

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 805 344**

51 Int. Cl.:

H01Q 25/00 (2006.01)

H01Q 3/14 (2006.01)

H01Q 15/08 (2006.01)

H01Q 1/24 (2006.01)

H01Q 1/52 (2006.01)

H01Q 21/00 (2006.01)

H01Q 5/30 (2015.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.05.2017** **E 17169504 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.06.2020** **EP 3242358**

54 Título: **Antena multihaz, de alta ganancia, para comunicaciones inalámbricas 5G**

30 Prioridad:

06.05.2016 US 201662332566 P

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

11.02.2021

73 Titular/es:

AMPHENOL ANTENNA SOLUTIONS INC. (100.0%)
1300 Capital Drive
Rockford, Illinois 61109, US

72 Inventor/es:

SHEHAN, JOSHUA W.

74 Agente/Representante:

CURELL SUÑOL, S.L.P.

ES 2 805 344 T3

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

DESCRIPCIÓN

Antena multihaz, de alta ganancia, para comunicaciones inalámbricas 5G

5 Antecedentes de la invención**Campo de la invención**

10 La presente invención se refiere, en general, a antenas, y, más específicamente, a antenas de lente para sistemas de comunicaciones inalámbricas multihaz y a métodos para proporcionar antenas de lente del tipo mencionado.

Antecedentes de la técnica relacionada

15 Los sistemas de comunicaciones de quinta generación (5G) proporcionarán un aumento drástico de las velocidades de datos con respecto a las tecnologías existentes, al mismo tiempo que permitirán un acceso a redes para muchos dispositivos simultáneamente. Esto requerirá que las antenas multihaz, de alta ganancia, satisfagan las demandas de capacidad y caudal del sistema. Adicionalmente, las elevadas velocidades de datos previstas para la 5G fomentan el uso de bandas de frecuencia de onda milimétrica además de las bandas de frecuencia tradicionales usadas por tecnologías móviles anteriores, tales como la 4G, la 3G, etcétera.

20 Para satisfacer requisitos de los sistemas en relación con futuras tecnologías 5G, es deseable un gran número de haces aislados, altamente directivos, que se originen en un único punto de acceso. Uno de los planteamientos para satisfacer las demandas de futuros sistemas inalámbricos 5G con funcionalidad multihaz altamente direccional es la tecnología masiva de antenas MIMO. En este planteamiento, se usan grandes agrupaciones de antenas con técnicas de procesamiento de la señal para proporcionar un haz estrecho directamente al usuario. La agrupación de antenas es útil a la hora de proporcionar haces altamente direccionales al objetivo con lo cual la mayor parte de la energía se enfoca solamente en la ubicación deseada.

30 Uno de los inconvenientes de la tecnología MIMO masiva es el deterioro del rendimiento cuando la agrupación realiza escaneos con ángulos amplios. Las pérdidas por exploración se observan como una reducción de la ganancia donde la antena actúa efectivamente como una apertura más pequeña con ángulos de exploración amplios. La ceguera por escaneo también puede ser un problema importante para grandes agrupaciones con ángulos de escaneo amplios donde la totalidad de la energía puesta en la agrupación se acopla esencialmente a una onda de superficie de manera que no se irradia energía desde la agrupación. Además, la VSWR activa puede resultar problemática y un potencial motivo de preocupación en términos de gestión de la potencia.

35 Los documentos US2003/020652, US8854257B2, EP3012916A1, JP2004/080814, US7358913B2, el artículo de Ying Song Zhang et al "A Millimeter-Wave Gain Enhanced Multi-Beam Antenna Based on a Coplanar Cylindrical Dielectric Lens", publicado en *IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION*, Vol. 60, n.º 7, 1 de julio de 2012, páginas 3485 a 3488, y el artículo de Bo Xiang et al "Multi-beam antenna at Q band" publicado en *INFRARED, MILLIMETER, AND TERAHERTZ WAVES*, 2009, 21.9.2009, páginas 1 a 2, dan a conocer diferentes antenas multihaz.

45 El documento WO2017/035444A1, estado de la técnica de acuerdo con el Art. 54(3) EPC, da a conocer otra antena multihaz.

Sumario de la invención

50 El objetivo se resuelve con un sistema de antena de múltiple haz según la reivindicación 1. Por otro lado, uno de los planteamientos con lentes de la presente invención combina la alta directividad de la tecnología MIMO masiva con la arquitectura más sencilla de la tecnología MIMO tradicional para obtener una solución sofisticada exenta de los problemas de escaneo presentes en agrupaciones grandes. La lente esférica es inherentemente de banda ancha permitiendo sistemas de banda ancha, integrados, con muchos haces altamente direccionales. La lente esférica ofrece ventajas con respecto a la lente cilíndrica particularmente en términos de capacidad desde un único punto de acceso. Este será un factor central en futuros sistemas inalámbricos 5G. Además, las frecuencias que interesan para los sistemas 5G permiten tamaños de lente que abren la puerta a soluciones de alto rendimiento, asequibles, en un tamaño de encapsulado razonable. Se han aplicado planteamientos con antenas similares para aplicaciones de radar, pero existe una necesidad de esta tecnología en futuros sistemas inalámbricos 5G.

60 Se divulga un sistema de antena multihaz, de alta ganancia, para comunicaciones inalámbricas 5G. El sistema incluye una pluralidad de elementos de antena radiantes dispuestos por el exterior de una lente dieléctrica esférica. Los elementos radiantes están dispuestos de tal manera que el pico de cada haz principal está alineado con cierto ángulo predeterminado. El sistema de antena está destinado a comunicaciones inalámbricas 5G a frecuencias de 3 GHz y por encima de estas.

65 La lente dieléctrica es idealmente del tipo Luneburg, en la que la constante dieléctrica varía radialmente desde

- 5 $\epsilon_r=1$ en el exterior de la lente hasta $\epsilon_r=2$ en el centro de la lente. Alternativamente, la lente esférica se puede construir a partir de un único material dieléctrico homogéneo con vistas a una fabricación sencilla a costa de la capacidad de enfoque. La lente también se puede realizar con capas concéntricas de materiales dieléctricos homogéneos que mejoran la capacidad de enfoque al mismo tiempo que se incrementan los costes y la complejidad. La lente dieléctrica esférica también se puede construir con técnicas de fabricación sustractiva para lograr una constante dieléctrica de variación radial que se aproxime estrechamente a la de la lente de Luneburg. Este planteamiento puede ofrecer la mejor capacidad de enfoque de la lente, aunque también es probable que sea el más laborioso.
- 10 Los elementos de antena radiantes pueden presentar polarización lineal simple, lineal doble ($\pm 45^\circ$) o circular, donde el sistema presenta un mínimo de aislamiento de 20 dB entre polarizaciones ortogonales. Los elementos de antena radiantes se posicionan por la superficie de la lente de tal manera que los elementos de un lado de la lente no interfieran con los haces de radiación secundarios de los elementos del lado opuesto de la lente. Los elementos alimentadores pueden estar dispuestos o no en filas o columnas de una manera lineal dependiendo de la
- 15 funcionalidad pretendida de la lente. Una configuración lineal de elementos donde los elementos se organizan en filas y columnas resulta muy adecuada para una configuración de la agrupación con capacidad de orientación de los haces. No obstante, una configuración de elementos parcialmente lineal puede proporcionar una mayor cobertura esférica que maximiza el número de haces de radiación fijos para el sistema de antena.
- 20 Los elementos de antena se pueden colocar en ubicaciones fijas, o se pueden mover usando un sistema de posicionamiento para modificar en conjunto la posición de los elementos radiantes. La lente esférica aporta una superficie focal por la superficie exterior de la lente con lo que los elementos de antena se pueden hacer girar en torno al exterior de la lente sin deterioro de los patrones secundarios.
- 25 En una forma de realización ejemplificativa, los elementos de antena pueden estar dispuestos de tal manera que se logren muchos haces de radiación que proporcionen niveles de cruce de haz prácticamente iguales entre todos los haces adyacentes. Una disposición de este tipo puede presentar un diseño geodésico de tal manera que los elementos estén separados casi equitativamente al tiempo que ajustándose a la superficie esférica de la lente.
- 30 En una forma de realización ejemplificativa, los elementos de antena pueden estar dispuestos de tal manera que los niveles de cruce de haz varíen en función de las posiciones relativas de los elementos radiantes. Para el caso de columnas lineales de elementos, los elementos en la parte superior y las partes inferiores de las columnas tendrán niveles de cruce de haz que difieren con respecto a los elementos posicionados a lo largo del ecuador de la lente esférica.
- 35 En una forma de realización ejemplificativa, las antenas pueden ser unos elementos radiantes pasivos sin ningún componente activo incluido en la pluralidad de elementos de antena.
- 40 En una forma de realización ejemplificativa, los elementos de antena pueden ser elementos activos con control de amplitud y/o fase. Pueden usarse agrupaciones de los elementos activos para lograr una orientación de haces o un control de lóbulos laterales, adaptativos.
- 45 En una forma de realización ejemplificativa, la pluralidad de elementos de antena puede incluir una combinación de elementos activos y pasivos. Los elementos se pueden combinar para la orientación de haces o el control de lóbulos laterales.
- 50 En una forma de realización ejemplificativa, los elementos de antena pueden ser elementos de banda ancha. En una forma de realización de este tipo, los haces de radiación varían en cuanto a ancho de haz y niveles de cruce sobre la banda de funcionamiento. Aunque el elemento produce una ganancia que es o bien plana, o bien creciente monótona con la frecuencia, la frecuencia de funcionamiento más baja correspondiente al elemento radiante determina y fija un nivel de cruce de haz mínimo. La directividad de la lente aumenta con la frecuencia dando como resultado haces de radiación más estrechos a medida que se incrementa la frecuencia.
- 55 En otra forma de realización ejemplificativa, los elementos de antena radiantes forman una apertura multibanda para alimentar la lente esférica. Puede haber uno o más elementos radiantes distintos para cada banda de la apertura multibanda. Los elementos de antena se intercalan para lograr múltiples elementos radiantes por cada banda de frecuencia. En tal caso, el número de haces de radiación es diferente por cada banda de frecuencia para mantener el mismo nivel de cruce para los haces de radiación secundarios. Alternativamente, se puede lograr el mismo número de haces de radiación secundarios con niveles de cruce que varían entre las distintas bandas de
- 60 funcionamiento.
- 65 La antena multibanda puede tener los elementos de banda baja o los elementos de banda alta agrupados para el control de los patrones. Agrupando los elementos con una separación predeterminada, puede manipularse en cierta medida el haz de radiación secundario. Las agrupaciones pueden tener o no cierto nivel de control de amplitud o fase. La agrupación del elemento de banda alta permite un control del haz de radiación secundario de tal manera que los anchos de haz de los elementos de banda baja y los elementos de banda alta pueden ser

aproximadamente iguales.

Breve descripción de las figuras

- 5 Las figuras. 1A a 1H ilustran la presente invención que incluye la lente dieléctrica esférica con antenas alimentadoras ejemplificativas posicionadas por la superficie exterior de la lente;
- 10 las figuras. 1I a 1K son unas vistas en perspectiva de la lente esférica montada en un mástil de acuerdo con la presente invención;
- 15 las figuras. 2A a 2D muestran unos haces de radiación secundarios teóricos a dos frecuencias para varios tamaños de lente con una separación de elementos predeterminada;
- las figuras. 3A a 3B ilustran la pluralidad de antenas alimentadoras configuradas en filas o columnas lineales dispuestas en torno a una parte de la lente esférica;
- 20 las figuras. 4A a 4B ilustran la disposición de antenas lineal combinada con el fin de formar una agrupación lineal para una orientación de haces electrónica junto con un diagrama de bloques conceptual;
- 25 las figuras. 5A a 5B ilustran la pluralidad de antenas alimentadoras configuradas en una disposición parcialmente lineal en torno a una parte de la lente esférica;
- las figuras. 6A a 6B ilustra una parte de la pluralidad de elementos de antena agrupados para un control de haces secundarios junto con los patrones de haces secundarios teóricos;
- 30 las figuras. 7A a 7B muestran una disposición multibanda típica en la que los elementos de antena para distintas bandas de frecuencia se intercalan junto con haces de radiación secundarios teóricos;
- las figuras. 8A a 8F ilustran el sistema de posicionamiento mecánico para ajustar posiciones de haces secundarios; y
- la figura 9 es un diagrama de bloques para el sistema de antena con un posicionamiento mecánico de los elementos por control remoto.

35 Descripción detallada de las formas de realización preferidas

En la descripción de una forma de realización preferida de la invención ilustrada en los dibujos, se recurrirá a terminología específica por motivos de claridad. Se describen varias formas de realización preferidas de la invención con fines ilustrativos, entendiéndose que la invención se puede materializar en otras formas no mostradas específicamente en los dibujos.

45 La presente invención utiliza una lente dieléctrica esférica para proporcionar un sistema de antena multihaz, de alta ganancia, para comunicaciones inalámbricas de quinta generación (5G). La lente es idealmente del tipo de Luneburg, donde la constante dieléctrica varía de acuerdo con $\epsilon_r = 2 - r^2 / R^2$ donde r indica la posición dentro de la lente, y R es el radio de la lente. Para lograr una aproximación de las propiedades de enfoque de la lente de Luneburg de una manera que resulte práctica con fines de fabricación, se han presentado varios planteamientos. Estos incluyen lentes monolíticas donde la lente está compuesta por un único material dieléctrico homogéneo, lentes estratificadas donde la lente está formada por capas esféricas de material homogéneo y lentes formadas por métodos de fabricación aditiva o sustractiva donde la constante dieléctrica de la lente se sintetiza por medio de huecos formados en materiales dieléctricos por lo demás macizos. Las capas podrían conectarse de cualquier manera adecuada, tal como uniéndolas entre sí por sus superficies de contacto, o se podrían empinar con fijadores no metálicos.

55 Con respecto a la figura 1, la lente dieléctrica 100 esférica se ilustra con elementos de antena alimentadores 110 posicionados con la ayuda de una estructura de soporte de elementos 120 que proporciona también la tierra para RF. La lente 100 incluye una caja o cuerpo de lente esférica 102 que tiene una superficie exterior o externa 104.

60 La estructura de soporte 120 incluye una plataforma o placa delgada 122 que se curva de manera que es sustancialmente paralela y concéntrica con la superficie externa 104 del cuerpo de lente esférica 102. La estructura 120 discurre a lo largo de una parte del cuerpo 102 (tal como se muestra mejor en las figuras. 1B a 1F), y puede cubrir, por ejemplo, aproximadamente el 50% del cuerpo 102. La plataforma 122 tiene una superficie interna 124 que está encarada hacia adentro en dirección a la superficie externa 104 del cuerpo de lente 102, y una superficie externa 126 opuesta a la superficie interna 124. La superficie externa 126 está encarada hacia fuera en alejamiento con respecto a la superficie externa 104 del cuerpo de lente 102.

65 Tal como se muestra, la estructura de soporte 120 es una placa individual uniforme, continua e ininterrumpida, que

se puede realizar con metal. Una de las finalidades de la estructura de soporte 120 es actuar como reflector/plano de tierra de manera que toda la energía irradiada desde los elementos de antena se dirija hacia la superficie de la lente. No obstante, la estructura de soporte 120 también puede ser un armazón formado por barras curvadas en intersección o una malla metálica que discurran sustancialmente paralelas y concéntricas con la superficie externa 104 del cuerpo de lente 102 y sean sustancialmente ortogonales entre sí y a las cuales estén conectados los elementos de antena alimentadores 110, en una disposición de tipo entramado en filas y columnas. Si es un armazón de barras en intersección o malla metálica, las barras deben estar lo suficientemente juntas para actuar como plano de tierra o reflector según se ha mencionado anteriormente.

La estructura de soporte 120 también tiene uno o más pilares o columnas de soporte 128 (figuras. 1I, 1J) que separan la plataforma 122 con respecto a la superficie externa 104 del cuerpo de lente de manera que la superficie interna 124 de la plataforma está a una distancia d_1 de la superficie externa 104 del cuerpo de lente. Cada columna 128 es alargada y tiene un primer extremo conectado a la estructura de soporte 120 y un segundo extremo (opuesto al primer extremo) conectado al cuerpo de lente 102. Dichas conexiones pueden realizarse con una peana, un fijador, un adhesivo o similares, o las columnas pueden formarse de manera entera con la plataforma 122 y/o la lente 100. Las columnas 128 discurren hacia fuera desde y sustancialmente ortogonales a la superficie interna 124 de la plataforma 122 y también hacia fuera desde y sustancialmente ortogonales a la superficie externa 104 del cuerpo de lente 102. Las columnas 128 mantienen la estructura de soporte 120 a la distancia deseada de la superficie externa 104 del cuerpo de lente.

En referencia a las figuras 1I a 1K para aplicaciones con inclinación fija, la estructura de soporte 120 puede fijarse a un mástil de montaje 140 con unos pernos de montaje 142, abrazaderas de montaje 144 y tuercas de montaje 146. Los pernos de montaje 142, las abrazaderas de montaje 144 y las tuercas de montaje 146 generalmente están realizados con metal, tal como acero o aluminio; no obstante, pueden ser de plástico si el peso de la lente 100 permite accesorios de plástico. Los pernos de montaje 142 están fijados directamente a la estructura de soporte 120 para aplicaciones con inclinación fija donde la estructura de soporte 120 no se mueve en relación con el cuerpo de lente 102 una vez instalada. Los pernos de montaje 142 se pueden empear a la estructura de soporte 120, o se pueden enroscar en la estructura de soporte 120 y pegar con epoxi en su posición. Si los pernos de montaje 142 son metálicos, se pueden soldar directamente a la estructura de soporte 120. En general, deben usarse cuatro abrazaderas de montaje 144 donde hay abrazaderas superiores y abrazaderas inferiores. Preferentemente, hay dos abrazaderas de montaje 144 en el interior del mástil de montaje 140, es decir, entre el mástil de soporte 140 y la estructura de soporte 120, y dos abrazaderas de montaje 144 en el exterior del mástil de soporte 140, aunque se puede utilizar un número mayor o menor. Los pernos de montaje 142 pasan a través de agujeros de las abrazaderas de montaje 144, y las abrazaderas de montaje 146 están fijadas con las tuercas de montaje 146.

Los elementos de antena radiantes 110 discurren hacia fuera desde la superficie interna 124 de la plataforma 122. Los elementos de antena 110 discurren hacia el cuerpo de lente 102, pero no entran en contacto con el cuerpo de lente 102. Tal como se muestra mejor en las figuras. 1C, 1D, los elementos de antena 110 están posicionados equidistantes entre sí en un patrón de tipo entramado en filas y columnas con respecto al cuerpo de lente 102. Los elementos de antena 110 están acoplados a la plataforma 122 y, por lo tanto, están alineados a lo largo de una curva que tiene un eje transversal que es paralelo y concéntrico con la superficie externa 104 del cuerpo de lente 102.

Los elementos de antena radiantes 110 están posicionados de tal manera que los elementos de un lado del cuerpo de lente 102 no interfieran con los haces de radiación secundarios S_1-S_n de los otros elementos 110, y particularmente ningún elemento 110 posicionado sustancialmente en un lado opuesto del cuerpo de lente 102. Tal como se muestra, los haces de radiación secundarios son los haces después de que la radiación abandone la lente. Cada elemento 110 está posicionado además rotacionalmente en torno la superficie exterior del cuerpo de lente 102 con cierto ángulo, θp_n , con respecto a un elemento vecino 110, lo cual da como resultado un patrón de radiación secundario S_1-S_n donde el haz principal está centrado a un ángulo correspondiente, θs_n , con respecto a un haz secundario vecino. Los ángulos relativos entre los elementos radiantes 110 y los haces secundarios correspondientes S_1-S_n son iguales de tal manera que $\theta p_n = \theta s_n$.

La lente 100 puede construirse con un número cualquiera de métodos mencionados anteriormente, pero una forma de realización ejemplificativa utiliza la lente estratificada construida con capas concéntricas de material dieléctrico. Los materiales que comprenden la lente tienen valores sustancialmente homogéneos de la constante dieléctrica generalmente en el intervalo de $\epsilon_r = 1 - 3.5$ con tangentes de pérdidas dieléctricas bajas. El tamaño de la lente 100 generalmente viene determinado por la ganancia deseada de la antena, y debe ser un mínimo de aproximadamente 1.5 longitudes de onda de diámetro. Para lentes con diámetros inferiores a 1.5λ se obtiene una ganancia pequeña, y la mejora del rendimiento de la lente puede no justificar los costes y la complejidad añadidos al sistema. Los elementos de antena 110 generalmente se posicionan por la superficie focal 130 de la lente esférica. Una de ventajas de la lente esférica es la superficie focal esféricamente simétrica que permite situar muchos elementos de antena radiantes 110 en torno a la superficie exterior de la lente 100 teóricamente sin deterioro del rendimiento suponiendo que todos los elementos 110 se corresponden con la superficie focal establecida. Los futuros sistemas 5G buscan utilizar bandas de onda milimétrica para proporcionar las velocidades de datos deseadas. Como

consecuencia, la lente esférica puede tener varias longitudes de onda de diámetro para proporcionar haces de radiación altamente direccionales al tiempo que ocupando un volumen físicamente pequeño. Esto abre la puerta a sistemas multihaz, basados en lentes, realizables en la práctica con unos costes asequibles.

5 La estructura de soporte de elementos 120 está compuesta por metal con una conductividad eléctrica sustancialmente elevada, tal como aluminio o cobre. La estructura sirve para proporcionar soporte mecánico para los elementos de antena 110 y red(es) de alimentación asociada(s) junto con una tierra RF para el sistema. El posicionamiento de los elementos 110 con respecto a la lente 100 viene dictaminado generalmente por la estructura de soporte de elementos 120 donde los elementos 110 están posicionados de manera que no hacen contacto físico con la lente 100. La separación entre los elementos 110 y la superficie exterior de la lente 100 generalmente tiene un impacto sobre la eficiencia de la apertura de la lente. La superficie focal 130 de la lente de Luneburg ideal generalmente se sitúa en la superficie exterior de la lente.

15 No obstante, la realización práctica de la lente esférica debido al patrón de los elementos alimentadores y a los materiales de la lente puede crear una superficie focal óptima 130 que está a cierta distancia d_2 de la superficie exterior 104 de la lente 100. Por lo tanto, se debe tener cuidado a la hora de determinar la distancia d_3 entre los elementos radiantes 110 y la superficie de lente externa 104 con vistas a un rendimiento óptimo del sistema.

20 La distancia d_2 puede ser mayor que d_3 , inferior a d_3 , o puede ser igual a d_3 . Típicamente, el centro de fase de la antena debe corresponderse con la superficie focal de la lente. Tipos de antena diferentes presentan centros de fase diferentes, con lo que la distancia d_3 cambiará en función del tipo de antena usado para alimentar la lente. La distancia d_1 debe ser mayor que d_2 y d_3 para garantizar que el elemento de antena 110 no entre en contacto con la superficie de lente externa 104. Es importante determinar esta distancia d_3 antes de la fabricación y el ensamblaje finales del sistema e incluso antes del diseño de la estructura de soporte de elementos 120.

25 La estructura de soporte 120 proporciona tierra RF para la estructura de alimentación usada para proporcionar señal a los elementos 110 y para los propios elementos 110. Esta estructura de tierra de RF 120 también actúa como reflector, de manera que la energía radiada desde los elementos 110 se dirige hacia la superficie de la lente y no alejándose de la lente. Sin la estructura 120, los elementos radiarían de una manera más omnidireccional, lo cual no es deseable para antenas de lente.

30 Con el fin de ilustrar la presente invención, la figura 1B ilustra el sistema de antena con la estructura de soporte de elementos 120 completa, la figura 1C muestra la mitad de la estructura de soporte de elementos 120 en sección de corte para mostrar los elementos 110 entre la estructura de soporte de elementos 120 y la lente 100, y la figura 1C muestra los elementos 110 sin la estructura de soporte de elementos 120. La estructura 120 puede variar en cuanto a tamaño y forma en función del elemento de antena 110, de la disposición de los elementos y del método de alimentación correspondiente como pueden apreciar aquellos versados en la materia. Por ejemplo, los elementos de antena 110 alimentados por pistas de microcinta (*microstrip*) tienen unas placas de circuito impreso correspondientes unidas a la estructura 120. Para elementos de antena de guía de ondas, esta estructura sirve meramente como estructura de soporte de elementos para los elementos de antena individuales.

35 Los elementos de antena 110 mostrados en la figura 1, y la totalidad del resto de figuras, se muestran como elementos dipolares cruzados. Las figuras 1E a 1H ilustran dibujos detallados de los elementos 110. En una forma de realización ejemplificativa, no limitativa e ilustrativa, los elementos 110 están fabricados a partir de material de placa de circuito impreso (PCB) de doble cara donde el material de PCB de dipolo de $+45^\circ$ 112a está posicionado sustancialmente ortogonal (90°) con respecto al material de PCB de dipolo de -45° 112b. De este modo, tal como se muestra mejor en la figura 1F, la primera parte 112 discurre sustancialmente ortogonal a la segunda parte 114 para formar un perfil general de T. La primera parte 112 está acoplada y discurre sustancialmente ortogonal a la superficie de plataforma interna 124. La segunda parte 114 está acoplada a la primera parte 112 y discurre sustancialmente paralela a y separada tanto de la superficie de plataforma interna 120 como de la superficie de cuerpo de lente externa 104. La superficie focal 130 está alineada con el centro de fase del elemento que alimenta la lente. Tal como se muestra, la superficie focal 130 se puede alinear con la sección central de la segunda parte 114, aunque no es necesario que esté alineada con la sección central de la segunda parte 114.

45 El material de PCB particular se puede seleccionar de entre un sinnúmero de materiales disponibles, aunque generalmente el material se selecciona para tener un valor de constante dieléctrica en el intervalo de $\epsilon_r = 2 - 5$ con una tangente de pérdidas dieléctricas baja. Por ejemplo, un material adecuado sería Arlon 25N con una constante dieléctrica $\epsilon_r \approx 3.38$ y una tangente de pérdidas $\tan\delta \approx 0.0025$. Los brazos de dipolo 114a/114b mostrados en las figuras. 1E, 1F, así como los balunes 116a/116b mostrados en las figuras. 1G, 1H, generalmente son de cobre y se pueden formar eliminando por ataque químico o fresado el recubrimiento de cobre del material de PCB. Los brazos de dipolo 114a/114b forman las estructuras radiantes para la antena, mientras que los balunes 116a/116b proporcionan una transición desde la red de alimentación que genera la fase adecuada en cada brazo dipolar tal como pueden apreciar aquellos versados en la materia. Se pueden utilizar cualquier estructura y disposición adecuadas para los balunes 116.

60 Los elementos 110 generalmente están fijados a la superficie interna 124 de la estructura de soporte de elementos

120 por medio de epoxi o soldadura. Los elementos 110 generalmente deben estar en contacto eléctrico con la plataforma 122 de la estructura de soporte de elementos. Los elementos se pueden unir directamente a la plataforma 122 de la estructura de soporte de elementos usando soldadura o epoxi conductora donde la parte inferior de cada brazo de dipolo 114a/114b está en contacto directo con la estructura de soporte de elementos 120. La parte inferior del brazo de dipolo se refiere a la metalización de cada brazo de dipolo 114a/114b que está más cerca de la estructura de la caja. La parte superior de cada brazo de dipolo 114a/114b constituye la región de radiación principal del dipolo. En un planteamiento alternativo, la(s) red(es) de alimentación para los elementos 110 puede(n) unirse a la estructura de soporte usando epoxi conductora o soldadura, y los elementos pueden fijarse a la red de alimentación usando epoxi conductora o soldadura. Los elementos 110 también pueden unirse a la estructura de soporte usando epoxi no conductora y se puede alimentar por medio de cables coaxiales. En este planteamiento de alimentación, el blindaje exterior de los cables debe unirse a la estructura de soporte de elementos de alguna manera o bien mecánicamente o bien con epoxi conductora o soldadura. Los brazos de dipolo 114a/114b también deben conectarse a tierra de RF, como soldándolos directamente a tierra de RF.

No obstante, cabe destacar que la presente invención no se limita a elementos dipolares, sino que, más bien, se puede utilizar cualquier estructura adecuada. En muchas antenas de estaciones base para móviles se usan dipolos cruzados con el fin de proporcionar una polarización lineal doble, ortogonal, para la diversidad de polarización. La lente se puede alimentar con cualquier clase de elemento de antena radiante, como una antena de parche, una antena de guía de ondas de extremos abiertos, una antena de bocina, etcétera. Generalmente, como elementos alimentadores para la lente esférica se seleccionan antenas de baja ganancia con el fin de maximizar la eficiencia de la lente y la directividad del haz de radiación secundario. La presente invención también es capaz de funcionar con múltiples polarizaciones gracias a la naturaleza esféricamente simétrica de la lente dieléctrica. Los elementos de antena radiantes pueden presentar polarización lineal simple, lineal doble o circular. Las polarizaciones múltiples pueden ser importantes para los futuros sistemas 5G donde la selección de la polarización puede ser diferente en función de la frecuencia de funcionamiento y del usuario pretendido. Por lo tanto, la antena multihaz debe funcionar de manera suficiente independientemente de la polarización deseada con un mínimo de 20 dB de aislamiento entre polarizaciones ortogonales. Independientemente del planteamiento de alimentación o la selección de elementos particulares, la estructura de soporte de elementos 120 sirve para posicionar los elementos 110 con respecto a la lente 100 y generalmente debe conectarse a tierra de RF, tal como por soldadura, epoxi/adhesivo conductor, o acoplamiento capacitivo.

Se puede obtener una aproximación de la ganancia y el ancho de haz máximos para la lente esférica suponiendo que la lente es una apertura circular. El patrón de campo lejano normalizado para una apertura circular ideal viene dado analíticamente en términos de θ como:

$$G(\theta) = 2 \frac{J_1(ka \sin(\theta))}{ka \sin(\theta)}$$

donde J_1 es la función de Bessel de la primera clase de orden 1. El argumento de la función de Bessel es $ka \sin(\theta)$ donde k es el número de onda, a es el radio de la apertura (o esfera en este caso), y θ es el ángulo con respecto al eje de puntería medido desde el eje z. La ecuación anterior proporciona una forma de patrón normalizada mediante la cual se obtiene una buena aproximación del patrón de haz principal. Por lo tanto, la lente puede tener un tamaño aproximado de acuerdo con la aproximación de campo lejano correspondiente a la apertura circular. Como ejemplo, se requiere una lente de aproximadamente 4.2" de diámetro para lograr un nivel de cruce de -10 dB para elementos de antena separados 10° entre sí en torno al ecuador de la lente funcionando a 28 GHz con el uso del patrón de campo lejano para una apertura circular.

En las figuras 2A a 2D, la aproximación de apertura circular se aplica para ilustrar los haces de radiación secundarios teóricos donde los patrones normalizados se muestran en unidades de dB. Todos los elementos alimentadores de antena 110 están posicionados aproximadamente a 10° de separación mutua en torno al ecuador de la lente esférica para las figuras. 2A a 2D. Los haces de radiación secundarios teóricos para una lente esférica de 3" a 15 GHz y a 30 GHz se muestran en las figuras 2A y 2B, respectivamente. Los haces de radiación secundarios teóricos para una lente esférica de 6" a 15 GHz y a 30 GHz se muestran en las figuras. 2C y 2D, respectivamente. Los patrones ilustran el rendimiento de la radiación de haz principal normalizada con todos los lóbulos laterales eliminados con una eficiencia supuesta de la lente del 100% con fines ilustrativos. Como consecuencia, se muestran los anchos de haz mínimos teóricos alcanzables.

En general, las eficiencias de lentes de Luneburg se sitúan en el intervalo del 50 al 75%, lo cual significa una reducción de la ganancia y la directividad para el sistema realizable dando como resultado haces de radiación secundarios más amplios. La eficiencia materializada generalmente se determina y optimiza mediante una combinación de investigación experimental y análisis de onda completa. Las representaciones de la figura 2 ilustran el rendimiento del sistema teórico basado en la frecuencia y el diámetro de la lente. Los niveles de cruce de haz secundario son significativamente diferentes entre las figuras. 2C y 2D demostrando claramente que, para una solución de banda ancha, se pueden lograr más haces de radiación a frecuencias más elevadas debido al mayor tamaño eléctrico de la lente esférica.

La ganancia y el cruce de haz tienen una importancia primordial para sistemas 5G donde la alta capacidad y las altas velocidades de datos son el motor de la investigación y el desarrollo. Tal como se indica en la figura 2, el rendimiento de la lente está relacionado directamente con la frecuencia, o el tamaño eléctrico. Por ejemplo, una lente de 4" de diámetro puede proporcionar la directividad suficiente para una aplicación a 30 GHz, pero sería necesaria una lente de 8" de diámetro para lograr la misma directividad a 15 GHz. La quinta generación es una tecnología emergente abierta a muchas aplicaciones en diversas frecuencias, y como consecuencia, la lente se dimensiona adecuadamente sobre la base de la aplicación 5G pretendida. Un sistema de antena de lente que funcione bien para una aplicación 5G puede no ser necesariamente la solución óptima para otra aplicación 5G.

La pluralidad de elementos de antena 110 se puede disponer de una manera lineal de acuerdo con la figura 3. Para la disposición de alimentación lineal, la configuración de alimentación se define en forma de matriz, y el número total de elementos alimentadores se escribe como

$$F_T = M \times N$$

donde F_T indica el número total de elementos de antena 110 que alimentan la lente, M indica el número de elementos en cada fila (dirección azimutal) y N indica el número total de elementos en cada columna (dirección de elevación). Pueden disponerse elementos en los que $M < N$ según se indica con la figura 3A, en los que $M > N$ según se indica con la figura 3B, o en los que $M = N$.

La disposición de antena lineal es muy adecuada para agrupaciones de elementos radiantes que alimentan la lente, pero esta disposición adolece de una separación no uniforme entre elementos cuando la pluralidad de elementos radiantes cubre una parte significativa de la lente. De acuerdo con la figura 3, las antenas cerca de los bordes de la pluralidad de elementos están a una separación diferente que los elementos centrales. El resultado es un cruce de haz no uniforme entre haces de radiación adyacentes para el área de cobertura espacial. Para esta disposición de elementos, los elementos de borde fijan un nivel mínimo deseado de cruce de haz donde la pluralidad de elementos restantes ciertamente satisfará los requisitos mínimos de cruce. No obstante, esto se afirma basándose en la suposición de que se usen los mismos elementos radiantes para toda la pluralidad de elementos radiantes. De lo contrario, los niveles de cruce de haz pueden variar sobre la pluralidad de elementos radiantes sobre la base de los patrones de radiación principales y la eficiencia de iluminación para la lente.

Para superar el problema del cruce de haz no uniforme para la disposición lineal de elementos radiantes, se pueden usar diferentes tipos de elementos. Por ejemplo, pueden usarse antenas dipolo para los elementos exteriores, mientras que pueden usarse antenas de parche para los elementos centrales. Tipos de antena diferentes dan como resultado patrones de radiación principal diferentes con diferentes eficiencias de iluminación para la lente. El resultado es una ganancia y un ancho de haz diferentes entre los dos tipos de antena. Por lo tanto, se puede seguir utilizando la disposición lineal de elementos de antena con el mismo, o casi el mismo, cruce de haz debido a los diferentes tipos de elementos.

La disposición lineal de la pluralidad de elementos de antena puede combinarse para formar una agrupación con capacidades de orientación de los haces tal como se muestra en la figura 4. Los elementos de antena pueden combinarse en azimut 400, en elevación 410 o en ambos 420. El resultado es un menor número de haces de radiación; no obstante, algunos haces o la totalidad de ellos pueden presentar capacidad de orientación o control de lóbulos laterales.

En la figura 4B, se muestra un diagrama de bloques conceptual para la agrupación. El sistema está compuesto por la lente esférica 100, los elementos de antena 110, los desfases 450 y los amplificadores 460. Tal como se muestra, la agrupación de elementos 110 está acoplada a una agrupación de desplazamiento de fase 450, que a su vez está conectada con una agrupación de amplificadores 460. En una forma de realización ejemplificativa, cada elemento 110 está conectado con un desfase 450 respectivo, que a su vez está conectado con un amplificador 460 respectivo. Puede haber un número mayor o menor de amplificadores 460 en comparación con el número que se muestra. El desplazamiento de fase 450 para la agrupación lineal se puede lograr mediante una gran cantidad de métodos, o la agrupación se puede escanear en frecuencia como alternativa. Puede haber más o menos desfases 450 que el número mostrado. Los componentes activos deben incluirse en estrecha proximidad con los elementos radiantes 110 para un rendimiento óptimo. Si los elementos se combinan tanto en acimut como en elevación, se pueden combinar muchos elementos en un eje, aunque solamente deben combinarse unos pocos elementos en el eje ortogonal. La razón es que, a medida que aumenta la ganancia de la antena que alimenta la lente, disminuye la eficiencia de la lente. Por lo tanto, una agrupación de muchos elementos combinados en múltiples ejes esencialmente invalidaría la ventaja añadida de una lente haciendo que el planteamiento resulte una solución poco práctica.

Para una cobertura esférica mejorada, los elementos de antena se pueden disponer de una manera parcialmente lineal, o no lineal, de acuerdo con las figuras 5A, 5B. En este caso, los elementos 500 están dispuestos de forma geodésica de tal manera que mantienen una separación bastante regular entre elementos adyacentes con un esquema de posicionamiento determinista. Esta disposición de elementos es particularmente beneficiosa para

maximizar la cobertura espacial al tiempo que manteniendo un nivel de cruce específico entre haces de radiación secundarios adyacentes. Hay una desviación mínima en el cruce de haz para la pluralidad de haces secundarios y una cobertura espacial mejorada en comparación con la disposición de elementos estrictamente lineal. Los sistemas inalámbricos de quinta generación buscarán maximizar la cobertura espacial al tiempo que proporcionando las velocidades de datos más altas posibles con una interferencia mínima. Los elementos están dispuestos linealmente a lo largo de ejes longitudinales desde la parte superior a la parte inferior para converger todos ellos en los polos superior e inferior. La configuración de elementos parcialmente lineal permite una cobertura espacial máxima con un nivel de cruce de haz casi uniforme para un rendimiento óptimo del sistema haciendo que este planteamiento resulte adecuado idealmente para células pequeñas 5G en áreas congestionadas. Igual que con la disposición estrictamente lineal, la disposición no lineal de elementos también puede incluir antenas de diferentes tipos.

También se puede combinar un subconjunto de la pluralidad de elementos de antena dispuestos de una manera parcialmente lineal para formar una agrupación con capacidades de orientación de los haces. Igual que la agrupación estrictamente lineal, esto da como resultado un número reducido de haces de radiación, pero los haces resultantes tienen capacidades de orientación electrónica. Este planteamiento no se muestra en un dibujo aparte, ya que es similar en cuanto a diseño y funcionalidad a la agrupación lineal. La única diferencia entre las dos es la forma en la que se combinan los elementos.

Con respecto a la figura 6A, un pequeño subconjunto de la pluralidad de elementos radiantes puede combinarse para formar una agrupación 600 para el control del haz de radiación secundario. Tal como se ha mencionado anteriormente, las características del haz de radiación secundario dependen en parte de las características del haz de radiación principal. Los haces más estrechos de la fuente principal tienden a infraluminar la lente dando como resultado una reducción de la eficiencia de la lente. En general, se pueden combinar elementos de antena para proporcionar más ganancia y un haz principal más estrecho en comparación con una antena de fuente única. Por lo tanto, pueden combinarse elementos de antena para modificar la ganancia y el ancho de haz correspondientes al haz de radiación secundario de la lente esférica. La figura 6B ilustra unos patrones teóricos de radiación de haces principales expresados en dB para el concepto de agrupación. El haz principal secundario de la fuente única 610 generalmente presentará más ganancia y un ancho de haz más estrecho en comparación con el haz principal secundario de la agrupación 620. Ambos haces se normalizan a la ganancia máxima para la fuente única con el fin de ilustrar la reducción de ganancia resultante.

El posicionamiento de los elementos para modificar el haz secundario puede determinarse aproximadamente con el círculo de confusión de la lente esférica. Tal como se muestra en la patente de Estados Unidos n.º 8,854,257, se obtiene una aproximación del círculo de confusión con:

$$d_b = 1.22f \frac{\lambda}{D}$$

donde f es la distancia focal de la lente, λ es la longitud de onda en el espacio libre, y D es el diámetro de la lente.

Para aumentar efectivamente el ancho de haz correspondiente al haz de radiación secundario, los elementos combinados deben posicionarse dentro del círculo de confusión, pero cerca de sus bordes. Si los elementos están demasiado próximos entre sí, el haz de radiación secundario parece provenir de una única fuente, y la directividad resultante es casi la misma que la de una única fuente. Si los elementos se posicionan demasiado lejos entre sí y se sitúan fuera del círculo de confusión, puede haber presencia de múltiples picos en el haz de radiación secundario. Por lo tanto, se debe tener cuidado en la colocación de la antena para lograr la reducción de ganancia deseada al tiempo que manteniendo la forma adecuada del haz. Este planteamiento puede resultar particularmente útil para el caso multibanda en el que las distintas bandas de frecuencia están próximas entre sí, y se desea que los distintos haces de radiación tengan aproximadamente el mismo ancho de haz.

Para el caso en el que se usan elementos radiantes de banda ancha, los haces de radiación tendrán un cruce de haz variable por toda la banda de funcionamiento. Los elementos de antena deben disponerse de tal manera que no haya más de un único elemento dentro del círculo de confusión de la lente a cualquier frecuencia dada para mantener el rendimiento deseado. La separación mínima entre elementos generalmente viene determinada por el ancho de haz de la antena a la frecuencia de funcionamiento más baja, suponiendo que el patrón de la fuente principal no varía significativamente sobre la banda de funcionamiento y generalmente muestra un aumento monótono, que varía lentamente, de la ganancia con respecto a la frecuencia. Para elementos de banda ancha que presentan una variación de ganancia significativa sobre el intervalo de funcionamiento, se debe tener cuidado en garantizar la separación adecuada de los elementos con el fin de lograr un cruce de haz deseado con vistas a un rendimiento adecuado del sistema tal como pueden apreciar aquellos versados en la materia.

Con respecto a la figura 7, la presente invención puede configurarse para funcionar en dos o más bandas de frecuencia distintas en las que pueden usarse elementos de antena distintos. Para el caso de doble banda que se muestra en la figura 7A, la antena puede configurarse con elementos de banda baja (banda 1) 700 y elementos de banda alta (banda 2) 710. Los elementos se intercalan idealmente de tal manera que los haces secundarios para

la banda 1 se solapan significativamente con los haces secundarios para la banda 2. Los haces de radiación secundarios teóricos resultantes expresados en dB normalizados se muestran en la figura 7B en la que los haces de la banda 1 720 se solapan con los haces de la banda 2 730. Con el fin de reducir la diferencia en los anchos de haz secundarios para las distintas bandas de funcionamiento, los elementos se pueden combinar tal como se ha argumentado previamente teniendo en cuenta las dimensiones del círculo de confusión para la banda de frecuencia de interés. Este planteamiento generalmente no es aplicable para reducir el ancho de haz correspondiente a los haces secundarios de la banda inferior donde el factor limitativo es la física responsable del funcionamiento de la lente. Por otro lado, los haces de radiación secundarios para bandas de funcionamiento más altas pueden modificarse para que coincidan más estrechamente con los correspondientes de las bandas de funcionamiento más bajas. Esto reducirá el número de haces posibles para bandas de funcionamiento más altas, pero los niveles de cruce entre bandas distintas pueden ser similares. Los elementos 700, 710 pueden formarse en un patrón en función de la relación entre las frecuencias de funcionamiento de los dos elementos y el cruce de haz deseado en cada banda.

Si los elementos 110 no se combinan para formar algún tipo de agrupación, el patrón de elementos 110 se elige para mantener un cierto solapamiento entre haces de radiación secundarios S_1-S_n . Por ejemplo, una separación mutua de los elementos de 10 grados dará como resultado de manera correspondiente una separación mutua del centro de sus haces de radiación secundarios de 10 grados. Si los elementos 110 se combinan para formar algún tipo de agrupación, se puede elegir la separación entre elementos para permitir el rendimiento de la agrupación, así como para mantener el solapamiento de haces entre haces secundarios formados por agrupaciones vecinas. Para agrupaciones de antenas, la separación generalmente se elige para evitar la presencia de lóbulos de difracción. Por lo tanto, si los elementos 110 se combinan para formar agrupaciones, su separación debería evitar lóbulos de difracción. Si los elementos 110 únicamente se combinan para controlar el ancho de haz secundario tal como se muestra en la figura 6, la separación entre elementos se puede ajustar para ajustar el ancho de haz secundario. El número de haces de radiación que se requiere determina el número de elementos usados para la lente. Si no se combina ninguno de los elementos 110 y el sistema necesita 20 haces de radiación, entonces se usan 20 elementos para alimentar la lente. Además, los elementos 110 deben posicionarse de tal manera que no "vean" otros elementos 110 que alimentan la lente. La antena está destinada a proporcionar un enlace de comunicaciones a dispositivos 5G (teléfonos celulares, tabletas, PC, etcétera) por lo que los elementos alimentadores deben estar dispuestos de tal manera que ningún elemento interfiera con el haz de radiación secundario de ningún otro elemento.

Para recapitular, la figura 1A muestra el principio de funcionamiento de la antena de lente. Sin la lente, los elementos alimentadores radian un patrón de radiación ancho. Poniendo una lente delante de los elementos, el patrón de radiación se transforma en algo más estrecho. Por ejemplo, las figuras 2A a 2D muestran que el patrón de radiación de un único elemento sería más ancho que el mostrado en la figura 2A. Colocando la lente delante de los elementos, el patrón puede transformarse en el de las figuras 2A, 2B, 2C o 2D, donde el tamaño de la lente determina cuan estrecho es el haz. Lograr los patrones de la figura 2B requiere una lente más grande que la que se requiere para lograr los patrones de la figura 2A. Los ángulos (θ) de la figura 1A muestran que se obtiene la misma separación angular entre haces de radiación que la que se fija para los elementos alimentadores. Si hay una separación angular de 10 grados entre los elementos alimentadores, entonces se tendrán 10 grados entre el centro del haz de radiación de la lente. La figura 1A también demuestra que se puede usar la lente para lograr múltiples haces utilizando múltiples elementos alimentadores 110. Las figuras 1B a 1D muestran una versión 3D de la figura 1A, y las figuras. 1F a 1H muestran los elementos alimentadores de una forma de realización de ejemplo. Las figuras. 2A a 2D muestran el estrechamiento de los haces de radiación al aumentar el tamaño de la lente.

La figura 3A muestra una disposición de elementos en la que los elementos se configuran en filas. En esta configuración, los elementos están separados uniformemente en vertical y separados de manera no uniforme en horizontal. Esta configuración se usaría cuando resulte más deseable mantener un solapamiento constante de los haces en la dirección vertical, pero lo sea menos importante en la dirección horizontal. Esto también podría ser útil para proporcionar orientación electrónica de los haces en la dirección horizontal. Los elementos podrían combinarse en agrupaciones lineales donde la fase y la amplitud entre elementos se usan para orientar el haz y proporcionar cierta conformación del haz en la dirección horizontal sin tener que mover físicamente la antena.

La figura 3B muestra básicamente lo contrario de la figura 3A donde los elementos se configuran en columnas. En esta configuración, los elementos están separados uniformemente en horizontal y están separados de manera no uniforme en vertical. Esta configuración se usaría cuando sea más deseable mantener un solapamiento constante de los haces en la dirección horizontal, pero lo sea menos importante en la dirección vertical. Esto también podría ser útil para proporcionar orientación electrónica de los haces en la dirección vertical. Los elementos podrían combinarse en agrupaciones lineales donde la fase y la amplitud entre elementos se usan para orientar el haz y proporcionar cierta conformación del haz en la dirección vertical sin tener que mover físicamente la antena.

La figura 4A ilustra algunos de los conceptos en los que la referencia 410 muestra un grupo de elementos que podrían usarse para proporcionar orientación de los haces en la dirección vertical y la referencia 400 muestra un grupo de elementos que podrían usarse para proporcionar orientación de los haces en la dirección horizontal. La

referencia 420 ilustra un agrupamiento de elementos que podría usarse para proporcionar conformación de haces ya sea en la dirección horizontal, en la dirección vertical o en una combinación de ambas. El diagrama de bloques de la figura 4B ilustra uno que podría usarse para crear una agrupación lineal orientable con la lente. Los amplificadores 460 pueden usarse para controlar las amplitudes de los elementos alimentadores 110, y los desfases 450 pueden usarse para controlar las fases relativas entre los elementos lo cual proporciona la capacidad de orientar el haz.

Las figuras 5A a 5B muestran una disposición geodésica de elementos alimentadores. Este planteamiento mantiene una separación angular más uniforme de los elementos en torno a la superficie de la lente. Como consecuencia, se puede obtener un solapamiento de haces más uniforme para los haces radiados desde la lente.

La figura 6 ilustra el concepto de combinación de elementos para controlar el ancho de haz correspondiente al haz radiado desde la lente. Al combinarse los elementos para formar una agrupación pequeña, se incrementa la ganancia de los elementos alimentadores. Esto crea un haz más estrecho radiado desde los elementos alimentadores hacia la lente. Lo que se obtiene se denomina infralumina. Esto básicamente significa que el haz de radiación del(de los) elemento(s) que alimenta(n) la lente no es tan ancho como debería ser para un rendimiento óptimo de la lente. Esta es una herramienta poderosa que puede usarse para controlar los anchos de haz de la energía radiada desde la lente. La figura 6B ilustra el impacto de este planteamiento en los haces radiados desde la lente.

La figura 7 ilustra la totalidad del resto de conceptos argumentados con una disposición multibanda. La mayoría de antenas de estaciones base para móviles son multibanda para proporcionar múltiples servicios inalámbricos desde una sola antena. Esta antena no es diferente. Está diseñada para poder proporcionar funcionalidad multibanda. Los elementos de antena generalmente reducen su tamaño a medida que aumenta la frecuencia. Por lo tanto, los elementos más pequeños se corresponden con lo que se puede denominar una banda alta (frecuencia más alta), y los elementos más grandes se corresponden con lo que se puede denominar una banda baja (frecuencia más baja). Los patrones de radiación se muestran en la figura 7B. Debido a que el tamaño de la lente determina el ancho de haz del patrón de radiación, la lente es eléctricamente más grande para los elementos de banda alta de lo que lo es para los elementos de banda baja. El tamaño eléctrico se determina en longitudes de onda ($\lambda=c/f$, donde λ - longitud de onda, c - velocidad de la luz en el vacío, y f es la frecuencia). A medida que la frecuencia se eleva, λ se hace más pequeña por lo que los objetos se hacen más grandes a frecuencias más altas. Una lente que tiene 3 metros de diámetro, tiene aproximadamente 10 longitudes de onda de diámetro a 1 GHz. La misma lente tiene 100 longitudes de onda de diámetro a 10 GHz. Por tanto, la lente no cambia de tamaño físicamente, pero es eléctricamente más grande para frecuencias más elevadas. Debido a todo esto, los haces de radiación son más estrechos para frecuencias más altas (banda alta) y más anchos para frecuencias más bajas (banda baja). Los haces de radiación de banda alta se muestran con las líneas de trazos en la figura 7B, y los haces de radiación de banda baja se muestran con las líneas continuas en la figura 7B.

Las diferentes disposiciones de elementos 110 en las figuras 1 a 7 se corresponden con la funcionalidad deseada del sistema de antena en conjunto. Estas disposiciones determinan principalmente el nivel de solapamiento que hay entre haces vecinos. Si los elementos alimentadores 110 están más separados entre sí, hay menos solapamiento entre haces. Si los elementos 110 están más próximos entre sí, hay más solapamiento entre haces.

Con respecto a las figuras. 8A a 8F, se puede proporcionar un sistema de posicionamiento 800 para mover los elementos 110 a posiciones deseadas. Por ejemplo, el sistema de posicionamiento 800 puede incluir un posicionador biaxial 802 conectado a un sistema de montaje 810 que esté conectado al cuerpo de lente 102 a través de uno o más pilares o columnas de soporte 814. El sistema de montaje 810 puede incluir, además, aberturas 812 que guían la estructura de soporte 120 durante su movimiento. Estas aberturas 812 pueden incluir, además, cojinetes de bolas para permitir que la estructura de soporte 120 se deslice fácilmente a través o a lo largo de las aberturas 812. El posicionador biaxial 802 está fijado a una placa de montaje 820 que incluye cuatro brazos 822.

Por ejemplo, las aberturas 812 pueden ser ranuras orientadas horizontalmente en los elementos de armazón superior e inferior. Las ranuras pueden estar curvadas de manera que sean sustancialmente paralelas a la superficie del cuerpo de lente 102 y que coincidan con la forma de la estructura de soporte 120. Una corona o parte superior de la estructura de soporte 120 es recibida de forma deslizable en la ranura en el elemento de armazón superior y un fondo o parte inferior de la estructura de soporte 120 es recibido de forma deslizable en la ranura en el elemento de armazón inferior. Las ranuras son más largas que el ancho de la estructura de soporte 120, de manera que la estructura de soporte 120 puede deslizarse de lado a lado (o izquierda/derecha) en la dirección de elevación con respecto al cuerpo de lente 102. La estructura de soporte 120 también puede deslizarse hacia arriba/abajo en las ranuras superior e inferior en la dirección acimutal con respecto al cuerpo de lente 102. Además, se puede posicionar una ranura orientada verticalmente en cada uno de los elementos de armazón laterales que reciben de manera deslizable el lado o partes laterales de la estructura de soporte 120, que permiten también movimiento en las direcciones de elevación y acimut. El movimiento de la estructura de soporte 120 es controlado por el posicionador 802. En una forma de realización ejemplificativa, una estructura de extensión tal como una o más barras o una placa curva puede extenderse hacia fuera desde la parte superior, la parte inferior y/o los lados

de la estructura de soporte 120 y ser recibida en las ranuras para controlar el movimiento de la estructura de soporte.

Los cuatro brazos 822 se fijan a separadores 830 que están fijados a la estructura de soporte 120. Los separadores 830 incluyen, además, un separador interior 832 y un separador exterior 834, donde el separador interior 832 es recibido de forma deslizante en una abertura del separador exterior 834 y el separador interior 832 se desliza de manera controlable descendientemente hacia el separador exterior 834. El separador exterior 834 está conectado a la estructura de soporte 120 por unos pernos, epoxi o una soldadura. El separador interior 832 se desliza de manera descendente hacia el separador exterior 834, pero no se conecta a la estructura de soporte 120. Pueden incluirse unos cojinetes de bolas en el separador interior 832 o en el separador exterior 834 para permitir que el separador interior 832 se mueva hacia el separador exterior 834 y alejándose del mismo, lo cual a su vez hace que la estructura de soporte 120 se mueva en alejamiento con respecto al cuerpo de lente 102 y en dirección al mismo, respectivamente, mediante control del posicionador 802. Esto permite que el sistema de posicionamiento biaxial 800 se mueva linealmente y proporcione movimiento esférico a la estructura de soporte 120 a medida que se mueve en torno al cuerpo de lente 102 guiada por las aberturas 812 en el sistema de montaje 810. La conexión entre el separador interior 832 y los brazos 822 de la placa de montaje 820 forma una articulación de rótula para permitir que el separador interior 832 gire con respecto a los brazos 822 a medida que la estructura de soporte 120 se mueve.

Por consiguiente, la estructura de soporte 120 se mueve esféricamente en torno a la superficie del cuerpo de lente 102 guiada por las aberturas 812 en el sistema de montaje 810. El sistema de posicionamiento biaxial 800 mueve la placa de montaje 820 en las direcciones de acimut y elevación, es decir, izquierda/derecha y arriba/abajo. El separador interior 832 se mueve hacia dentro/fuera con respecto al separador exterior 834 de manera que el movimiento lineal de la placa de montaje 820 proporcionado por el sistema de posicionamiento biaxial 800 se traduce en movimiento esférico para la estructura de soporte 120 que es guiada por las aberturas 812 en la estructura de montaje 810.

En referencia a la figura 9, la presente forma de realización ejemplificativa puede incluir, además, un sistema de control remoto 900. El sistema de control remoto 900 está acoplado al sistema de posicionamiento para reposicionar de manera remota la estructura de alimentación de la antena. También se puede posicionar un radomo 910 que cubra la lente 100 y la estructura de soporte de elementos 120 para blindar el sistema con respecto al entorno circundante. El sistema incluye, además, un controlador local 920 posicionado localmente con respecto al sistema de antena multihaz y en comunicación con el controlador remoto 900. El controlador local 920 recibe señales de control del controlador remoto 900 y mueve el posicionador 800 como respuesta a esas señales de control. El controlador local 920 también se puede utilizar para generar señales de control desde un usuario local, que también mueve el sistema de posicionamiento 800.

El controlador remoto 900 y/o el controlador local 920 y sus funcionalidades pueden implementarse mediante un ordenador o dispositivo informático que tenga un procesador o dispositivo de procesado para llevar a cabo diversas funciones y operaciones de acuerdo con la invención. El ordenador puede ser, por ejemplo, un ordenador personal (PC), un servidor o un ordenador central (*mainframe*). Además del procesador, el *hardware* del ordenador puede incluir uno o más de una amplia variedad de componentes o subsistemas que incluyen, por ejemplo, un coprocesador, dispositivos de entrada, monitores, enlaces de comunicación por cable o inalámbricos, y un dispositivo de memoria o almacenamiento, tal como una base de datos. El sistema puede ser una configuración de red o una variedad de entornos de red de comunicación de datos que usen *software*, *hardware* o una combinación de *hardware* y *software* para proporcionar las funciones de procesado.

El cuerpo de lente 102 es generalmente grande (múltiples longitudes de onda) en cuanto a diámetro. No obstante, el tamaño de la lente viene determinado por la ganancia o directividad deseada del haz de radiación secundario. Por ejemplo, una lente que tiene un diámetro de 4λ permitirá una directividad máxima de aproximadamente 22 dB, pero una lente que tiene un diámetro de 10λ permitirá una directividad máxima de aproximadamente 30 dB. Obsérvese que λ es la longitud de onda en el espacio libre. El tamaño de los elementos 110 es generalmente específico del tipo de elemento y también depende de la frecuencia. En una forma de realización ejemplificativa, una regla general para los tipos de elemento es que los brazos de los dipolos sean en general $\lambda/2$ a la frecuencia central de la banda de funcionamiento, y que la altura total se sitúe en general cerca de $\lambda/4$. Estos valores pueden variar en aproximadamente un $\pm 10\%$ sin deterioro significativo del rendimiento. La superficie focal depende notablemente de los materiales que constituyen la lente. Para una verdadera lente de Luneburg, la superficie focal se sitúa en la superficie externa del cuerpo de lente, pero para lentes realizadas con materiales dieléctricos macizos, esta superficie focal puede cambiar. Además, esta superficie focal proporciona orientación sobre dónde colocar los elementos, pero no proporciona un valor absoluto para el espacio d_3 entre los elementos 110 y la superficie externa de lente 104. Para la presente forma de realización ejemplificativa, se observa que una distancia d_3 entre los elementos 110 y la superficie externa de lente 104 de aproximadamente $\lambda/4$ es suficiente para proporcionar una directividad de aproximadamente 23 dB con una lente de 6λ compuesta por material con una constante dieléctrica de 2.3. Obsérvese que λ es la longitud de onda en el espacio libre.

La presente invención proporciona varias ventajas para sistemas de antena 5G multihaz. Las agrupaciones de

antenas planas, grandes, son un aspecto importante que deben aportar los futuros sistemas inalámbricos; no obstante, adolecen de algunas dificultades de rendimiento, tales como pérdidas por escaneo y ceguera por escaneo cuando la agrupación escanea ángulos amplios. Puesto que la presente es una lente esférica donde la lente proporciona la forma del haz y múltiples elementos proporcionan múltiples haces de radiación para cubrir ángulos amplios, no hay pérdidas por escaneo asociadas al escaneo electrónico de un haz. Si se combinan elementos de la presente invención en una agrupación para proporcionar orientación de haces, se producirán algunas pérdidas por escaneo asociadas a la orientación de los haces. No obstante, esto no es necesario para lograr una funcionalidad multihaz, de alta ganancia.

5

Las agrupaciones de antenas grandes también se enfrentan a desafíos en cuanto a la adaptación de impedancias ya que la VSWR activa de la agrupación cambia cuando la agrupación escanea diversos ángulos. Esto puede conducir a un deterioro del rendimiento, así como a daños sobre componentes de RF sensibles si la VSWR activa es tan mala que los amplificadores llegan a sobrecargarse. Puesto que la lente multihaz de la presente invención no requiere una agrupación orientable, grande, para cubrir ángulos amplios con múltiples haces de radiación, se pueden evitar los problemas asociados a la VSWR activa.

10

15

La lente de la presente invención resulta muy adecuada para aplicaciones 5G por diversos motivos. El diámetro de la lente para lograr una ganancia particular es inversamente proporcional a la longitud de onda. Puesto que la longitud de onda se hace más pequeña a medida que aumenta la frecuencia, el tamaño requerido de la lente se reduce al aumentar la frecuencia. Esto respalda el uso de la lente para la 5G ya que las aplicaciones 5G están investigando frecuencias de 3 GHz a ondas milimétricas. A medida que se eleva la frecuencia, se reducen los costes de materiales y mecanización para una lente, mientras que aumentan los costes y la complejidad de las agrupaciones, lo cual conduce a una necesidad de una tecnología de lentes para aplicaciones 5G de alta frecuencia. Se han propuesto e implementado soluciones con lentes para muchas otras aplicaciones, pero existe una necesidad de soluciones de antenas multihaz, de alta ganancia, para la 5G. Además, la lente de doble polarización, de banda doble, de la presente invención con capacidades para control del ancho de haz y orientación mecánica de haces será crucial para aplicaciones 5G del futuro.

20

25

Cabe señalar que varios elementos se describen como conectados entre sí con epoxi o adhesivo. Esas conexiones están destinadas a unir de manera fija dichos elementos entre sí para formar una fijación permanente, fiable y rígida. Alguien versado en la materia reconocerá que, además de epoxi o adhesivo, pueden resultar apropiadas otras fijaciones fijas adecuadas, tales como elementos fijadores, o la formación enteriza de los elementos en forma de una sola pieza o la incrustación de una pieza en la otra. Por lo tanto, las conexiones específicas no están destinadas a limitar la invención.

30

35

REIVINDICACIONES

1. Sistema de antena de múltiples haces que establece una pluralidad de haces radiantes direccionales para comunicaciones inalámbricas, comprendiendo el sistema:

5

una lente dieléctrica (100) esférica, en la que la lente dieléctrica (100) presenta una superficie exterior (104);

una pluralidad de elementos de antena (110), en la que los elementos de antena (110) presentan una polarización doble;

10

una estructura de soporte de elementos (120) conectada a la pluralidad de elementos de antena (110), estando la estructura de soporte de elementos (120) conectada a una tierra de RF y posicionada a una primera distancia predeterminada de la superficie exterior (104) de la lente dieléctrica (100); y en la que la pluralidad de elementos de antena (110) está conectada a la estructura de soporte de elementos (120) y está posicionada con respecto a la superficie exterior (104) de la lente a una segunda distancia predeterminada de la superficie exterior (104) de la lente dieléctrica (100); y

15

un sistema de posicionamiento (800) configurado para mover selectivamente la estructura de soporte (120) de una manera giratoria con respecto a un centro de la lente con el fin de modificar la posición de la pluralidad de elementos de antena (110) y sus haces de radiación secundarios correspondientes, incluyendo el sistema de posicionamiento (800) un posicionador biaxial (802) fijado a la estructura de soporte de elementos (120) por una placa de montaje (820) y configurado para mover la estructura de soporte de elementos (120) con respecto a la lente dieléctrica (100) esférica en una dirección acimutal y en una dirección de elevación, y siendo los haces de radiación secundarios los haces generados por cada uno de entre la pluralidad de elementos de antena después de que una radiación de la pluralidad de elementos de antena (110) abandone la lente dieléctrica (100) esférica.

20

25

2. Sistema de antena de la reivindicación 1, en el que la placa de montaje (820) incluye unos brazos (822) fijados a cuatro separadores (830) fijados a la estructura de soporte (102).

30

3. Sistema de antena de la reivindicación 2, en el que los cuatro separadores (820) incluyen, cada uno de ellos, un separador interior (832) y un separador exterior (834), en el que el separador exterior (834) está fijado a la estructura de soporte (120), en el que el separador interior (832) es recibido de manera deslizante dentro del separador exterior (834), y en el que una conexión entre cada uno de entre el separador interior (832) y uno respectivo de los brazos (822) forma una articulación de rótula.

35

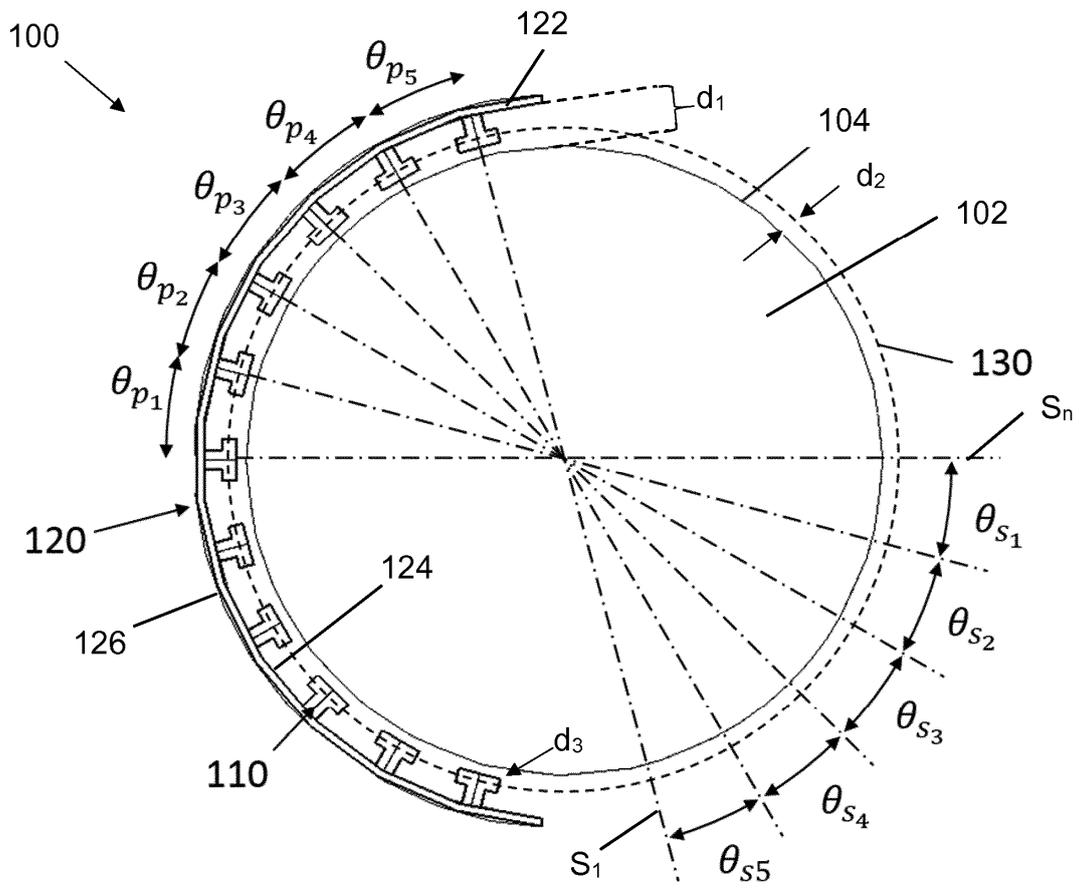


FIG. 1A

FIG. 1B

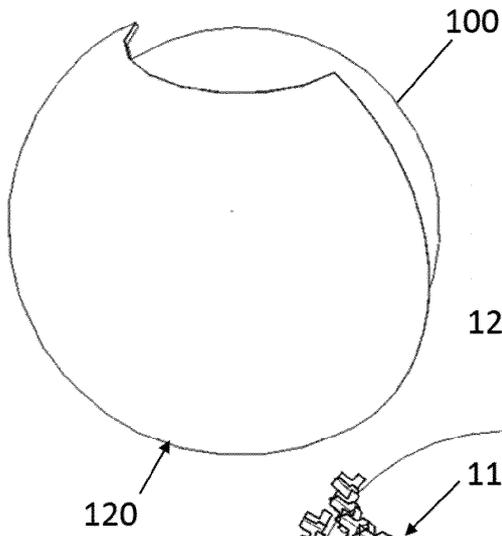


FIG. 1C

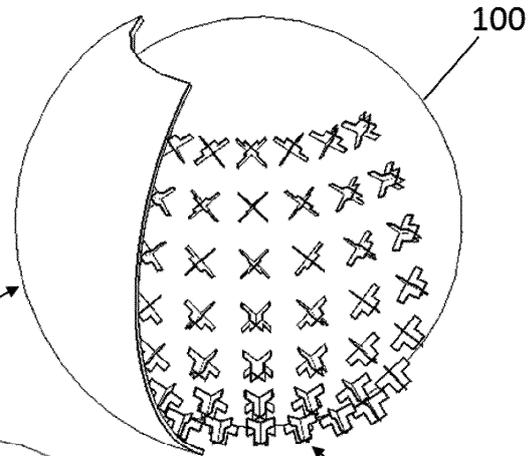


FIG. 1D

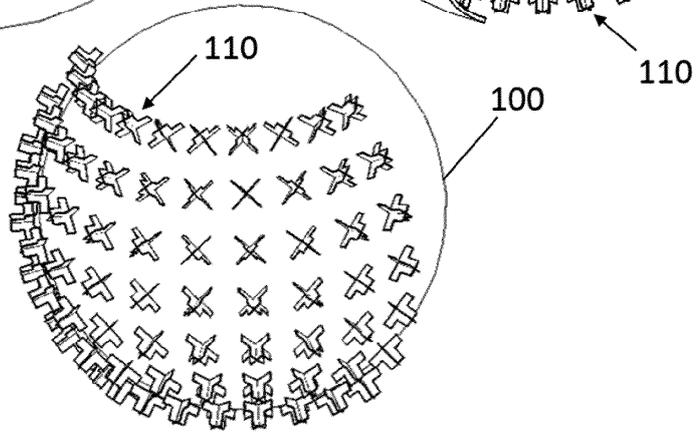


FIG. 1D

FIG. 1E

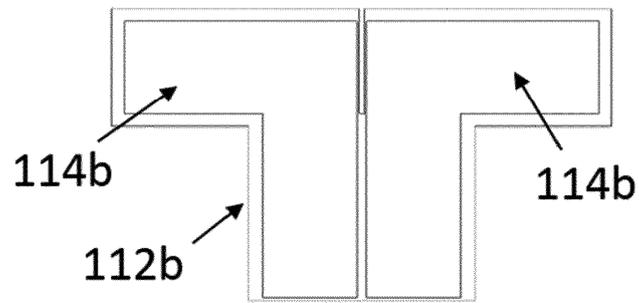
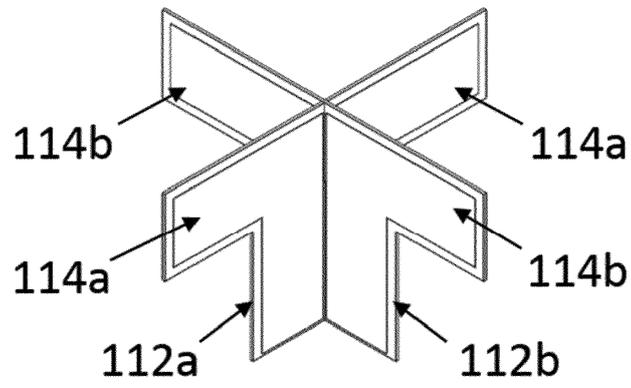


FIG. 1F

FIG. 1G

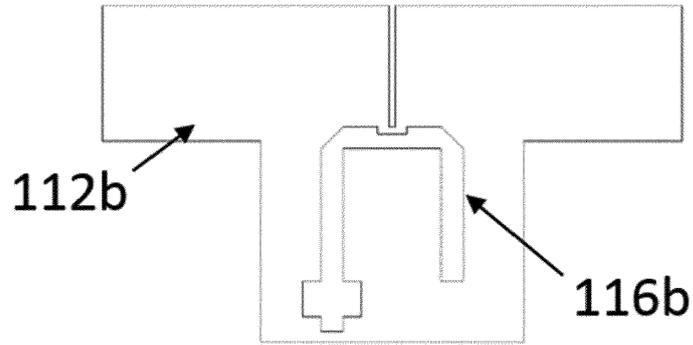
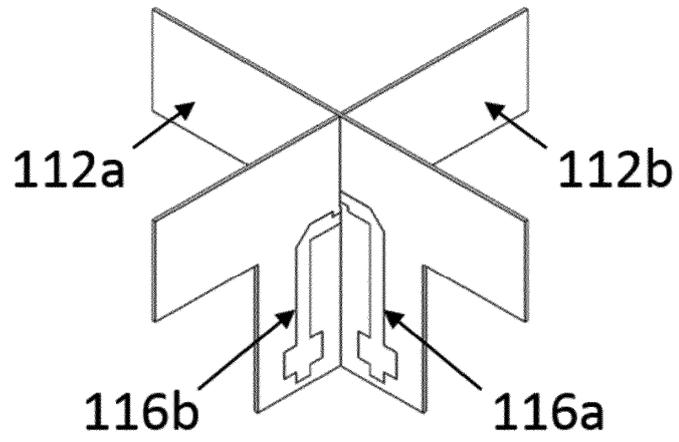
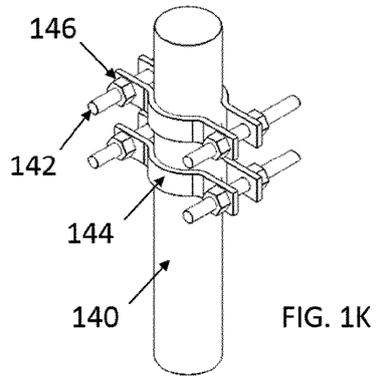
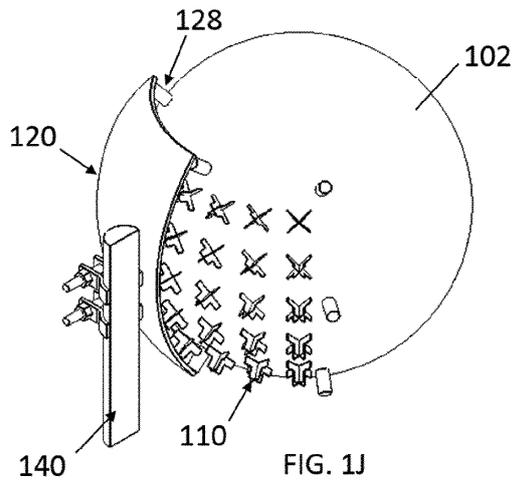
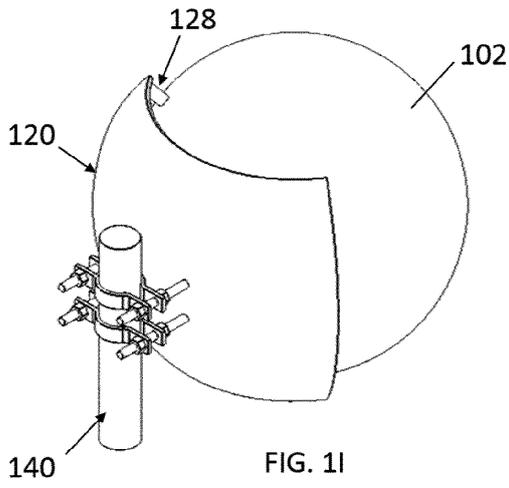


FIG. 1H



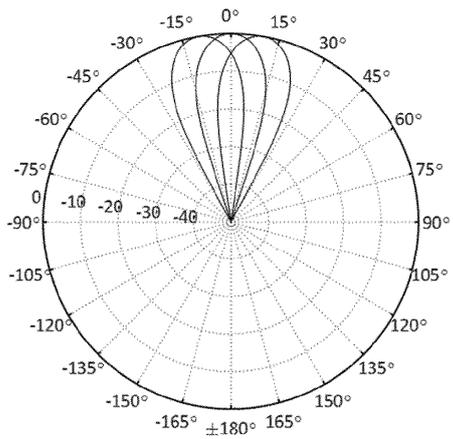


FIG. 2A

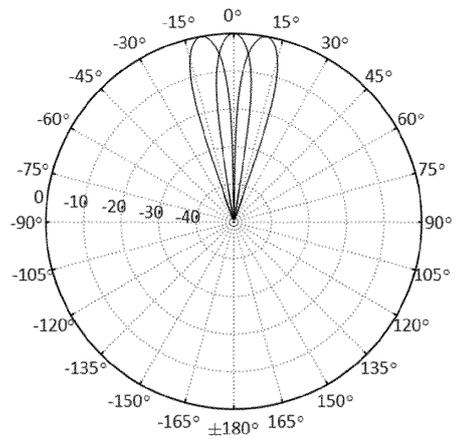


FIG. 2B

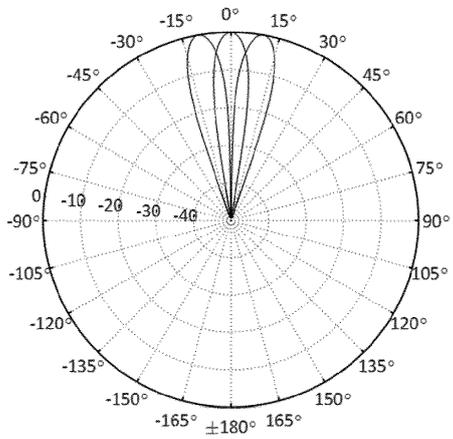


FIG. 2C

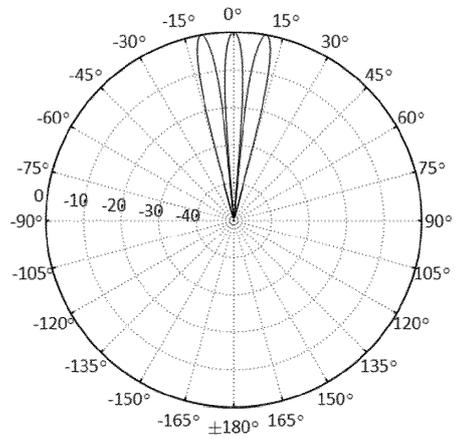


FIG. 2D

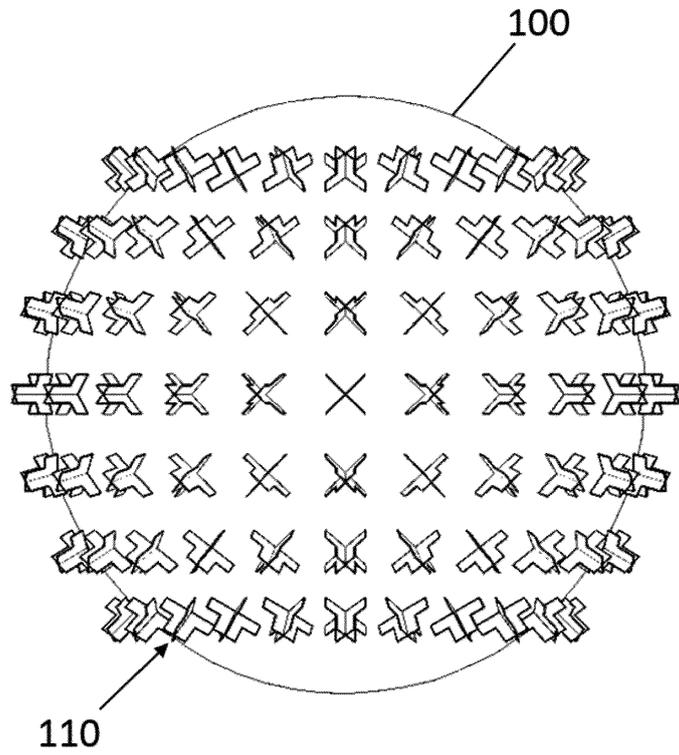


FIG. 3A

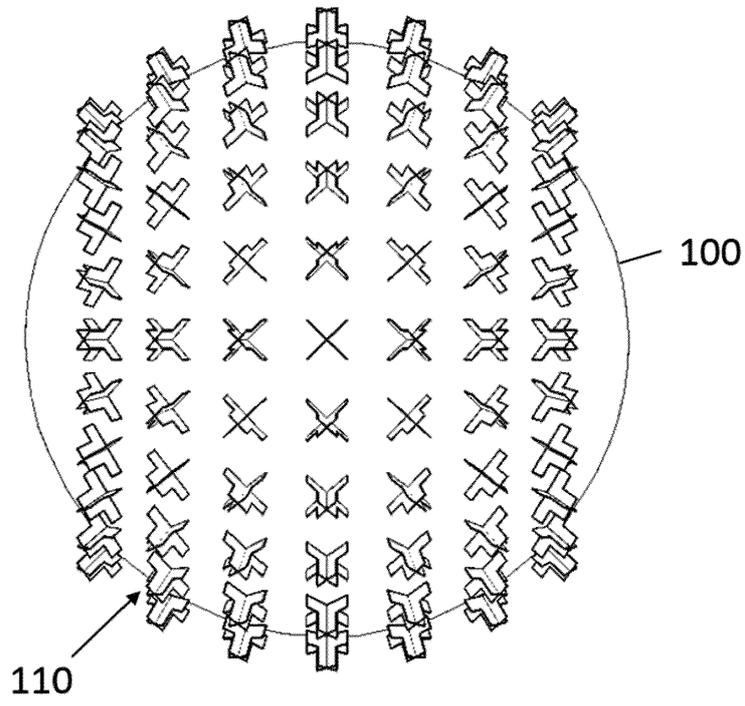


FIG. 3B

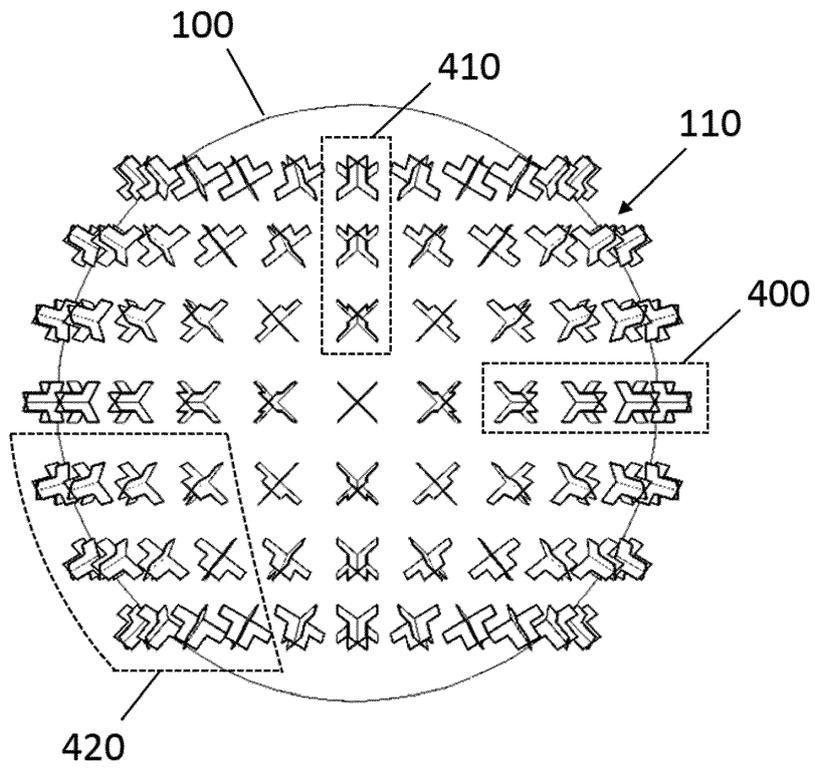


FIG. 4A

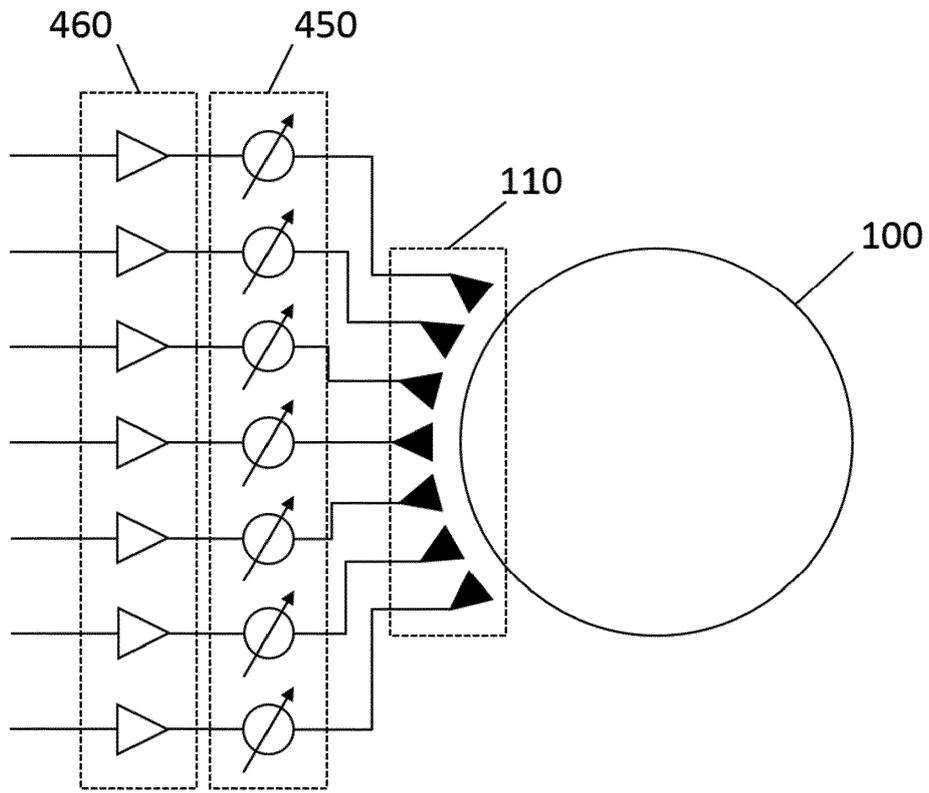


FIG. 4B

FIG. 5A

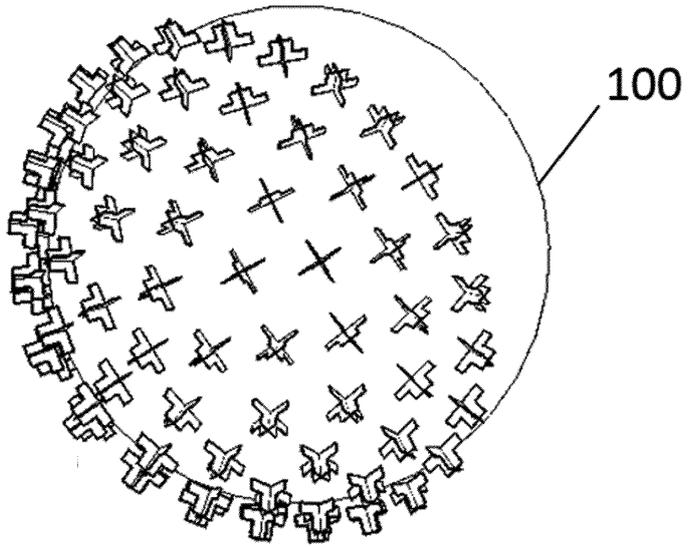
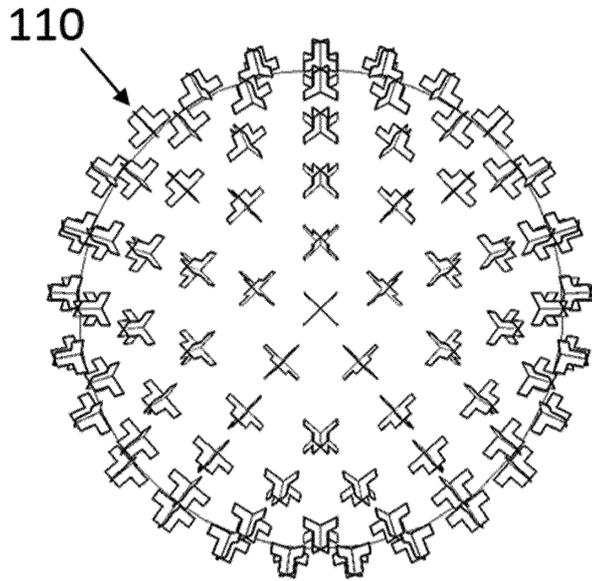


FIG. 5B



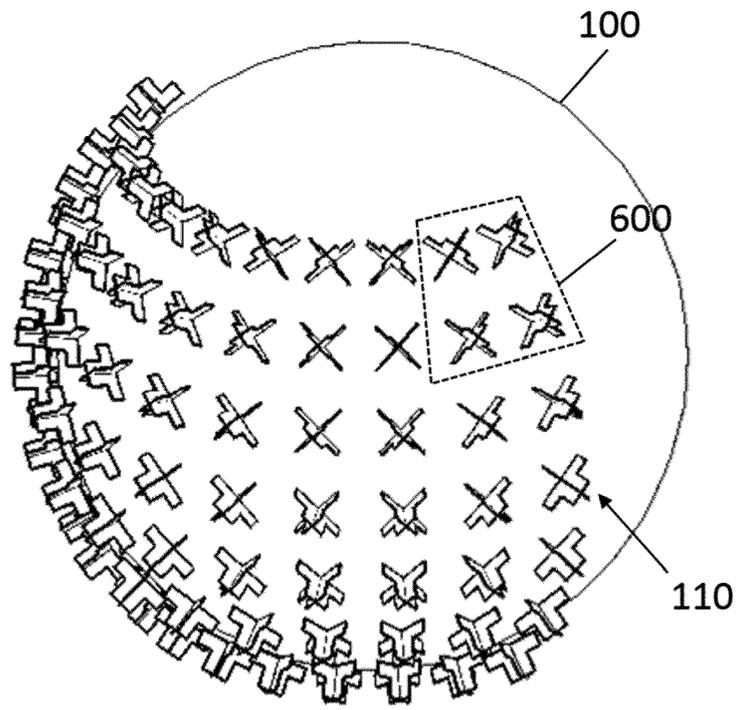


FIG. 6A

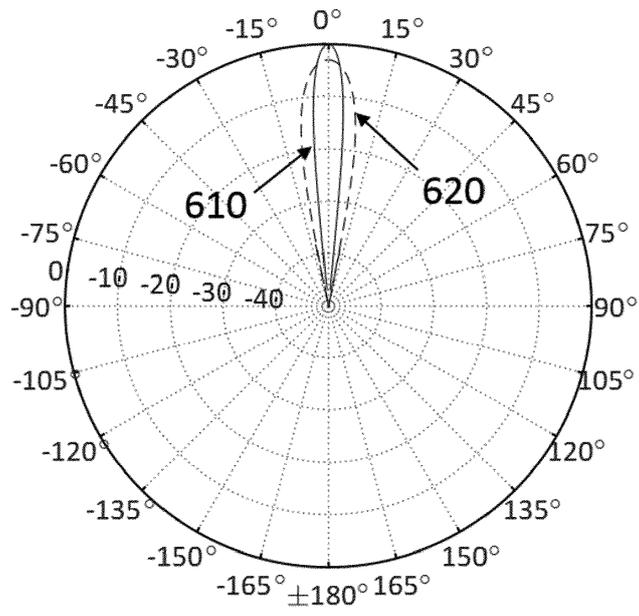


FIG. 6B

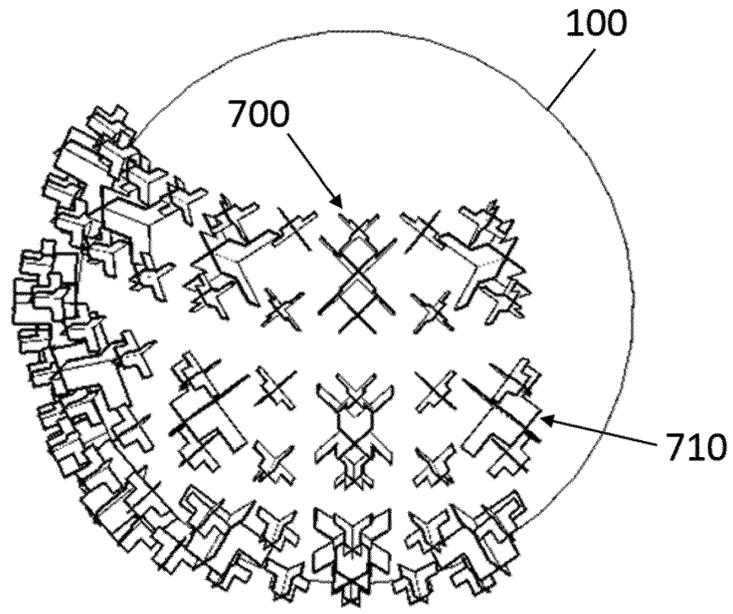


FIG. 7A

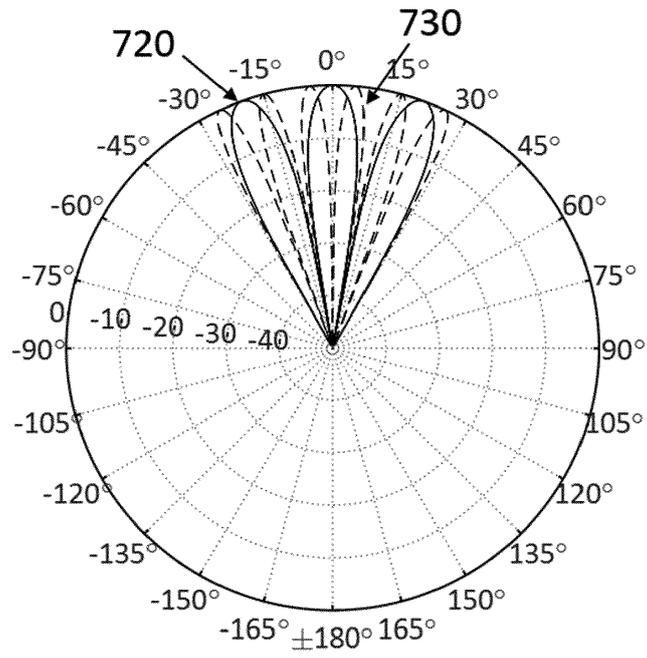
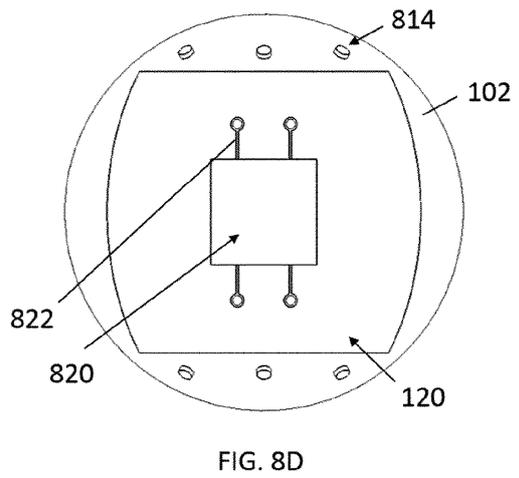
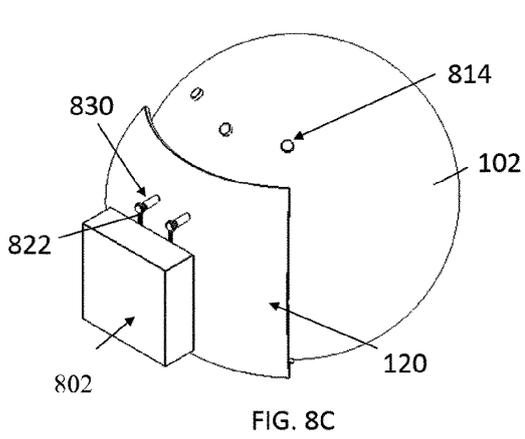
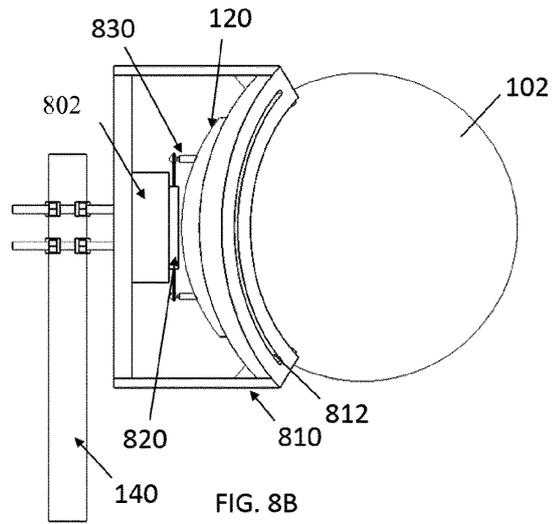
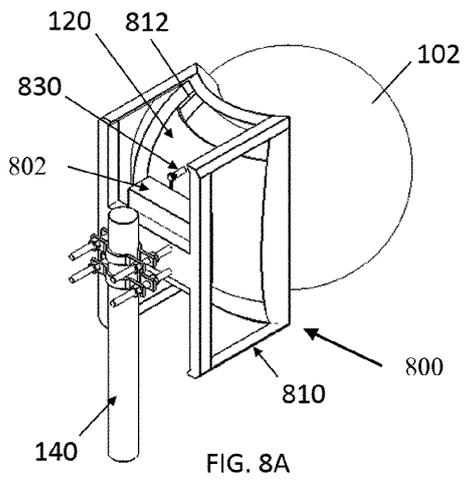


FIG. 7B



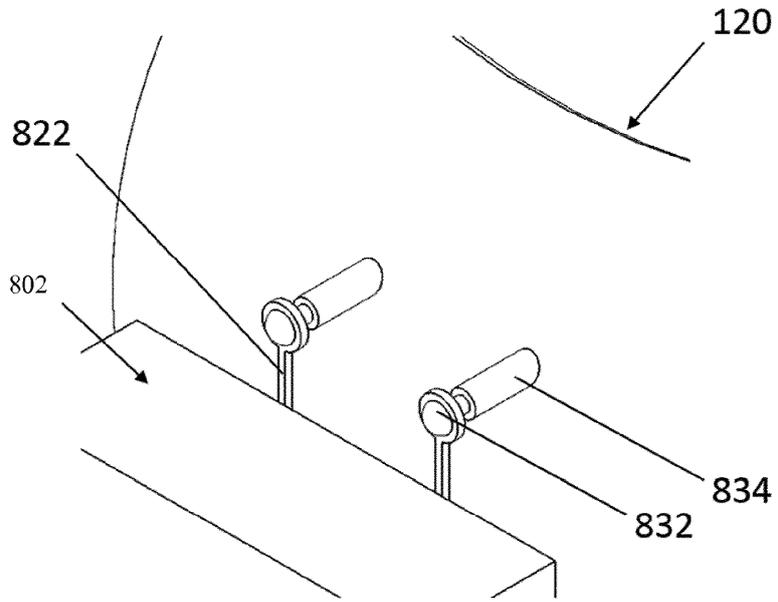


FIG. 8E

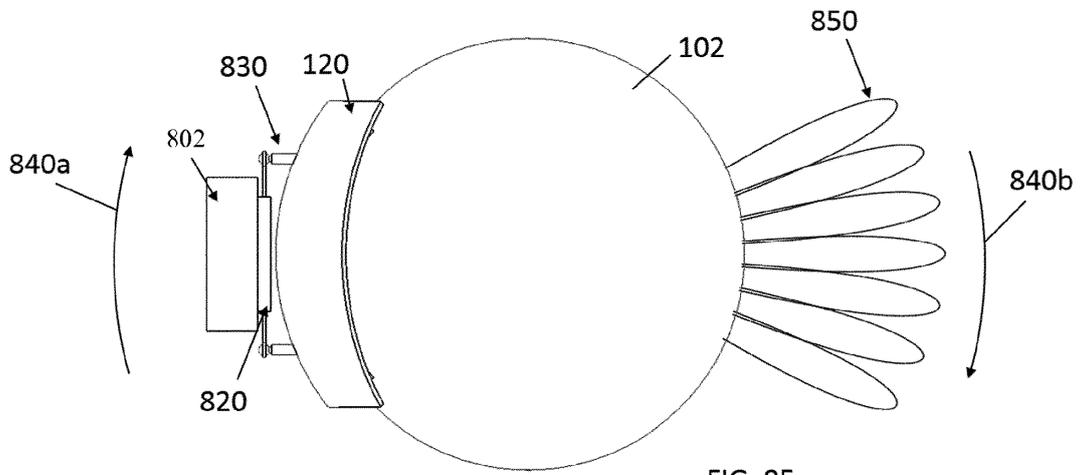


FIG. 8F

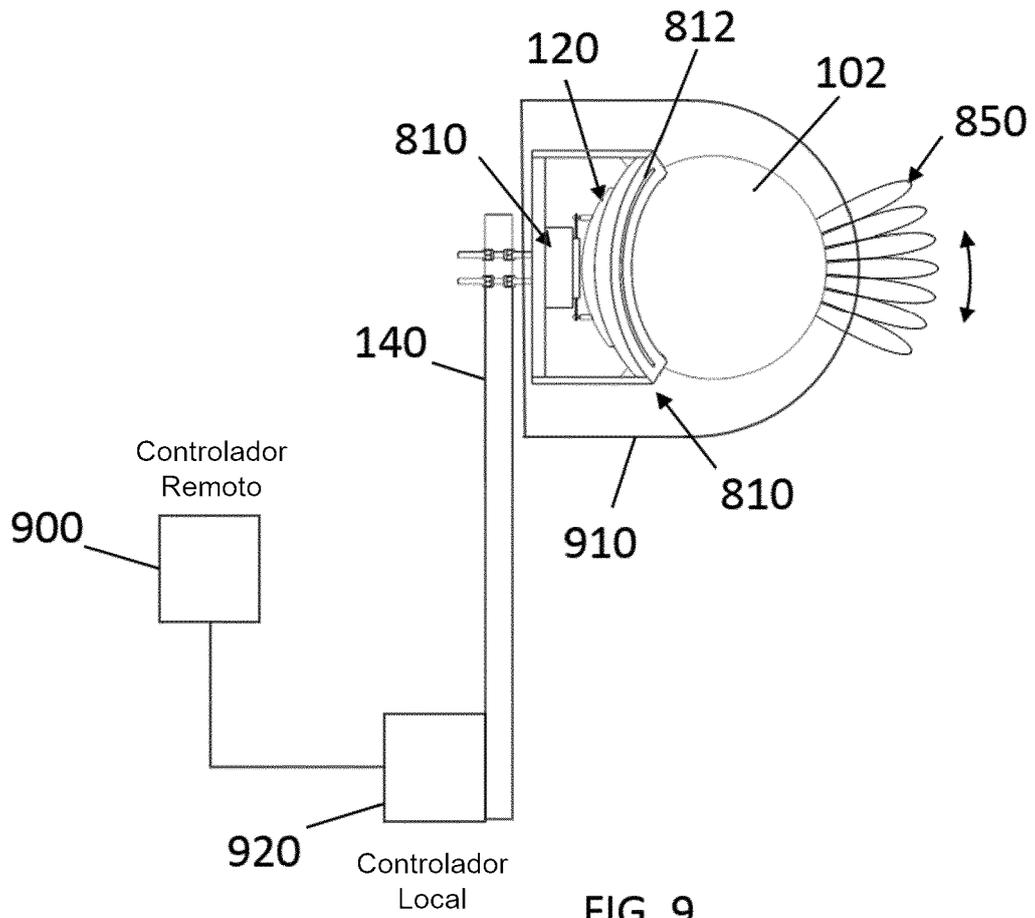


FIG. 9