

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 925 632**

51 Int. Cl.:

H01Q 21/20	(2006.01)
H01Q 21/29	(2006.01)
H01Q 3/26	(2006.01)
H01Q 3/36	(2006.01)
H01Q 9/16	(2006.01)
H01Q 1/28	(2006.01)
H02J 50/20	(2006.01)
B64G 1/44	(2006.01)
H02J 50/00	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.05.2018 PCT/GB2018/051421**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **13.12.2018 WO18224803**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.05.2018 E 18728723 (0)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.06.2022 EP 3635817**

54 Título: **Una antena de matriz de antenas en fase y aparato que incorpora la misma**

30 Prioridad:

05.06.2017 GB 201708945

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
19.10.2022

73 Titular/es:

**INTERNATIONAL ELECTRIC COMPANY LIMITED
(100.0%)
West Lodge Rainbow Street
Leominster, Hereford and Worcester HR6 8DQ,
GB**

72 Inventor/es:

CASH, IAN JAMES

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 925 632 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

Una antena de matriz de antenas en fase y aparato que incorpora la misma

5 Esta invención se refiere a mejoras en matrices de antenas en fase. También se refiere a un aparato mejorado para transmitir energía como un haz de radiación de un lugar a un objetivo distante.

10 Las matrices de antenas en fase se conocen bien en la técnica. Una matriz de antenas en fase plana simple comprende un conjunto de elementos de antena dispuestos en un plano común, cada uno de los cuales se asocia con un dispositivo de desplazamiento de fase. Por la selección adecuada del desplazamiento de fase para cada elemento, la antena se puede usar para transmitir un haz de radiación conformado cuando se configura como un transmisor. Al variar los desplazamientos de fase aplicados por cada dispositivo de desplazamiento de fase, se puede direccionar la orientación del haz, habitualmente por ± 45 grados más o menos, hacia una normal al plano de la matriz de antenas, la llamada referencia de alineación óptica de la matriz de antenas. También se puede configurar para operar en un modo de recepción con una direccionalidad a la sensibilidad del receptor definida por la forma del haz. US 6 094 166 A divulga una matriz de antenas en fase configurado para direccionar un haz radiado a fin de lograr una cobertura omnidireccional. WO 2015/097130 A1 divulga una antena de la matriz de antenas configurada para lograr cobertura omnidireccional. US 2010/265146 A1 divulga un elemento de antena que comprende tres antenas configuradas para direccionamiento nulo.

20 Las matrices de antenas en fase pueden ser pasivas, con la misma señal que se aplica a cada desplazador de fase, o activas, con una señal diferente aplicada a cada desplazador de fase, por ejemplo, una fuente de energía de RF dividida en todos los elementos con fase ajustable entre los elementos. O pueden ser activas con cada elemento (o antenas que comprenden cada elemento) que tiene su propia fuente de energía de RF.

25 Esta capacidad de una matriz de antenas en fase para direccionar un haz puede ser útil en muchas aplicaciones, tal como en el sistema de detección y distanciamiento de radio (RADAR). En una aplicación habitual de una matriz de antenas en fase, se puede transmitir un haz fuerte y estrecho en una dirección desde la matriz de antenas y la señal de eco de retorno asociada con el haz detectado por la matriz de antenas o una matriz de antenas adyacente, seguido por enviar haces estrechos similares en otras direcciones y detectar los ecos. La ubicación de objetos en el área circundante entonces se puede determinar fácilmente para producir un mapa de la ubicación de objetos en el área circundante. Este principio se usa en buques y aviones militares para detectar objetivos hostiles entrantes, pero también se puede usar para detectar nubes para la predicción de clima o en el espacio para detectar objetos distantes y ahora se usa comúnmente en aplicaciones automotrices, por ejemplo, para evitar colisiones, vehículos completamente autónomos, etc.

35 Otras aplicaciones importantes para matrices de antenas planas son para comunicaciones.

40 Se prevé también que las matrices de antenas en fase se pueden usar como un mecanismo para transmitir energía de un punto a otro a través del espacio y/o a través de la atmósfera. Se han hecho diferentes propuestas especulativas para el uso de este principio en el espacio, donde una matriz de antenas en fase se conecta a una matriz de antenas de energía solar y se coloca en una órbita alrededor de la Tierra. El satélite convierte la energía solar recibida en energía eléctrica usando la matriz de antenas solar, y esta energía eléctrica se usa a su vez para producir un haz de energía que se puede transmitir a la Tierra.

45 Para obtener la eficiencia más alta es beneficioso que este satélite tenga paneles solares que apuntan continuamente al sol, en tanto que el haz direccionado permanece en contacto continuo con la Tierra. Para hacer esto, tanto la matriz de antenas solar como el haz se deben direccionar conforme el satélite viaja a lo largo de su órbita alrededor de la Tierra. En una matriz de antenas plana, el ángulo a través del cual se puede direccionar el haz se limita usualmente, caracterizado por una calidad reducida del haz conforme el ángulo se incrementa lejos de la dirección de "referencia de alineación óptica" de la matriz de antenas. Esto da por resultado pérdidas de coseno conforme la matriz de antenas solar se aleja del sol en tanto que el haz se mantiene en una orientación fija, o da por resultado un ancho de haz incrementado (y, más allá de ± 45 grados, componentes significativos dirigidos a lo largo del plano, que da por resultado una degradación inaceptable de haz, puesto que la abertura de transmisión aparente se reduce debido a los intentos de direccionar el haz de una matriz de antenas plana fuera de la referencia de alineación óptica de la matriz de antenas).

55 Una posible solución es proporcionar paneles solares redundantes o antenas que se orientan en diferentes direcciones a los otros paneles solares o antenas y cambiar entre paneles y antenas conforme el satélite orbita la Tierra. La adición de piezas redundantes en general da por resultado masa de carga útil incrementada, una preocupación significativa para aquellos que tienen conocimientos en el campo de lanzamiento espacial.

60 Se puede lograr una mejora en la eficiencia al proporcionar un mecanismo que permite que la matriz de antenas solar se mueva con respecto a la antena de tal forma que cada uno se pueda apuntar en la dirección óptima en todo momento. Esto se puede lograr usando una o más juntas giratorias mecánicas entre las partes que apuntan al sol y que apuntan a la Tierra del satélite. Una junta giratoria en general es menos confiable que una estructura estática. En caso de que esta junta también necesite pasar más de 10 s de kilovatios de energía eléctrica, esto presenta un desafío de diseño significativo para el ambiente de vacío del espacio.

65

Un objetivo de la presente invención es proporcionar una matriz de antenas en fase que se pueda emplear, entre otros usos, en esta aplicación satelital y que mejore algunos de los problemas inherentes a estas propuestas de la técnica anterior.

5 De acuerdo con un primer aspecto, la invención proporciona una matriz de antenas en fase electromagnética que comprende una pluralidad de elementos de antena, cada elemento de antena que comprende al menos tres antenas constituyentes; y

10 un circuito de accionamiento, de modo que la suma de vectores de las corrientes de antenas constituyentes cuando se usa genera, alrededor de un eje central de cada elemento de antena, un patrón de radiación o patrón de sensibilidad a la radiación recibida que tiene un mínimo definido en o cerca de un valor nulo en al menos una dirección, donde los ejes centrales de cada uno de los elementos de antena se alinean en paralelo con un eje central de la matriz de antenas en fase electromagnética y donde al menos un subconjunto de los elementos de antena se encuentra sustancialmente en una superficie helicoidal común que se define al girar un plano vertical rectangular a lo largo del eje central de la matriz de antenas en fase electromagnética, los elementos de antena que se separan a lo largo de este plano de modo que la matriz de antenas en fase electromagnética tiene una abertura sustancialmente constante, donde el circuito de accionamiento se configura para efectuar el direccionamiento electrónico del mínimo de cada patrón respectivo para cada elemento de antena a través de 360 grados alrededor del eje central de cada elemento de antena de la matriz de antenas en fase electromagnética por el ajuste apropiado de las corrientes de vectores asociadas con sus antenas constituyentes de tal forma que toda la pluralidad de elementos de antena contribuye a un ángulo de haz individual en el patrón de radiación o patrón de sensibilidad.

25 Por "sustancialmente en una superficie helicoidal", se quiere decir que los elementos se encuentran exactamente en una superficie helicoidal común, o se pueden desplazar por sólo una pequeña cantidad desde la superficie. Esto se presentará, incluso cuando los elementos estén exactamente en una superficie helicoidal común, si la matriz de antenas se flexiona durante el uso. Puesto que la invención se puede usar para producir matrices de antenas muy grandes, es probable que en la práctica esta flexión se presente provocando un movimiento relativo entre los elementos.

30 La superficie helicoidal puede girar a través de aproximadamente 180 grados, o un múltiplo de, de un extremo de la matriz de antenas en fase electromagnética al extremo opuesto, con elementos que se ubican a lo largo de la superficie helicoidal de un extremo al otro.

35 Todos los elementos de antena de la matriz de antenas en fase electromagnética pueden encontrarse en la superficie helicoidal común.

40 En una disposición simple, los elementos de antena se pueden disponer en múltiples conjuntos, cada conjunto que contiene un subconjunto del número total de elementos de antena, los elementos de antena de cada conjunto que se disponen en un plano que es ortogonal al eje central de la matriz de antenas en fase electromagnética y los planos separados a lo largo del eje central de la matriz de antenas en fase electromagnética.

Los elementos de antena en cada plano se pueden disponer en una fila, con las filas en planos adyacentes que se desplazan de manera angular de tal forma que los elementos de antena se encuentran en la superficie helicoidal. Cada elemento de antena debe encontrarse en la superficie helicoidal.

45 Cuando los elementos de antena de cada conjunto se encuentran en filas de desplazamiento de la manera anterior, la superficie helicoidal se puede lograr por disposición para que las filas, en dos planos adyacentes, se giren alrededor del eje de la matriz de antenas.

50 Cada conjunto puede contener el mismo número de elementos de antena. Es más preferible que la superficie helicoidal se retuerza a través de un múltiplo entero de aproximadamente 180 grados, por ejemplo 180 grados o 360 grados.

55 El solicitante ha apreciado que, como una consecuencia de que cada uno de estos elementos de antena tiene un valor nulo direccionable, la disposición de estos elementos de antena en una superficie helicoidal que tiene una abertura constante desde cualquier ángulo de azimut, y el control adecuado de la fase relativa entre los elementos de antena por el circuito de accionamiento, la matriz de antenas en fase electromagnética de la invención en una configuración preferida es capaz de formar y direccionar un patrón de haz estrechamente enfocado individual a través de azimut de 360 grados, con ancho de haz casi invariable, intensidad pico y lóbulos laterales simétricos. El haz también se puede direccionar en elevación, habitualmente ± 55 grados (límite de 3dB).

60 Por azimut, se quiere decir el ángulo en el plano XY cuando se considera que el eje de la matriz de antenas en fase se extiende en la dirección Z en la cual se dirige el haz.

65 En el uso, el eje Z de la matriz de antenas se puede disponer verticalmente de tal forma que el plano XY es horizontal. El lector, por supuesto, entenderá que la referencia a "vertical" y "horizontal" se mencionan solamente como una conveniencia para usar las coordenadas polares ampliamente usadas "azimut" (ángulo alrededor del eje vertical) y "elevación" (ángulo por arriba/por debajo de la horizontal). En la práctica, el eje Z no necesita ser vertical, y de hecho si

la matriz de antenas en fase se usa en el espacio profundo, el concepto de vertical/horizontal es, por supuesto, efectivamente sin sentido.

5 Cada una de las antenas puede ser sustancialmente, o perfectamente, omnidireccional. Por lo tanto, cada una puede tener un patrón de radiación casi uniforme en todas las direcciones alrededor de un plano.

10 Cada una de las antenas para un elemento de antena puede comprender un dipolo o un dipolo plegado, u otros tipos de antena omnidireccional similares conocidos por aquellos familiarizados con la técnica, resonantes en la longitud de onda central, λ . Cada elemento de antena puede tener un eje que es paralelo al eje de la matriz de antenas en fase electromagnética y como tal, paralelo al eje de cada elemento de antena.

15 En una disposición preferida, cada uno de los elementos de antena de la matriz de antenas en fase electromagnética puede comprender una disposición triangular de tres dipolos paralelos, separados por una longitud de onda de un cuarto entre sí.

El circuito de accionamiento se dispone para direccionar electrónicamente el patrón de radiación para cada elemento de antena a través de un intervalo de hasta 360 grados completos, ya sea a través de un conjunto discreto de ángulos o infinitamente ajustable a cualquier ángulo elegido dentro del intervalo.

20 El solicitante ha propuesto una matriz de antenas en fase electromagnética que, en al menos una configuración, proporciona una mejora sobre una matriz de antenas plana en términos de ángulo de direccionamiento de haz incrementado, por ejemplo, hasta 360 grados versus 90 grados para una matriz de antenas plana habitual para solo $\pi/2$ de incremento en el número de elementos o de manera equivalente, $\pi/2$ de incremento en el área de sustrato (para densidad de elemento idéntica) donde cada elemento ahora consiste de tres antenas constituyentes.

25 El circuito de accionamiento se configura para establecer las corrientes de vectores en cada antena constituyente para proporcionar la capacidad nula direccionable para el elemento de antena.

30 Las antenas constituyentes de cada elemento de antena se orientan espacialmente de modo que el circuito de accionamiento, al aplicar corrientes de vectores apropiadas en cada antena constituyente, produce un patrón para cada elemento de antena que tiene un mínimo direccionable que comprende un valor nulo que es el límite extremo del mínimo del patrón.

35 El patrón de radiación, o patrón de sensibilidad, para cada elemento de antena, puede comprender un patrón en forma de cardioide o cualquier patrón adecuado que proporcione un valor nulo direccionable.

40 El circuito de accionamiento se puede configurar para accionar los elementos de antena con la fase apropiada para direccionar el haz. El circuito de accionamiento puede direccionar el haz a través de 360 grados en azimut (es decir, alrededor del eje Z de la matriz de antenas) y puede direccionar el haz en elevación de hasta aproximadamente ± 55 grados con la intensidad pico que corresponde al patrón de elevación de sus antenas constituyentes, por ejemplo, un límite de direccionamiento de 3dB de ± 55 grados, como para un patrón de dipolo de media onda.

45 La matriz de antenas en fase se puede configurar para emitir radiación de banda estrecha o recibir radiación de banda estrecha, o se puede configurar para hacer ambas a una longitud de onda, λ , en un intervalo de submetro, por lo cual se refiere a >300 MHz, hasta subcentímetro, por lo cual se refiere a partes de <300 GHz del espectro electromagnético, o incluso a escalas submilimétricas.

50 El circuito de accionamiento puede comprender, para cada elemento de antena, un oscilador local que se bloquea en fase a una fuente de frecuencia de referencia de todo el sistema y un desplazamiento de fase controlado de manera digital con respecto a una fuente de referencia de sincronización sincronizada de todo el sistema.

55 El circuito de accionamiento puede comprender un desplazamiento de fase controlado de manera digital separado para cada antena constituyente de cada elemento de antena, aunque se puede implementar una solución analógica, por ejemplo, el uso de desplazadores de fase analógicos que comprenden diodos varicap insertados en una línea de transmisión para proporcionar un retardo de fase.

60 El circuito de accionamiento se puede configurar para seleccionar un desplazamiento de fase para cada elemento de antena de acuerdo con la posición relativa del elemento de antena en la matriz de antenas en fase electromagnética a al menos otro elemento de antena en la matriz de antenas en fase electromagnética o con respecto a un plano de referencia fijo tal como el eje común.

65 Sin embargo, es preferible determinar la fase al proporcionar, para cada elemento de antena o subconjunto espacialmente fijo de elementos de antena, un medio para recibir o generar una referencia de sincronización sincronizada de todo el sistema y un medio para muestrear el frente de onda esférico de un haz piloto entrante (es decir, direccionamiento de haz retrodirectivo). De esta manera, la matriz de antenas en fase electromagnética puede ser relativamente flexible en tanto que permite que se produzca un haz coherente.

- 5 El aparato puede incluir un circuito de codificación de señal que modula la fuente de RF aplicada a uno o más, y preferentemente a cada elemento de antena, para codificar una señal en el haz generado por la matriz de antenas en fase electromagnética. Esto permite que un receptor ubicado de manera remota extraiga la información codificada en el haz, que permite que la matriz de antenas en fase electromagnética se use para transmitir información.
- 10 La separación entre los elementos de antena adyacentes es preferentemente menor que o igual a la mitad de la longitud de onda de la señal que se aplica o se recibe por los elementos de antena. El solicitante ha apreciado que este espaciado evita los lóbulos de rejilla.
- 15 La matriz de antenas en fase electromagnética puede comprender un sustrato que proporciona montaje mecánico e interconexión eléctrica para las antenas de cada elemento de antena de la matriz de antenas en fase electromagnética. En una disposición más preferida, el sustrato que soporta cada uno de los elementos de antena puede comprender un sustrato de placa de circuito impreso (PCB), por ejemplo, un poliimida/PTFE de múltiples capas flexibles-rígidas con interconexión de cobre.
- 20 El circuito de accionamiento puede comprender un circuito integrado que controla n elementos, donde n puede ser uno o más. Se puede montar más de un circuito integrado en el mismo sustrato de alta frecuencia, tal como un producto laminado de múltiples capas de poliimida, PTFE e interconexión de cobre conductor.
- 25 El número de elementos en la matriz de antenas se puede elegir para adaptarse a una aplicación particular. Por ejemplo, la matriz de antenas puede comprender una matriz de antenas de 16 x 25 elementos con 25 planos que contienen cada uno un conjunto de 16.
- 30 Para el uso adecuado de la matriz de antenas en fase para emitir energía a través de una gran distancia, la matriz de antenas en fase puede ser relativamente masiva, del orden de decenas de metros en las direcciones X, Y, y Z. La matriz de antenas puede tener 34 m de ancho en las direcciones X, Y, y Z si se ubican a 20 km por arriba de la Tierra en la estratosfera. Desde GSO (36.000 km), habitualmente la matriz de antenas puede tener una dimensión X, Y, Z de 1 km a 1,5 km de ancho, teniendo en cuenta el límite de difracción fundamental y estableciendo una intensidad pico de suelo ideal/segura de 230 W/m². Por ejemplo, una matriz de antenas en fase de acuerdo con la invención para la formación de haz de energía a través de más de 20 kilómetros a un objetivo puede tener una longitud/diámetro de ~34 metros para un diámetro de rectena de 74 metros (punto de haz) en el objetivo.
- 35 La fórmula de límite de difracción es $(D_{tx} \cdot D_{rx} / \lambda \cdot P) \geq 2,44$, donde D son diámetros, P es la ruta total. Por lo tanto, esta formación de haz de energía a 5,8 GHz puede requerir al menos 1300 por 2100 elementos de antena. Para distancias más bajas, u objetivos más grandes (o frecuencias más altas, que sufren absorción atmosférica por arriba de ~10 GHz), se pueden usar menos elementos de antena.
- 40 La matriz de antenas práctica mínima puede comprender una matriz de antenas de 3 x 5 de elementos de antena, es decir, 5 planos o capas de 3 elementos de antena separados por $\lambda/2$ (donde λ = longitud de onda).
- 45 Cada fila sucesiva en la matriz de antenas en fase electromagnética, donde los elementos de antena se disponen en una serie de filas en planos paralelos separados, se puede desplazar de manera angular desde la fila adyacente entre 36° (donde $5 \times 36^\circ = 180^\circ$) y (como máximo) $0,393 \lambda$, que da una separación de $\lambda/2$ entre los elementos de extremo en las filas adyacentes. Se señala que las filas superiores/inferiores no son paralelas.
- 50 Con un diámetro máximo, D, de λ y una altura, E, de $1,572 \lambda$ (medida entre centros de elementos), su área de sección transversal se aproxima por el área sinusoidal: $2 \cdot D \cdot E/\pi$.
- 55 Para realizaciones más grandes que la escala de longitud de onda, la rigidez mecánica se puede mejorar al dividir cada fila en varios segmentos en zigzag, el sustrato que soporta cada uno de los segmentos en zigzag.
- Cada matriz de antenas lineal en esta configuración puede tener 5 segmentos, con un espaciado regular ($\lambda/2$) de cuatro elementos a lo largo de cada segmento (un elemento que es común en cada una de las uniones de 4 nodos) y un ángulo de desviación de segmento de 60 grados.
- Las desviaciones angulares ajustan la extensión lineal total por un factor de $\sqrt{3}/2$ (de $7,5 \lambda$ a aproximadamente $6,5 \lambda$).
- 60 Para realizaciones aún más grandes, cada una de las subfilas de elementos en la disposición en zigzag de elementos se pueden subdividir adicionalmente de una manera fractal, es decir, en zigzag que contienen zigzag a una escala más pequeña, proporcionando auto-rigidez incrementada a través de múltiples magnitudes de escala.
- 65 Los elementos de antena de la matriz de antenas en fase electromagnética se pueden soportar por una pluralidad de sustratos, cada sustrato que soporta al menos un elemento de antena, los sustratos que se conectan por una red de enlaces que definen las posiciones relativas de los sustratos. Cada sustrato puede comprender una placa rígida tal como

una placa de circuito impreso o circuito flexible endurecido por otro medio tal como elementos de fibra de carbono alargados.

5 La red de enlaces puede incluir una pluralidad de juntas que permiten que la matriz de antenas se pliegue y se despliegue. Esto es especialmente adecuado cuando la matriz de antenas se va a colocar en una órbita alrededor de la Tierra, puesto que se puede lanzar al espacio en forma plegada antes de que se despliegue una vez en órbita.

10 Cada sustrato puede encontrarse en un plano horizontal ortogonal al eje común de la matriz de antenas, los enlaces que conectan los sustratos conjuntamente.

15 En una disposición aún más preferida, los sustratos y los elementos que portan se pueden unir a sustratos vecinos (desplazamiento Z) por una multitud de puntales y juntas de pivote, de modo que la acción de plegado (como se describió anteriormente) en cada plano X-Y local, da por resultado una reducción tanto en el desplazamiento angular como lineal entre sub-matrices de antenas adyacentes alrededor y a lo largo del eje Z, que conduce a una forma estibada altamente compacta (en 3 dimensiones).

20 La disposición de enlaces y juntas en capas alternas de la matriz de antenas helicoidal puede ser la misma, con la disposición de puntales en capas adyacentes diferentes. Por lo tanto, toda la estructura de soporte puede incluir dos disposiciones de puntales.

Uno o más muelles se pueden proporcionar en las juntas de bisagra que conectan un segmento a otro segmento, los muelles que se disponen para aplicar una fuerza a los segmentos cuando están en la condición plegada que provocará que la estructura se despliegue automáticamente cuando se libera.

25 La estructura puede incluir un mecanismo de bloqueo liberable que cuando se bloquea mantiene la estructura en la posición plegada y cuando se desbloquea permite que se despliegue. Cuando se combina con muelles, la estructura de matriz de antenas se puede hacer auto-desplegable desde su configuración plegada compacta (2D o 3D), por la liberación del mecanismo de bloqueo.

30 El mecanismo de bloqueo puede comprender uno o más pasadores que se acoplan a los respectivos huecos en la estructura para evitar que se desplieguen y que se pueden empujar o jalar de los huecos para desbloquearlos. De manera alternativa, los pasadores pueden ser frágiles y el mecanismo de bloqueo se desbloquea al romper los pasadores.

35 De acuerdo con un segundo aspecto, la invención proporciona un aparato de formación de haz de energía para recolectar energía solar del sol y transmitir energía a una ubicación remota tal como la Tierra que comprende:

40 una matriz de antenas en fase electromagnética de acuerdo con el primer aspecto; y una matriz de antenas solar integrada que comprende una multitud de dispositivos fotovoltaicos y componentes ópticos de concentración asociados conectados eléctricamente a la matriz de antenas en fase electromagnética, la matriz de antenas solar integrada que emite energía eléctrica que se usa para suministrar accionamiento a los elementos de antena de la matriz de antenas en fase electromagnética para producir un haz de energía que se direcciona por el circuito de accionamiento hacia la ubicación remota y donde el haz incluye una contribución de cada uno de los elementos de antena.

45 La matriz de antenas solar integrada y los componentes ópticos de concentración asociados se pueden dispersar físicamente a través de la matriz de antenas en fase electromagnética, con cada elemento de antena o un subconjunto de elementos de antena que se ubica próximo a uno o más dispositivos fotovoltaicos asociados. Los elementos de antena, dispositivos fotovoltaicos asociados y componentes ópticos se pueden soportar por un sustrato común. Esta matriz de antenas solar integrada intercalada puede interceptar un área igual de rayos solares como la abertura constante de la matriz de antenas en fase electromagnética, pero desde una sola orientación preferida.

50 De manera alternativa, aunque no son tan elegantes en concepto, se pueden ubicar en una configuración separada que se fija a la matriz de antenas en fase.

55 La ubicación remota puede comprender un punto fijo en la Tierra, o un punto fijo en un objeto en movimiento tal como un barco o avión, o un satélite, o puede ser cualquier punto en el espacio que se puede rastrear por el aparato de formación de haz para permitir que el circuito de accionamiento dirija el haz hacia esa ubicación.

60 El número de elementos en la matriz de antenas, la energía transmitida por cada elemento y la cantidad de energía que se puede recolectar del sol por la matriz de antenas solar, se pueden elegir para permitir que un haz de energía suficiente se alimente a la red eléctrica nacional, o para soportar aplicaciones fuera de la red más pequeñas, tal como una base militar avanzada.

65 La orientación relativa de la matriz de antenas solar y la matriz de antenas en fase puede ser fija, por lo que no se necesitan juntas móviles entre la matriz de antenas solar y la matriz de antenas en fase.

5 El dispositivo de posicionamiento puede incluir un rastreador solar que determina la orientación del sol con respecto al aparato de formación de haz de energía y posiciona la matriz de antenas solar en un ángulo más óptimo con respecto al sol para incrementa al máximo la eficiencia del panel solar. Por ejemplo, en todas las configuraciones orbitales, el satélite puede girar una vez al año alrededor de su propio eje para apuntar la matriz de antenas solar al sol una vez al año si orbita la Tierra, o ubicarse en otro punto de 1AU Lagrange. El aparato también se puede hacer algo de auto-orientación con respecto al sol, usando presión de fotones para corregir pequeñas perturbaciones.

10 El aparato puede incluir componentes ópticos dieléctricos no de formación de imágenes que concentran la luz solar a través de un ángulo de habitualmente 90 grados en los dispositivos fotovoltaicos de la matriz de antenas. Un ejemplo de un componente óptico dieléctrico adecuado es una lente Fresnel, dispuesta en combinación con un reflector dieléctrico plano y un concentrador Kohler secundario para dirigir la luz solar a los dispositivos fotovoltaicos, dando una alta concentración con un pequeño ángulo de aceptación. Un ejemplo de esta disposición se enseña en US 2010/0123954.

15 En una disposición alternativa, los reflectores parabólicos dieléctricos de enfoque en línea flexibles se pueden disponer en una configuración de concentrador parabólico compuesto, que da una concentración más baja pero un ángulo de aceptación más amplio, como se enseña en US 5,523,862.

20 El aparato de formación de haz de energía puede comprender una parte de un satélite que es, en uso, adecuada para colocar en una órbita alrededor de la Tierra o cualquier otra ruta de vuelo en el espacio, por ejemplo, una órbita alrededor de la Luna u otro planeta.

25 El aparato de formación de haz de energía puede comprender un dispositivo de posicionamiento que controla la orientación de la matriz de antenas solar con respecto al sol, en particular para controlar la posición del aparato de formación de haz de energía en una aplicación espacial. Como se mencionó anteriormente, la presión de fotones se puede usar como un mecanismo de direccionamiento pasivo.

30 De acuerdo con un tercer aspecto, la invención proporciona, en lugar de un aparato de formación de haz de energía, un aparato para formar en haz una información de codificación de señal, que tiene todas las características del segundo aspecto aparte de la característica alternativa de que la señal transmitida codifica información en lugar de simplemente transmitir energía.

35 El aparato puede incluir un transpondedor que recibe una señal de la Tierra o alguna otra ubicación distante que contiene información, y convierte esto en una señal que modula la forma de onda de RF que se aplica a los elementos de la matriz de antenas en fase electromagnética. El transpondedor puede detectar señales de radiofrecuencia entrantes que codifican la información. Como tal, el aparato se puede configurar para proporcionar comunicaciones de 2 vías.

40 En el caso donde el objetivo es transmitir información en lugar de grandes cantidades de energía solar, la energía solar de la matriz de antenas solar se puede usar para proporcionar la única fuente de energía para la matriz de antenas de formación de haz.

45 Por ejemplo, un elemento fotovoltaico PV se puede montar en un lado del sustrato que soporta un elemento de antena, con un espejo dieléctrico plano transparente para microondas establecido a 45 grados con respecto al plano X-Y que refleja luz solar no concentrada a través de 90 grados en el elemento PV.

50 Se pueden usar espejos dieléctricos que comprenden reflectores y lentes Fresnel que son transparentes al haz de RF, y el elemento PV se puede orientar plano en el plano de tierra de sustrato cerca de los puntos medios de las 3 antenas constituyentes de cada elemento de tal forma que no interfieran con el haz.

55 De acuerdo con un cuarto aspecto, la invención proporciona un método de uso del aparato del segundo aspecto o el tercer aspecto de la invención que comprende los pasos de:

colocar el aparato en una órbita donde la matriz de antenas solar se orienta hacia el sol con la matriz de antenas en fase electromagnética
ubicada con una línea de visión clara de la Tierra, y direccionar el haz de la matriz de antenas en fase electromagnética para dirigir un haz hacia un objetivo fijo.

60 La colocación del aparato en órbita puede permitir una recolección más eficiente de energía del sol, puesto que la matriz de antenas solar está fuera de la atmósfera de la Tierra y se puede colocar en una órbita donde siempre está a la vista del sol, que en el espacio no es difusa, que permite componentes ópticos de alta concentración y mayor eficiencia PV. A su vez, al transmitir la energía a la Tierra con una longitud de onda λ por arriba de 3 cm (<10 GHz), la atmósfera no afecta la señal transmitida (habitualmente <2 % de pérdida a través de precipitación severa) tanto como lo hace la luz del sol por lo que la eficiencia de la recolección puede ser mayor.

65 El método puede comprender colocar el aparato en una órbita alrededor de un objeto de masa de al menos asteroides que transporta el objetivo, el objeto que es habitualmente la Tierra. La matriz de antenas en fase electromagnética de la

invención se puede usar en cualquier órbita adecuada, pero la “mejor” en general reconocida es una órbita geosincrónica (que incluye geoestacionaria).

5 El método puede comprender proporcionar múltiples aparatos, cada uno en una órbita heliosíncrona diferente, cada uno que dirige un haz al mismo objetivo a su vez, puesto que cada uno satisface los límites de elevación de receptor de superficie y difracción. Esto puede permitir que se usen satélites múltiples y más pequeños para obtener una tasa de utilización similar en la rectena a la de un satélite en una órbita geoestacionaria.

10 Por ejemplo, el solicitante ha apreciado que 5 satélites (mucho más pequeños) pueden dar utilización de >97 % en la rectena (latitud norte) cuando están en una órbita elíptica inclinada heliosíncrona de 3 horas. Se pueden usar otras órbitas heliosíncronas circulares a 2 horas y a 2 horas 24 para permitir satélites aún más pequeños.

El objetivo puede comprender una posición fija en o por arriba de la Tierra.

15 De manera alternativa, el método puede comprender ajustar el aparato a un globo de superpresión u otro dispositivo aerotransportado tal como un dirigible/dirigible estratosférico y desplegar el dispositivo aerotransportado en una ubicación fija de patrones de vuelo y direccionar el haz a una posición fija.

20 El método puede comprender proporcionar un receptor en la ubicación fija. Esto puede comprender una antena rectificadora “rectena”. A este respecto, la invención en otro aspecto puede comprender un sistema que incorpora el aparato del segundo aspecto o tercer aspecto y una rectena.

25 El método puede comprender proporcionar un receptor en el objetivo que también emite un haz piloto de baja energía que se dirige al aparato a fin de efectuar el direccionamiento de haz retro-directivo, ayudando al aparato a enviar el haz de energía hacia él.

30 Esto permite que el aparato muestree el frente de onda esférico producido por el transmisor de haz piloto en un instante de referencia regular en todo el sistema y, por la inversión de tiempo de las fases muestreadas aplicadas a los elementos, y por el cálculo del ángulo de azimut objetivo de estas muestras de fase aplicadas para direccionar el patrón nulo en cada elemento directamente lejos del objetivo, el aparato es capaz de producir un frente de onda esférico coherente similar centrado en la rectena objetivo, con el haz de energía dirigido allí. Se señala que el haz piloto no necesita estar a la misma longitud de onda que el haz de energía.

35 El método puede permitir la transferencia de energía inalámbrica eficiente a través de kilómetros de atmósfera, donde la absorción debido a la humedad limita la longitud de onda de la señal de haz, λ , a $> 3 \text{ cm}$ ($< 10 \text{ GHz}$). Un aspecto específico de la realización es para λ alrededor de 5 cm, utilizando la banda ISM internacional de 5,8 GHz.

Ahora se describirán, a modo de ejemplo solamente, varias realizaciones de la invención con referencia a los dibujos anexos de los cuales:

40 La **figura 1** muestra la disposición de los elementos en una primera realización de una matriz de antenas en fase de acuerdo con un aspecto de la invención,

45 La **figura 2** muestra la disposición de los elementos en una segunda realización, más grande, de una matriz de antenas en fase de acuerdo con un aspecto de la invención,

La **figura 3** ilustra esquemáticamente la relación entre el circuito de accionamiento y los elementos de la matriz de antenas;

50 Las **figuras 4(a) a (d)** muestran cuatro patrones cardioides que se pueden generar por cada elemento de las matrices de antenas de las figuras 1 a 3;

55 La **figura 5** compara el patrón de radiación polar de dos matrices de antenas en fase de transmisión de elementos de 7 x 11 que dan una comparación directa entre una realización de la invención y una matriz de antenas plana simple equivalente (sin reflector posterior), ambas con la misma área física, mismo número de elementos, misma potencia de RF total;

La **figura 6** es similar a la figura 5, pero en una escala logarítmica que muestra la intensidad, es decir, la densidad de energía, contra el ángulo;

60 Las **figuras 7(a) a (d)** muestran una estructura de soporte de ejemplo que se puede plegar y desplegar;

La **figura 8** es una representación esquemática de un aparato de formación de haz de energía que combina una matriz de antenas en fase y una matriz de antenas solar;

65 La **figura 9** es una representación de un aparato de formación de haz de energía de la figura 8 en la forma de un satélite colocado en órbita alrededor de la Tierra;

- La **figura 10** es una representación de un satélite similar que se puede usar para retransmitir información dentro de una red de comunicaciones;
- 5 La **figura 11** es una representación de un aparato de formación de haz de energía incorporado en una estructura rígida basada en tierra;
- La **figura 12** es una representación de un aparato de formación de haz de energía incorporado dentro de una aeronave dirijible;
- 10 La **figura 13** es una disposición de ejemplo de una celda fotovoltaica y dipolos, en una posición colapsada;
- La **figura 14** es la disposición de ejemplo de la figura 13, en una posición erecta;
- 15 La **figura 15** es la disposición de ejemplo de la figura 13, en vista en planta;
- La **figura 16** es la circuitería de la figura 13, mostrada en detalle; y
- 20 La **figura 17** es una representación de la orientación del aparato de formación de haz de energía cuando está en órbita geoestacionaria alrededor de la Tierra.
- Como se muestra en la figura 1, una realización de una matriz de antenas en fase 100 dentro del alcance de un aspecto de la invención comprende una pluralidad de elementos de antena 102. Como se muestra, hay 15 elementos 102, dispuestos en cinco filas de tres elementos. Cada elemento de antena 102 comprende tres antenas, que en este ejemplo son dipolos omnidireccionales 104. Los ejes de cada dipolo 104 de los elementos de antena 102 se alinean en paralelo con un eje central común de la matriz de antenas 100 y se ubican espacialmente de modo que la matriz de antenas 100 tenga una abertura sustancialmente constante cuando se ve alrededor de ese eje. En la figura 1, el eje común es vertical y se ejecuta de arriba a abajo a lo largo de la página indicada por una línea de punto-rayado.
- 25
- 30 Los elementos se disponen de modo que todos se encuentran en una superficie helicoidal común que se puede describir al torcer un plano vertical rectangular a través de 180 grados desde el borde inferior hasta el borde superior, los bordes inferior y superior que se separan a lo largo del eje de la matriz de antenas.
- Como se muestra, los elementos 102 se dividen en conjuntos, cada conjunto de elementos que se dispone en una fila en un plano horizontal que se desplaza de conjuntos adyacentes a lo largo del eje de la matriz de antenas, por ejemplo, de arriba a abajo a lo largo de la página como se muestra. La orientación de la fila dentro del plano respectivo gira de una fila a la siguiente a lo largo de la matriz de antenas 100.
- 35
- 40 Como se muestra, las filas se desplazan de manera angular desde la fila adyacente por 36° de tal forma que la superficie helicoidal se ha torcido a través de aproximadamente una media vuelta, 180°, de arriba a abajo (las filas superiores e inferiores también se desplazan por 36°).
- Por supuesto, se pueden proporcionar otras matrices de antenas más grandes. La figura 2 muestra una disposición de una matriz de antenas 200 con 7 x 11 elementos 202. En este caso, el desplazamiento angular de cada fila adyacente es menor para proporcionar la misma rotación cercana a 180 grados de la superficie helicoidal.
- 45
- Como se muestra en la figura 3, la matriz de antenas en fase 100 de la figura 1 (modificable en escala a cualquier otra matriz de antenas de tamaño) incluye un circuito de accionamiento 106, por lo que cada dipolo 104 se asocia con un desplazador de fase 108 que forma una parte del circuito de accionamiento 106 que cambia la fase de cualquier señal de fuente de RF aplicada a los elementos 102 de la matriz de antenas. El desplazamiento de fase que se puede aplicar para cada dipolo 104 se controla electrónicamente.
- 50
- El circuito de accionamiento 106 direcciona electrónicamente el respectivo patrón para cada elemento de antena 102 a través de un intervalo completo de 360 grados alrededor del eje vertical de la matriz de antenas 100 por el ajuste apropiado de la fase relativa y la magnitud de sus dipolos constituyentes 104. En efecto, el circuito de accionamiento 106 provoca que cada elemento 102 genere un patrón cardioide para el cual se puede girar el valor nulo a través de 360 grados. Al cambiar la dirección de los valores nulos para todos los elementos 102, el haz producido por la matriz de antenas 100 se puede direccionar a través de 360 grados alrededor del eje de la matriz de antenas 100.
- 55
- 60 La figura 4 muestra algunos de los patrones que se pueden generar por cada elemento de la matriz de antenas en fase 100, como se ve desde arriba mirando verticalmente hacia abajo el eje de la matriz de antenas 100 que se puede considerar que se encuentra en el eje Z en un marco de referencia de coordenadas XYX cartesianas. En la figura se puede ver la ubicación de los tres dipolos 104 en las esquinas de un triángulo equilátero centrado en un punto central del elemento. Estos patrones se pueden lograr usando lo siguiente. La amplitud relativa para el dipolo nd ($nd = 1, 2, 3$) se establece por el circuito de accionamiento 106 de acuerdo con el coseno del ángulo de azimuth T-C-Dnd, donde T es el objetivo, C es el centroide del elemento y Dnd es el dipolo. La fase para el dipolo Dnd se establece por el circuito de
- 65

accionamiento 106 como -2π multiplicado por la distancia de módulo de longitud de onda T-Dnd. Esto se puede aplicar a la antena omnidireccional perfecta, o con pequeñas modificaciones se puede aplicar a las antenas que no son perfectamente omnidireccionales.

5 Al controlar la fase de cada elemento 102, en tanto que se mantiene el mismo patrón para cada elemento 102, toda la matriz de antenas 100 puede producir un haz apretado que se puede direccionar a través de 360 grados alrededor de su eje. También se puede direccionar en elevación alrededor de 55 grados por arriba y por debajo de la horizontal, el límite que se define como el punto en el cual la intensidad pico se ha reducido en alrededor de 3dB.

10 La figura 5 compara el patrón de radiación polar de dos matrices de antenas en fase de transmisión de 7 x 11 elementos con energía de elemento idéntica, espaciamiento de fila (a lo largo del eje Z, centrado en el plano X-Y) y espaciamiento de elemento a lo largo de cada fila. La fase relativa de todos los elementos se elige de manera óptima para dirigir el patrón de haz a un punto distante en el plano X-Y.

15 La primera matriz de antenas en fase es una matriz de antenas plana de la técnica anterior que comprende elementos dipolo simples (alineados con el eje Z) en una disposición plana en el plano X-Z, sin el reflector/absorbedor (normalmente presente) para seleccionar el semiplano Y deseado.

La segunda matriz de antenas en fase es la configuración helicoidal como se describe en las figuras anteriores.

20 La matriz de antenas plana tiene una dirección de "referencia de alineación óptica" a lo largo del eje y. La intensidad pico de haz se atenúa conforme el haz se aleja de la dirección de referencia de alineación óptica. Más allá de ± 45 grados (con respecto a la referencia de alineación óptica), un componente significativo del haz B1 se dirige a lo largo del plano X-Z.

25 Por comparación, la disposición helicoidal de la matriz de antenas de la presente invención no tiene dirección de referencia de alineación óptica; hay un cambio mínimo en la amplitud pico ni ancho de haz de media energía conforme el lóbulo individual B2 gira continuamente a través de 360 grados alrededor del eje Z.

30 La figura 6 muestra la misma matriz de antenas plana versus la matriz de antenas de la figura 2 (configuración helicoidal), esta vez como una gráfica logarítmica de intensidad versus ángulo. En contraste con una matriz de antenas plana, los lóbulos laterales permanecen consistentes y simétricos alrededor del lóbulo primario, conforme el haz gira alrededor del eje Z.

35 Los ejemplos mostrados en las figuras 1, 2 y 3 tienen cada uno elementos fijos que no se mueven con respecto entre sí, pero está dentro del alcance de un aspecto de la invención que los elementos se soporten por una estructura que se puede plegar y desplegar para reducir el volumen de la matriz de antenas cuando no se está usando.

40 La figura 7 muestra una estructura de soporte de ejemplo 110 dentro del alcance de un aspecto de la presente invención. La estructura 110 se muestra en grados variables de expansión, desde un estado comprimido en la figura 7(a) a un estado completamente expandido en la figura 7(d). La estructura 110 comprende sustratos 112 ubicados en cada plano horizontal de la matriz de antenas que soportan cada uno un pequeño subconjunto del conjunto total de elementos. Estos se conectan conjuntamente a través de los planos por una red de enlaces 112 y juntas articuladas 114.

45 Los enlaces 112 y juntas 114 pueden moverse para permitir que toda la matriz de antenas 100 se mueva desde una forma colapsada mostrada en la figura 7(a) a una forma completamente expandida en la figura 7(d).

50 Una característica notable de la disposición de los elementos en los ejemplos anteriores es que el área de sección transversal o abertura, de la matriz de antenas permanece sustancialmente constante para todos los ángulos de visión de la matriz de antenas alrededor del eje vertical. Esto significa que la matriz de antenas se puede girar alrededor de ese eje y, cuando se ve desde un objeto distante perpendicular al eje, la energía que se puede transmitir en el haz que llega al objeto permanecerá sustancialmente constante.

55 Por lo tanto, se puede usar convenientemente una matriz de antenas aumentada en escalada con base en la realización de la figura 7, que tiene muchos más elementos, para transmitir un haz de alta energía de radiación a un objetivo distante, que puede estar de decenas de metros a decenas de kilómetros de distancia o a aproximadamente 36.000 kilómetros, es decir, altitud GSO.

60 Esta característica de potencia constante y la capacidad de direccionar el haz a través de 360 grados hace que la matriz de antenas sea especialmente adecuada para que se coloque en una órbita alrededor de la Tierra y transmitir energía de regreso a un objetivo en la Tierra. Esto se puede combinar con la matriz de antenas de paneles solares para recolectar la energía del sol y transmitirla de regreso a la Tierra donde se puede usar para alimentar dispositivos eléctricos, hogares, vehículos y así sucesivamente.

65 La figura 8 muestra una disposición en la cual una matriz de antenas solar 116 se integra con la matriz de antenas en fase 100. La matriz de antenas solar 116 comprende una multitud de dispositivos fotovoltaicos (PV) 118 conectados eléctricamente a la matriz de antenas en fase 100. En este ejemplo, los dispositivos fotovoltaicos 118 se intercalan

físicamente entre los elementos 102, con un PV 118 (o grupo de elementos PV) para cada elemento de antena 102. La relación de dispositivos PV con respecto a los elementos de antena puede variar por fila; en las filas exteriores, puede haber más elementos que PV, para las filas centrales puede haber más PV que elementos de RF. Cada elemento PV 118 de la matriz de antenas solar 116 emite energía eléctrica que se usa para suministrar accionamiento al elemento de antena asociado 102 de la matriz de antenas 100 para producir un haz de energía que se direcciona por el circuito de accionamiento 106 hacia una ubicación fija.

Las figuras 13 a 15 muestran una posible disposición de PV y elementos. La figura 13 muestra la disposición en una condición colapsada y la figura 14 muestra la disposición en elevación, en tanto que la figura 15 muestra esto en vista en planta.

Como se puede ver, el sustrato 320 lleva el elemento PV 318 que se cubre por un concentrador Kohler 322. Por arriba del concentrador 322 está un espejo 324, a 45 grados con respecto al plano del sustrato 320, y este recibe luz solar de una lente Fresnel 326 que se dispone ortogonal al sustrato 320. El espejo 324 funciona para dirigir la luz solar recibida que se ha recolectado por la lente 326 a través de 90 grados en el elemento PV 318.

La figura 15 muestra la disposición de los tres dipolos 304 que conforman un elemento de la matriz de antenas alrededor de la lente 326 y el elemento PV 318.

La disposición puede estar en una escala muy pequeña, con la lente Fresnel 326 tal vez alrededor de 13 mm cuadrados.

Considerando el estado actual de la técnica para los elementos PV, los elementos PV de unión múltiple III/V han alcanzado eficiencias de 47 % a >300 soles. Usando una lente Fresnel cuadrada de 13 mm dispuesta de modo que desde un ángulo de azimut particular (que da al sol) tienen la misma abertura que la abertura de RF (aunque la abertura de RF no cambia a través de 360 grados, por supuesto), excepto por pequeñas pérdidas de área debido al espesor del sustrato y la sombra de cualquiera de los puntales que soportan la matriz de antenas, el espejo dieléctrico refleja esta luz solar concentrada hacia abajo en el concentrador Kohler, y en un chip fotovoltaico de 4 uniones que mide tal vez 1 mm cuadrado. Para componentes ópticos ideales, esto da una concentración de 169 soles.

El uso de muchos cientos de estas pequeñas disposiciones de antena y PV asegura que la densidad de energía promedio en cada sustrato sea baja, que permite el control térmico mediante una simple dispersión de calor conductor de baja masa. Por el contrario, la concentración solar a gran escala requiere un control térmico más complejo. En un ambiente espacial, esto implica habitualmente radiadores masivos y equipos asociados para fluidos bombeados, con problemas de confiabilidad inherentes asociados con el desgaste de los cojinetes y daño de micrometeoritos.

La figura 16 es un diagrama esquemático que muestra cómo los elementos PV 318 y las antenas 302 a través de la matriz de antenas se conectan entre sí. La salida de voltaje de cada elemento PV 318 (o una combinación de un pequeño número de elementos PV), se alimenta en un convertidor de CC-CC 328 con control de retroalimentación de su voltaje de *entrada* para la máxima eficiencia de punto de operación PV IV. La salida del convertidor CC-CC 328 entonces se alimenta a un riel común de todo el sistema 330, segmentado para aislamiento de fallas y re-encaminamiento de energía. Este riel común 330 entonces suministra tanto la generación de CC-RF para todos los elementos (segmentados para aislamiento de fallas) como las funciones de control de sistema auxiliar. La circuitería de CC-RF 332 puede comprender un oscilador local, bloqueado en fase a una referencia de todo el sistema, un desplazamiento de fase controlado de manera digital seleccionado por el circuito de accionamiento, un riel de suministro de salida controlado de manera digital, salida de accionamiento de RF clase E y alguna coincidencia de impedancia de antena.

Para permitir cierta flexibilidad en la matriz de antenas, la referencia de todo el sistema también se puede enlazar a una referencia de sincronización sincronizada de todo el sistema para la determinación de fase relativa para cada elemento 302. Esto puede comprender una pluralidad de detectores 334 dispersos entre la matriz de antenas, cada uno fijo con respecto a al menos un elemento 302, que muestrean la fase del frente de onda esférico asociado con una fuente de haz piloto distante que emana del objetivo con receptores intercalados entre la matriz de antenas. Este haz piloto puede estar a una frecuencia diferente al haz de energía. Estas muestras de fase se invierten posteriormente en el tiempo antes de aplicarse como la fase relativa para cada elemento 302. La interpolación en distancias cortas se puede usar para reducir el número de receptores de muestreo de fase.

La figura 9 muestra una posible disposición de un satélite 436 que se encuentra dentro del alcance de un aspecto adicional de la invención. El satélite 436 comprende una matriz de antenas en fase 100 y una matriz de antenas PV 118 como se muestra en la figura 8.

Una característica clave del satélite 436, que se habilita por la capacidad de la matriz de antenas 100 para direccionar el haz a través de 360 grados, es que se puede fijar la orientación de las celdas fotovoltaicas solares con respecto a los respectivos elementos de antena, por lo que no se requieren partes móviles. Esto permite que el satélite 436 se gire alrededor de su eje para asegurar que la matriz de antenas solar se oriente óptimamente hacia el sol en cualquier momento dado, y sin embargo, el haz siempre se puede direccionar para asegurar que el haz se mantenga apuntando hacia el mismo punto de la Tierra bajo el control del circuito de accionamiento. La abertura sustancialmente constante de la matriz de antenas, por otra parte, asegura que la energía que se puede transmitir permanezca bastante constante conforme gira

la matriz de antenas en fase. La figura 17 muestra una órbita adecuada para el satélite 436, con la flecha en cada imagen del satélite 436 que muestra los elementos PV siempre orientados hacia el sol. El eje Z común de la matriz de antenas en esta imagen va en el plano de la página, y se puede ver que, por direccionamiento a través de 360 grados una vez por órbita alrededor de la Tierra, el haz siempre se puede direccionar hacia un objetivo en la superficie de la Tierra.

5

Por supuesto, el lector apreciará que, además de o como una alternativa a la formación de haz de energía, la invención es adecuada para producir un satélite 436 que puede enviar un haz que codifica información desde el espacio a una ubicación fija de la Tierra. En una modificación, mostrada en la figura 10, el satélite 536 incluye un modulador 538 que modula el haz que se transmite con información. Se pueden usar varias técnicas de modulación diferentes, todas las cuales serán familiares para la persona experta en la técnica y como tales, no se describirán aquí en detalle. La señal se puede, por ejemplo, modular usando una de la siguiente lista no exhaustiva de procesos de modulación: ASK (modulación por desplazamiento de amplitud o modulación de amplitud), FSK (modulación por desplazamiento de frecuencia o modulación de frecuencia) y PSK (modulación por desplazamiento de fase o modulación de fase).

10

15

El satélite incluye un transpondedor 540 que recibe una señal de la Tierra o alguna otra ubicación distante que contiene información, y convierte esto en una señal que modula el haz transmitido por la matriz de antenas en fase. El transpondedor 540 en este ejemplo detecta señales de radiofrecuencia entrantes que codifican la información.

20

El lector también apreciará que una matriz de antenas solar combinada y una matriz de antenas en fase que pueden rastrear eficientemente el sol se pueden usar en muchas otras aplicaciones más allá de ser puestas en una órbita alrededor de la Tierra. En otra aplicación, el aparato se puede fijar al suelo, en un vehículo o nave en movimiento u otra plataforma móvil, para enviar energía a través de la atmósfera a un dispositivo remoto.

25

Una disposición donde la matriz de antenas 600 se fija a una plataforma de soporte rígida 642 a algunos kilómetros desde un objetivo 644 se muestra en la figura 11. Los diámetros de antena/rectena y la longitud de onda determinan la distancia máxima de formación de haz.

30

En otra realización, mostrada en la figura 12, la matriz de antenas en fase 700 se puede adaptar en un avión o un vehículo más ligero que el aire, tal como un globo de super-presión grande o dirigible 746. Esto se muestra en la figura 12 donde la matriz de antenas 700 se ubica dentro de la aeronave 746.

Donde se adapta dentro de una aeronave, la estructura dirigible o la tensión de piel de dirigible ayudan a soportar la matriz de antenas.

REIVINDICACIONES

1. Una matriz de antenas en fase electromagnética (100, 200) que comprende una pluralidad de elementos de antena (102, 202),
 5 cada elemento de antena que comprende al menos tres antenas constituyentes (104); y un circuito de accionamiento (106), de modo que la suma de vectores de las corrientes de antenas constituyentes cuando se usa genera, alrededor de un eje central de cada elemento de antena, un patrón de radiación o patrón de sensibilidad a la radiación recibida que tiene un mínimo definido en o cerca de un valor nulo en al menos una dirección,
 10 donde los ejes centrales de cada uno de los elementos de antena se alinean en paralelo con un eje central de la matriz de antenas en fase electromagnética y donde al menos un subconjunto de los elementos de antena se encuentra sustancialmente en una superficie helicoidal común que se define al torcer un plano vertical rectangular a lo largo del eje central de la matriz de antenas en fase electromagnética, los elementos que se separan a lo largo de este plano de modo que la matriz de antenas en fase electromagnética tiene una abertura sustancialmente constante,
 15 **caracterizado porque** el circuito de accionamiento se configura para efectuar direccionamiento electrónico del mínimo de cada respectivo patrón para cada elemento de antena a través de 360 grados alrededor del eje central de cada elemento de antena de la matriz de antenas en fase electromagnética por el ajuste apropiado de las corrientes de vectores asociadas con sus antenas constituyentes de tal forma que toda la pluralidad de elementos de antena contribuye a un ángulo de haz individual en el patrón de radiación o patrón de sensibilidad.
- 20 2. La matriz de antenas en fase electromagnética de acuerdo con la reivindicación 1, donde la superficie helicoidal gira a través de aproximadamente 180 grados, o un múltiplo de, de un extremo de la matriz de antenas al extremo opuesto, con elementos de antena que se ubican a lo largo de la superficie helicoidal de un extremo al otro.
- 25 3. La matriz de antenas en fase electromagnética de acuerdo con la reivindicación 1 o reivindicación 2, donde todos los elementos de antena de la matriz de antenas en fase electromagnética se encuentran en la superficie helicoidal común y en la cual los elementos de antena se disponen de tal forma que todos se encuentran en la superficie helicoidal.
- 30 4. La matriz de antenas en fase electromagnética de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, donde los elementos de antena se disponen en múltiples conjuntos, cada conjunto que contiene un subconjunto de los elementos de antena de número total, los elementos de antena de cada conjunto que se disponen en un plano que es ortogonal al eje central de la matriz de antenas en fase electromagnética y los planos separados a lo largo del eje central de la matriz de antenas en fase electromagnética opcionalmente donde los elementos de antena en cada plano se disponen en una fila, con las filas en planos adyacentes que se desplazan de manera angular de tal manera que los elementos de antena se encuentran en la superficie helicoidal.
- 35 5. La matriz de antenas en fase electromagnética de acuerdo con la reivindicación 4, donde cada conjunto contiene el mismo número de elementos de antena o donde los elementos de antena se disponen en un patrón aleatorio o repetitivo o pseudoaleatorio en la superficie helicoidal que satisface la restricción de espaciamiento de $\lambda/2$ de tal forma que no hay lóbulos de rejilla generados en el uso de la matriz de antenas en fase electromagnética, donde λ es la longitud de onda de la señal que se aplica o se recibe por los elementos de la matriz de antenas en fase electromagnética.
- 40 6. La matriz de antenas en fase electromagnética de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, donde cada uno de los elementos de antena de la matriz de antenas en fase electromagnética comprende una disposición triangular de tres dipolos paralelos, separados por una longitud de onda de un cuarto entre sí, donde la longitud de onda corresponde a la longitud de onda de resonancia de los dipolos.
- 45 7. La matriz de antenas en fase electromagnética de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, donde el circuito de accionamiento comprende, para cada elemento de antena, un oscilador local que se bloquea en fase a una fuente de frecuencia de referencia de todo el sistema y un desplazamiento de fase controlado de manera digital para aplicar un desplazamiento de fase a la salida del oscilador local, opcionalmente donde el circuito de accionamiento comprende un desplazamiento de fase controlado de manera digital separado para cada antena de cada elemento de antena.
- 50 8. La matriz de antenas en fase electromagnética de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, donde los elementos de antena de la matriz de antenas en fase electromagnética se soportan por una pluralidad de sustratos (112), cada sustrato que soporta al menos un elemento de antena, los sustratos que se conectan por una red de enlaces (112) que definen las posiciones relativas de los sustratos, opcionalmente donde la red de enlaces incluye una pluralidad de juntas (114) que permiten que la matriz de antenas en fase electromagnética se pliegue y se despliegue.
- 55 9. Un aparato de formación de haz de energía para recolectar energía solar del sol y transmitir energía a una ubicación remota tal como la Tierra que comprende:
 60 una matriz de antenas en fase electromagnética de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8; y una matriz de antenas solar integrada (116) que comprende una multitud de dispositivos fotovoltaicos (118) conectados eléctricamente a la matriz de antenas en fase electromagnética, y sus componentes ópticos de concentración asociados;
- 65

la matriz de antenas solar integrada configurada para emitir energía eléctrica que se usa para suministrar los elementos de antena de la matriz de antenas en fase electromagnética para producir un haz de energía que se direcciona por el circuito de accionamiento hacia la ubicación remota y donde el haz incluye una contribución de cada uno de los elementos de antena.

5

10. Un aparato para formar en haz una información de codificación de señal que comprende:

una matriz de antenas en fase electromagnética de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8; y una matriz de antenas solar integrada que comprende una multitud de dispositivos fotovoltaicos conectados eléctricamente a la matriz de antenas en fase electromagnética, la matriz de antenas solar integrada configurada para emitir una señal de energía eléctrica que se usa para suministrar accionamiento a los elementos de antena de la matriz de antenas en fase electromagnética para producir un haz de energía que se direcciona por el circuito de accionamiento hacia la ubicación remota.

10

15

11. Un método de uso de un aparato de formación de haz de energía de acuerdo con la reivindicación 9 o un aparato de acuerdo con la reivindicación 10, que comprende los pasos de:

colocar el aparato en una órbita donde la matriz de antenas solar integrada se orienta hacia el sol con la matriz de antenas en fase electromagnética ubicada con una línea de visión clara de la Tierra, y direccionar el haz de la matriz de antenas en fase electromagnética para dirigir un haz hacia un objetivo fijo.

20

12. Un método de acuerdo con la reivindicación 11, que comprende además colocar el aparato en una órbita alrededor de un objeto de masa de al menos asteroides que transporta el objetivo, el objeto que es habitualmente la Tierra.

25

13. Un método de acuerdo con la reivindicación 12, donde la órbita es geosincrónica o preferentemente geoestacionaria.

14. Un método de acuerdo con la reivindicación 13, que comprende proporcionar múltiples aparatos, cada uno en una órbita heliosíncrona diferente, cada uno que dirige un haz al mismo objetivo a su vez, puesto que cada uno satisface los límites de elevación de receptor de superficie y difracción.

30

15. Un método de acuerdo con la reivindicación 11, que comprende además ajustar el aparato a un globo de superpresión u otro dispositivo aerotransportado tal como un dirigible/dirigible estratosférico y desplegar el dispositivo aerotransportado en una ubicación fija de patrones de vuelo y direccionar el haz a una posición fija.

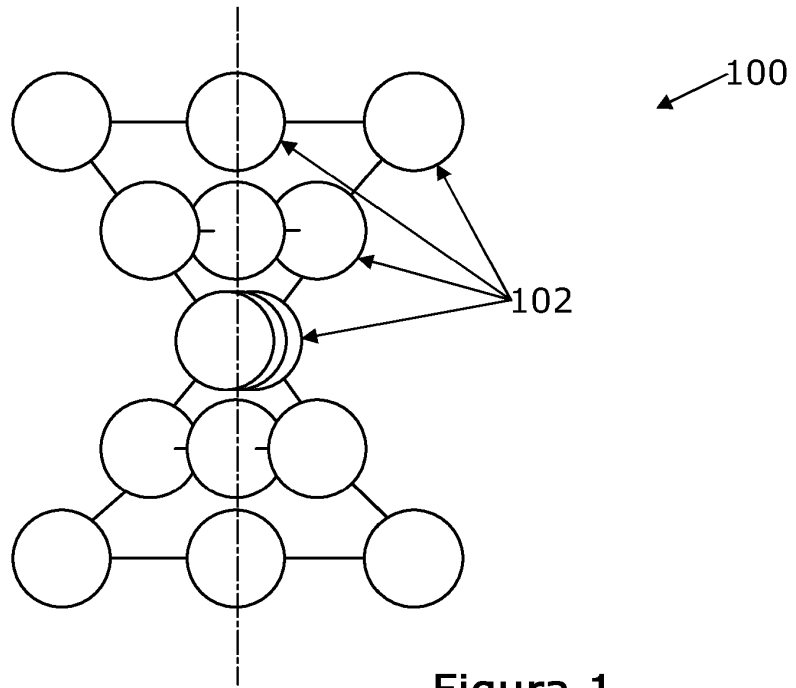


Figura 1

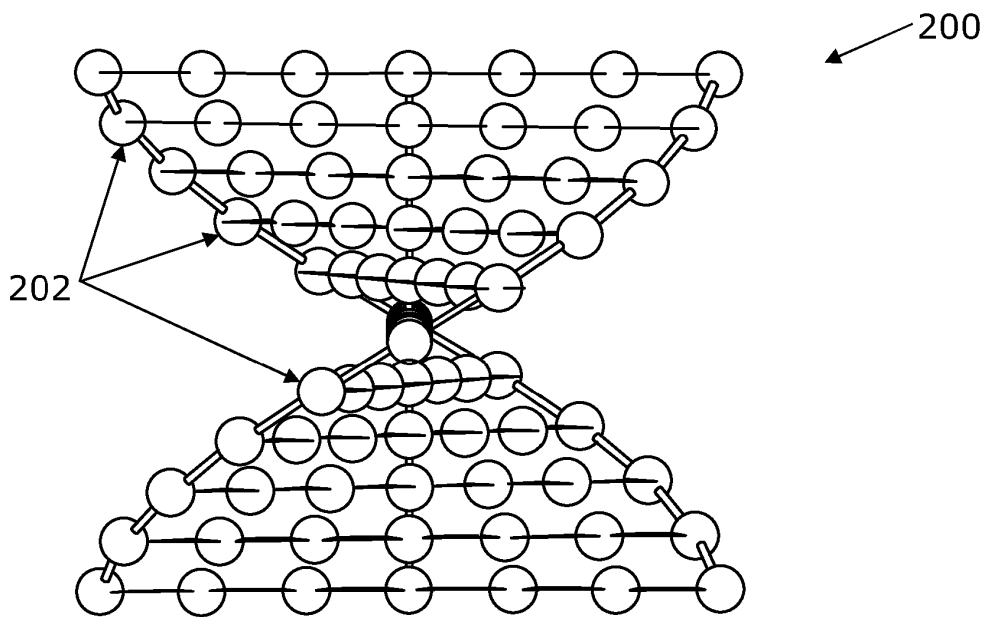


Figura 2

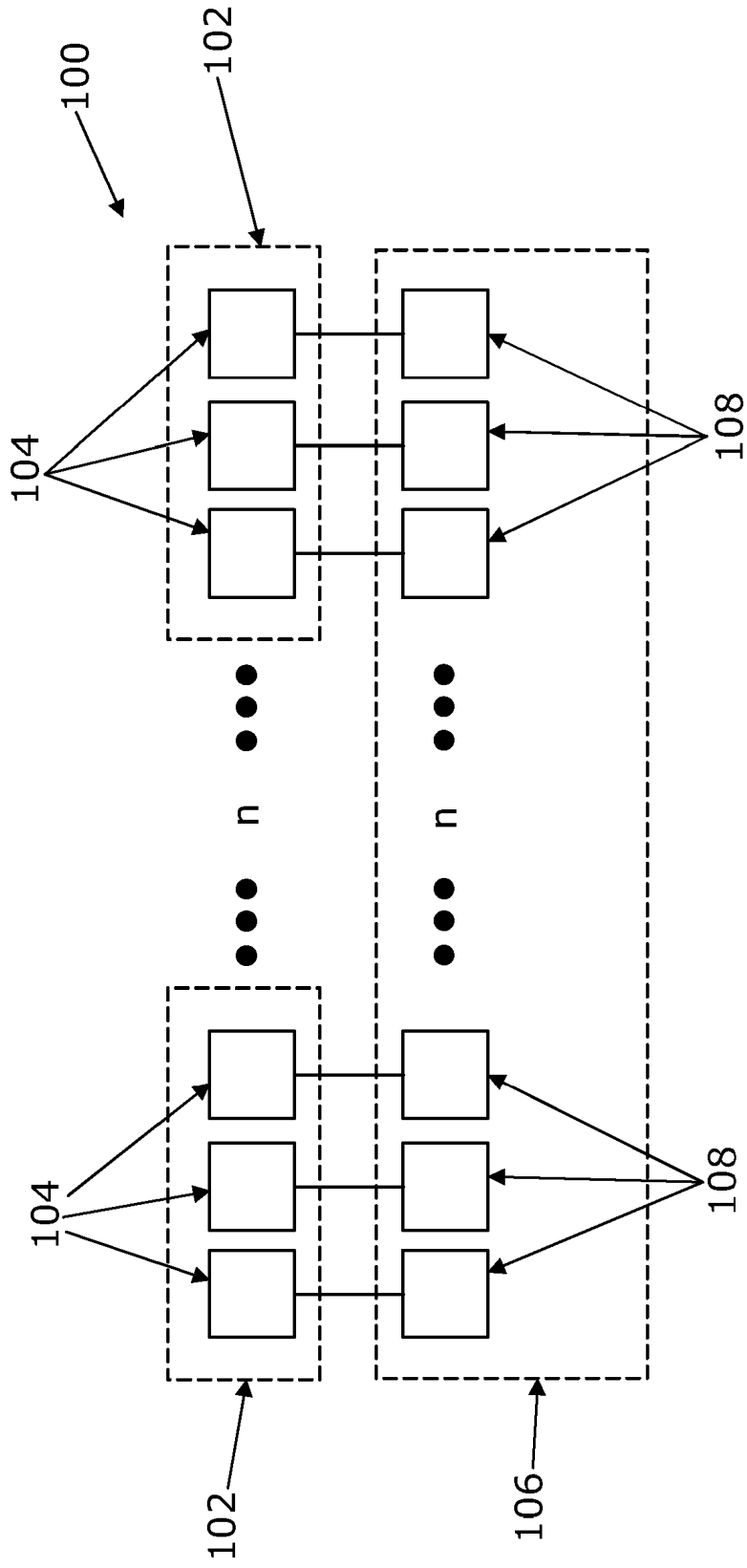


Figura 3

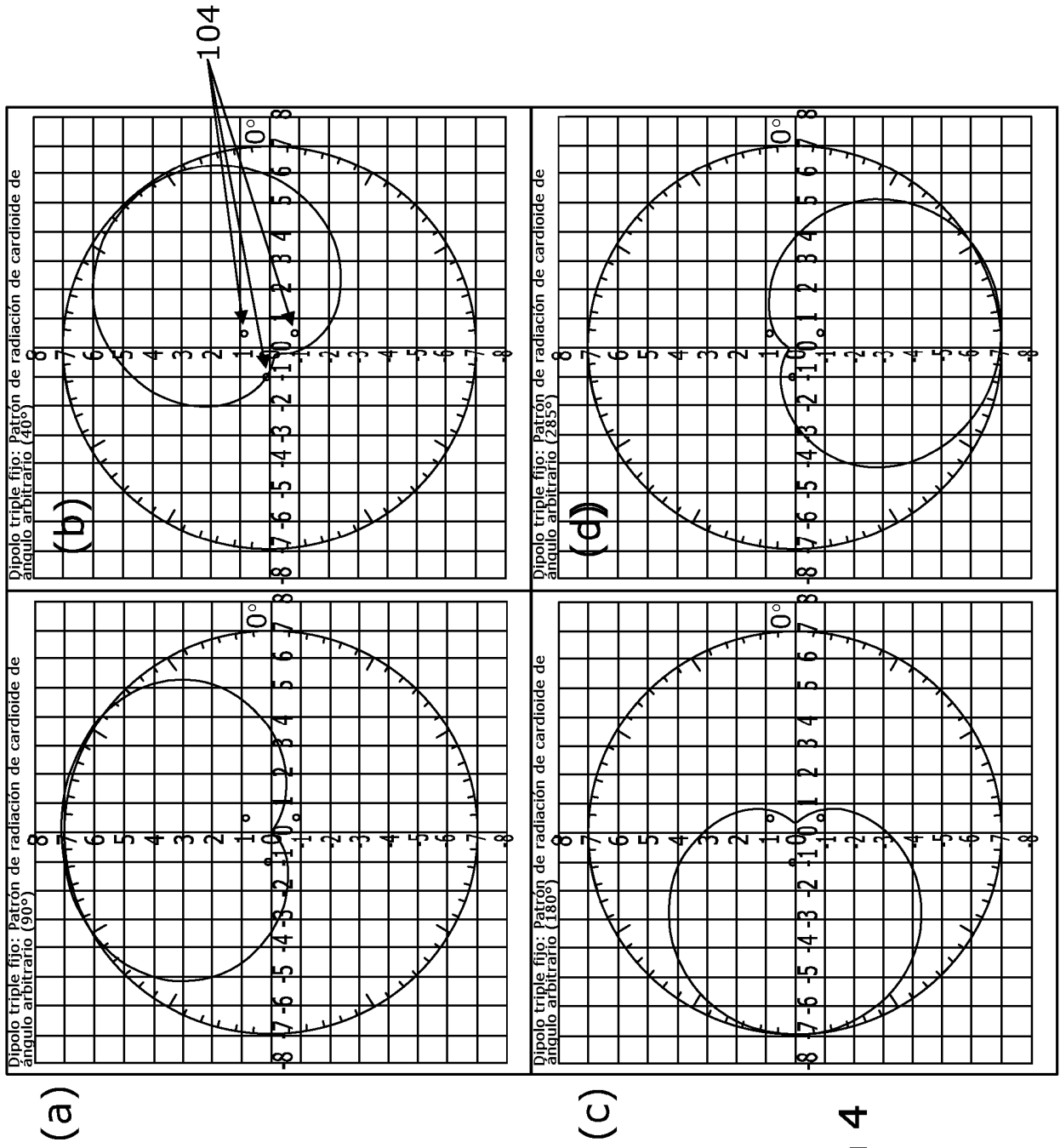
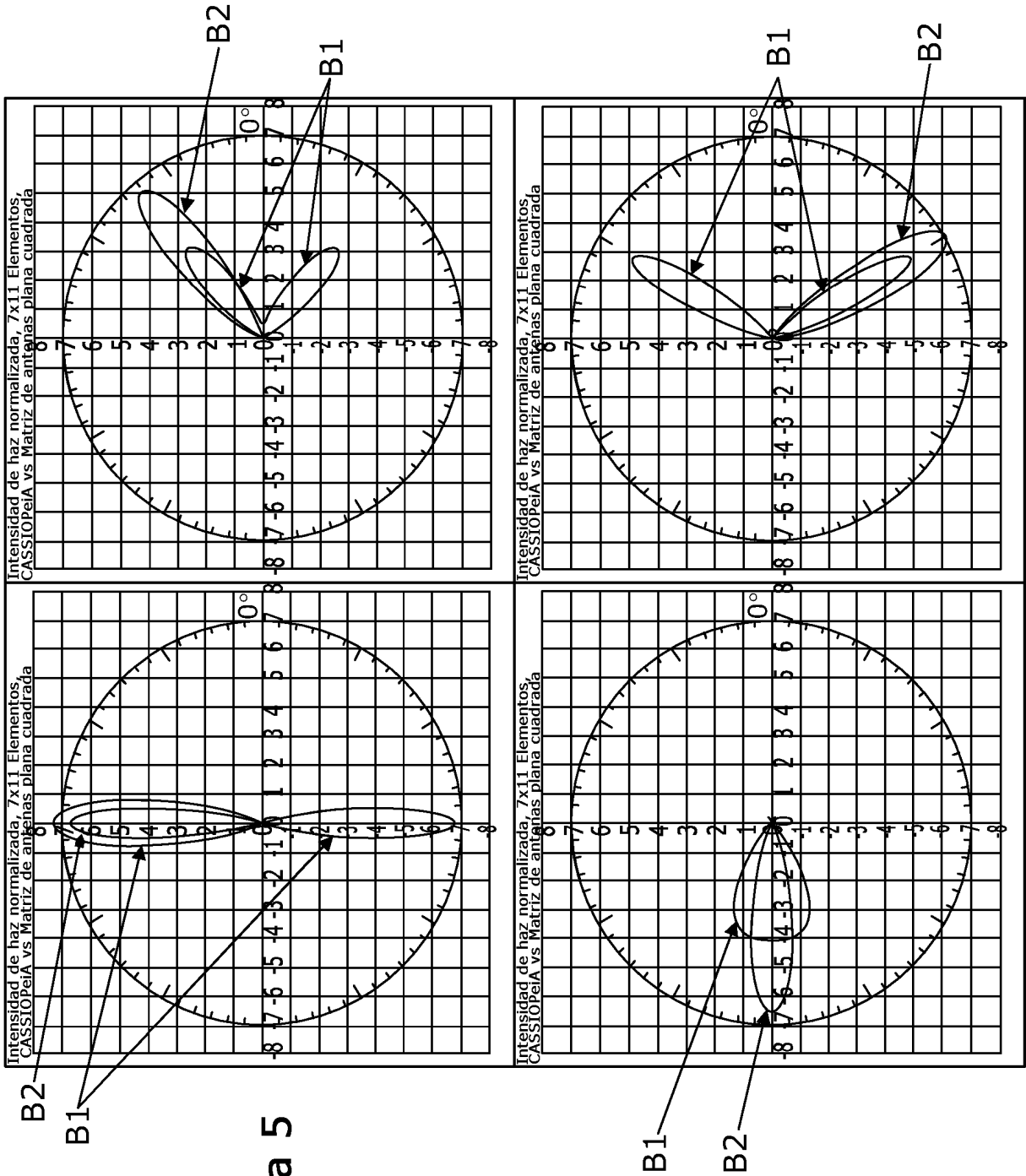


Figura 4



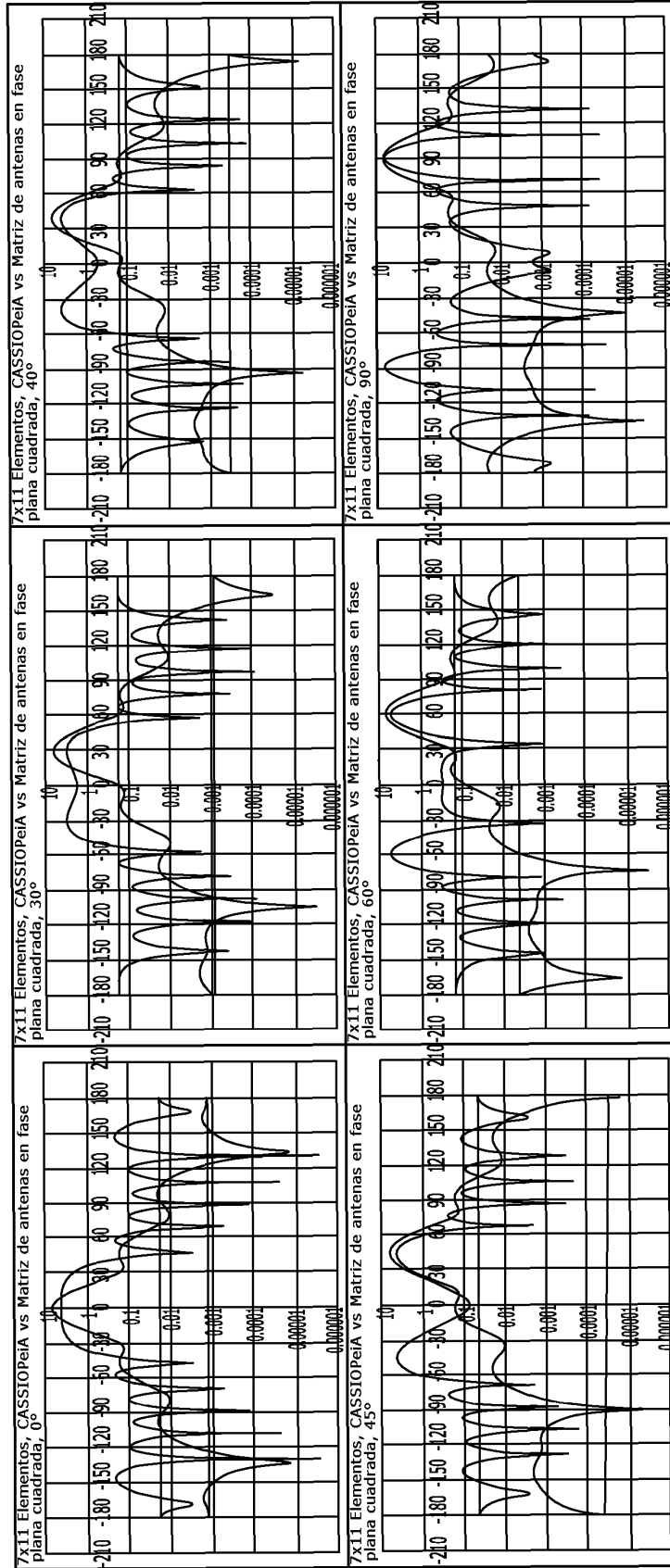


Figura 6

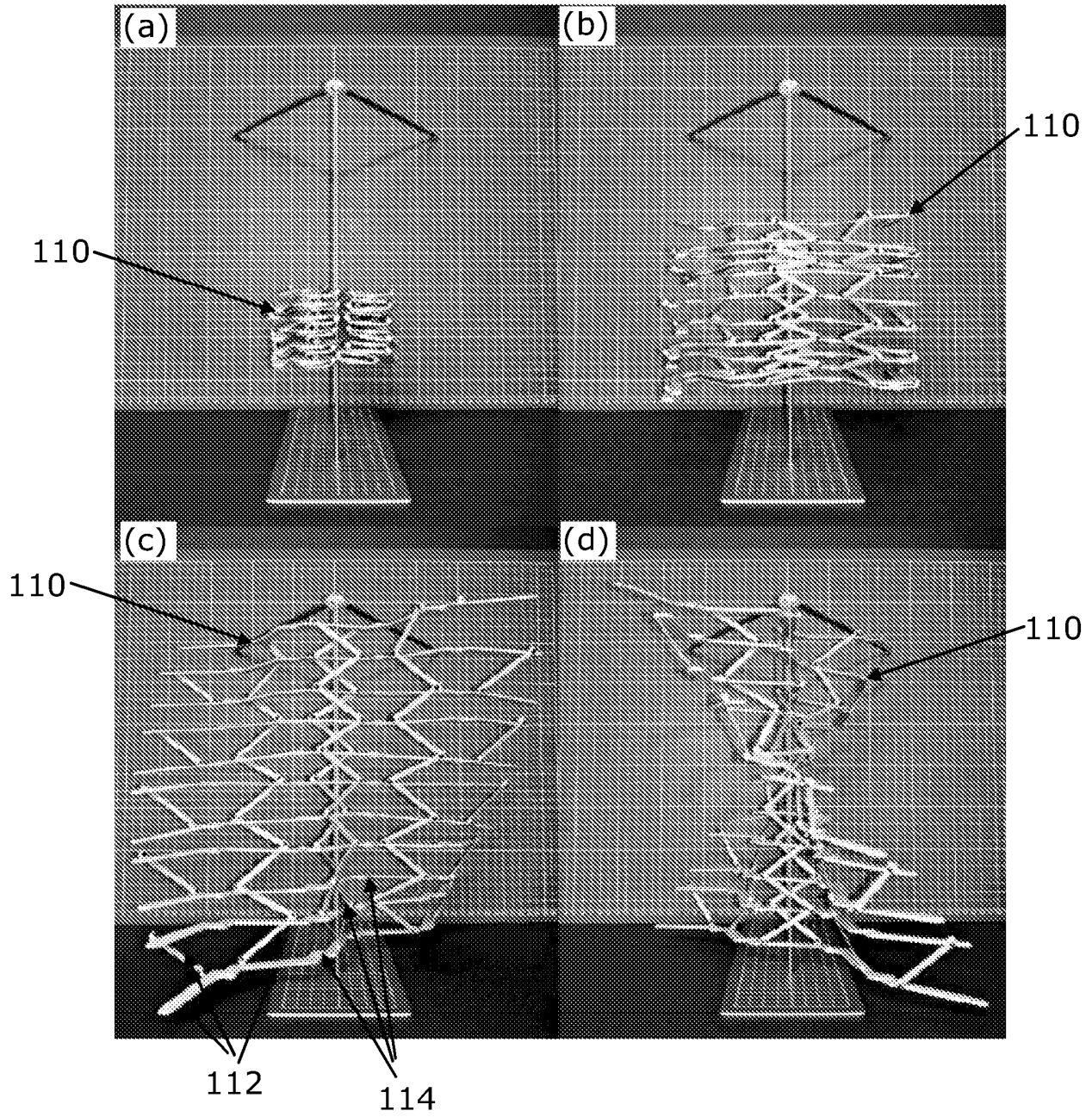


Figura 7

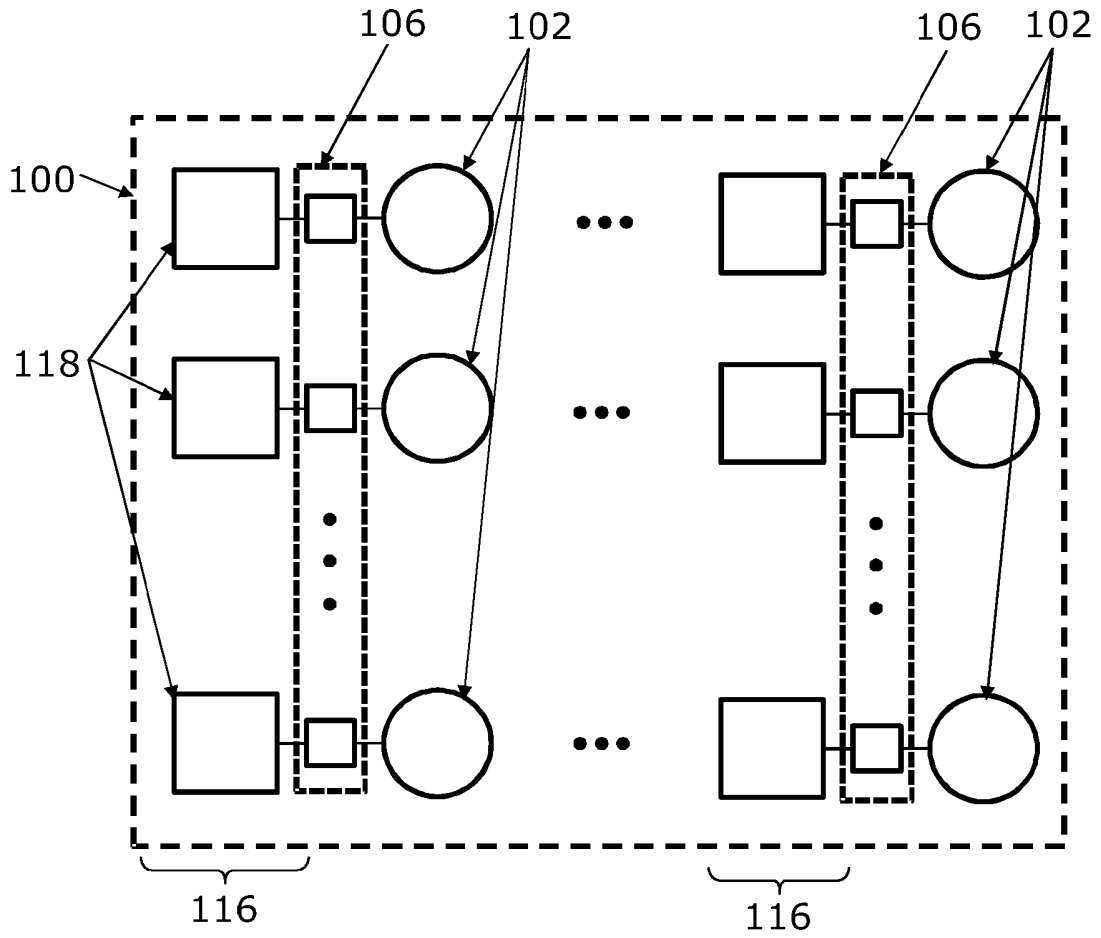


Figura 8

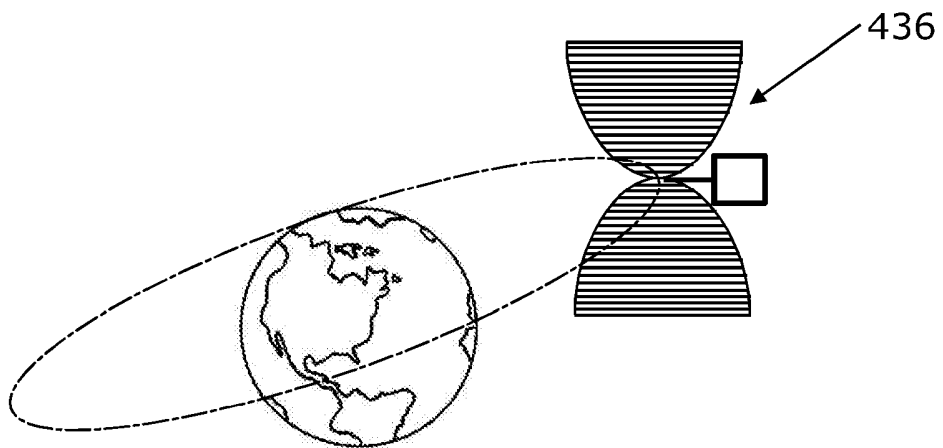


Figura 9

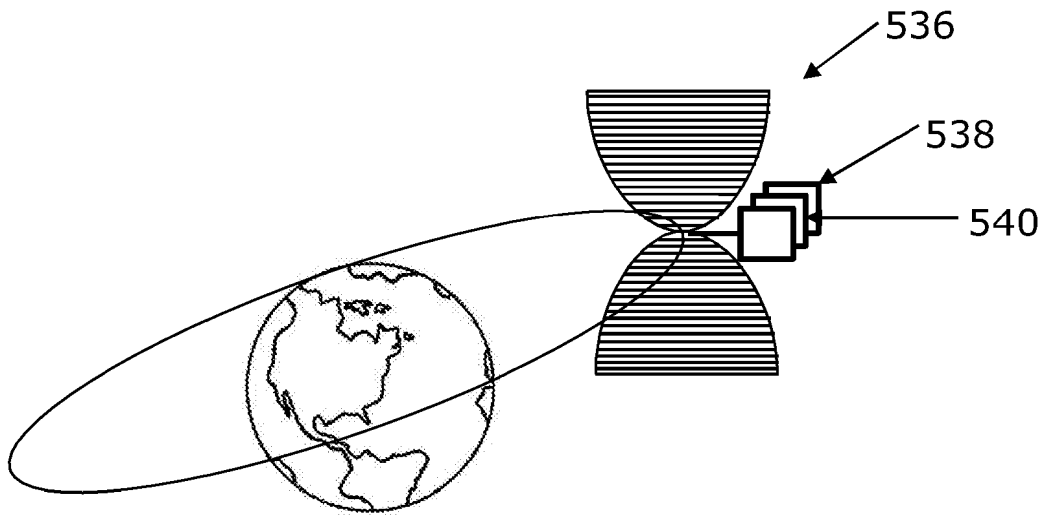


Figura 10

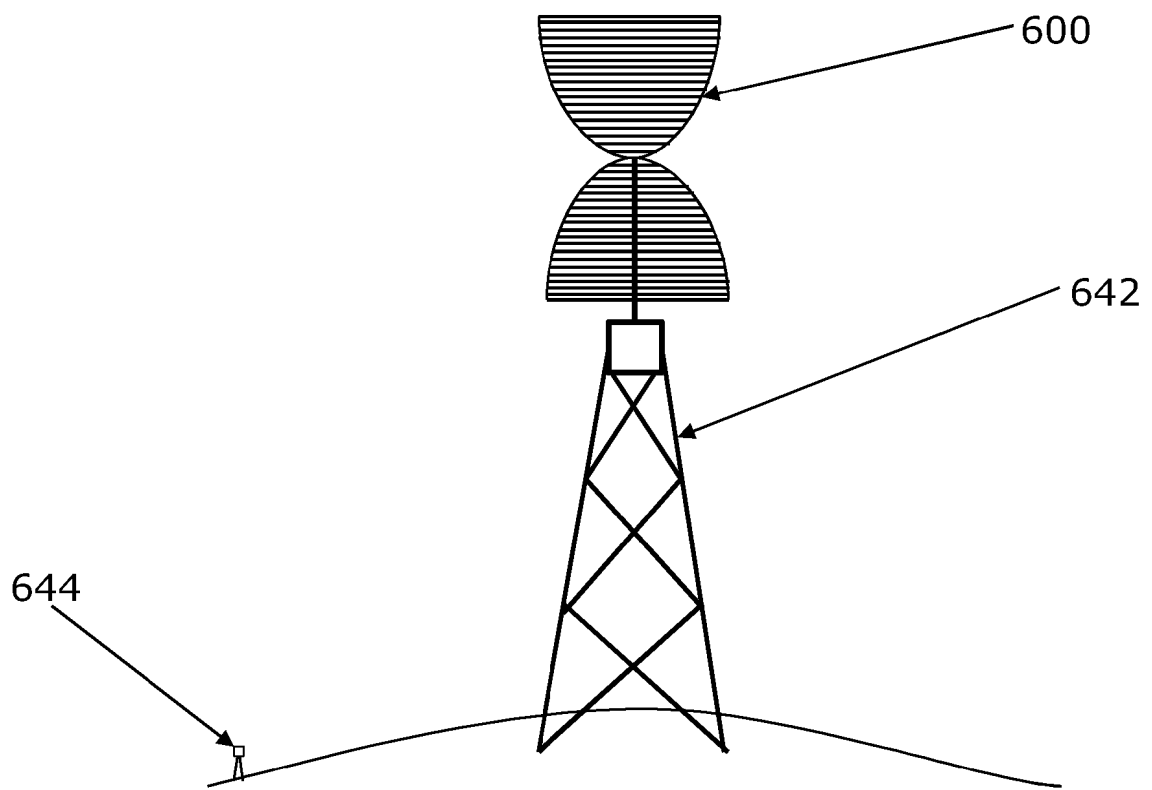


Figura 11

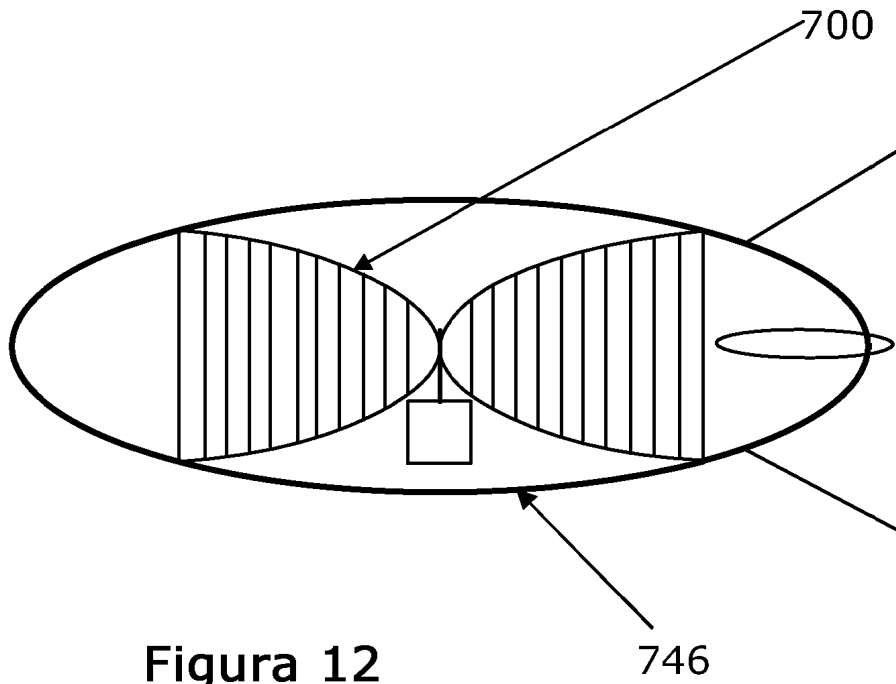


Figura 12

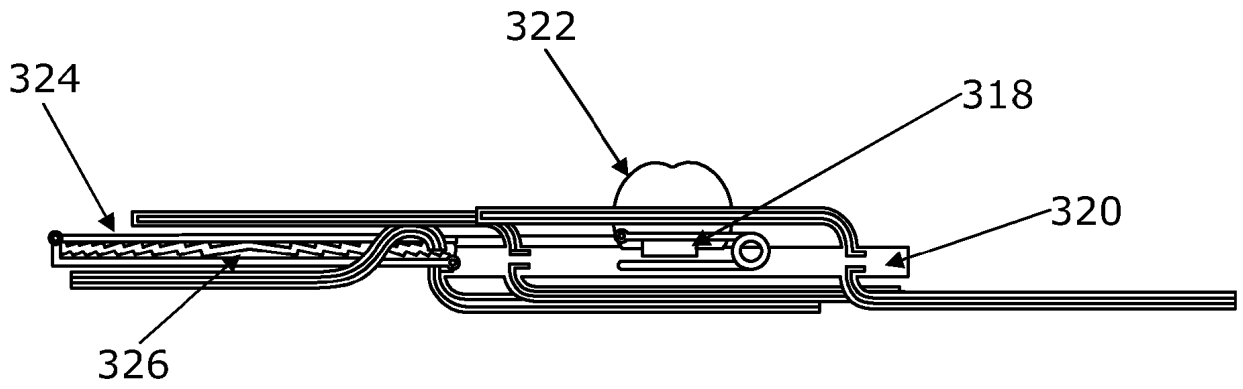


Figura 13

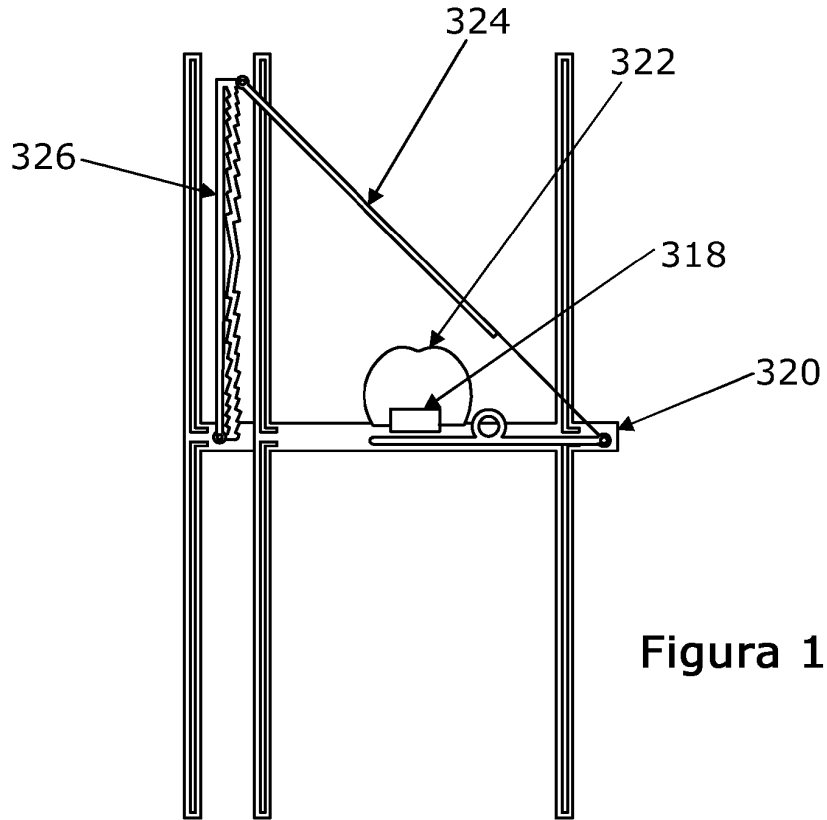


Figura 14

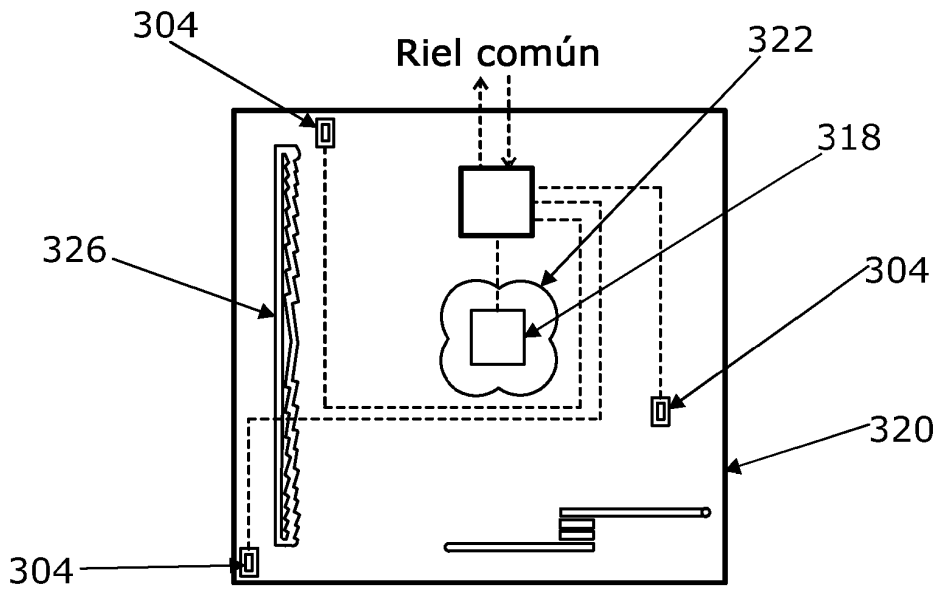


Figura 15

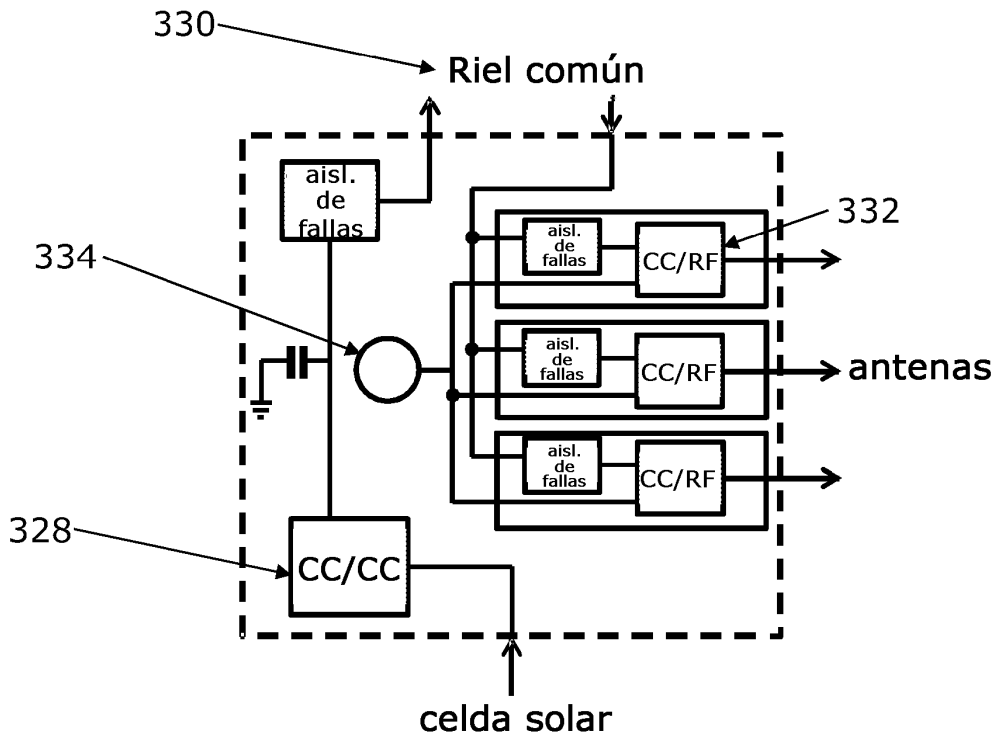


Figura 16

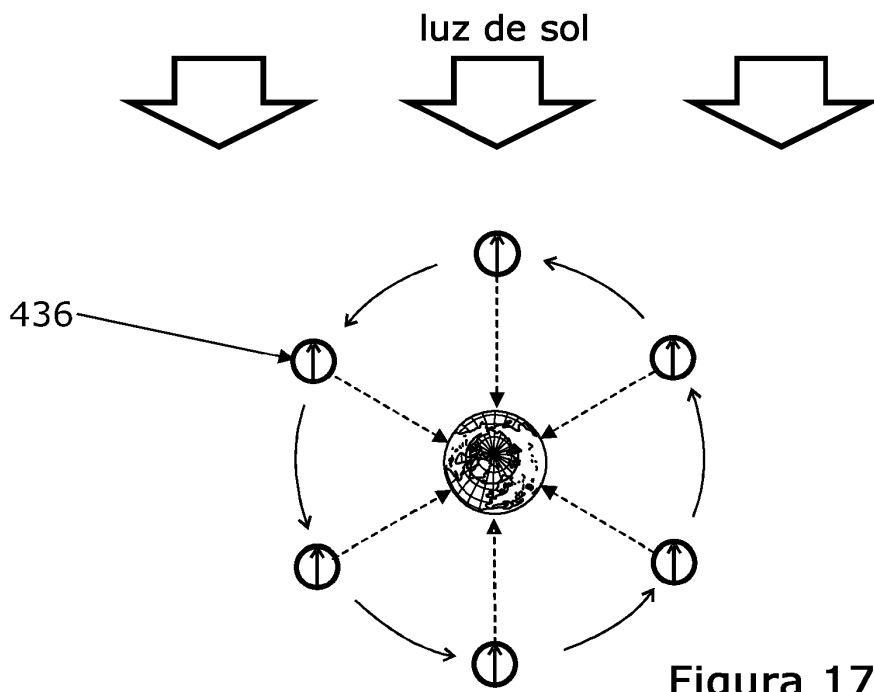


Figura 17