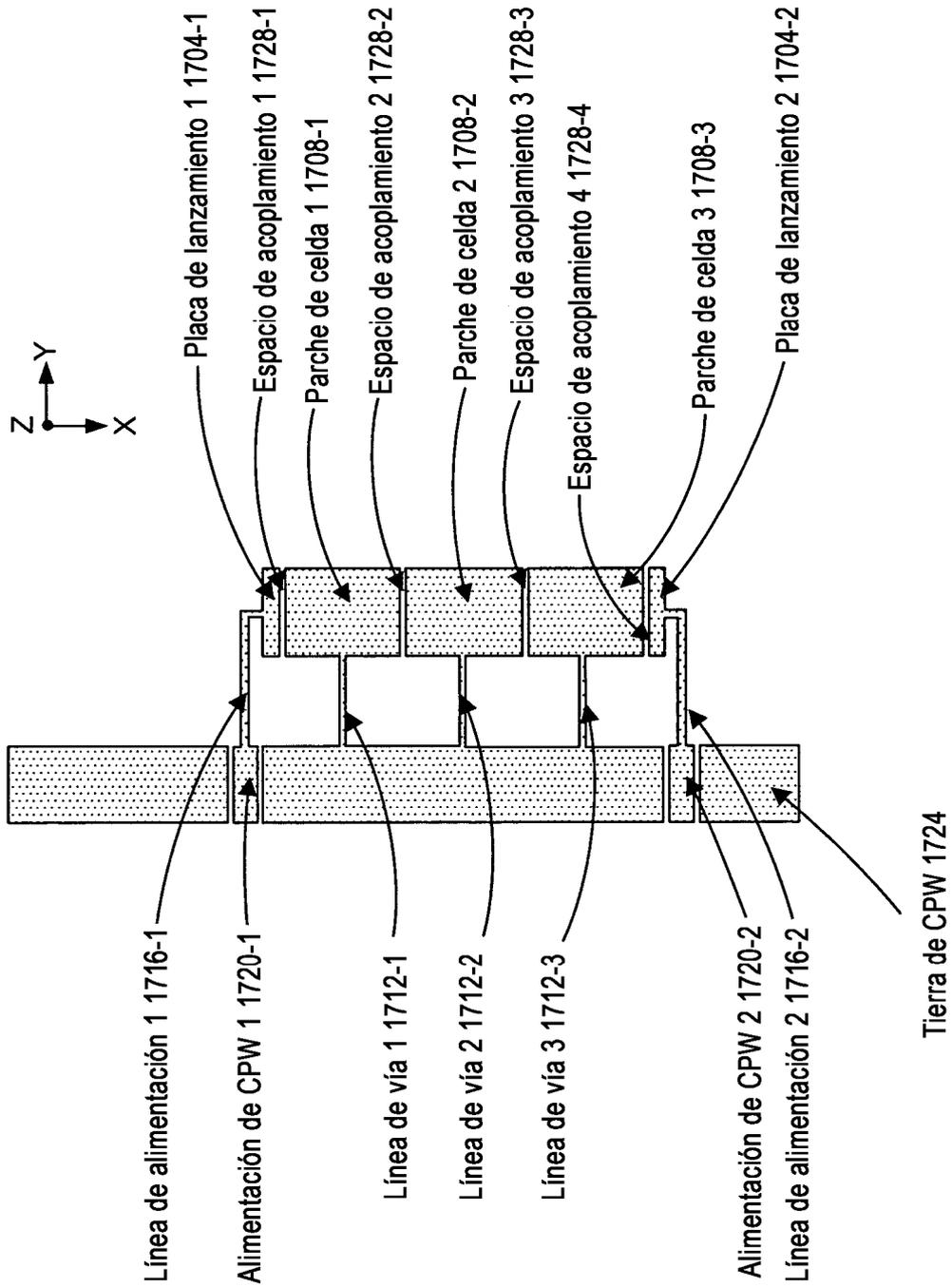


FIG. 17

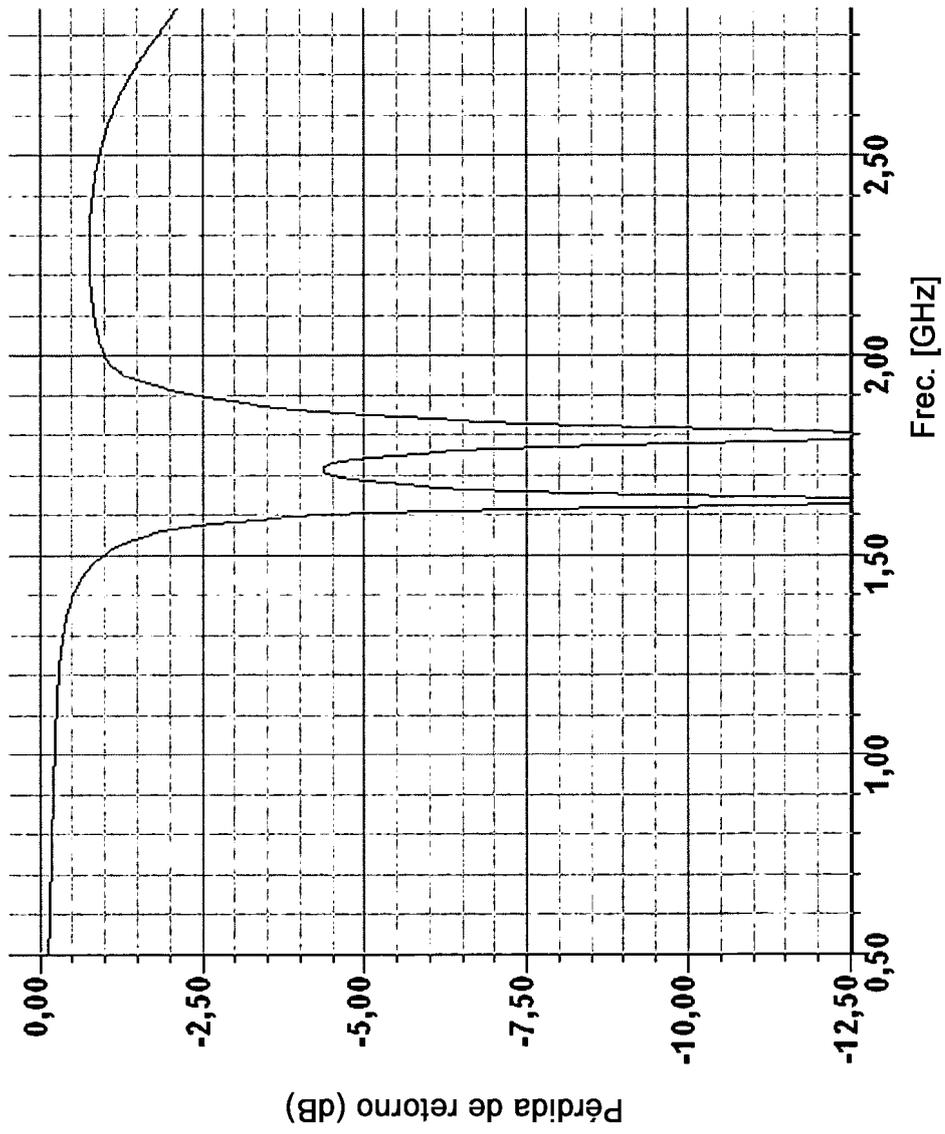


FIG. 18

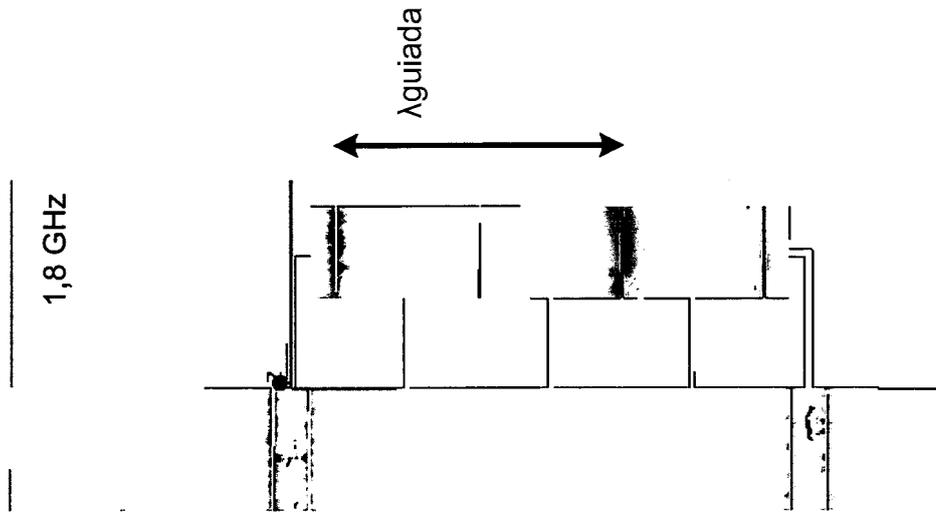


FIG. 19(b)

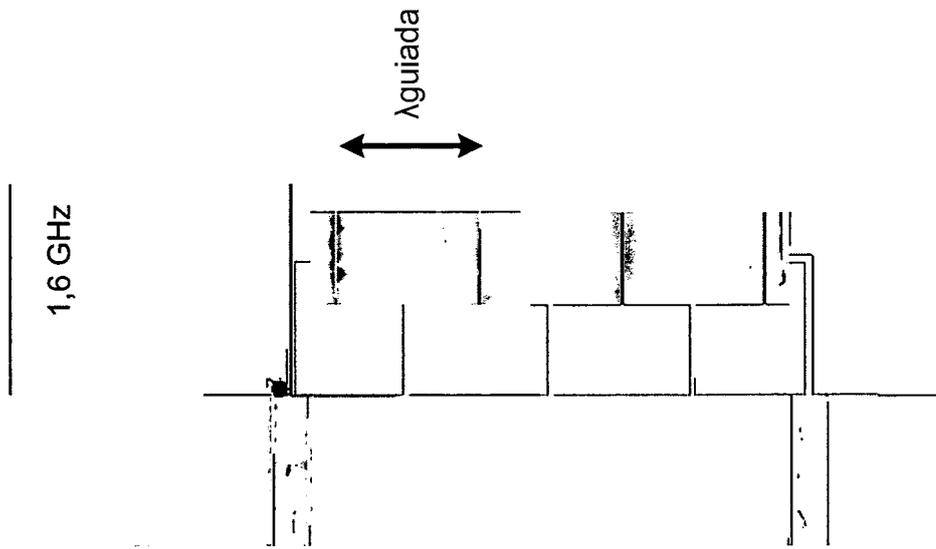


FIG. 19(a)

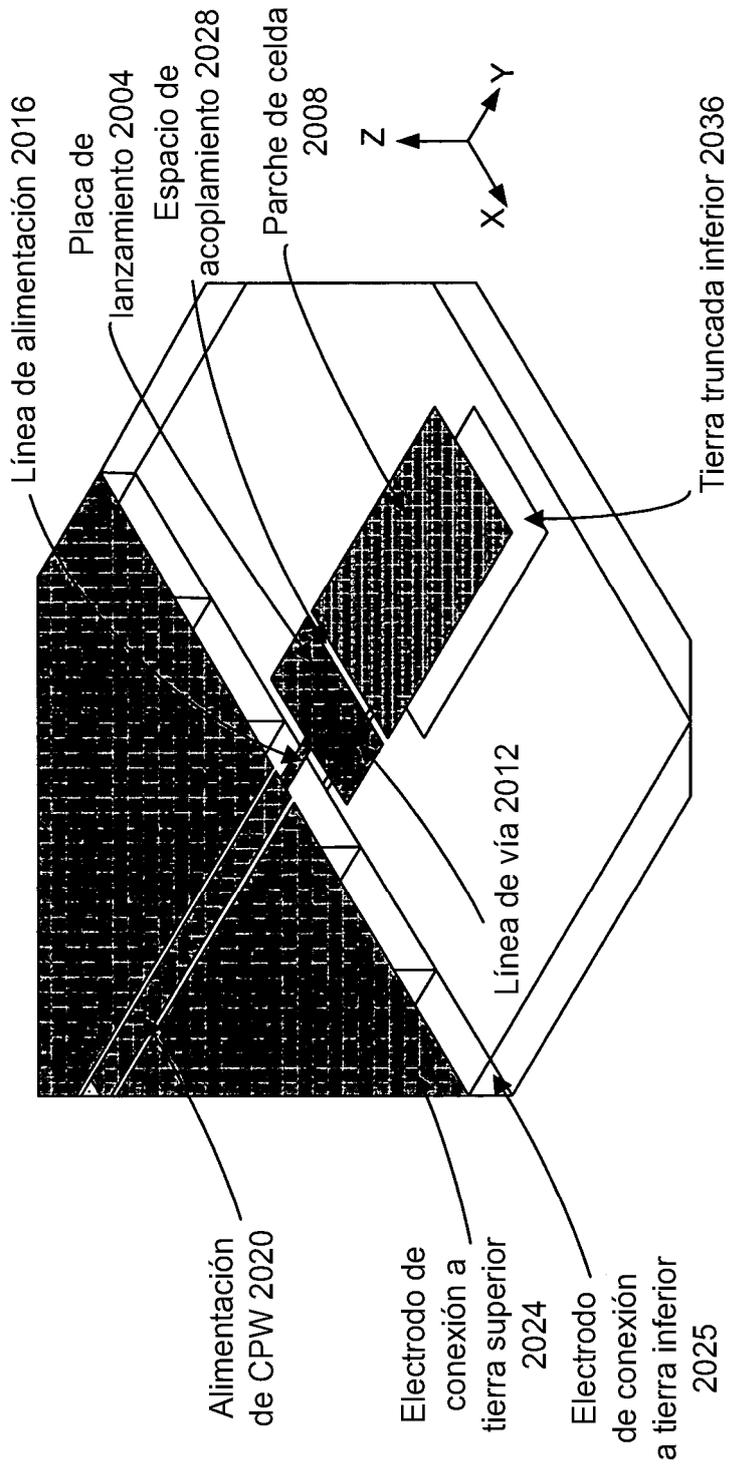


FIG. 20(a)

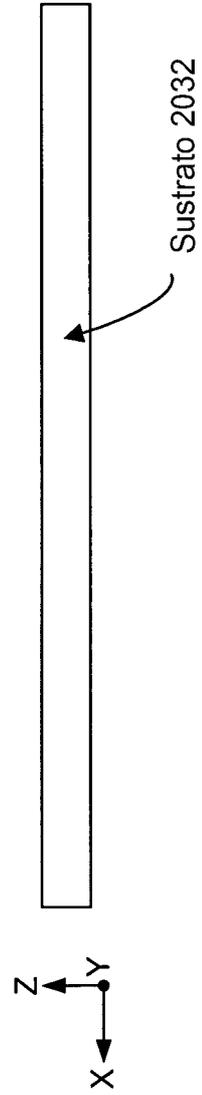


FIG. 20(b)

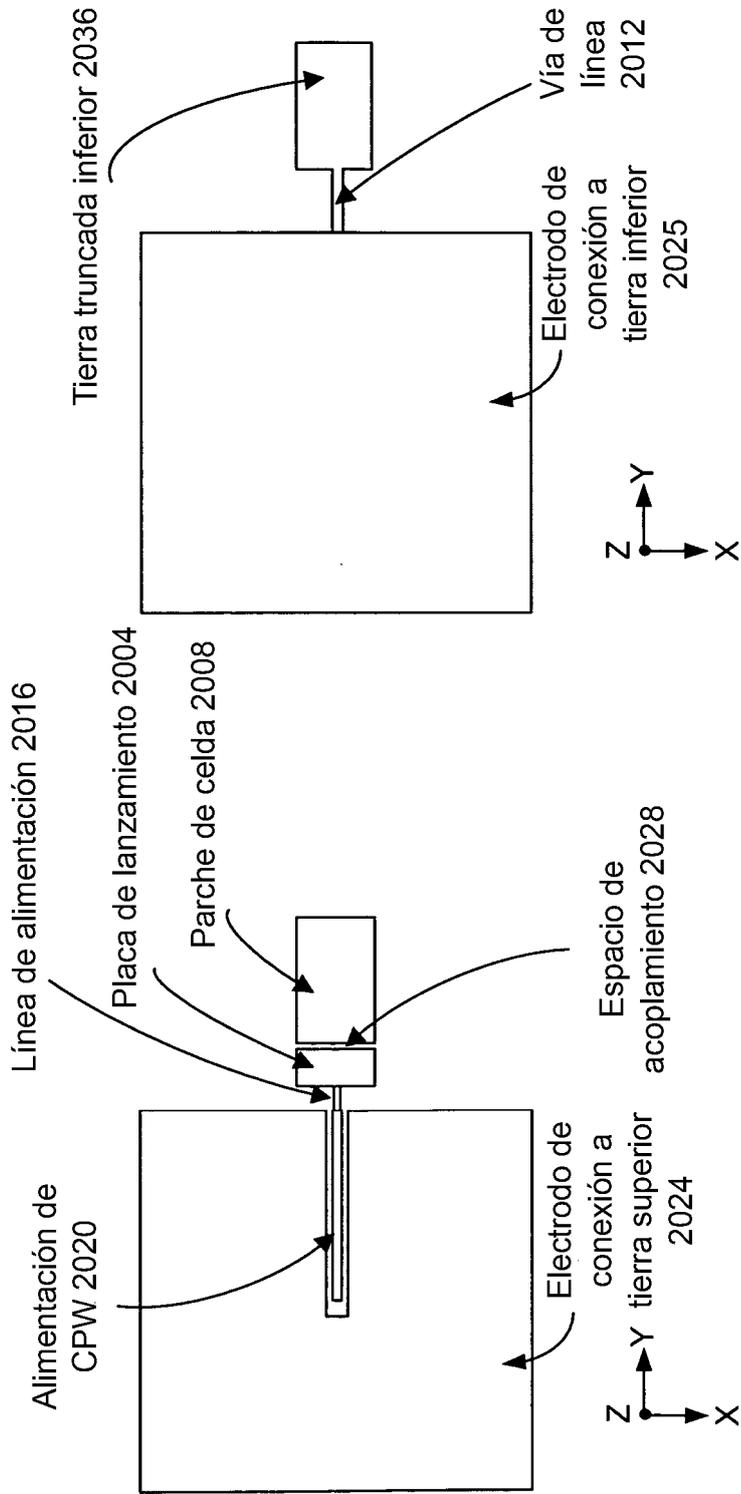


FIG. 20(c)

FIG. 20(d)

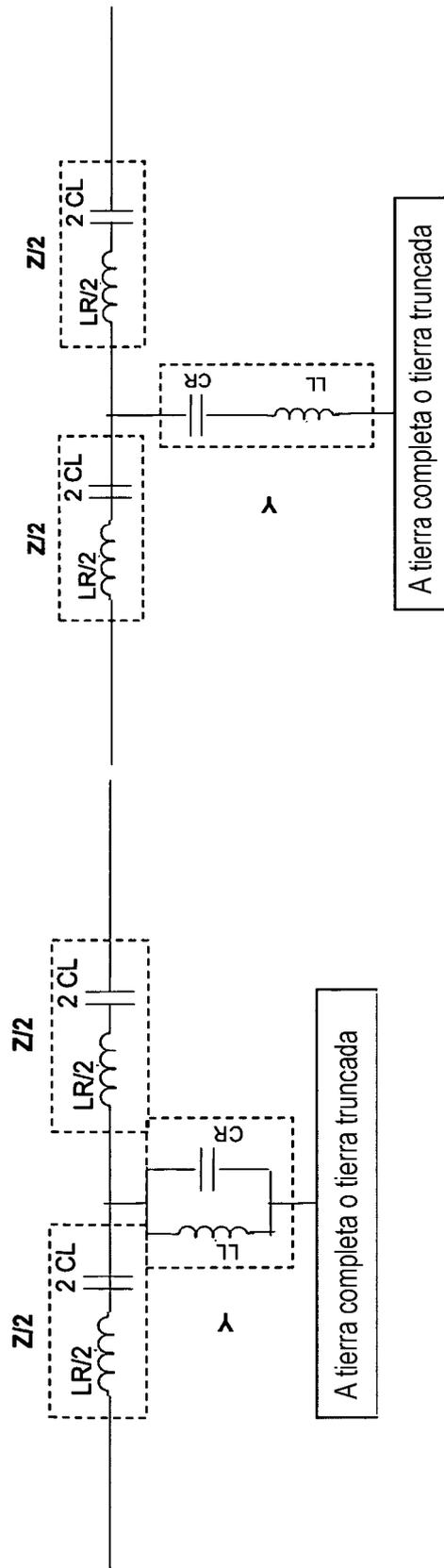
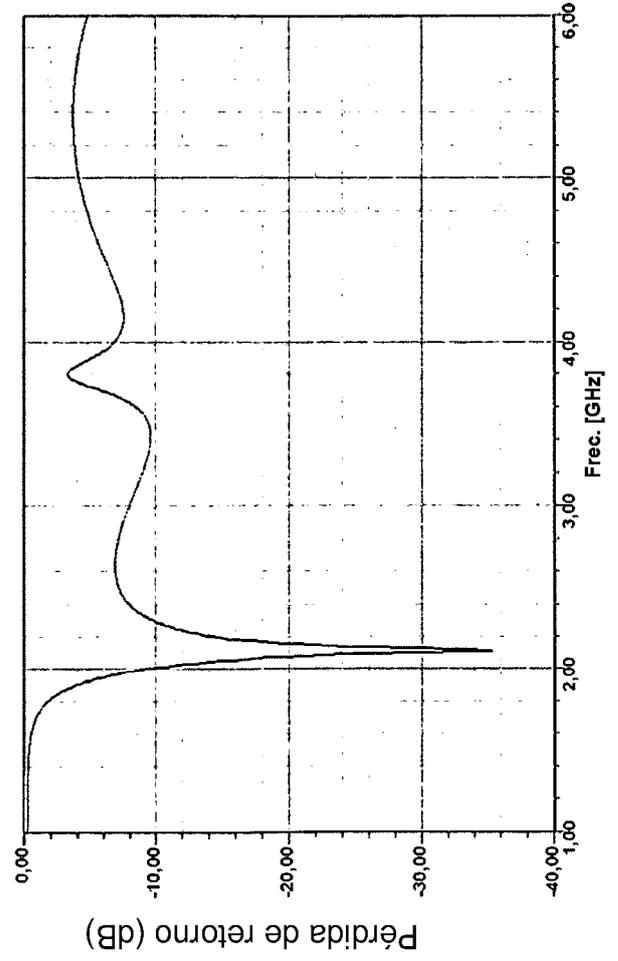
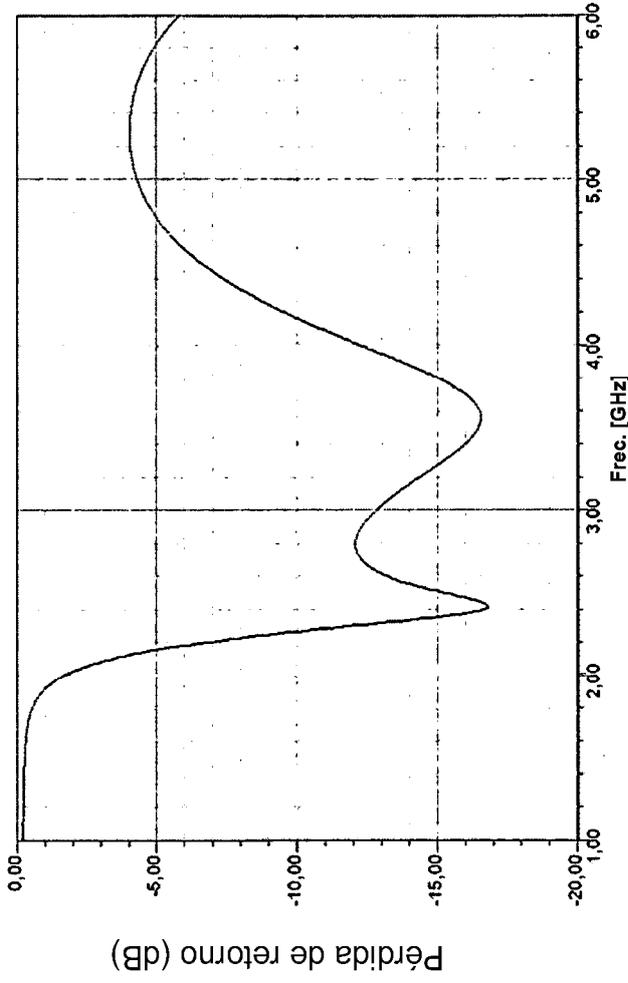


FIG. 21(a)

FIG. 21(b)



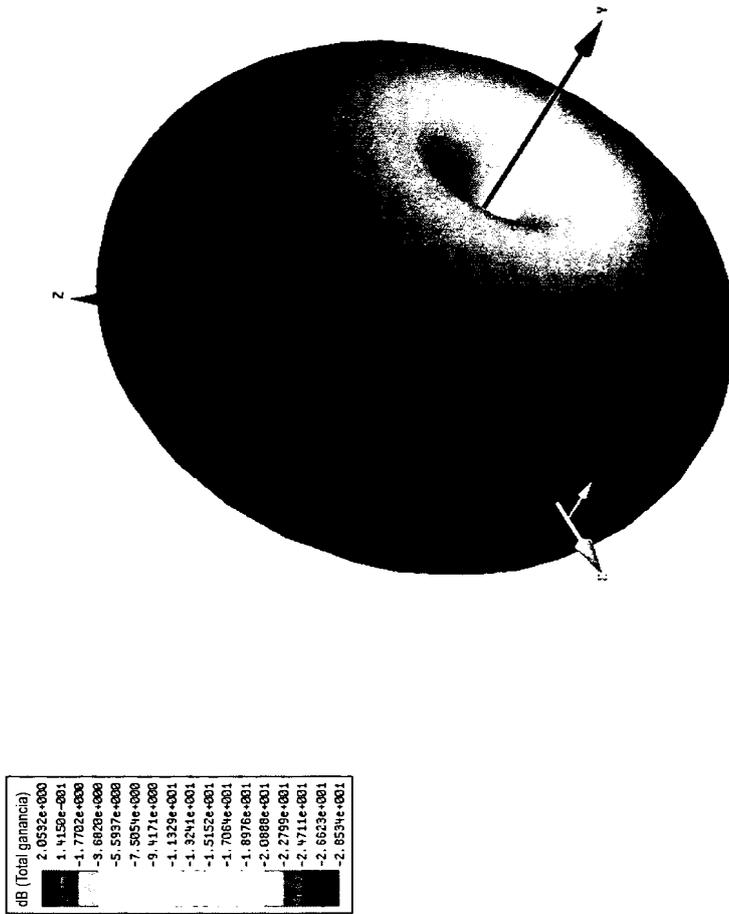


FIG. 23

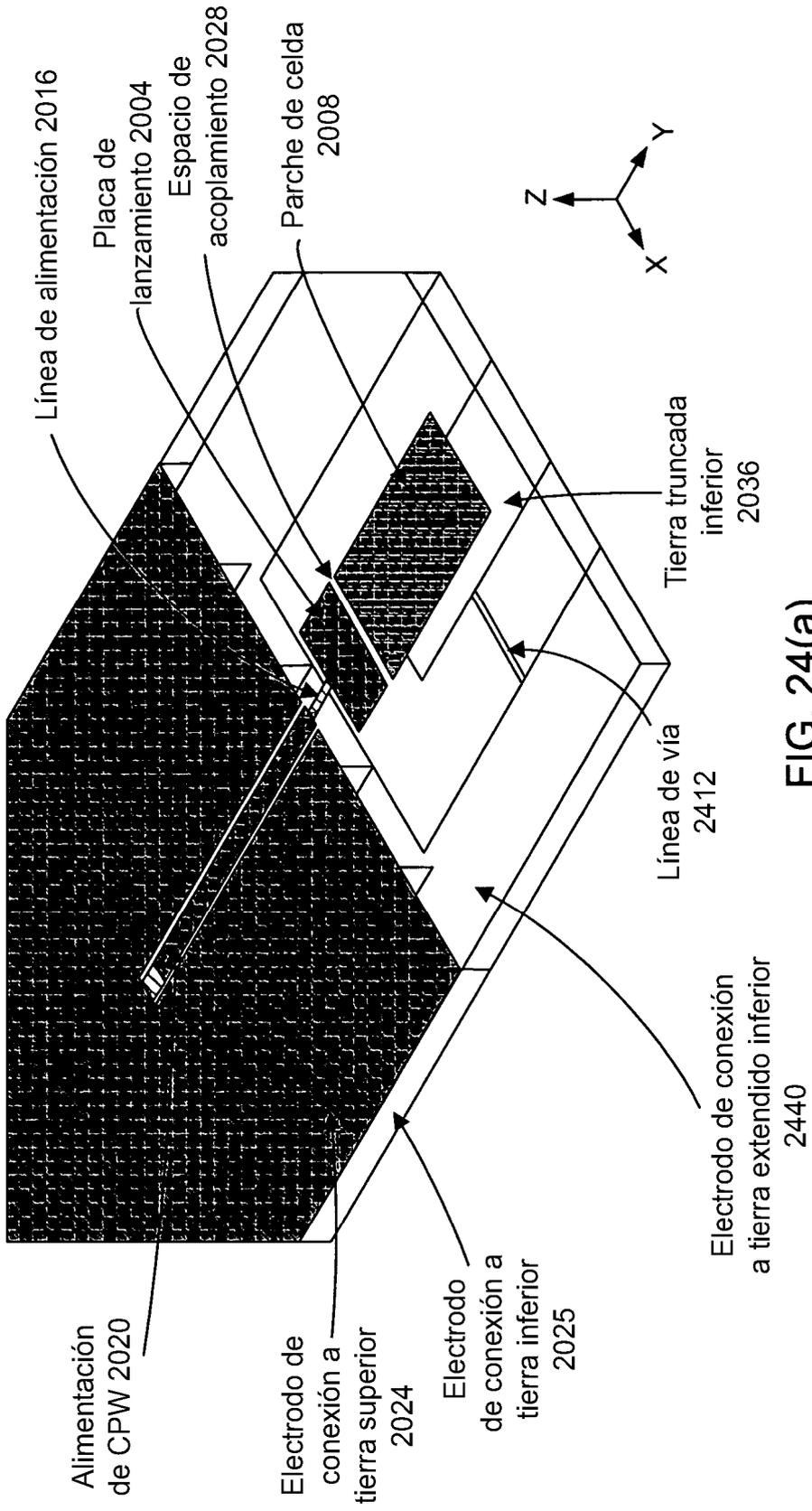


FIG. 24(a)

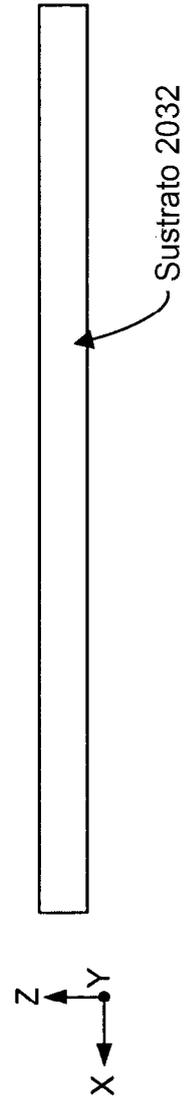


FIG. 24(b)

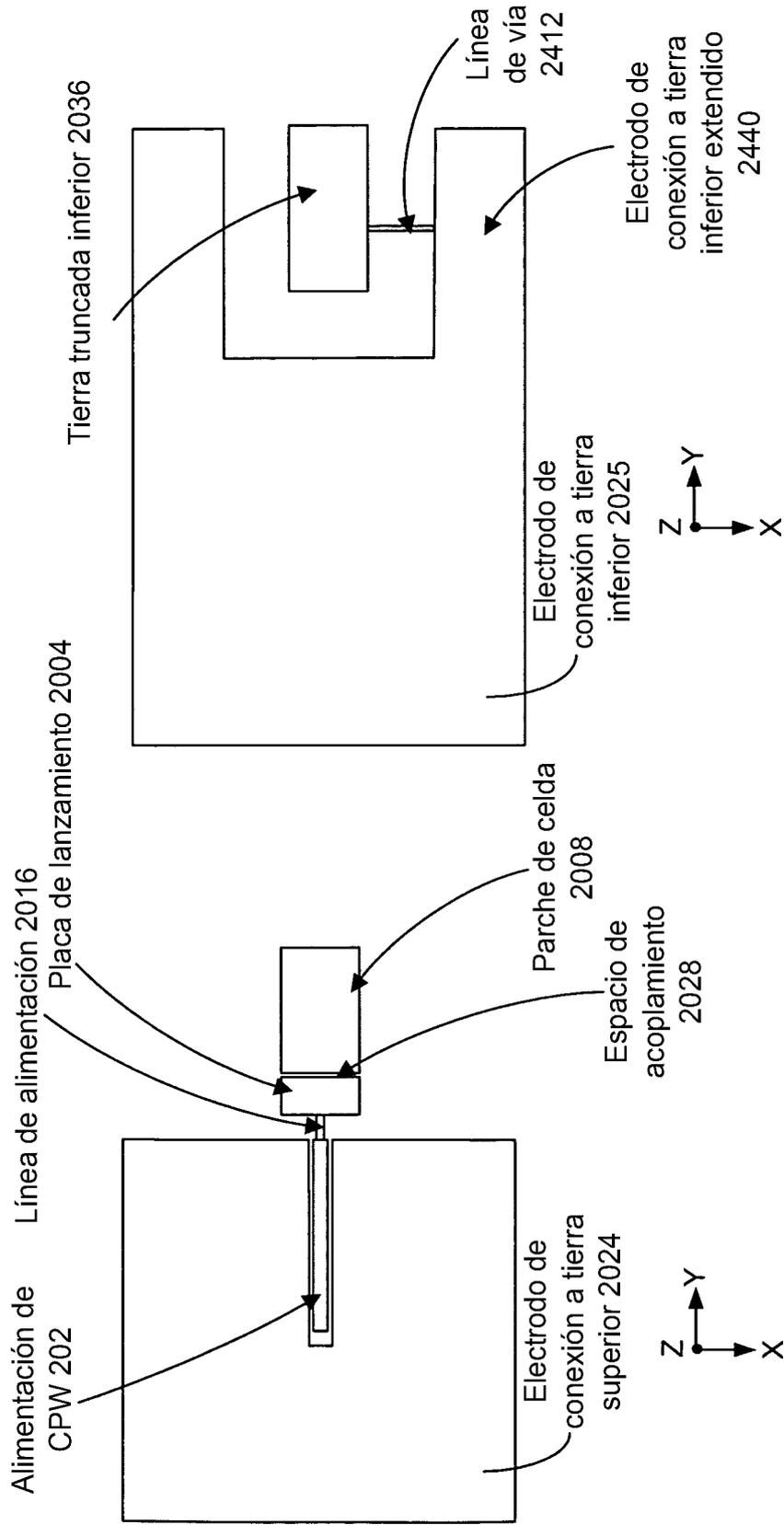


FIG. 24(c)

FIG. 24(d)

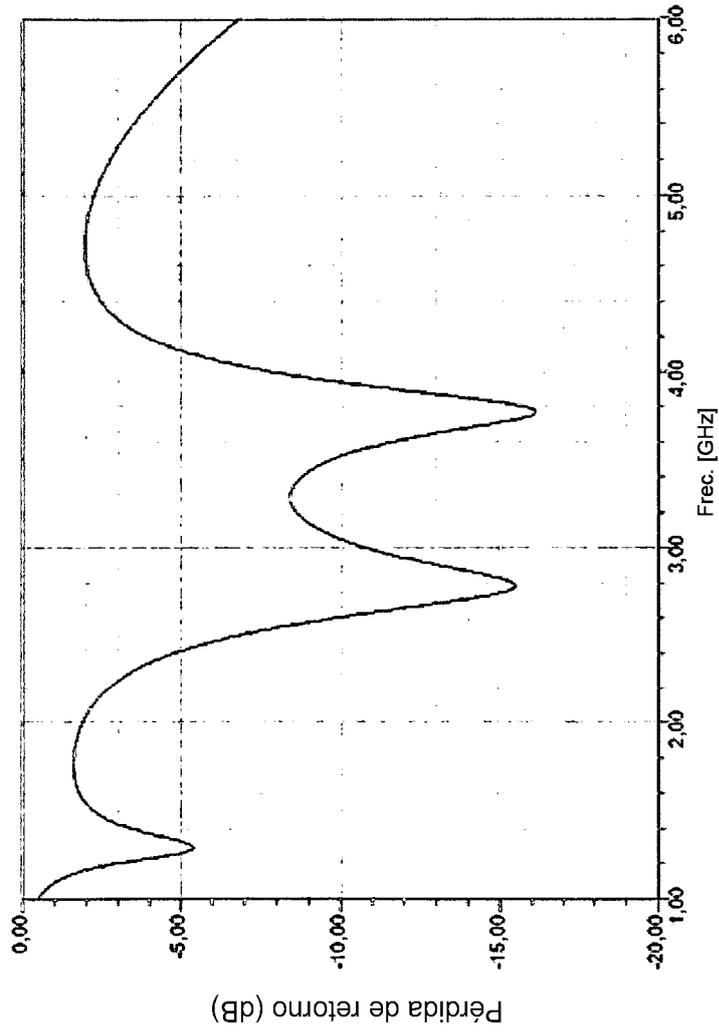


FIG. 25

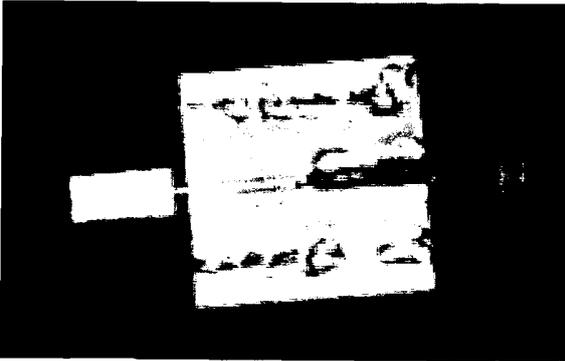


FIG. 26(a)

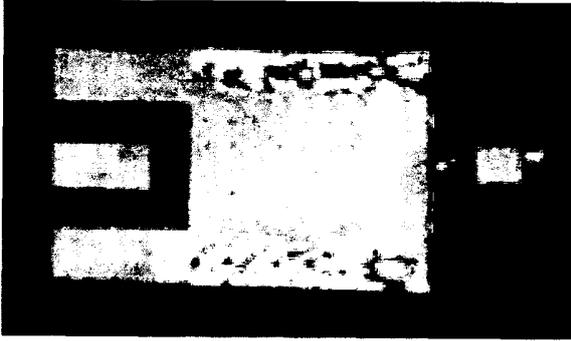


FIG. 26(b)

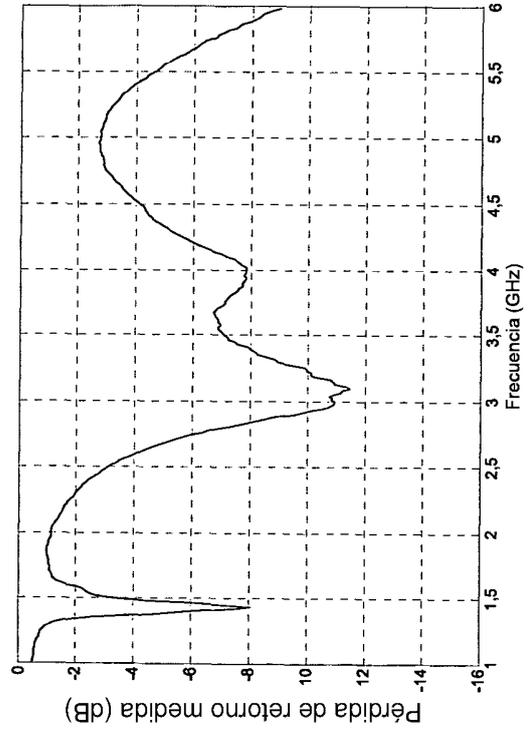


FIG. 27

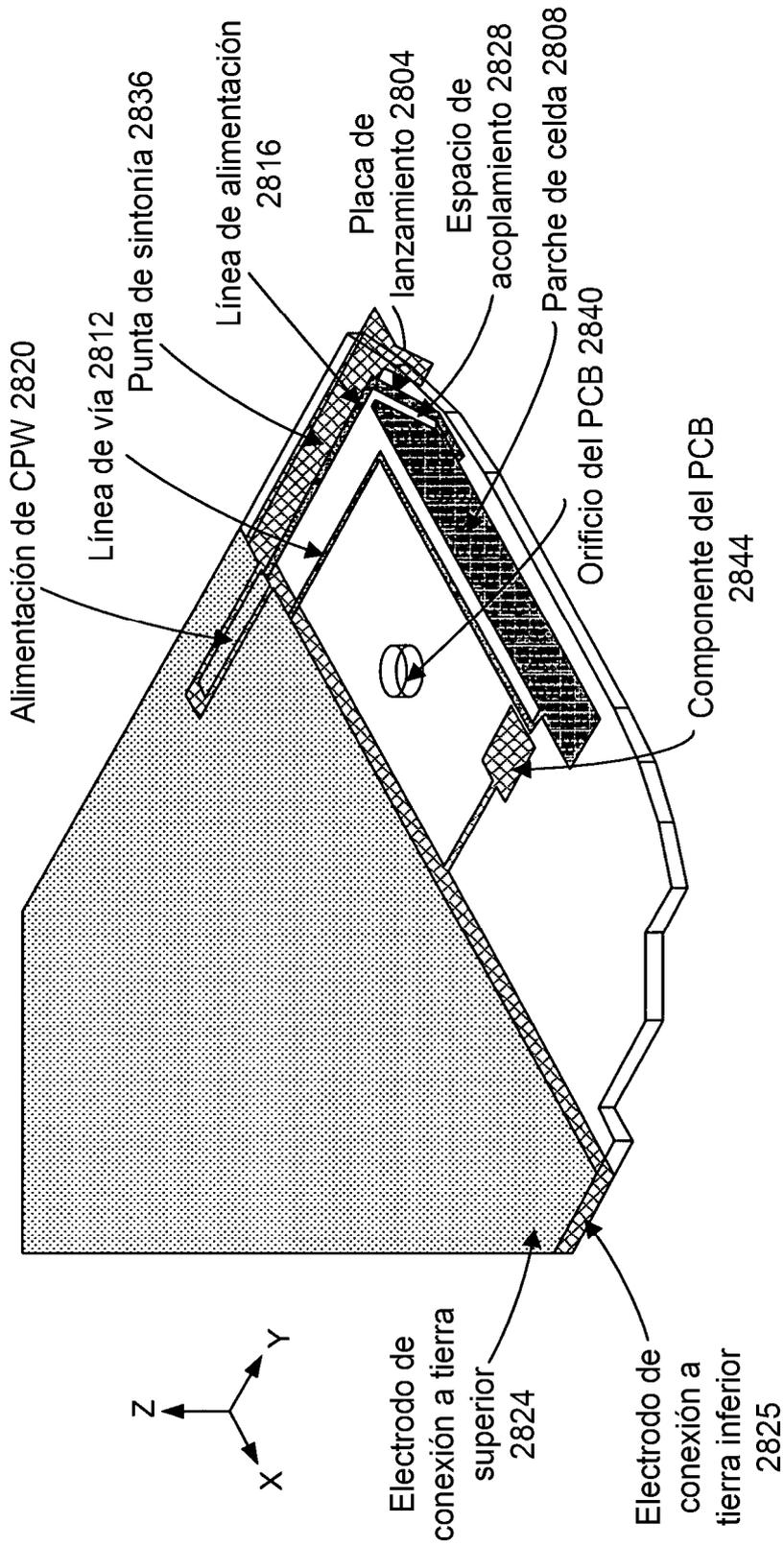


FIG. 28(a)

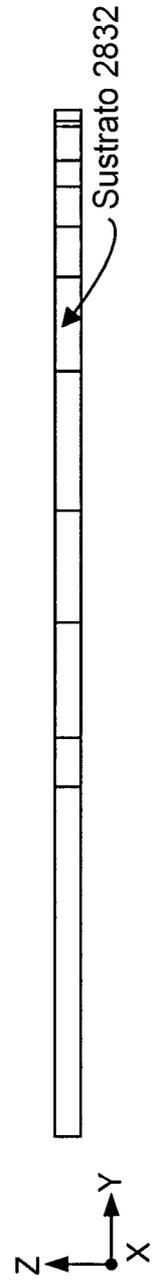


FIG. 28(b)

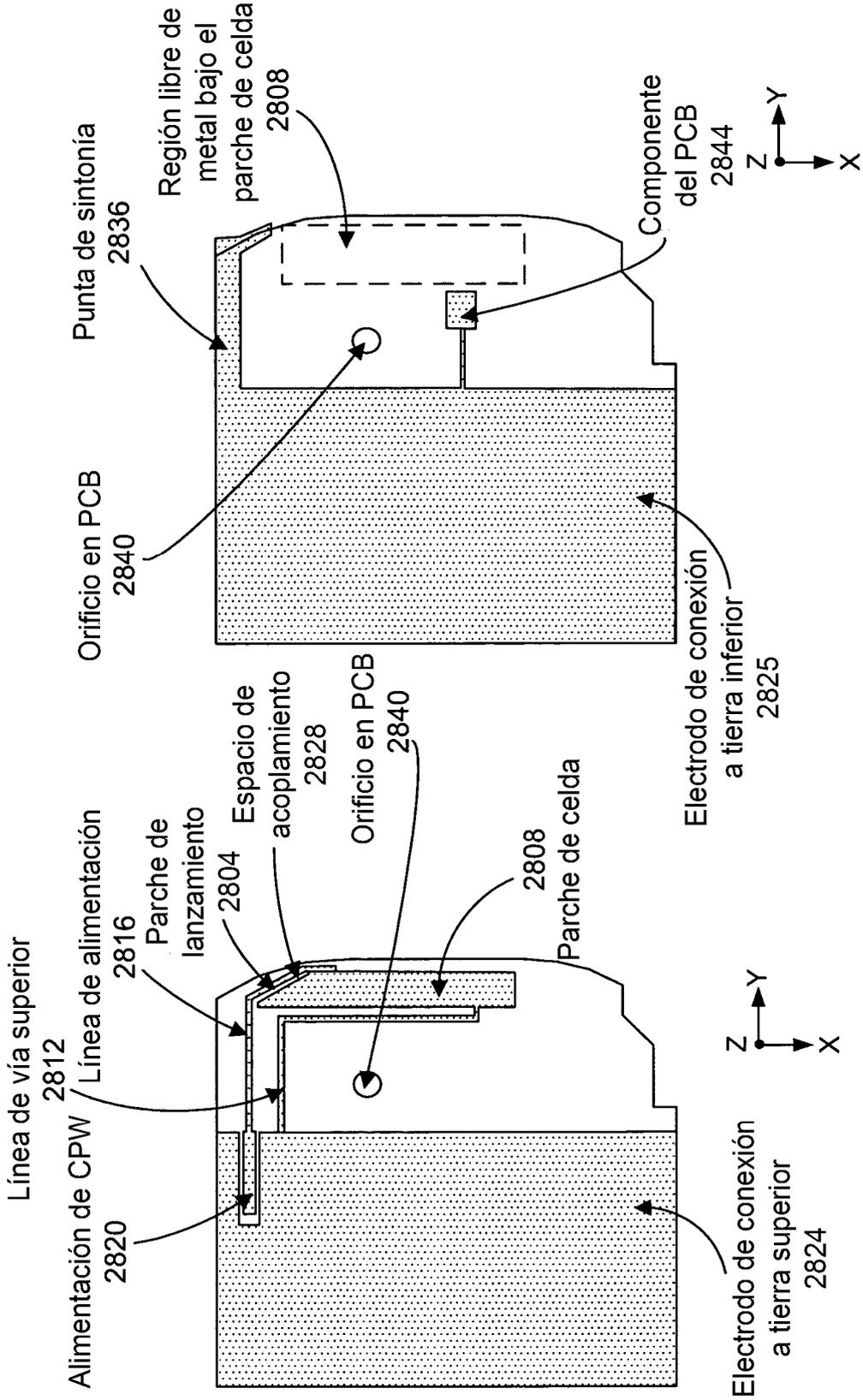


FIG. 28(d)

FIG. 28(c)

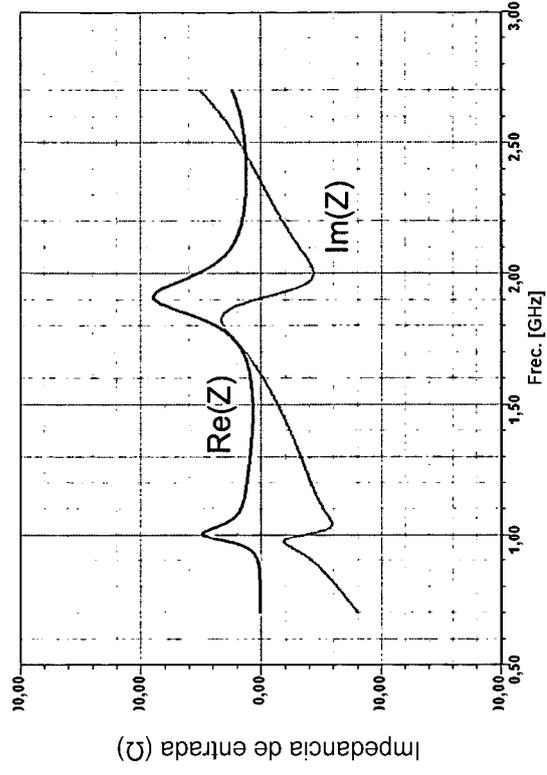


FIG. 29(b)

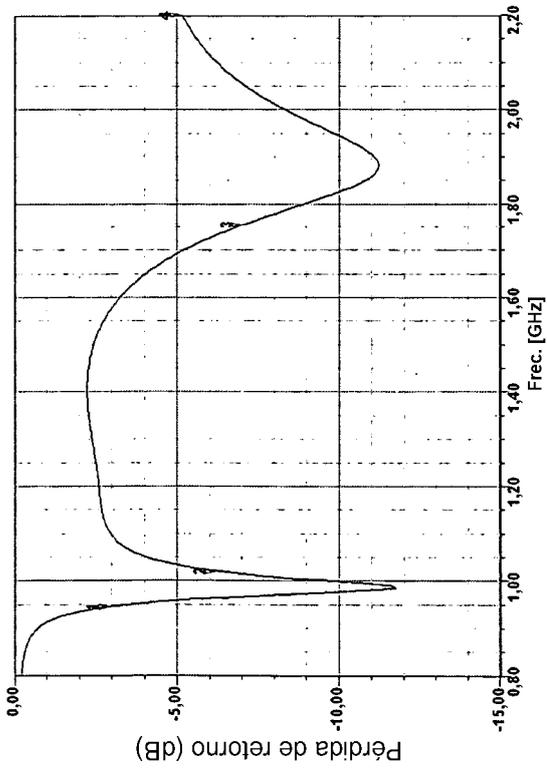


FIG. 29(a)

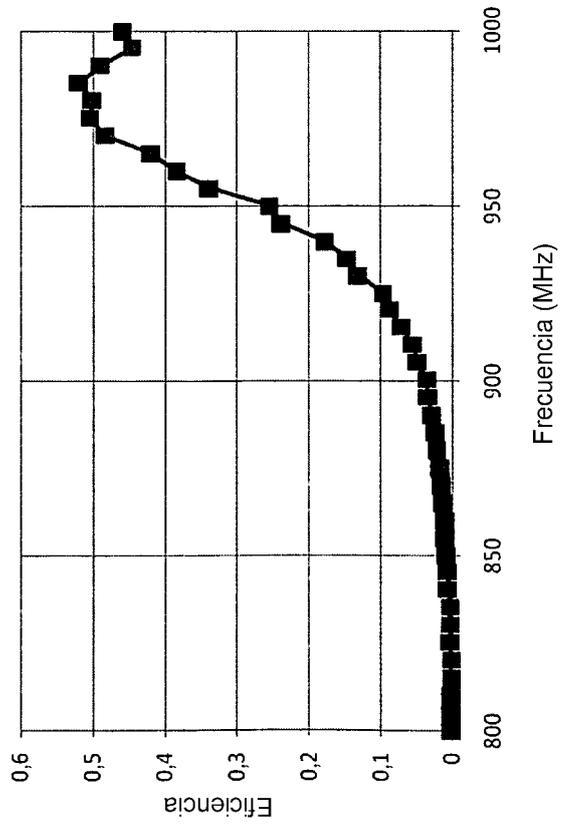


FIG. 30(a)

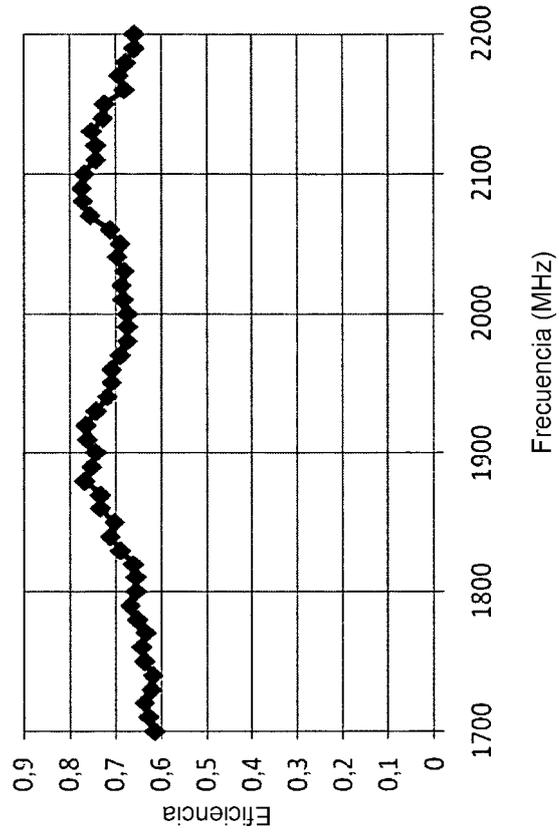


FIG. 30(b)

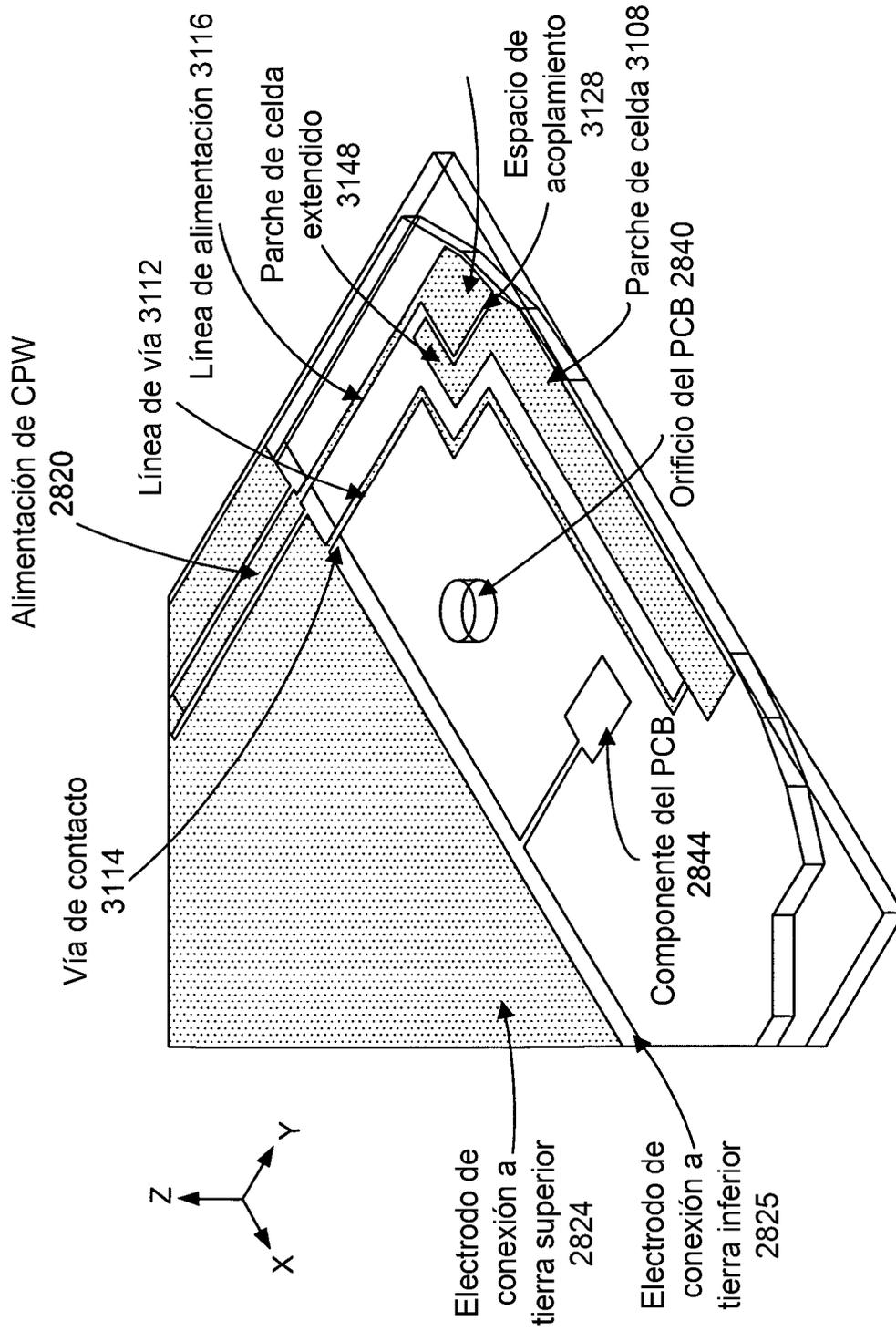


FIG. 31

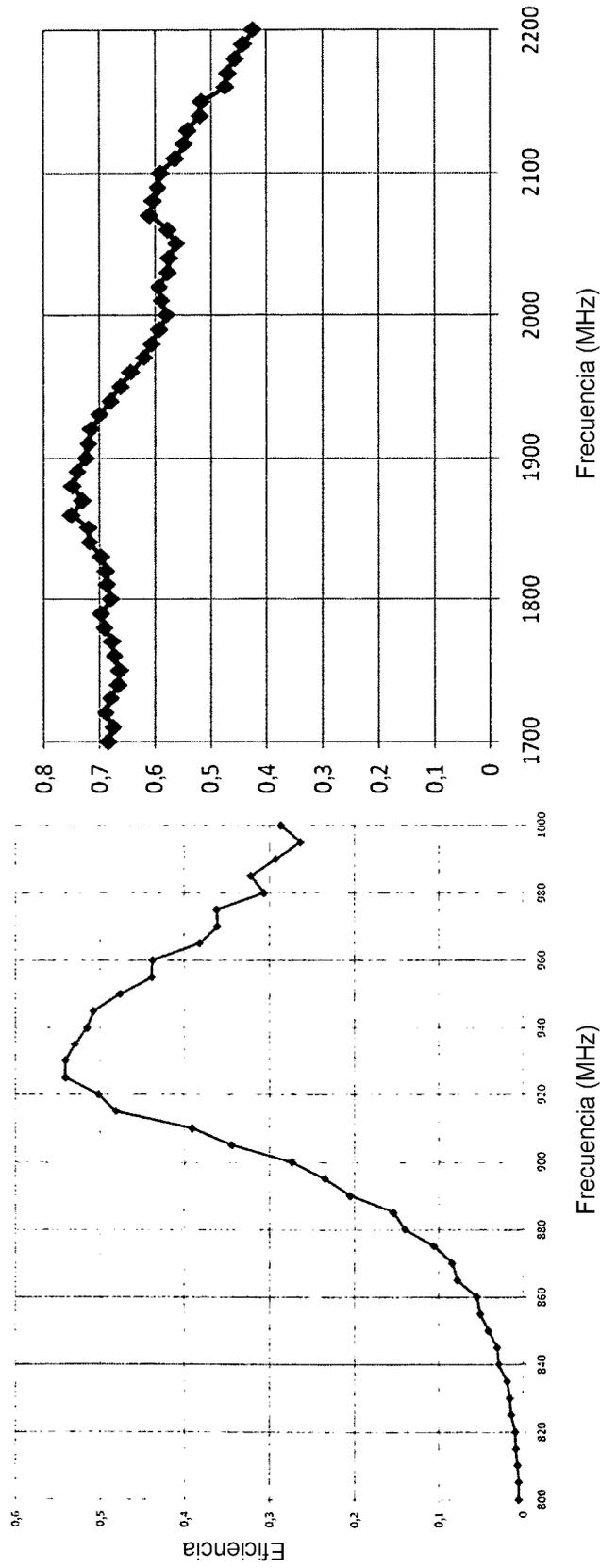


FIG. 32(a)

FIG. 32(b)

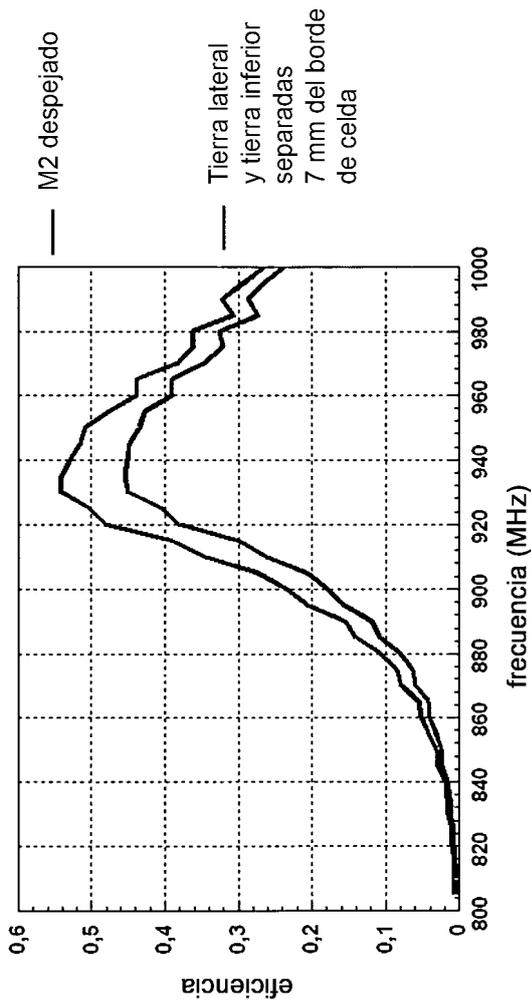


FIG. 33(a)

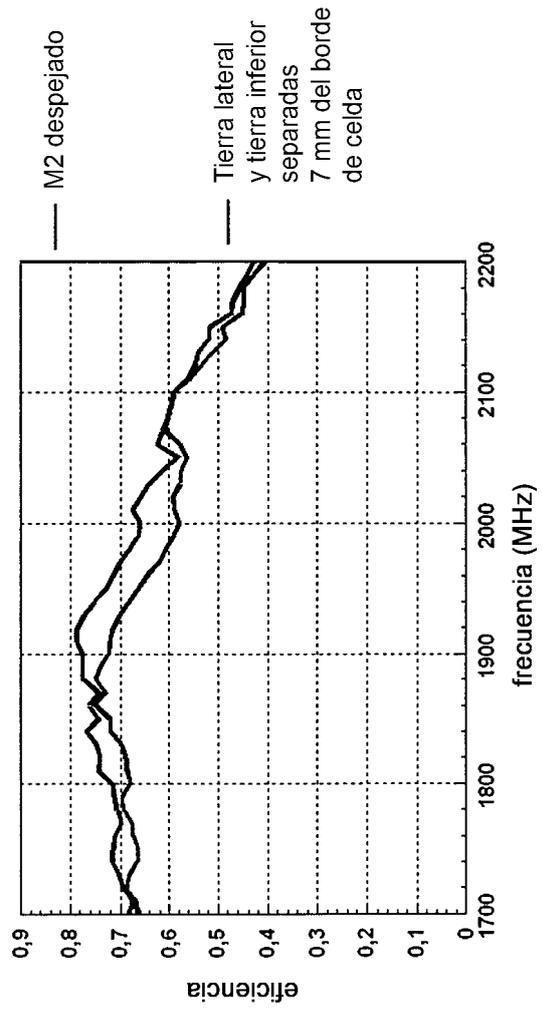


FIG. 33(b)

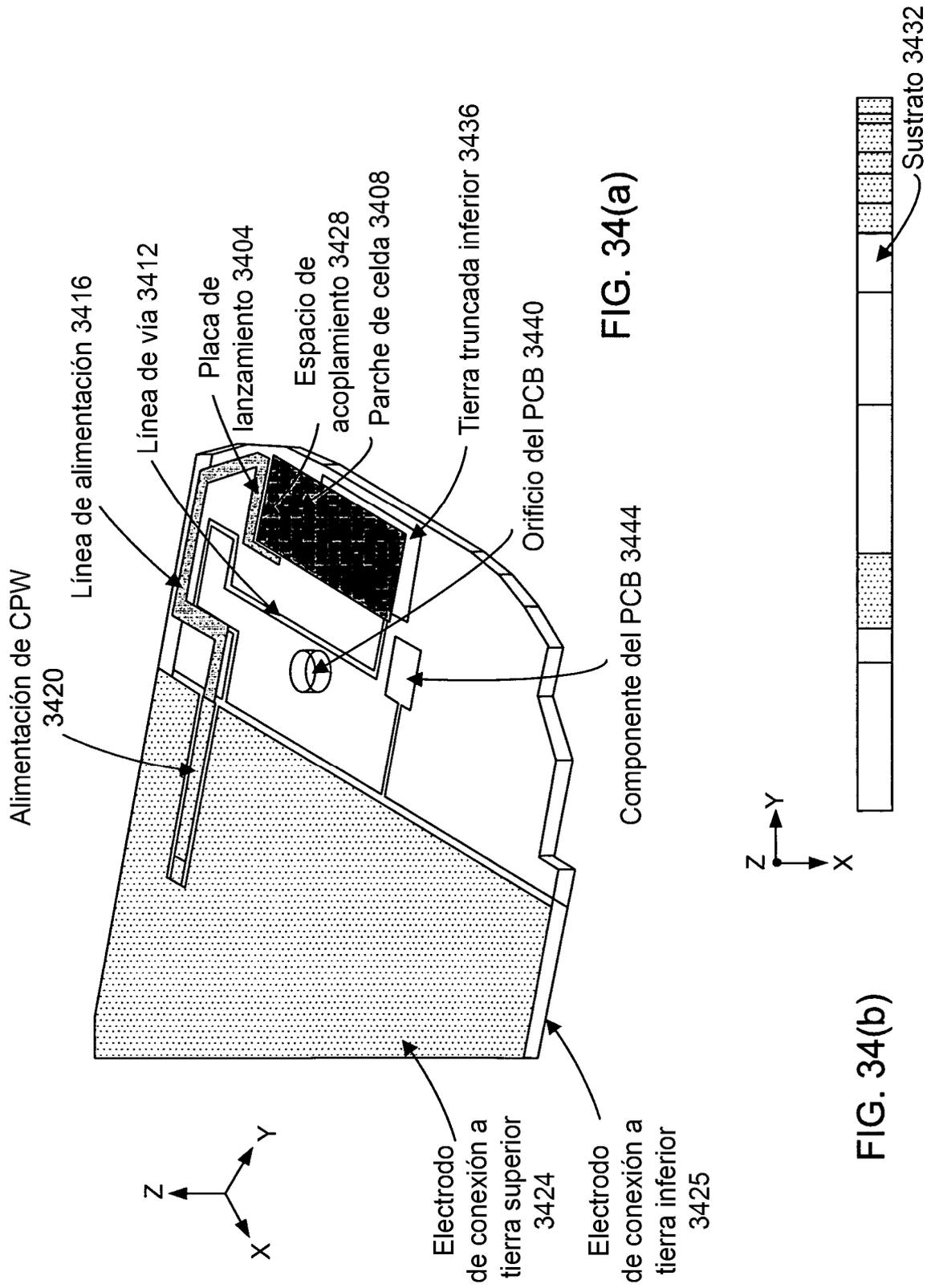


FIG. 34(a)

FIG. 34(b)

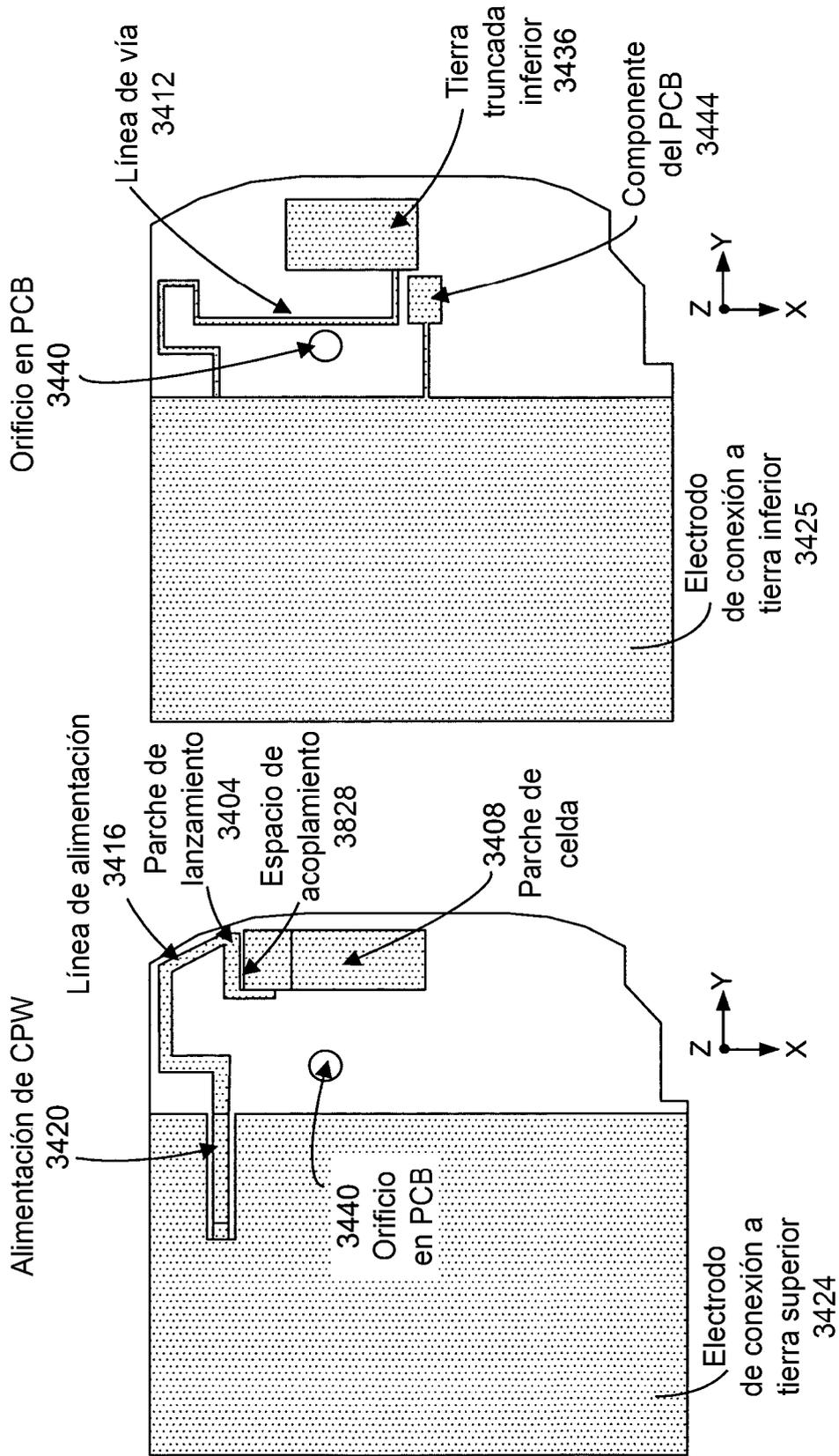


FIG. 34(d)

FIG. 34(c)

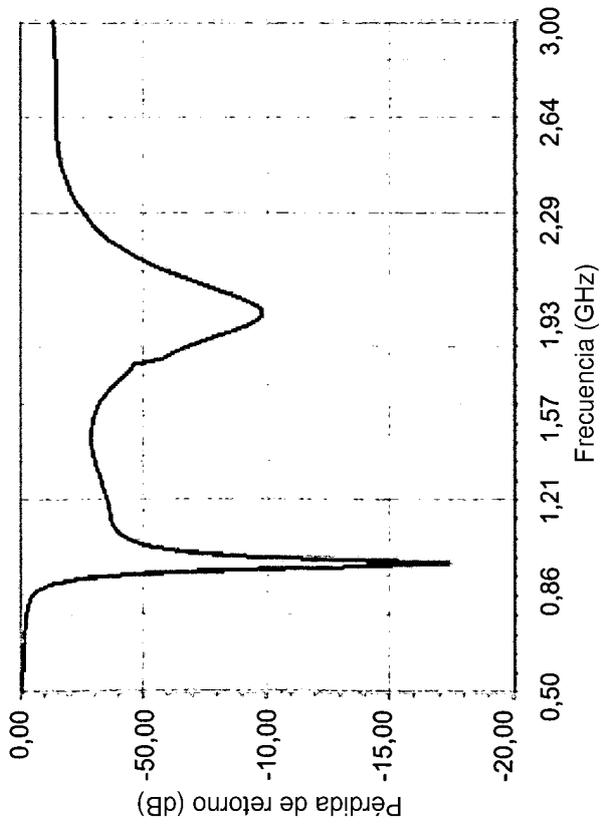


FIG. 35(a)

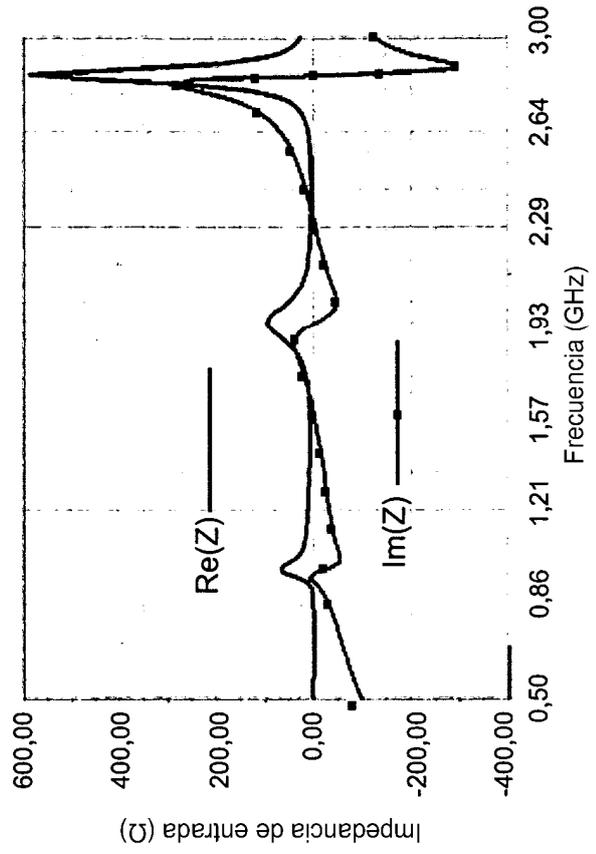
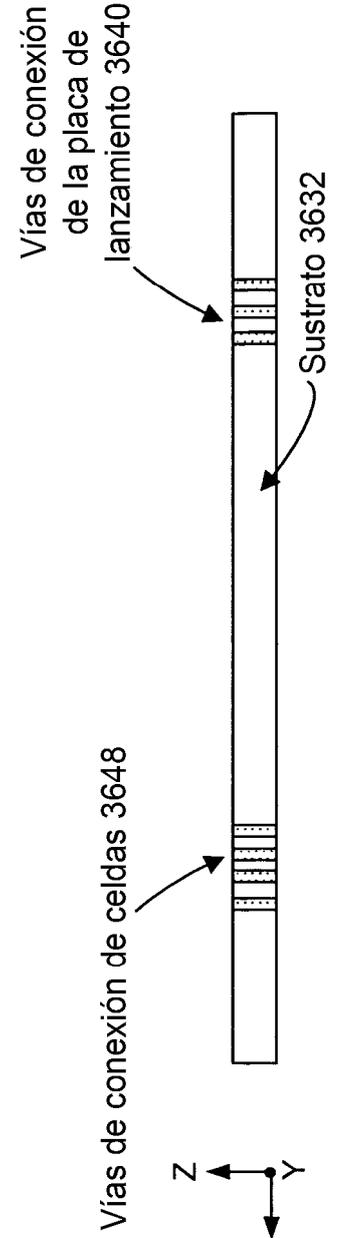
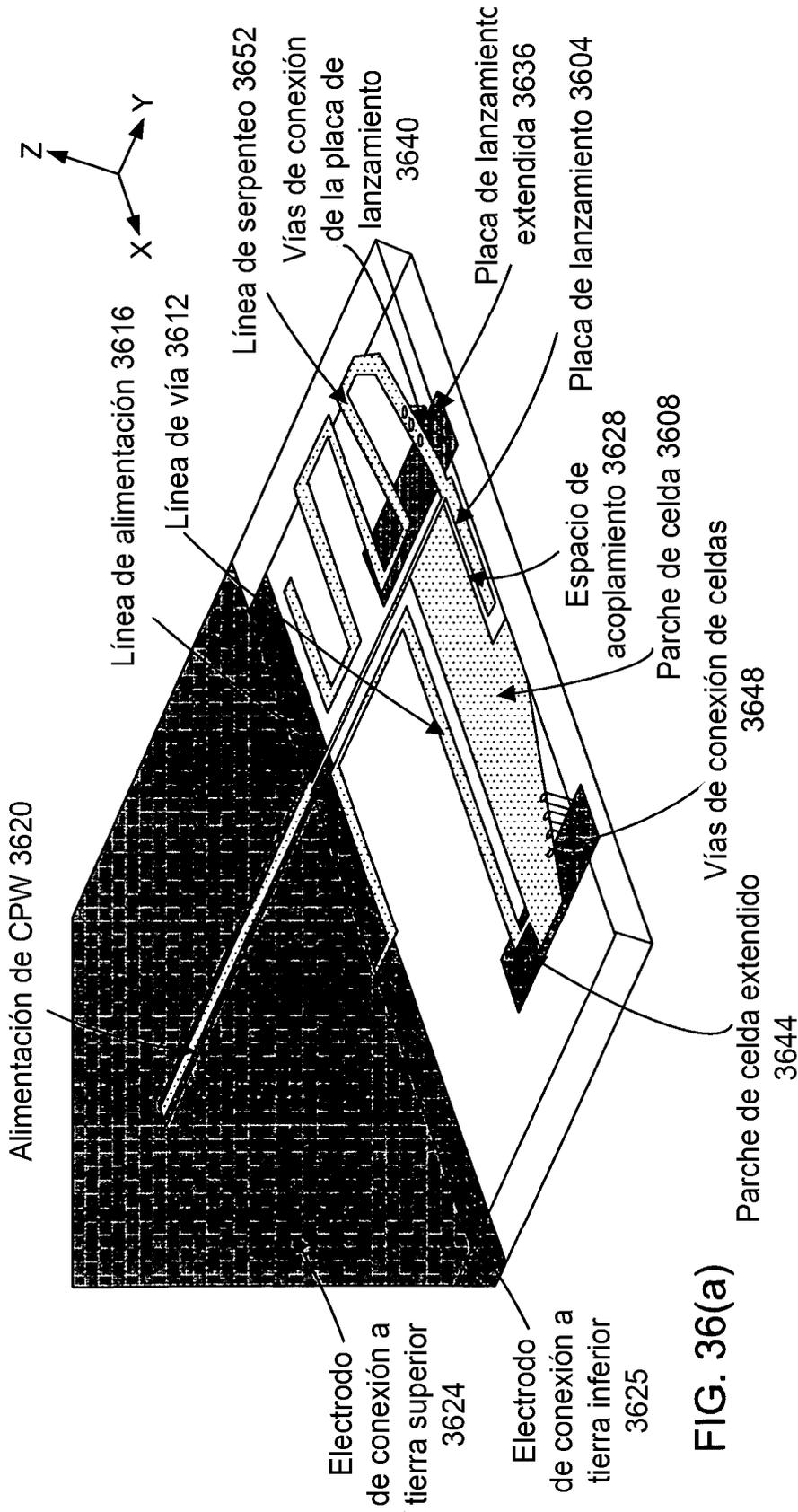


FIG. 35(b)



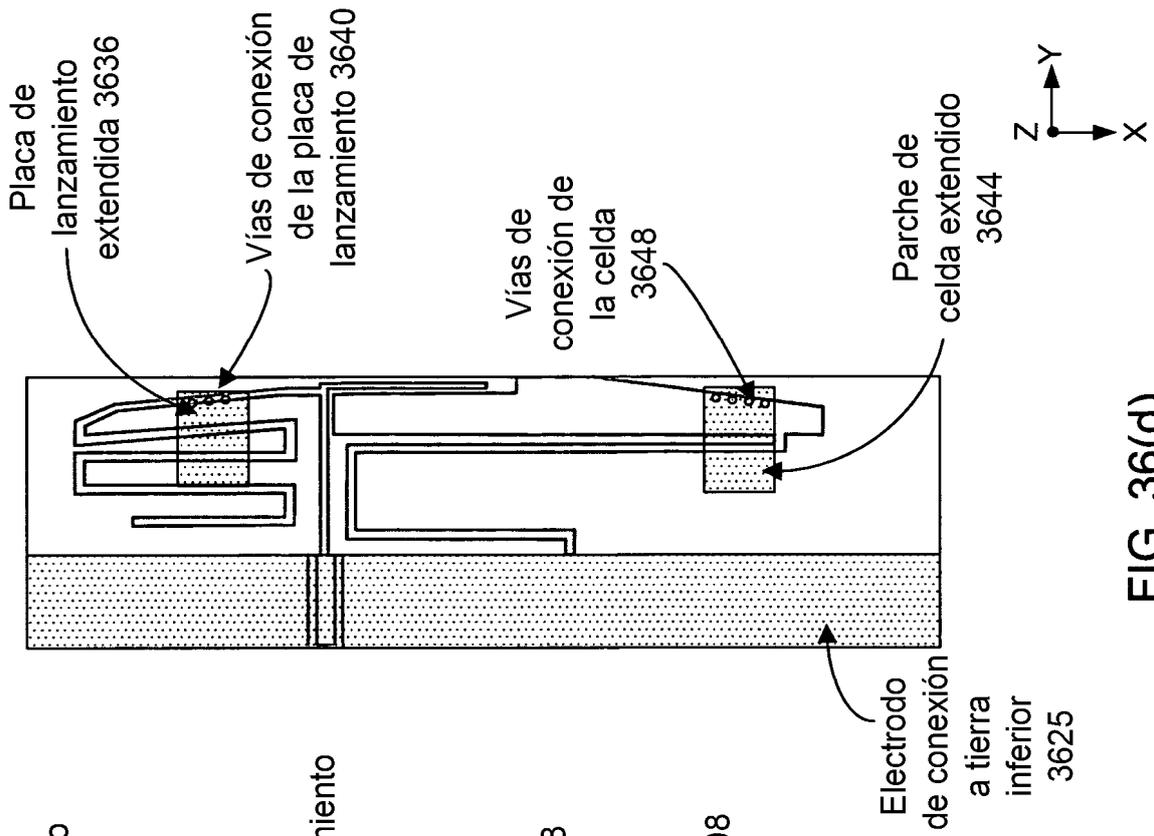


FIG. 36(c)

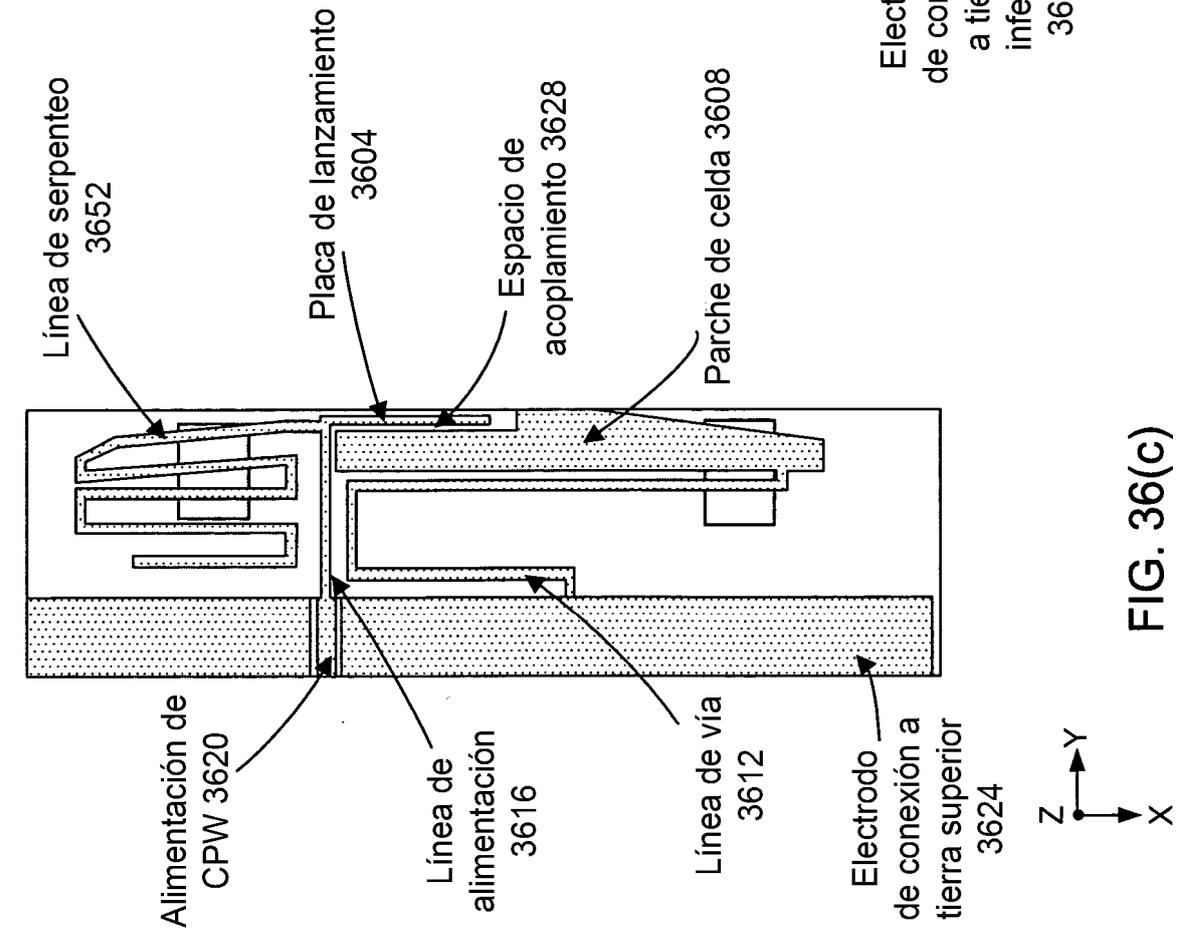


FIG. 36(d)

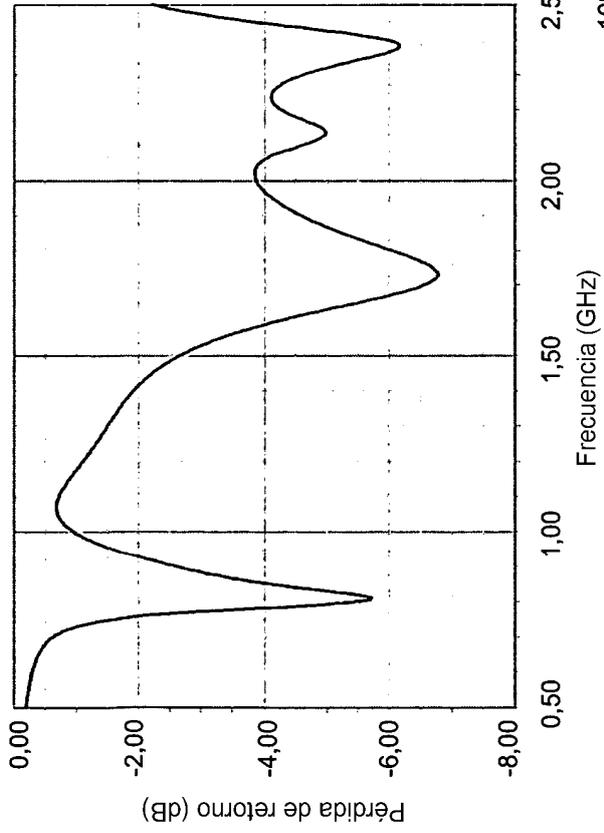


FIG. 37(a)

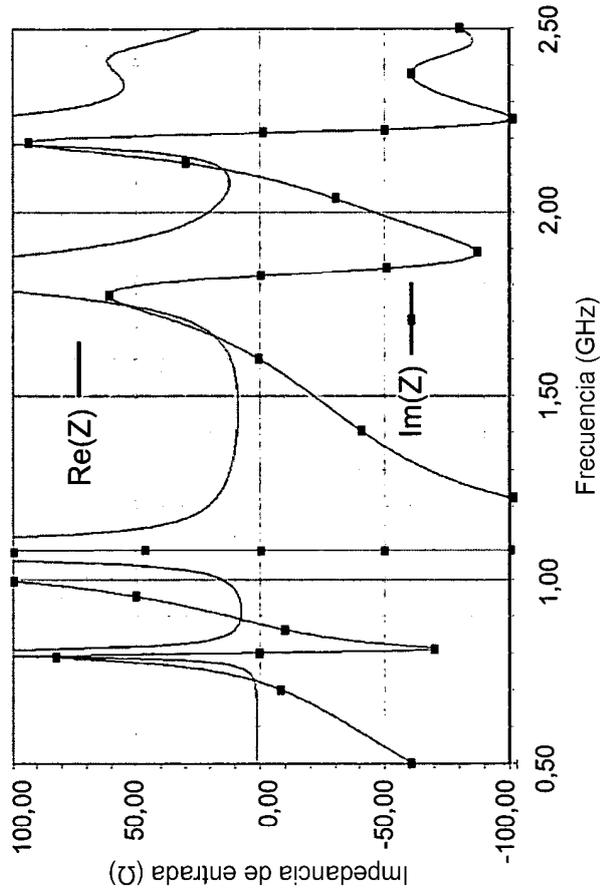


FIG. 37(b)

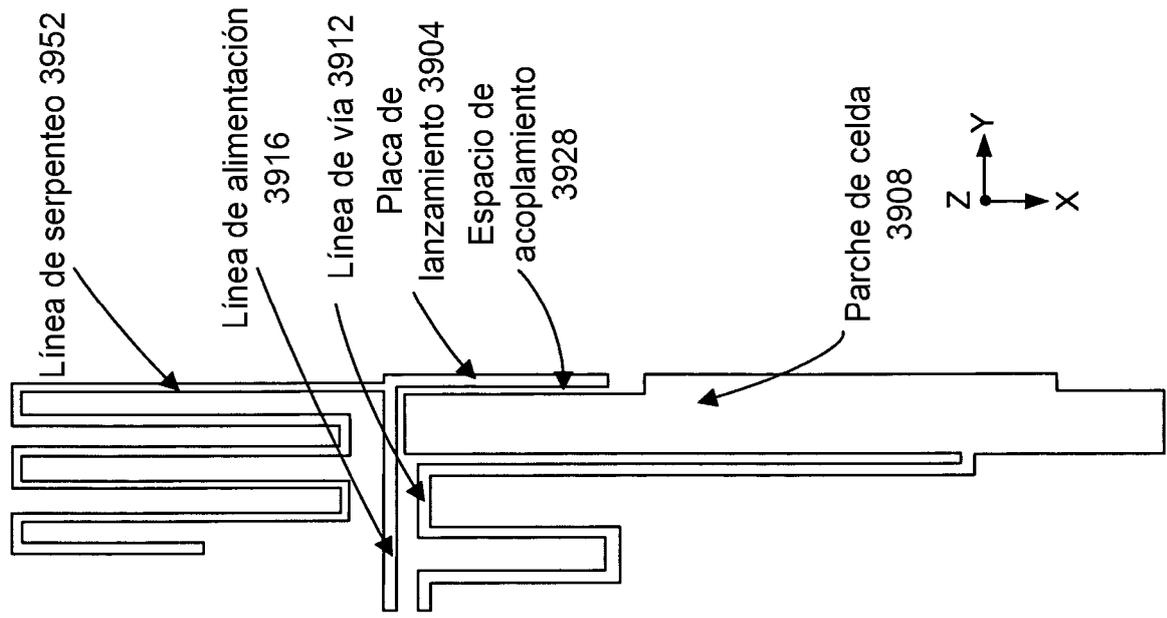


FIG. 39

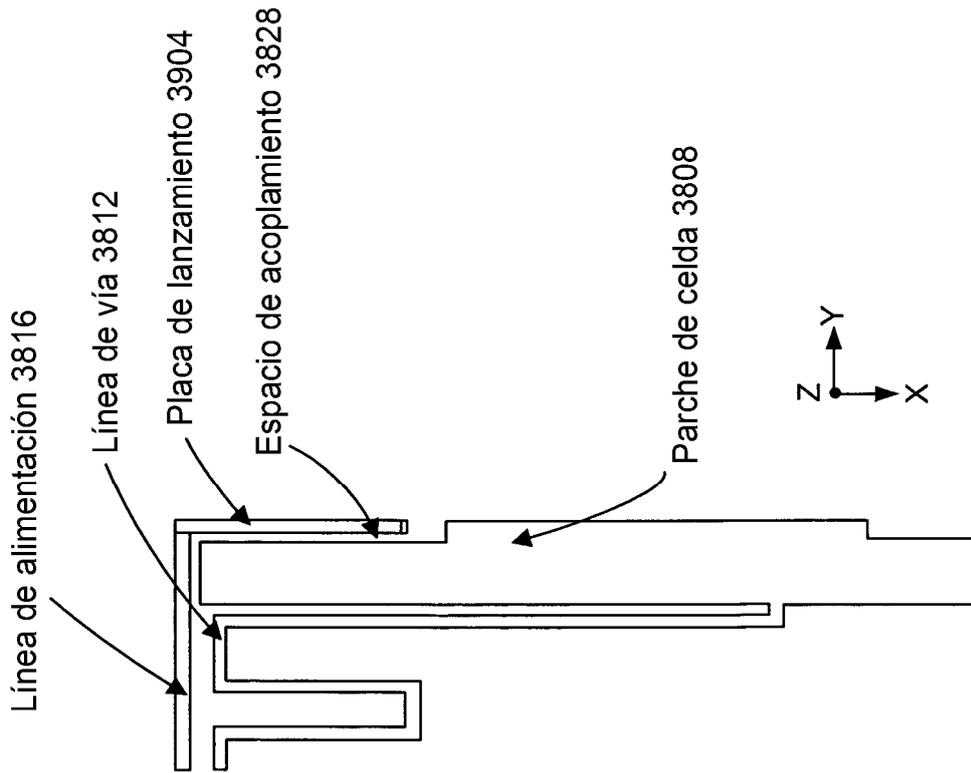


FIG. 38

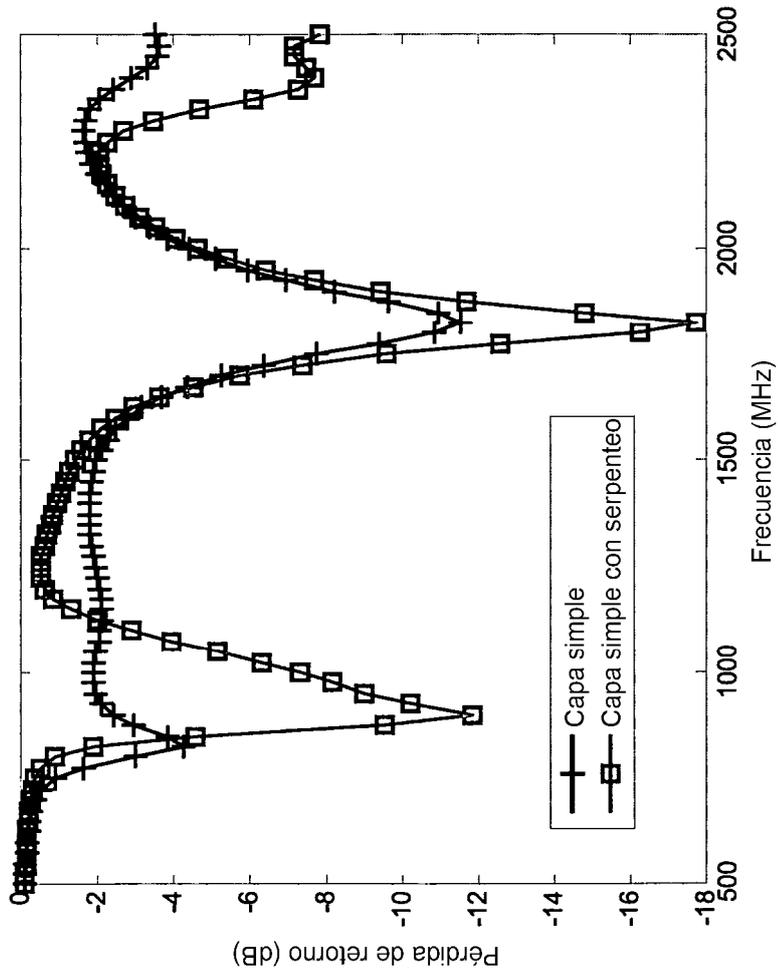


FIG. 40

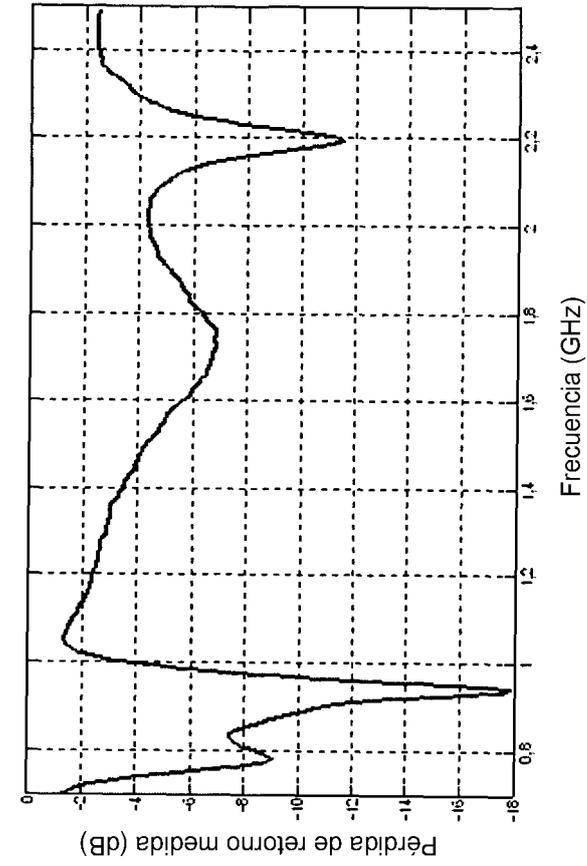


FIG. 42



FIG. 41

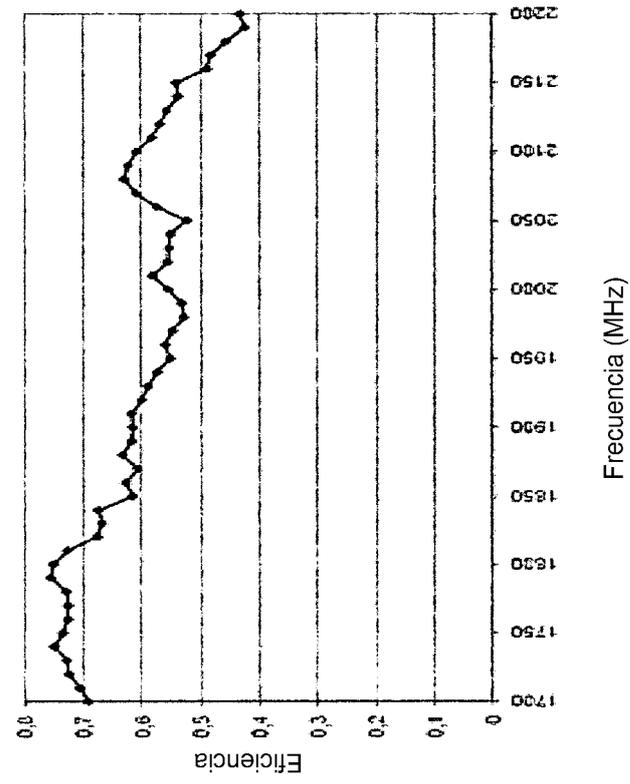


FIG. 43(a)

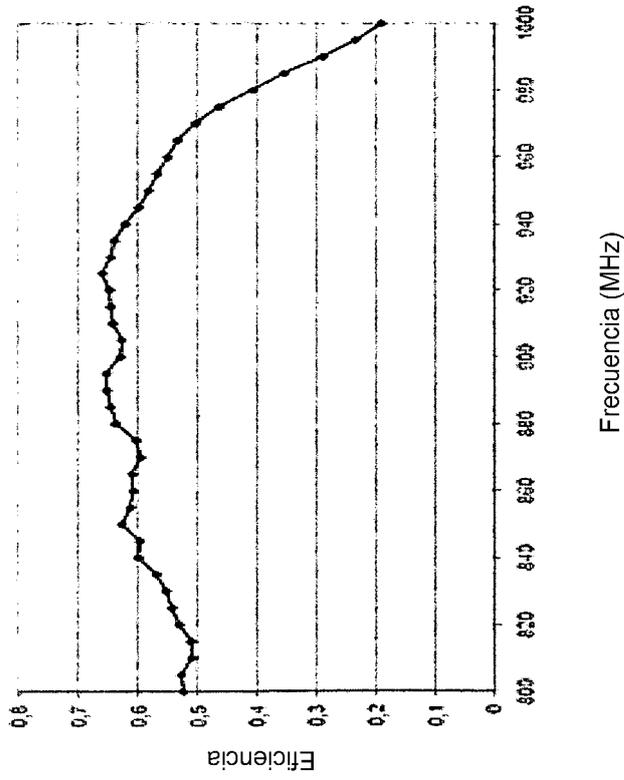


FIG. 43(b)

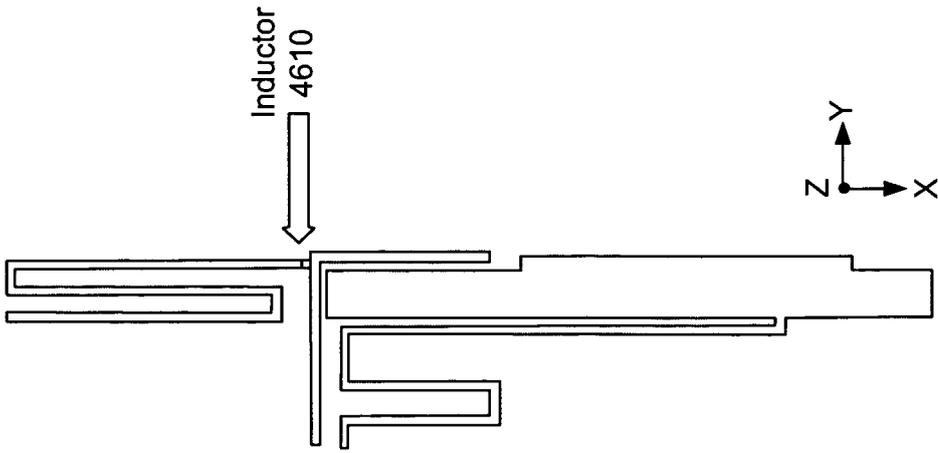


FIG. 46

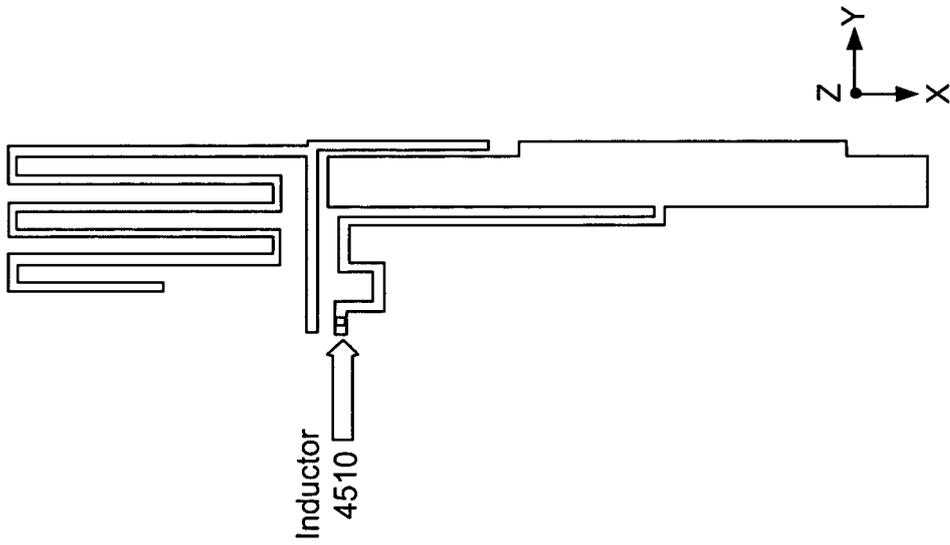


FIG. 45

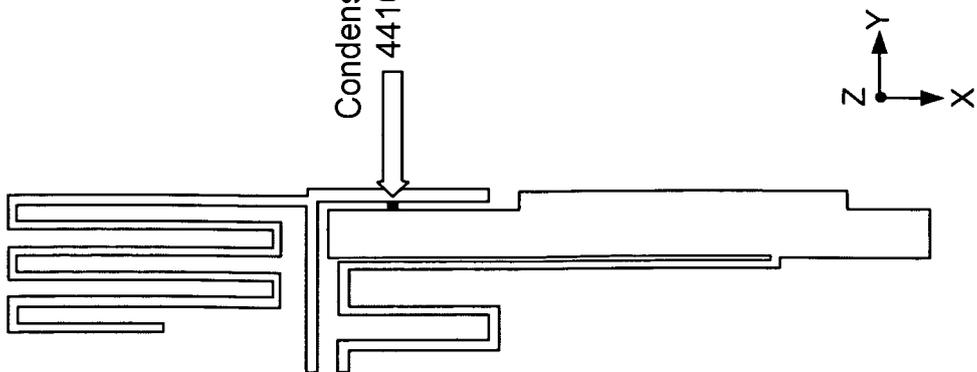


FIG. 44

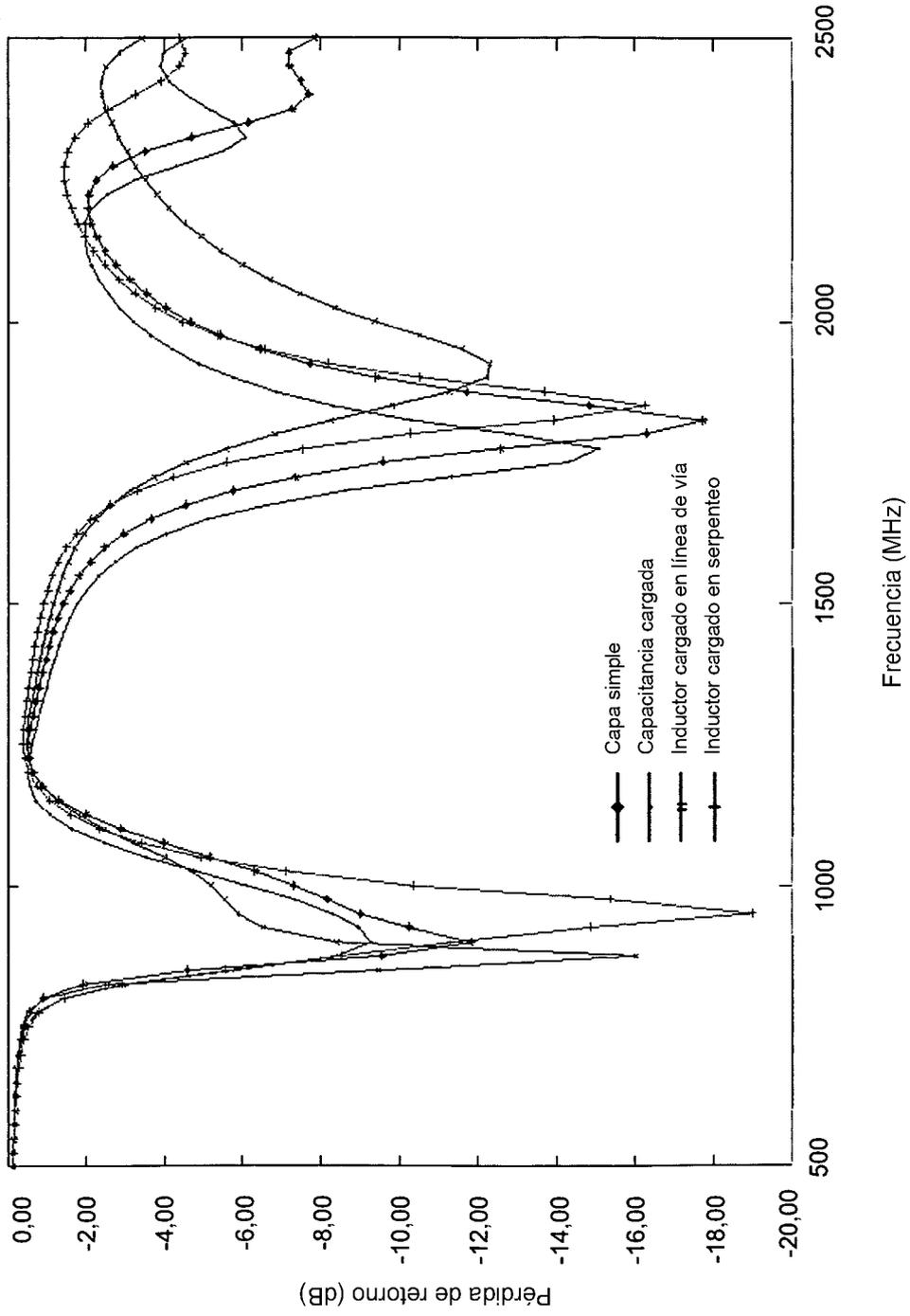


FIG. 47

■ ■ ■ ■

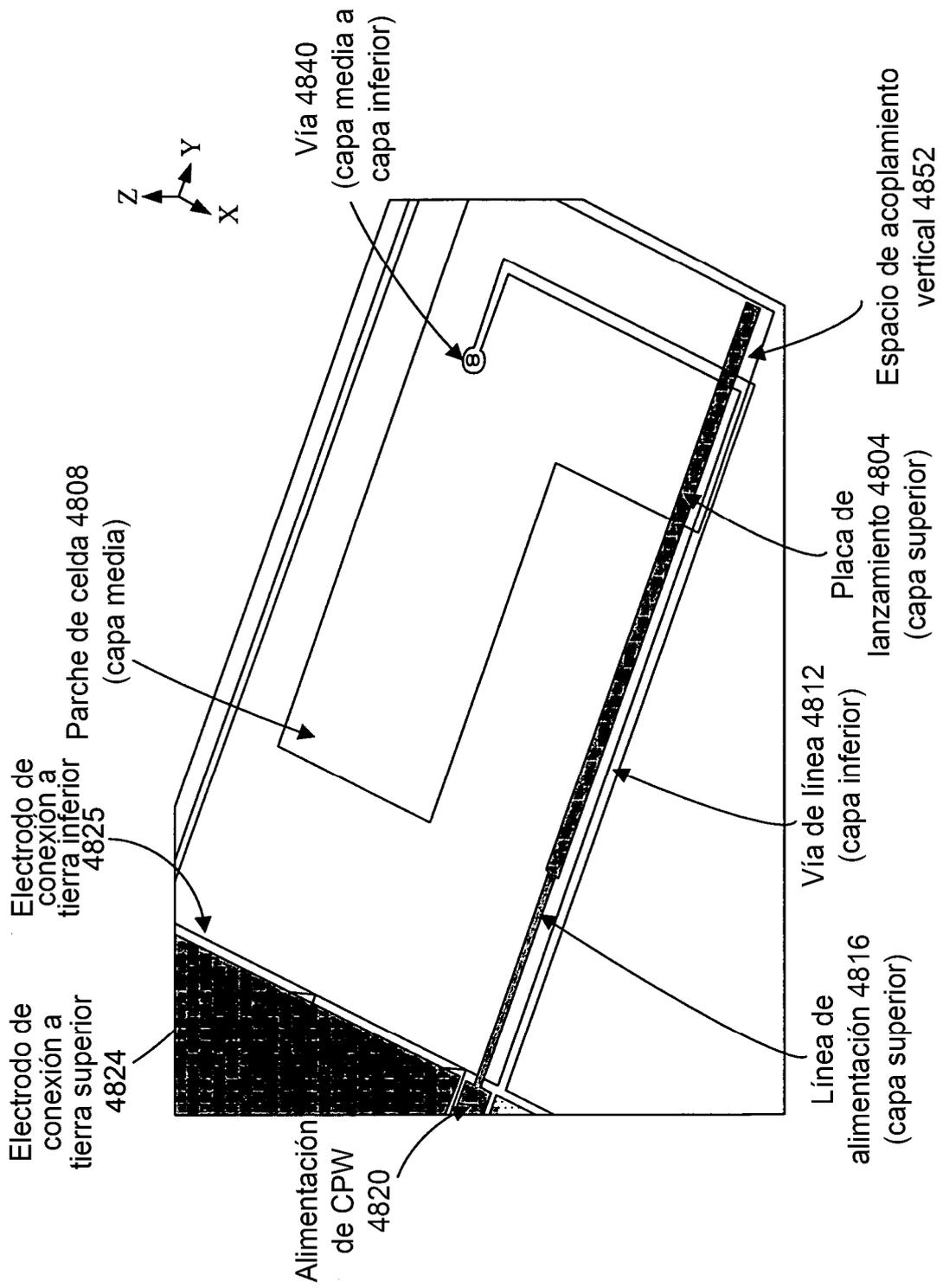


FIG. 48(a)

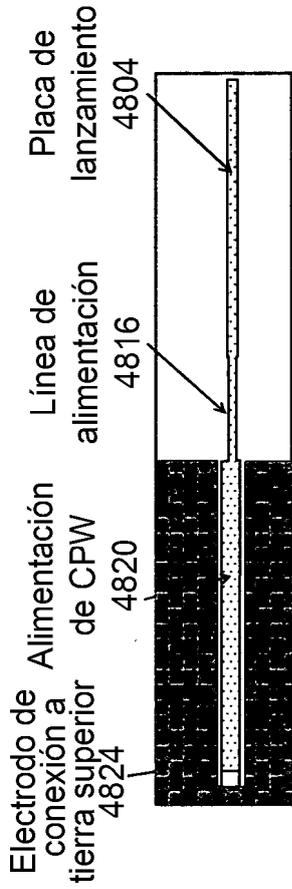


FIG. 48(b)

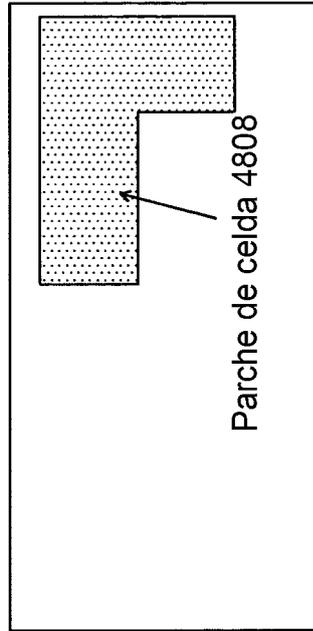


FIG. 48(c)

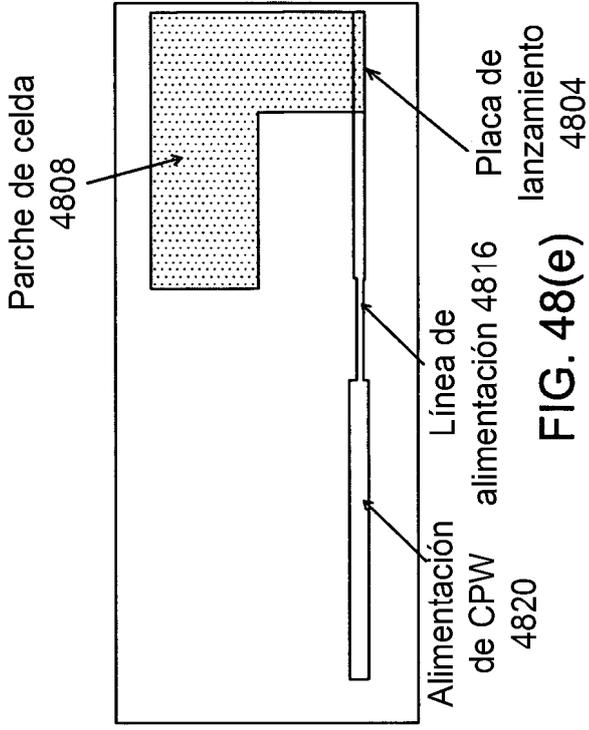


FIG. 48(e)

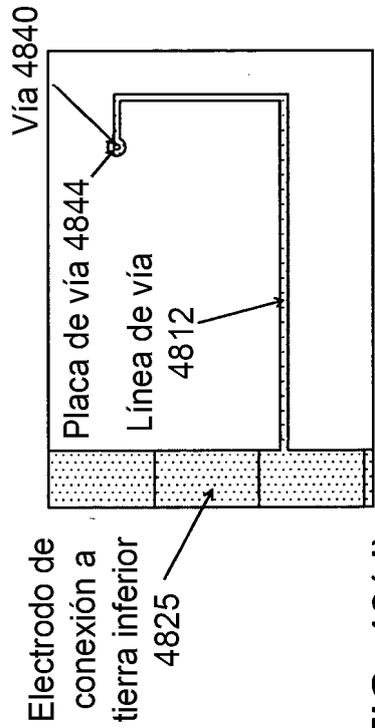


FIG. 48(d)

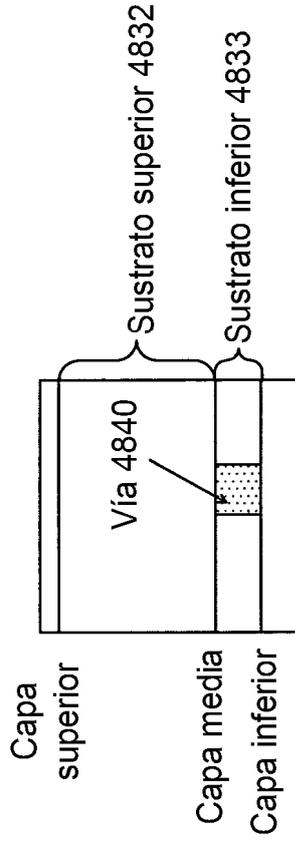


FIG. 48(f)

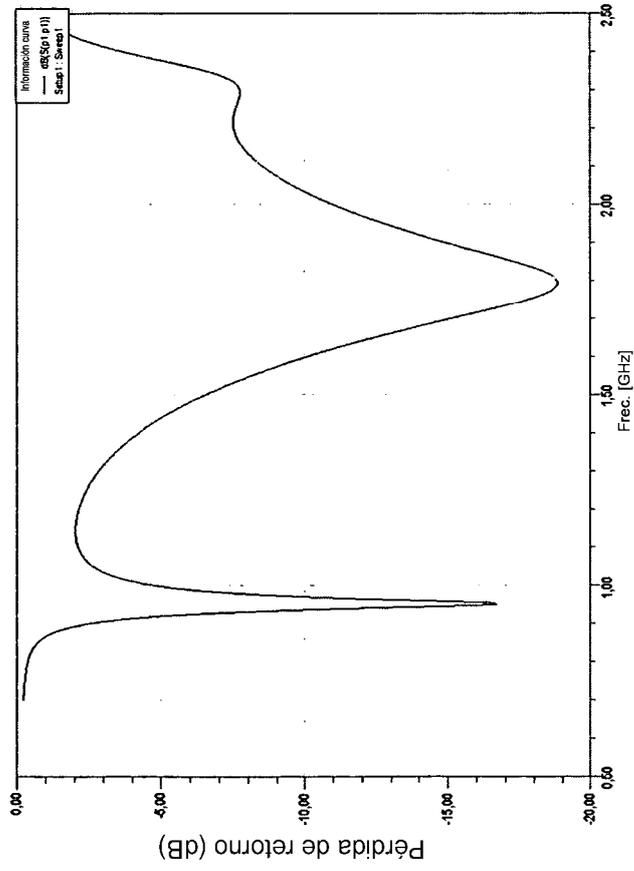


FIG. 49(a)

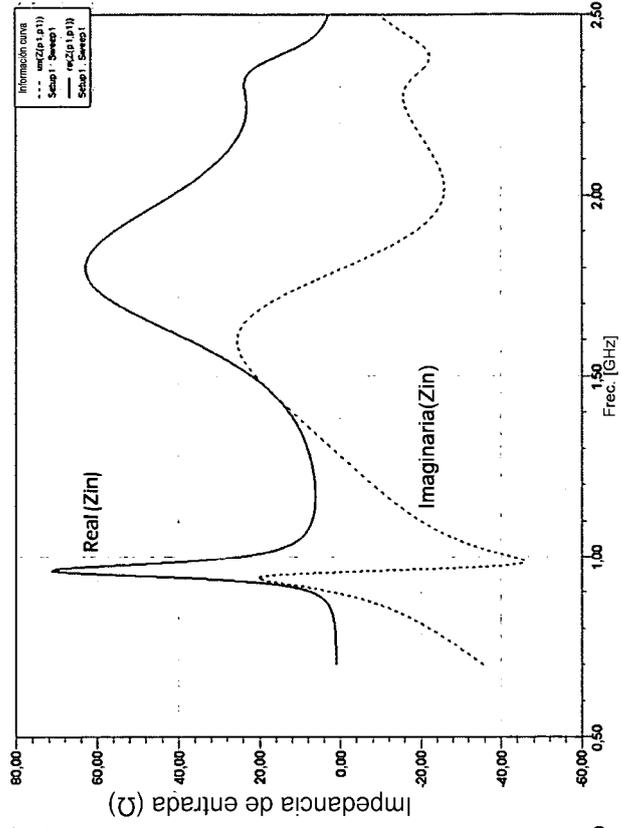


FIG. 49(b)

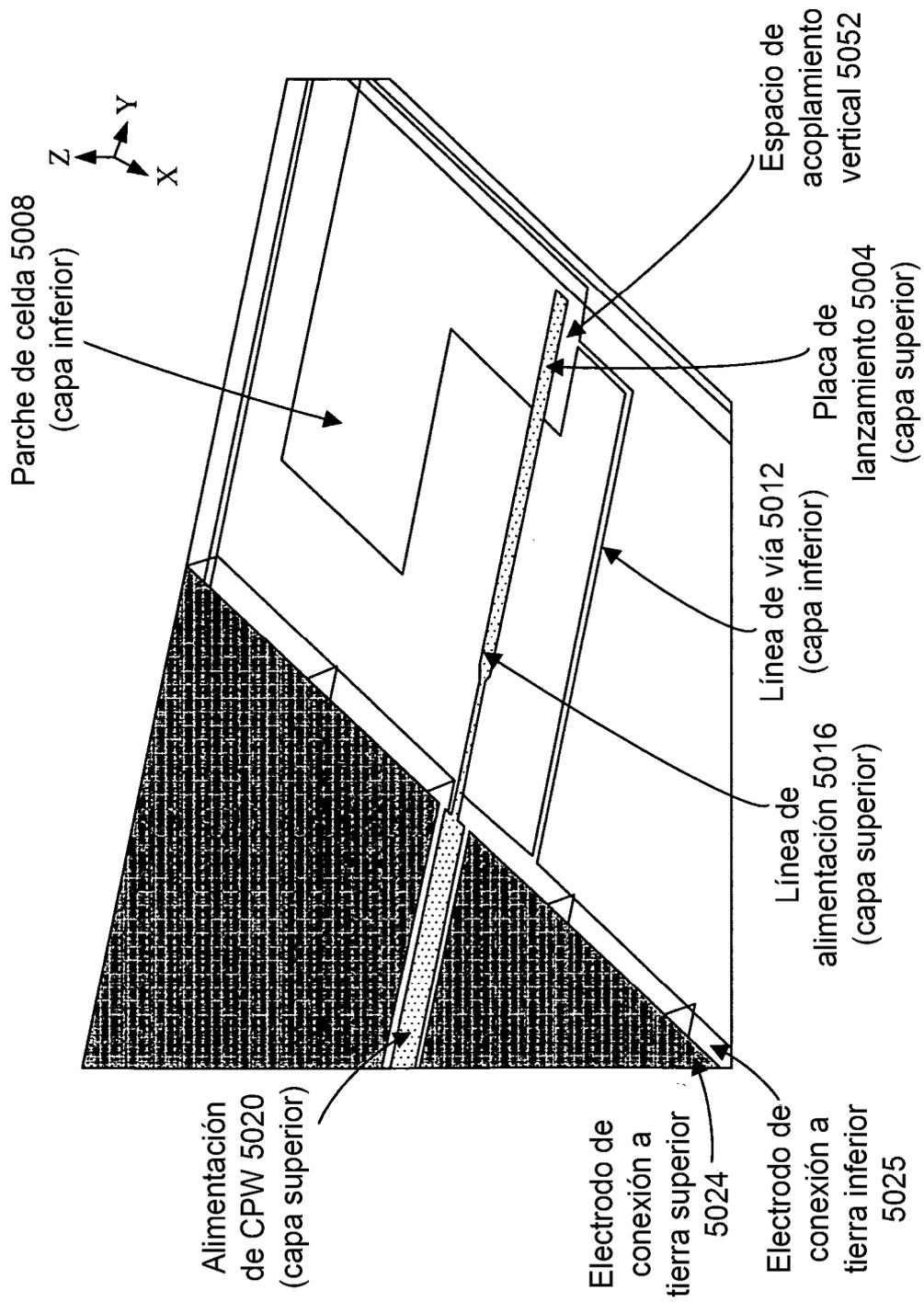


FIG. 50(a)

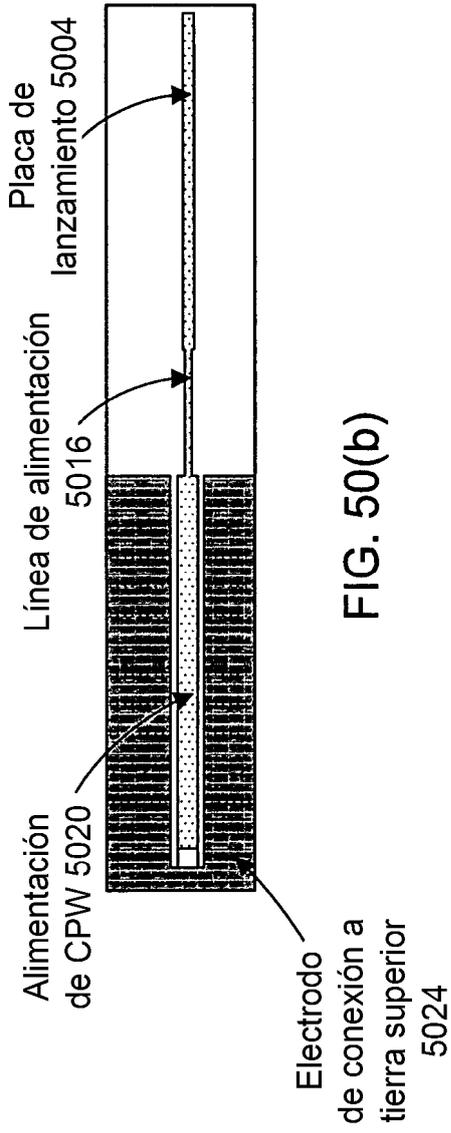


FIG. 50(b)

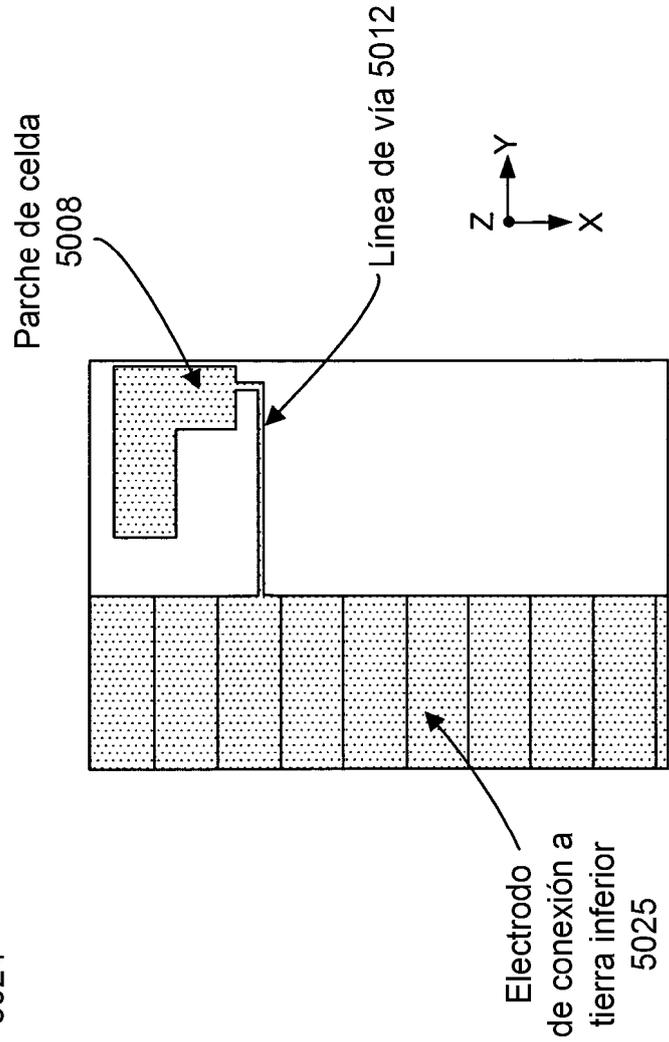


FIG. 50(c)

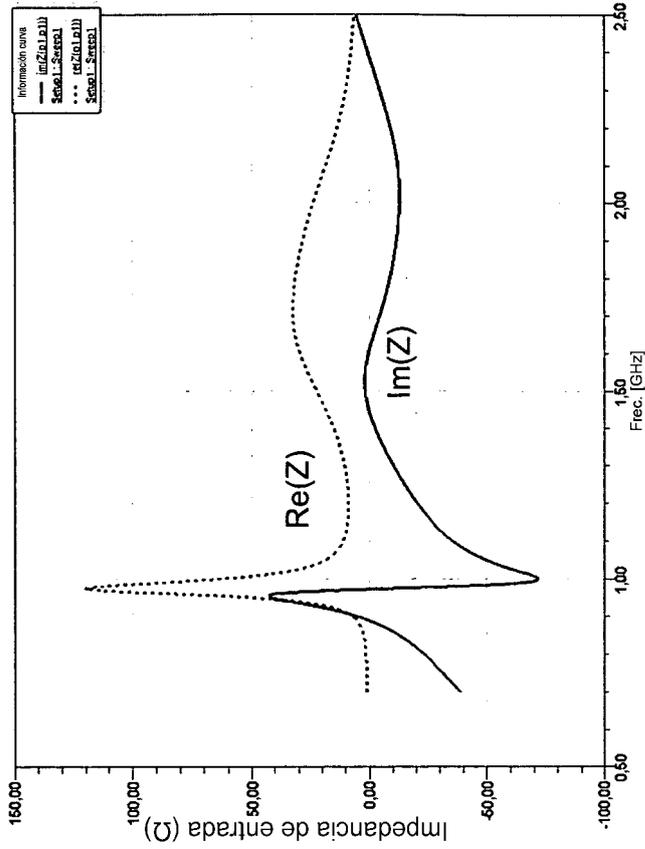


FIG. 51(b)

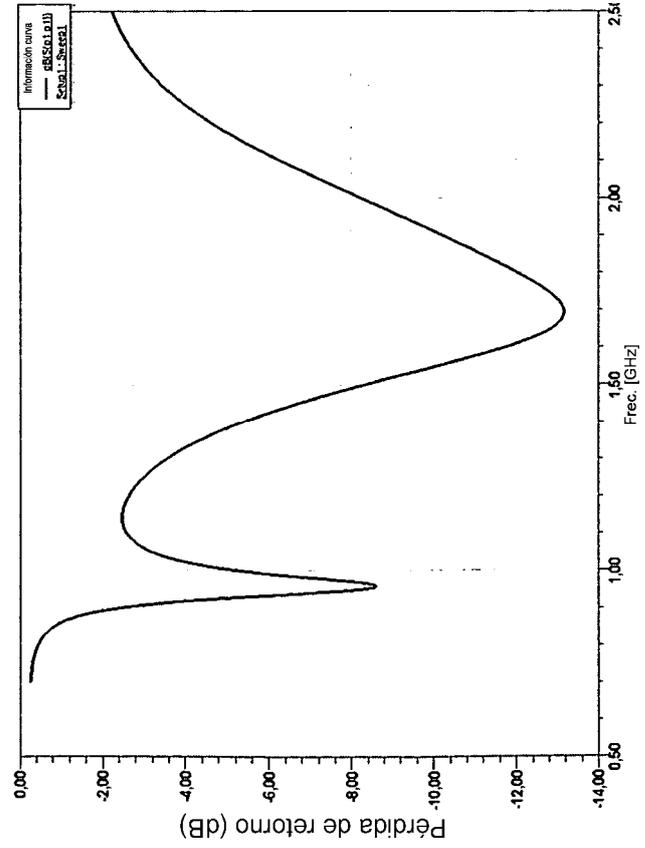


FIG. 51(a)