

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 998 472**

51 Int. Cl.:

G01S 13/44 (2006.01)
G01S 13/93 (2010.01)
G01S 7/28 (2006.01)
H01Q 1/32 (2006.01)
H01Q 21/06 (2006.01)
H01Q 3/26 (2006.01)
H01Q 13/20 (2006.01)
H01Q 21/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **05.12.2017** **PCT/US2017/064754**
87 Fecha y número de publicación internacional: **14.06.2018** **WO18106720**
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.12.2017** **E 17817620 (2)**
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.12.2024** **EP 3545334**

54 Título: **Subsistema de antena con conjunto de transmisión de dirección de haz analógica y conjunto de recepción deconformación de haces digital**

30 Prioridad:

05.12.2016 US 201662430306 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
20.02.2025

73 Titular/es:

ECHODYNE CORP. (100.00%)
12112 115th Ave. NE Ste. A
Kirkland, WA 98034, US

72 Inventor/es:

BRUNE, NICHOLAS K.;
CHATNI, MUHAMMAD RAMEEZ;
DRISCOLL, TOM;
HULL, JONATHAN R.;
HUNT, JOHN DESMOND;
LAMBRECHT, CHRISTOPHER L.;
LANDY, NATHAN INGLE;
PERQUE, MILTON;
RENNEBERG, CHARLES A.;
SIKES, BENJAMIN;
TEESLINK, TARRON;
TZANIDIS, IOANNIS;
WORL, ROBERT TILMAN y
BILY, ADAM

74 Agente/Representante:

SÁNCHEZ SILVA, Jesús Eladio

ES 2 998 472 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

Subsistema de antena con conjunto de transmisión de dirección de haz analógica y conjunto de recepción de conformación de haces digital

Antecedentes

Un sistema de radar del conjunto de elementos en fase tradicional no es adecuado para algunas aplicaciones debido, por ejemplo, a su tamaño, requisitos de energía, el número de elementos del conjunto por unidad de área (densidad de elementos) y costo. Por ejemplo, el conjunto de elementos en fase de un sistema de radar tradicional es demasiado denso y escanea un campo de visión (FOV) demasiado lento, y el sistema es demasiado costoso, para su uso en un automóvil autónomo (autoconducido). De manera similar, el conjunto de elementos en fase de un sistema de radar tradicional es demasiado denso, y el sistema es demasiado costoso, demasiado pesado y demasiado exigente en energía, para su uso en un vehículo aéreo no tripulado (UAV) tal como un dron.

Por lo tanto, se han desarrollado sistemas de radar que son más ligeros, menos densos, menos costosos, menos consumidores de energía y pueden escanear un FOV más rápidamente, que los sistemas de radar tradicionales para tales aplicaciones.

Un ejemplo de tal sistema de radar que se ha desarrollado para su uso en automóviles incluye un conjunto de antenas receptoras de conformación de haces digital (DBF) que tiene, por ejemplo, de cuatro a ocho segmentos de antena individuales (el número de segmentos de antena se limita típicamente al número de canales de antena que el circuito del sistema admite, por ejemplo, un segmento de antena por canal de antena).

Durante un período de transmisión, el circuito del sistema energiza eficazmente todos los segmentos de antena con la misma señal, es decir, con señales respectivas que tienen la misma magnitud y fase, de manera que el conjunto "rociá" la energía de la señal sobre un FOV fijo. Dicho de otra manera, la energización simultánea de todos los segmentos de antena con señales respectivas que tienen cada una la misma magnitud y fase genera un haz de transmisión principal que es estacionario, es decir, no se dirige. Para cubrir un FOV utilizable, este haz principal de transmisión es a menudo bastante amplio, por ejemplo, más de 20 grados en acimut (AZ).

Durante un período de recepción, el circuito del sistema puede procesar posteriormente, dinámicamente, una ganancia y un desplazamiento de fase respectivos desde cualquier segmento de antena receptora, para formar y dirigir digitalmente un haz de recepción que es significativamente más estrecho que el haz de transmisión; el sistema puede dirigir el haz de recepción a solo una posición única, o a múltiples posiciones, dentro de un único período de recepción.

Desafortunadamente, un problema con tal sistema de radar es que el DBF de recepción solo puede realizarse dentro de la región iluminada por el haz de transmisión. El número de segmentos/canales del conjunto de recepción que están presentes se usa para dividir el FOV de transmisión fija en segmentos iguales; es decir, el número de segmentos/canales del conjunto de recepción define la resolución de recepción del DBF y, en última instancia, define la resolución de recepción de todo el sistema de radar. La resolución de recepción definida de esta manera a menudo se denomina resolución de Rayleigh y representa un límite fundamental del rendimiento del radar. Por ejemplo, un sistema de radar que ilumina un FOV de 20° en AZ en transmisión y que incluye cuatro canales de recepción poseería una resolución de Rayleigh de aproximadamente 5° a través de este FOV. Podría hacerse una elección alternativa para ampliar el FOV a 40° en AZ, que, con los mismos cuatro canales de recepción, daría una resolución de Rayleigh de aproximadamente 10°. Por lo tanto, existe una compensación fundamental entre el FOV y la resolución de Rayleigh en un sistema de este tipo.

Diseñar un radar de este tipo para iluminar un FOV grande en transmisión y también para poseer una alta resolución de Rayleigh en la recepción requeriría un gran número de segmentos/canales de antena.

Desafortunadamente, los límites de ingeniería al número de canales que pueden incluirse prácticamente en tal radar han limitado, hasta la fecha, el rendimiento de Rayleigh de tales sistemas de radar.

Un enfoque para mejorar la resolución de Rayleigh de un sistema con un número fijo de canales de antena es colocar las antenas receptoras/segmentos de antena más separados, es decir, diseñar un conjunto de recepción disperso.

Pero tal conjunto disperso puede provocar alisado espacial, lo que produce lóbulos laterales y lóbulos de rejilla que pueden obstaculizar la capacidad del sistema de radar para detectar, identificar y mapear objetos. Una razón de tales lóbulos laterales y lóbulos de la rejilla inducidos por el alisado es que el sistema de radar de la serie de antenas receptoras dispersas no cumple con los criterios de Nyquist para el espaciado máximo de segmentos, que es $\lambda/2$. Por ejemplo, para obtener una resolución de Rayleigh de 1° en la dimensión AZ, la antena necesitaría tener dimensiones del orden de 50λ . La distribución de un número pequeño de segmentos/canales, por ejemplo, de cuatro a ocho, a través de una distancia de 50λ daría como resultado una separación de segmentos promedio de 6.25λ a 12.5λ , que es de 12 a 25 veces la separación de Nyquist máxima de $\lambda/2$. En consecuencia, el sistema sufriría de lóbulos laterales y lóbulos de rejilla significativos.

Por supuesto, para reducir el alisado espacial, un diseñador podría reducir el tamaño efectivo de la antena al reducir la separación entre los segmentos de la antena.

Pero reducir el tamaño de la antena limita el ancho mínimo del haz de recepción que el sistema de radar podría generar.

Por lo tanto, un diseñador de un sistema de radar de conjunto de antenas dispersas (es decir, un sistema de radar con una abertura de antena más grande y un número limitado de canales de antena) se enfrenta a la compensación del ancho del haz por el alisado, y viceversa. Es decir, cuanto más estrecha sea el ancho del haz de recepción, mayor será el nivel de alisado, y cuanto menor sea el nivel de alisado, mayor será el ancho del haz de recepción. US-A-2013/0088393 describe un conjunto de fase de transmisión y recepción configurado para alinear un valor nulo de un haz de transmisión con un lóbulo de difracción de un haz de recepción. US-A-2014/0022109 describe un transceptor del conjunto de elementos en fase configurado para alinear un lóbulo de rejilla en un haz de transmisión y un lóbulo de rejilla en un haz de recepción, o para alinear un valor nulo de rejilla en un haz de transmisión y un valor nulo de rejilla en un haz de recepción. US-A-2016/0285172 describe un dispositivo de radar que incluye conjuntos de antena de transmisión y recepción, cada uno de los cuales incluye elementos de subconjunto. US-A-2015/0288063 describe una antena holográfica reconfigurable. US-A-2012/0194399 describe una antena de dispersión superficial.

Resumen

En una modalidad, se proporciona un subsistema de antena de acuerdo con la reivindicación 1.

Por ejemplo, tal subsistema de antena filtra efectivamente la espacialmente un patrón de haz de recepción generado por la antena receptora con un patrón de haz de transmisión generado por la antena transmisora para reducir el muestreo. Por ejemplo, la envolvente de un haz de transmisión principal puede excluir, o al menos puede atenuar, los lóbulos laterales del patrón de haz de recepción. Además, un valor nulo de un lóbulo lateral del patrón de haz de recepción puede alinearse con un pico de un lóbulo lateral del patrón de transmisión y recepción. Además, un pico de un lóbulo lateral del patrón de haz de recepción puede alinearse con un valor nulo de un lóbulo lateral del patrón de transmisión y recepción.

En una modalidad, se proporciona un subsistema de radar de acuerdo con la reivindicación 10 y proporciona una alta resolución de Rayleigh (es decir, un ancho del haz de potencia media (HPBW) estrecho) con un alisado significativamente reducido en comparación con los sistemas de radar anteriores. El sistema de radar incluye un conjunto de transmisión analógico con la capacidad de ajustar electrónicamente el patrón de haz de transmisión y actuar como un filtro espacial para el patrón de antena receptora, e incluye una antena del conjunto de conformación de haces digital (DBF) completa o dispersa de Nyquist para generar un haz de recepción que subtiende el haz de iluminación principal de la antena transmisora. Al diseñar y accionar adecuadamente las antenas transmisoras y receptora, el sistema de radar puede generar y dirigir eficazmente un haz de ancho estrecho (por ejemplo, $\leq 2^\circ$ en las dimensiones AZ y de elevación (EL)). Además, el sistema de radar puede hacer esto sin requerir el gran número de canales de antena (por ejemplo, de 64 a 128) típicamente requeridos para tal rendimiento. Por ejemplo, una modalidad de un sistema de radar con solo doce canales de antena para la antena receptora del conjunto de DBF dispersa puede generar y dirigir eficazmente un haz de un ancho de aproximadamente 2° en AZ y 5° EL; por lo tanto, tal sistema de radar tiene un rendimiento angular significativamente mejor que los sistemas de radar anteriores con un número similar de canales de antena.

Breve descripción de las figuras

La Figura 1 es un diagrama de una sección de antena transmisora de un conjunto de dirección electrónica de metamaterial (MESA) y de una sección de antena receptora de DBF dispersa de un sistema de radar, de acuerdo con una modalidad.

La Figura 2 es un diagrama de la sección de antena receptora de DBF dispersa de la Figura 1 con una vista ampliada de uno de los subconjuntos, de acuerdo con una modalidad.

La Figura 3 es un gráfico del patrón de haz de recepción de un elemento de antena de la sección de antena receptora de la Figura 2 en las dimensiones AZ y EL, de acuerdo con una modalidad.

La Figura 4 es un diagrama de la sección de antena receptora de DBF dispersa de la Figura 2, de acuerdo con una modalidad.

La Figura 5 es un gráfico del patrón de haz de recepción en AZ de la sección de antena receptora de DBF dispersa de la Figura 4, de acuerdo con una modalidad.

La Figura 6 es un gráfico del patrón de haz de recepción en EL de la sección de antena receptora de DBF dispersa de la Figura 4, de acuerdo con una modalidad.

La Figura 7 es un diagrama del patrón de haz de transmisión de la sección transmisor-antena de la Figura 1, y el patrón de haz del elemento de recepción y el patrón de haz del conjunto de recepción en AZ para la sección de antena receptora de DBF dispersa de la Figura 4, de acuerdo con una modalidad.

La Figura 8 es un diagrama del patrón de haz de transmisión de la sección de transmisor-antena de la Figura 1, y el patrón de haz de elemento de recepción y el patrón de haz de conjunto de recepción en EL para la sección de antena receptora de DBF dispersa de la Figura 4, de acuerdo con una modalidad.

La Figura 9 es un diagrama de una sección de un conjunto de antenas receptoras que puede usarse en un sistema de radar, de acuerdo con otra modalidad.

La Figura 10 es un gráfico de los patrones de haz y lóbulo lateral de la sección de conjunto de antena receptora de la Figura 9 en la dimensión AZ para un solo haz de recepción principal, de acuerdo con una modalidad.

La Figura 11 es un gráfico de los patrones de haz y lóbulo lateral de la sección de conjunto de antena receptora de la Figura 9 en la dimensión EL para un solo haz de recepción principal, de acuerdo con una modalidad.

La Figura 12 es un gráfico del patrón de haz efectivo (es decir, bidireccional) en la dimensión AZ resultante de la combinación de los patrones (Figuras 10 - 11) de los subelementos de antena receptora (Figura 2), el conjunto de antena receptora (Figura 9) y la sección de antena transmisora (Figura 1), de acuerdo con una modalidad.

La Figura 13 es un gráfico del patrón de haz efectivo (bidireccional) en la dimensión EL resultante de la combinación de los patrones (Figuras 10 - 11) de los subelementos de antena receptora (Figura 2), el conjunto de antena receptora (Figura 9) y la sección de antena transmisora (Figura 1), de acuerdo con una modalidad.

La Figura 14 es un diagrama de una sección de antena transmisora que tiene múltiples (aquí dos) subsecciones, de acuerdo con una modalidad que no forma parte de la invención reivindicada.

La Figura 15 es un gráfico de un patrón de haz de transmisión y lóbulo lateral en la dimensión EL de la sección de antena transmisora de la Figura 14 que se superpone a un patrón de haz de recepción y lóbulo lateral en la dimensión EL de una sección de antena receptora que puede ser similar a la sección de antena receptora de la Figura 9.

La Figura 16 es el gráfico de la Figura 15, en la que $EL = AZ = 0^\circ$.

La Figura 17 es un gráfico del patrón de haz efectivo (bidireccional) en la dimensión EL resultante de la combinación de los patrones de haz de transmisión y recepción de la Figura 15, en el que $EL = AZ = 0^\circ$.

La Figura 18 es un gráfico de un patrón de haz de transmisión y lóbulo lateral en la dimensión AZ de la sección de antena transmisora de la Figura 14 que produce el patrón de EL de transmisión de la Figura 16, superpuesto a un patrón de haz de recepción y lóbulo lateral en la dimensión AZ de la sección de antena receptora que produce el patrón de EL de recepción de la Figura 16, en el que $EL = AZ = 0^\circ$.

La Figura 19 es un gráfico del patrón de haz efectivo (bidireccional) en la dimensión AZ resultante de la combinación de los patrones de haz de transmisión y recepción de la Figura 18, en el que $EL = AZ = 0^\circ$.

La Figura 20 es un gráfico de un patrón de haz de transmisión y lóbulo lateral en la dimensión EL de la sección de antena transmisora de la Figura 14 que produce los patrones de transmisión de las Figuras 15-19, que se superponen a un patrón de haz de recepción y lóbulo lateral en la dimensión EL de la sección de antena receptora que produce los patrones de recepción de las Figuras 15-19, en la que $EL = 5^\circ$ y $AZ = 0^\circ$.

La Figura 21 es un gráfico del patrón de haz efectivo (bidireccional) en la dimensión EL resultante de la combinación de los patrones de haz de transmisión y recepción de la Figura 20, en el que $EL = 5^\circ$ y $AZ = 0^\circ$.

La Figura 22 es un gráfico de un patrón de haz de transmisión y lóbulo lateral en la dimensión AZ de la sección de antena transmisora de la Figura 14 que produce el patrón de transmisión de la Figura 20 en la dimensión EL, que superpone un patrón de haz de recepción y lóbulo lateral en la dimensión AZ de la sección de antena receptora que produce el patrón de recepción de la Figura 20 en la dimensión EL, en la que $EL = 5^\circ$ y $AZ = 0^\circ$.

La Figura 23 es un gráfico de un patrón de haz efectivo (bidireccional) en la dimensión AZ que resulta de la combinación de los patrones de haz de transmisión y recepción de la Figura 22, en el que $EL = 5^\circ$ y $AZ = 0^\circ$.

La Figura 24 es un gráfico de un patrón de haz de transmisión y lóbulo lateral en la dimensión EL de la sección de antena transmisora de la Figura 14, que se superpone a un patrón de haz de recepción y lóbulo lateral en la dimensión EL de la sección de antena receptora de la Figura 9, en la que $EL = 0^\circ$ y $AZ = 49^\circ$.

La Figura 25 es un gráfico del patrón de haz efectivo (bidireccional) en la dimensión EL resultante de la combinación de los patrones de haz de transmisión y recepción de la Figura 24, en la que $EL = 0^\circ$ y $AZ = 49^\circ$.

La Figura 26 es un gráfico de un patrón de haz de transmisión y lóbulo lateral en la dimensión AZ de la sección de antena transmisora de la Figura 14, que se superpone a un patrón de haz de recepción y lóbulo lateral en la dimensión AZ de la sección de antena receptora de la Figura 9, en la que $EL = 0^\circ$ y $AZ = 49^\circ$.

La Figura 27 es un gráfico de un patrón de haz efectivo (bidireccional) en la dimensión AZ que resulta de la combinación de los patrones de haz de transmisión y recepción de la Figura 26, en el que $EL = 0^\circ$ y $AZ = 49^\circ$.

La Figura 28 es un diagrama de una sección de antena transmisora que tiene múltiples (aquí dos) subsecciones, de acuerdo con una modalidad.

La Figura 29 es un gráfico de un patrón de haz de transmisión y lóbulo lateral en la dimensión EL de una modalidad de la sección de antena transmisora de la Figura 28, que se superpone a un patrón de haz de recepción y lóbulo lateral en la dimensión EL de una modalidad de la sección de antena receptora de la Figura 9, de acuerdo con una modalidad en la que $EL = 0^\circ$ y $AZ = 49^\circ$.

La Figura 30 es un gráfico del patrón de haz efectivo (bidireccional) en la dimensión EL resultante de la combinación de los patrones de haz de transmisión y recepción de la Figura 29, de acuerdo con una modalidad en la que $EL = 0^\circ$ y $AZ = 49^\circ$.

La Figura 31 es un gráfico de un patrón de haz de transmisión y lóbulo lateral en la dimensión AZ de una modalidad de la sección de antena transmisora de la Figura 14, que se superpone a un patrón de haz de recepción y lóbulo lateral en la dimensión AZ de una modalidad de la sección de antena receptora de la Figura 9, de acuerdo con una modalidad en la que $EL = 0^\circ$ y $AZ = 49^\circ$.

La Figura 32 es un gráfico de un patrón de haz efectivo (bidireccional) en la dimensión AZ que resulta de la combinación de los patrones de haz de transmisión y recepción de la Figura 31, de acuerdo con una modalidad en la que $EL = 0^\circ$ y $AZ = 49^\circ$.

La Figura 33 es un diagrama de un subsistema de radar que incorpora una o más de las secciones de antena transmisora descritas anteriormente junto con las Figuras 1, 14 y 28 y una o más de las secciones de antena receptora descritas anteriormente junto con las Figuras 1 - 2, 4 y 9, de acuerdo con una modalidad.

La Figura 34 es un diagrama de un sistema que incorpora uno o más de los subsistemas de radar de la Figura 33, de acuerdo con una modalidad.

La Figura 35 es una vista en planta de la sección de antena transmisora de la Figura 1, y de una subsección de las secciones de antena transmisora de la Figura 14 y la Figura 28, de acuerdo con una modalidad.

La Figura 36 es una vista lateral de la sección de antena transmisora de la Figura 35, de acuerdo con una modalidad.

La Figura 37 es una vista lateral y un diagrama eléctrico de la sección de antena transmisora de las Figuras 35 y 36, de acuerdo con una modalidad.

Descripción detallada

Las palabras "aproximadamente" y "sustancialmente" pueden usarse más abajo para indicar que dos o más cantidades pueden ser exactamente iguales, o pueden estar dentro de $\pm 10\%$ entre sí debido a tolerancias de fabricación, u otras consideraciones de diseño, de las estructuras físicas descritas más abajo.

La Figura 1 es un diagrama de una sección de antena transmisora de un conjunto de dirección electrónica de metamaterial (MESA) 10 y una sección de antena receptora de DBF dispersa 12 de un sistema de radar 14, de acuerdo con una modalidad; el sistema de radar, que se describe en más detalle más abajo junto con las Figuras 33 - 34, puede incluir otros componentes no mostrados en la Figura 1, tales como amplificadores, desplazadores de fase y otros circuitos de accionamiento. Además, la sección de antena transmisora 10 puede formar una antena transmisora completa del sistema de radar 14, o solo una sección de la antena transmisora, que puede incluir una o más secciones similares a la sección 10; de manera similar, la sección de antena receptora 12 puede formar una antena receptora completa del sistema de radar, o solo una sección de la antena receptora, que puede incluir una o más secciones similares a la sección 12. Además, el sistema de radar 14 puede configurarse para operar en cualquier banda de frecuencia de radar convencional; por ejemplo, el sistema de radar puede configurarse para operar en la banda W, que varía de 75 GHz - 110 GHz, y puede ajustarse para operar entre 76 GHz - 81 GHz. Además, un ejemplo de la estructura y el funcionamiento de una sección de antena transmisora MESA que un diseñador puede usar como la sección de antena transmisora 10 se describe más abajo junto con las Figuras 35 - 37.

La sección de antena transmisora 10 incluye uno o más conjuntos electrónicamente orientables/conmutables (ESA), por ejemplo, pero no necesariamente, un MESA. Además, la sección de antena transmisora 10 puede tener cualquier dimensión adecuada, tal como de aproximadamente $W = 10\lambda \times H = 3\lambda$, o $W = 12\lambda \times H = 4\lambda$. Estas dimensiones, que definen una abertura de la sección de antena transmisora 10, también afectan el ancho de haz de media potencia (HPBW) mínimo del haz de transmisión en las dimensiones AZ y EL porque se sabe que el HPBW es inversamente proporcional al tamaño de abertura. Por ejemplo, para $W = 12\lambda \times H = 4\lambda$, una modalidad de la sección de antena transmisora 10 puede generar un haz de transmisión que tiene un HPBW mínimo de 5° en la dimensión AZ y 10° en la dimensión EL.

Cada ESA de la sección de antena transmisora 10 (solo una ESA mostrada en la Figura 1) incluye una entrada de canal de RF analógico respectiva 16, donde la señal de RF se distribuye por toda el área de ESA y/o a los subelementos de la ESA mediante métodos convencionales, por ejemplo, una guía de ondas, una línea de transmisión o microcintas.

Cada ESA de la sección de antena transmisora 10 también incluye una o más líneas de control 18, ya sea digitales o analógicas, que proporcionan el control electrónico de la dirección del haz del conjunto transmisor. Este control puede implementarse como una única línea digital 18, como una colección de líneas digitales (por ejemplo, un bus digital) o como una colección de líneas analógicas.

Además, cada una de las una o más líneas de control 18 está configurada para transportar una señal de control respectiva que, en dependencia del estado colectivo de la(s) señal(es) de control a lo largo del tiempo (por ejemplo, alta lógica o baja lógica, o conjunto de tensiones analógicas), activa electrónicamente una configuración particular de la sección del conjunto de transmisión 10, la configuración describe una posición del conjunto de transmisión particular, nivel de lóbulos laterales de haz de transmisión, HPBW de haz de transmisión, etc.

Además, pueden configurarse múltiples ESA para trabajar juntas, cada una con su propia entrada de transmisión analógica, al coordinar y sincronizar las configuraciones de conjunto de transmisión enviadas a través de las respectivas líneas de control 18.

Aún con referencia a la Figura 1, la sección de antena receptora 12 incluye una serie 20 de elementos de antena 22, cuyos elementos de antena también pueden denominarse "segmentos de antena" o "segmentos". El conjunto 20 se segmenta en filas 24 y columnas 26 de elementos de antena 22. Por ejemplo, el conjunto 20 puede tener seis columnas 26 y dos filas 24 para un total de doce elementos de antena 22. Alternativamente, por ejemplo, como se muestra en la Figura 1, el conjunto 20 puede tener cinco columnas 26 y dos filas 24 para un total de diez elementos de antena 22.

Además, el centro de fase respectivo 28 de cada segmento de antena 22 se acopla a un único canal de recepción de RF (no mostrado en la Figura 1), de manera que la sección de antena receptora 12 es un conjunto de conformación de haces digital (DBF). Cada canal de recepción puede incluir un amplificador respectivo (no mostrado en la Figura 1), un convertidor descendente respectivo (no mostrado en la Figura 1), un convertidor analógico a digital (ADC) respectivo (no mostrado en la Figura 1) y otros componentes de RF, analógicos y digitales que permiten que el sistema de radar 14 mida y digitalice la señal respectiva recibida por cada elemento de antena correspondiente 22. Además, la sección de antena receptora 12 puede tener cualquier dimensión adecuada, tal como, por ejemplo, de aproximadamente $W = 25\lambda \times H = 10\lambda$. Estas dimensiones, que definen una abertura de la sección de antena receptora 12, también afectan el ancho de haz de media potencia (HPBW) mínimo del haz de recepción en las dimensiones AZ y EL porque se sabe que el HPBW es inversamente proporcional al tamaño de la abertura. Por ejemplo, para $W = 25\lambda \times H = 10\lambda$, una modalidad de la sección de antena receptora 12 puede generar un haz de recepción que tiene un HPBW mínimo de 5° en la dimensión AZ y 10° en la dimensión EL.

Además, los elementos de antena 22 dentro del conjunto de antena receptora 20 pueden ser de cualquier forma y material que proporcione características ventajosas del elemento de antena, tales como, por ejemplo, eficiencia, ganancia, ancho de banda, HPBW en las dimensiones AZ y EL, etc.

Además, cada uno de los elementos de antena 22 puede incluir uno o más subelementos. Por ejemplo, en configuraciones tales como un conjunto de parches alimentada por microcinta, un conjunto de parches CPW, etc., un elemento de antena 22 puede incluir múltiples subelementos.

Aún con referencia a la Figura 1, el funcionamiento del sistema de radar 14 se describe de acuerdo con una modalidad.

En general, debido a que la sección de antena transmisora ESA 10 genera un haz de transmisión con lóbulos laterales de potencia relativamente baja, y el sistema de radar 14 alinea el haz de recepción (o haces de recepción, ver más abajo) dentro del haz de transmisión, la energía de transmisión redirigida recibida por los lóbulos laterales del patrón de haz de recepción se reduce significativamente en comparación con los sistemas de radar anteriores. Por lo tanto, incluso si los lóbulos laterales del patrón de haz de recepción son relativamente grandes y, por lo tanto, pueden dar como resultado un alisado espacial significativo, añadir el patrón de haz de transmisión ESA controlado (en oposición a la "explosión" o "rociado" de transmisión de sistemas de radar anteriores) con lóbulos laterales de patrón de haz de transmisión de magnitud relativamente baja reduce significativamente el alisado porque un mayor porcentaje de la energía transmitida redirigida es recibida por el(los) haz(es) de recepción, y un menor porcentaje de la energía transmitida redirigida es recibida por los lóbulos laterales de recepción, en comparación con los sistemas de radar anteriores. Dicho de otra manera, al incluir la sección de antena transmisora ESA 10, el sistema de radar 14 puede generar, con un conjunto de recepción DBF "dispersa" 20 (es decir, un conjunto con segmentos de antena 22 separados por una distancia $\gg \lambda/2$), un haz de recepción efectivo (es decir, el haz resultante de la combinación de los haces de transmisión y recepción) que tiene un HPBW que es mucho más estrecho de lo que sería posible de cualquier otra manera con el conjunto DBF solo o emparejado con la transmisión de "explosión" o "rociado" de sistemas de radar anteriores.

En más detalle, el sistema de radar 14 dirige un haz de transmisión en una dirección AZ elegida y una dirección EL elegida mediante el uso de una o más líneas de control ESA 18. Estas direcciones elegidas, restringidas por el HPBW del haz de transmisión de ESA, definen colectivamente una región de iluminación dentro de la cual el conjunto DBF de recepción 20 puede operar con un alisado espacial significativamente reducido.

Esta área de iluminación puede resolverse con una resolución de Rayleigh relativamente alta mediante el conjunto DFB 20, y la sección de antena transmisora 10 puede iluminar un área nueva mediante la reconfiguración de la sección de antena transmisora 10 y su patrón de haz de transmisión mediante el uso de una o más líneas de control 18. Un FOV muy amplio puede cubrirse a través de la reconfiguración secuencial de la sección de antena transmisora 10 y su patrón de haz de transmisión de un área de iluminación actual a un área de iluminación nueva seguido de la resolución mediante el uso del conjunto DBF 20. La secuencia de esta iluminación puede ser ordenada (por ejemplo, barrido de trama, barrido cónico), desordenada (aleatoria, Hadamard) o secuenciada dinámica o inteligentemente (iluminación programable, ponderación del tiempo de FOV priorizado, etc.).

Aún con referencia a la Figura 1, el sistema de radar 14 dirige el(los) haz(es) del conjunto de recepción de la siguiente manera.

En una modalidad, el sistema de radar 14 opera en un modo de onda continua (CW) en el que genera el haz de transmisión y el haz de recepción simultáneamente. Pero el sistema de radar 14 también puede configurarse para operar en un modo de pulso en el que genera uno o más "pulsos" del haz de transmisión, desactiva el haz de transmisión, activa el haz de recepción, desactiva el haz de recepción y repite este procedimiento. Aunque la descripción más abajo supone que el sistema de radar 14 está funcionando en un modo CW, la descripción más abajo también es aplicable al sistema de radar que funciona en un modo pulsado.

El sistema de radar 14 dirige simultáneamente uno o más haces de recepción aplicando selectivamente, a la señal respectiva recibida por cada segmento de antena 22, un peso de elemento complejo respectivo, que aplica

efectivamente a la señal respectiva un desplazamiento de fase respectivo y una ganancia respectiva (la ganancia puede ser menor que, igual a, o mayor que uno). Es decir, el sistema de radar 14 opera el conjunto de antenas receptoras 20 como un verdadero conjunto en fase.

En una modalidad en la que el sistema de radar 14 genera solo un haz de recepción único, incluso con solo doce segmentos de antena 22, el sistema de radar puede generar el haz de recepción que tiene un ancho relativamente estrecho (por ejemplo, 2° HPBW en la dimensión AZ), y puede dirigir el haz en la dimensión AZ en etapas muy finas (por ejemplo, etapas de 0.1°). Debido a que, como se describió anteriormente, el haz de transmisión supertiende al haz de recepción, el sistema de radar 14 puede dirigir el haz de recepción dentro del ángulo de iluminación sólido de transmisión (TISA), por ejemplo, la región delimitada por el HPBW del haz de transmisión. Las etapas pueden o no ser de manera que un haz de recepción en una posición se superponga a una posición anterior adyacente del haz de recepción.

En otra modalidad, el sistema de radar 14 genera simultáneamente un "conjunto" de haces de recepción que "se ajustan" en la región TISA. Por ejemplo, si la región TISA se asemeja a una caja de espaguetis, entonces cada hebra de espagueti en el conjunto representa un haz de recepción respectivo. En esta modalidad, debido a que el conjunto de recepción "llena" el TISA, el sistema de radar 14 no necesita dirigir los haces de recepción como se describe en la modalidad anterior. Es decir, en esta modalidad, el sistema de radar 14 cubre simultáneamente, con múltiples haces de recepción, la región TISA, mientras que, en la modalidad descrita anteriormente, el sistema de radar dirige secuencialmente un solo haz de recepción desde la posición del haz de recepción a la posición del haz de recepción para cubrir la región TISA durante un período de tiempo.

En aún otra modalidad, el sistema de radar 14 genera simultáneamente un conjunto de haces de recepción que se 'ajustan' dentro de la región TISA, pero no la 'llenan'. Después, el sistema de radar dirige secuencialmente el conjunto de haces de recepción de la posición del haz a la posición del conjunto para cubrir la región TISA durante un período de tiempo. Una posición del conjunto puede o no solaparse con otra posición del conjunto.

En aún otra modalidad, el conjunto de haces de recepción incluye menos haces de los necesarios para "llenar" la región TISA. Por lo tanto, el sistema de radar 14 puede dirigir el conjunto, o uno o más haces de recepción dentro del conjunto, de manera que al menos un haz de recepción ocupe cada región dentro de la región TISA antes de que el sistema de radar reconfigure el(los) ESA(s) de transmisión para dirigir el haz de transmisión a otra posición.

En lo sucesivo, el sistema de radar 14 se describe como que genera y dirige un solo haz de recepción, entendiéndose que la descripción también se aplica al sistema de radar que genera y dirige simultáneamente una pluralidad (por ejemplo, un conjunto) de haces de recepción a menos que se indique de cualquier otra manera.

La Figura 2 es un diagrama de la sección de antena receptora 12, el conjunto 20 de elementos de antena 22, los centros de fase 28 de los elementos de antena y una vista ampliada de uno de los elementos de antena 22, de acuerdo con una modalidad. En esta modalidad, que no pretende ser limitante, cada elemento de antena 22 incluye un subconjunto en serie alimentado por microcinta de subelementos de parche 30.

La Figura 3 es un gráfico que representa el diseño del patrón de haz elemental 32 (el patrón del haz de recepción) en las dimensiones AZ y EL. El patrón de haz elemental 32, y su HPBW característica en AZ y EL, definen el FOV sobre el cual cada canal de recepción, y, por lo tanto, en última instancia sobre el cual el conjunto de recepción 20, es capaz de recibir señales. A su vez, el patrón de haz del elemento 32 también define el FOV sobre el cual puede operar todo el sistema de radar.

Con referencia a las Figuras 2 - 3, en una modalidad, los elementos receptores 22 se diseñan con un número y geometría de subelementos 30 que imparten al conjunto de recepción 20 un HPBW total de aproximadamente 90° grados en la dimensión AZ y de aproximadamente 20° grados en la dimensión EL, lo que permite un sistema de radar 14 con un FOV muy amplio en la dimensión AZ y un FOV algo restringido en la dimensión EL.

La Figura 4 es un diagrama del área de la sección de antena receptora 12 y el conjunto de recepción 20.

Las Figuras 5 - 6 son gráficos de los patrones de haz de recepción 40 y 42 en la dimensión AZ y en la dimensión EL, respectivamente, cuyos patrones resultan de la disposición geométrica del conjunto 20; la disposición geométrica del conjunto 20 se denomina típicamente "factor de conjunto".

Con referencia a las Figuras 4-6, el patrón de haz de factor de conjunto (los patrones de haz de recepción AZ y EL vistos juntos) se ve afectado por la elección de pesos complejos (amplitud y fase) que se aplican a los canales de recepción, y hay un número muy grande de patrones de haz de recepción posibles que generan haces individuales o conjuntos de haces como se analizó anteriormente. Dicho de otra manera, los patrones de haces de recepción AZ y EL 40 y 42 en las figuras 5-6 resultan solo de la geometría del conjunto 20 (es decir, las posiciones relativas de los elementos de antena 22), y la elección de los pesos de recepción complejos.

El patrón de haz de recepción de factor de conjunto posee características de haz tales como HPBW, ángulo de haz y nivel de lóbulo lateral, que se ven afectadas por la elección de los pesos de recepción complejos. El patrón AZ 40 incluye un haz de recepción 44 y lóbulos laterales principales 46 y 48. Los lóbulos laterales principales 46 y 48 tienen cada uno un nivel de potencia máximo mayor que la mitad del nivel de potencia de (es decir, menos de 3 dB por debajo de) el nivel de potencia del haz de recepción 44. De manera similar, el patrón de EL 42 incluye el haz de recepción 44 y los lóbulos laterales principales 50 y 52.

Un objetivo de un diseñador de sistema de radar del sistema de radar 14 (figuras 1 y 33) es excluir al máximo los lóbulos laterales 46, 48, 50 y 52 de las regiones de HPBW del haz de transmisión en las dimensiones AZ y EL mediante la alineación de los patrones de transmisión y recepción para excluir al máximo los lóbulos laterales fuera de la región de interés.

La Figura 7 es un diagrama que representa el patrón de haz de transmisión 54, el patrón de haz de elemento receptor 56 y el patrón de haz en la dimensión AZ para el conjunto de recepción 40 para una modalidad. El patrón de haz del elemento receptor 56 se debe a la disposición, tamaño, forma, etc. de los subelementos de antena 30 (figura 2). Como puede verse, la mayor parte del alisado espacial de recepción se encuentra fuera del HPBW del patrón de haz de transmisión 54; por lo tanto, la combinación de la sección de antena de transmisión y la sección de antena de recepción dispersa suprime en gran medida el alisado espacial de recepción en AZ.

La Figura 8 es un diagrama que representa el patrón de haz de transmisión 58, el patrón de haz de elemento de recepción 60 y el patrón de haz del conjunto de recepción 42, en la dimensión EL, para una modalidad. Como puede verse, la mayor parte del alisado espacial de recepción se encuentra fuera del HPBW del patrón de haz de transmisión 58; por lo tanto, la combinación de la sección de antena de transmisión y la sección de antena de recepción dispersa suprime en gran medida el alisado espacial de recepción en EL.

En la medida en que existan límites prácticos en la forma del haz de transmisión, por ejemplo, la nitidez con la que el haz de transmisión progresa desde su región central a través de su HPBW y a niveles más bajos, en la medida en que existan límites prácticos en la forma, ubicación y nivel de los lóbulos laterales del haz de transmisión, y considerando que estas limitaciones existen tanto en AZ como en EL, un diseñador de sistema de radar 14 puede enfrentar desafíos para reducir los lóbulos laterales del sistema de radar a un nivel deseado para una aplicación particular.

En consecuencia, para reducir aún más los lóbulos laterales de alisado espacial que pueden existir en AZ y EL, y como se describe a continuación junto con la Figura 9, el diseñador de sistema de radar también puede aprovechar la pluralidad de configuraciones geométricas de conjunto de recepción 20 permitidas.

Al considerar lo anterior, se señala que el esparcimiento del conjunto de recepción - es decir, la separación de los elementos del conjunto por mucho más de $\lambda/2$ - además de ofrecer el beneficio de un recuento de canales reducido requerido en un área de recepción dada, también ofrece grados de libertad adicionales en la colocación de los elementos de recepción 22. Dicho de otra manera, un número fijo de elementos de recepción 22 colocados sobre un área grande tienen un número de configuraciones posicionales posibles en las que no chocan ni se superponen, el número de tales configuraciones posicionales posibles crece con el área del conjunto de antena receptora 20.

La Figura 9 es un diagrama de una sección de un conjunto de antenas receptora 70, que puede usarse en el sistema de radar 14 en lugar de la sección de un conjunto de antenas receptora 20 de las Figuras 1, 2 y 4.

Las Figuras 10-11 son gráficos de los patrones de haz y lóbulo lateral 72 y 74 en las dimensiones AZ y EL, respectivamente, generados por la sección de antena 70 para un solo haz de recepción (si el sistema de radar 14 genera un conjunto de recepción, entonces estos gráficos son para cada haz de recepción en el conjunto).

Con referencia a las Figuras 9 - 11, como se describe a continuación, la sección de antena receptora 70 puede generar lóbulos laterales de recepción mayores que tienen una potencia menor que los lóbulos laterales de recepción mayores 46, 48, 50 y 52 (Figuras 5-6) generados por la antena receptora 12 (Figuras 1 - 2) y, por lo tanto, puede disminuir aún más el alisado causado por los lóbulos laterales de recepción.

Al igual que la sección de antena receptora 12 de las Figuras 1 - 2 y 4, la sección de antena receptora 70 incluye diez segmentos de antena 22, cada uno de los cuales tiene seis subelementos de antena 30 (no mostrados en las Figuras 9 - 11).

Pero a diferencia de la sección de antena receptora 12 de las Figuras 1 - 2 y 4, los segmentos de antena 22 no se disponen en las columnas verticales cartesianas 26 y filas horizontales 24 de la Figura 1, sino que se disponen en el patrón que se muestra en la Figura 9. Como se describe más abajo, este patrón de antena receptora reduce significativamente los niveles de los lóbulos laterales de recepción principales en las dimensiones AZ y EL, y, por lo tanto, reduce aún más el muestreo, en comparación con la sección de antena receptora 12 de la Figura 1.

Aún con referencia a las Figuras 9-11, el patrón de haz AZ 72 de la sección de antena receptora 70 incluye un haz de recepción 76 y lóbulos laterales de recepción 78 y 80. Los lóbulos laterales 78 más cercanos al haz de recepción 76

tienen cada uno un nivel de potencia máximo que es al menos 11 dB menor que el nivel de potencia del haz de recepción 76. Por lo tanto, aunque los lóbulos laterales 78 están cerca de, e incluso pueden estar dentro de, la región de HPBW del haz de transmisión 82 en la dimensión AZ, los lóbulos laterales 78 proporcionan una reducción significativa en el alisado en comparación con el nivel de alisado generado por la sección de antena receptora 12 de la figura 1 porque el nivel de potencia de cada uno de los lóbulos laterales 78 es al menos 10 dB menor que los niveles de potencia del lóbulo lateral más cercano 46 generado por la sección de antena receptora 12. Y aunque los lóbulos laterales 80 están cerca de, e incluso pueden estar dentro de, la región de HPBW del haz de transmisión 82 en la dimensión AZ, los lóbulos laterales 80 proporcionan una reducción significativa en el alisado en comparación con el nivel de alisado generado por la sección de antena receptora 12 de la figura 1 porque el nivel de potencia de cada uno de los lóbulos laterales 80 es al menos 10 dB menor que los niveles de potencia del lóbulo lateral más cercano 48 (figura 5) generado por la sección de antena receptora 12.

De manera similar, el patrón de EL 74 incluye el haz de recepción 76 y los lóbulos laterales 84 y 86. Los lóbulos laterales 84 más cercanos al haz de recepción 76 tienen cada uno un nivel de potencia máximo que es al menos 10 dB menor que el nivel de potencia del haz 76. Por lo tanto, aunque los lóbulos laterales 84 están cerca de, e incluso pueden estar dentro de, la región de HPBW del haz de transmisión 82 en la dimensión EL, los lóbulos laterales 84 proporcionan una reducción significativa en el alisado en comparación con el nivel de alisado generado por la sección de antena receptora 12 de la figura 1 porque el nivel de potencia de cada uno de los lóbulos laterales 84 es al menos 10 dB menor que los niveles de potencia de los lóbulos laterales más cercanos 50 (figura 6) generados por la sección de antena receptora 12. Y los lóbulos laterales de recepción 86 más cercanos al haz de recepción 76 tienen cada uno un nivel de potencia máximo que es al menos 10 dB menor que el nivel de potencia del haz 76. Por lo tanto, aunque los lóbulos laterales 86 están cerca de, e incluso pueden estar dentro de, la región de HPBW del haz de transmisión 82 en la dimensión EL, los lóbulos laterales 86 proporcionan una reducción significativa en el alisado en comparación con el nivel de alisado generado por la sección de antena receptora 12 de la figura 1 porque el nivel de potencia de cada uno de los lóbulos laterales 86 es al menos 10 dB menor que los niveles de potencia de los lóbulos laterales más cercanos 52 generados por la sección de antena receptora 12.

Aún con referencia a las Figuras 9 - 11, se contemplan modalidades alternativas de la sección de antena receptora 70. Por ejemplo, el número, el patrón y la configuración de los segmentos de antena 22 pueden ser diferentes de los mostrados en, y como se describió anteriormente junto con, las Figuras 9 - 11. Por ejemplo, la sección de antena receptora 70 puede tener más o menos de doce segmentos de antena 22, los segmentos de antena pueden disponerse de manera diferente a la mostrada en la Figura 9, y cada elemento de antena 22 puede tener varias configuraciones de subelementos 30 en términos del número, ubicación, formas y diseños de los subelementos.

La Figura 12 es un gráfico del patrón de haz AZ efectivo (bidireccional) 90 del sistema de radar 14 resultante de la combinación de los patrones (figuras 10 - 11) de los subelementos de antena receptora 30 (figura 2), el conjunto de antena receptora 20 (figura 9) y la sección de antena transmisora 10 (figura 1), de acuerdo con una modalidad. Para generar el patrón efectivo 90, el patrón de haz de subelemento y el conjunto de recepción del patrón AZ 72 de la figura 10 (en unidades de potencia o magnitud) se multiplican entre sí y por el patrón de haz de transmisión del patrón AZ 72 (en las mismas unidades de potencia o magnitud) en cada ángulo de haz. El patrón AZ efectivo 90 tiene niveles de lóbulos laterales significativamente más bajos y, por lo tanto, tiene un rechazo de alias significativamente superior, en comparación con el patrón de haz del conjunto de recepción AZ, el patrón de haz del subelemento de recepción AZ o el patrón de haz de transmisión AZ de la Figura 10.

La Figura 13 es un gráfico del patrón de haz EL efectivo (bidireccional) 92 del sistema de radar 14 resultante de la combinación de los patrones (figuras 10 - 11) de los subelementos de antena receptora 30 (figura 2), el conjunto de recepción 20 (figura 9) y la sección de antena transmisora 10 (figura 1), de acuerdo con una modalidad. Para generar el patrón efectivo 92, el patrón de haz de subelemento y el conjunto de recepción del patrón EL 74 de la Figura 11 (en unidades de potencia o magnitud) se multiplican entre sí y por el patrón de haz de transmisión del patrón EL 74 (en las mismas unidades de potencia o magnitud) en cada ángulo de haz. El patrón efectivo 92 tiene niveles de lóbulos laterales significativamente más bajos y, por lo tanto, tiene un rechazo de alisado significativamente superior, en comparación con el patrón de haz de conjunto de recepción EL, el patrón de haz de subelemento receptor EL o el patrón de haz de transmisión EL de la Figura 11.

Con referencia a las Figuras 14 - 19, se describe una técnica para reducir aún más el alisado en comparación con las modalidades descritas anteriormente del sistema de radar 14, de acuerdo con una modalidad que no forma parte de la invención reivindicada. Más específicamente, un diseñador de sistema de radar 14 puede alterar el diseño de una antena de transmisión ESA para alinear los nulos del patrón de haz de transmisión y lóbulo lateral (en la dimensión AZ o EL) con los picos de los lóbulos laterales del patrón de haz de transmisión y lóbulo lateral (en la dimensión AZ o EL), o para alinear los picos de los lóbulos laterales del patrón de haz de transmisión y lóbulo lateral con los nulos del patrón de haz de transmisión y lóbulo lateral. Tal alineación provoca que los picos/nulos de transmisión "cancelen" los picos/nulos de recepción en el patrón de haz y lóbulo lateral efectivo.

La Figura 14 es un diagrama de una sección de antena transmisora 100, que es similar a la sección de antena transmisora 10 de la Figura 1 excepto que la sección de antena transmisora 100 tiene dos mitades MESA (subsecciones) 106 y 108 separadas por una distancia vertical Δy entre los centros geométricos 102 y 104 de las

respectivas MESAS. La sección de antena transmisora 100 puede formar una porción de, o una antena transmisora completa, y Δy puede ajustarse para desplazar los nulos y picos del patrón de haz y lóbulo lateral de transmisión en la dimensión EL. Este desplazamiento es típicamente simétrico alrededor del haz de transmisión. Por ejemplo, el aumento de Δy hace que los nulos y los lóbulos laterales del patrón de haz de EL de transmisión y lóbulo lateral se acerquen al haz de transmisión, y la disminución de Δy hace que los nulos y los lóbulos laterales del patrón de haz de EL de transmisión y lóbulo lateral se alejen del haz de transmisión.

La Figura 15 es un gráfico del patrón de haz y lóbulo laterales de transmisión 110 de la sección de antena transmisora 100 (Figura 14) que se superpone al patrón de haz y lóbulo laterales de recepción 112 de una sección de antena receptora que puede ser similar a la sección de antena receptora 70 de la Figura 9. Por ejemplo, los nulos 114 y 116 del patrón de EL de transmisión 110 están aproximadamente alineados con los picos de los lóbulos laterales 118 y 120 del patrón de EL de recepción 112, y los nulos 122 y 124 del patrón de EL de recepción 112 están aproximadamente alineados con los picos de los lóbulos laterales 126 y 128 del patrón de EL de transmisión 110.

La Figura 16 es el gráfico de la Figura 15 para $EL = AZ = 0^\circ$.

La Figura 17 es un gráfico del patrón de haz de EL efectivo 130 resultante de la combinación de los patrones de haz de transmisión y recepción 110 y 112 de la Figura 15 para $EL = AZ = 0^\circ$.

La Figura 18 es un gráfico de un patrón de haz y lóbulo lateral de transmisión AZ 132 de la sección de antena de transmisión 100 (Figura 14) que produce el patrón de EL de transmisión 110 de la Figura 16, superpuesto a un patrón de haz y lóbulo lateral de recepción AZ 134 de la sección de antena de recepción que produce el patrón de EL de recepción 112 de la Figura 16, para $EL = AZ = 0^\circ$.

La Figura 19 es un gráfico del patrón de haz AZ efectivo 136 resultante de la combinación de los patrones de haz de transmisión y recepción 132 y 134 de la Figura 18 para $EL = AZ = 0^\circ$.

Continuando con la discusión de las Figuras 14 - 19, pero con referencia ahora a las Figuras 20 - 23, la reducción de los lóbulos laterales y el alisado espacial lograda mediante el uso de la técnica anterior se mantiene ya que tanto los conjuntos de transmisión como de recepción se dirigen en la dimensión EL.

La Figura 20 es un gráfico de un patrón de haz y lóbulo lateral de EL de transmisión 140 de la sección de antena de transmisión 100 que produce los patrones de transmisión de las Figuras 15-19 que se superponen a un patrón de haz y lóbulo lateral de EL de recepción 142 de la sección de antena de recepción que produce los patrones de recepción de las Figuras 15-19, en el que $EL = 5^\circ$ y $AZ = 0^\circ$.

La Figura 21 es un gráfico del patrón de haz de EL efectivo 144 resultante de la combinación de los patrones de haz de transmisión y recepción 140 y 142 de la Figura 20, en el que $EL = 5^\circ$ y $AZ = 0^\circ$.

La Figura 22 es un gráfico de un patrón de haz y lóbulo lateral de transmisión 146 de la sección de antena transmisora 100 que produce el patrón de EL de transmisión 140 de la Figura 20, que se superpone a un patrón de haz y lóbulo lateral de recepción 148 de la sección de antena receptora que produce el patrón de EL de recepción 142 de la Figura 20, en el que $EL = 5^\circ$ y $AZ = 0^\circ$.

La Figura 23 es un gráfico de un patrón de haz AZ efectivo 150 resultante de la combinación de los patrones de haz de transmisión y recepción 146 y 148 de la Figura 22, en la que $EL = 5^\circ$ y $AZ = 0^\circ$.

Además, a veces un pico de un lóbulo lateral de un patrón de haz de recepción y lóbulo lateral coincide con un pico de un lóbulo lateral de un patrón de haz de transmisión y lóbulo lateral. Es decir, en lugar de actuar para reducir la magnitud del lóbulo lateral efectivo, un lóbulo lateral de recepción y un lóbulo lateral de transmisión son aditivos de manera que actúan para aumentar la magnitud del lóbulo lateral efectivo resultante de la combinación de los lóbulos laterales de transmisión y recepción alineados/que coinciden.

La Figura 24 es un gráfico de un patrón de haz y lóbulo lateral de EL de transmisión 152 de la sección de antena de transmisión 100 (Figura 14) que produce los patrones de transmisión de las Figuras 15-19 que se superponen a un patrón de haz y lóbulo lateral de EL de recepción 154 de la sección de antena de recepción 70 (Figura 9) que produce los patrones de recepción de las Figuras 15-19, en el que $EL = 0^\circ$ y $AZ = 49^\circ$.

La Figura 25 es un gráfico de un patrón de haz EL efectivo (bidireccional) 156 resultante de la combinación de los patrones de haz de transmisión y recepción 152 y 154 de la Figura 24, en el que $EL = 0^\circ$ y $AZ = 49^\circ$.

La Figura 26 es un gráfico de un patrón de haz y lóbulo lateral de transmisión AZ 160 de la sección de antena transmisora 100 (Figura 14) que produce los patrones de transmisión de las Figuras 15-19 que se superponen a un patrón de haz y lóbulo lateral de recepción AZ 162 de la sección de antena receptora 70 (Figura 9) que produce los patrones de recepción de las Figuras 15-19, en el que $EL = 0^\circ$ y $AZ = 49^\circ$.

La Figura 27 es un gráfico de un patrón de haz AZ y EL efectivo (bidireccional) 164 resultante de la combinación de los patrones de haz de transmisión y recepción 160 y 162 de la Figura 26, en el que $EL = 0^\circ$ y $AZ = 49^\circ$.

Con referencia a las Figuras 26 - 27, desafortunadamente, en un ángulo AZ de aproximadamente 20° , el pico de un lóbulo lateral de transmisión 166 coincide con un pico de un lóbulo lateral de recepción 168 de manera que la combinación de los lóbulos laterales 166 y 168 forma un lóbulo lateral efectivo significativo 170.

La Figura 28 es un diagrama de una sección de antena transmisora 180, de acuerdo con una modalidad en la que la sección 180 puede formar una porción de, o una antena transmisora completa. La sección de antena transmisora 180 incluye dos subsecciones o porciones de transmisión apiladas verticalmente, pero separadas 182 y 184, cada una de las cuales puede ser una MESA respectiva.

Una técnica para desalinear, o descorrelacionar, los picos de los lóbulos laterales de transmisión y los lóbulos laterales de recepción 166 y 168 de la Figura 26 es desplazar, o deslizar, la porción de transmisión 182 de la sección de antena transmisora 180 en la dimensión horizontal (AZ) con relación a la porción de transmisión 184.

La Figura 29, que es similar a la Figura 24, es un gráfico de un patrón de haz y lóbulos laterales de transmisión 186 de una modalidad de la sección de antena de transmisión 100 (Figura 14) que produce los patrones de transmisión de las Figuras 15-19 que se superponen a un patrón de haz y lóbulos laterales de recepción 187 de una modalidad de la sección de antena de recepción 70 (Figura 9) que produce los patrones de recepción de las Figuras 15-19, de acuerdo con una modalidad en la que $EL = 0^\circ$ y $AZ = 49^\circ$.

La Figura 30, que es similar a la Figura 25, es un gráfico de un patrón de haz EL efectivo (bidireccional) 188 resultante de la combinación de los patrones de haz de transmisión y recepción 186 y 187 de la Figura 29, de acuerdo con una modalidad en la que $EL = 0^\circ$ y $AZ = 49^\circ$.

La Figura 31 es un gráfico de un patrón de haz y lóbulo lateral de transmisión AZ 190 de una modalidad de la sección de antena transmisora 180 (Figura 28) que produce los patrones de transmisión de las Figuras 15-19 que se superponen a un patrón de haz y lóbulo lateral de recepción AZ 192 de la sección de antena receptora 70 (Figura 9) que produce los patrones de recepción de las Figuras 15-19, de acuerdo con una modalidad en la que $EL = 0^\circ$ y $AZ = 49^\circ$.

La Figura 32 es un gráfico de un patrón de haz AZ efectivo 194 resultante de la combinación de los patrones de haz de transmisión y recepción 190 y 192 de la Figura 31, de acuerdo con una modalidad en la que $EL = 0^\circ$ y $AZ = 49^\circ$.

Con referencia a las Figuras 28 y 31 - 32, en el ángulo AZ de aproximadamente 20° , el desplazamiento AZ de la porción de transmisión 182 de la sección de antena de transmisión 180 con relación a la porción de transmisión 184 desplaza el pico del lóbulo lateral de transmisión 166 a la izquierda en la Figura 31 de manera que el pico ya no coincide con el pico del lóbulo lateral de recepción 168. Además, este cambio también reduce la magnitud del pico del lóbulo lateral de transmisión 166. Por lo tanto, la magnitud del lóbulo lateral 170 formado por la combinación de los lóbulos laterales 166 y 168 se reduce significativamente (en aproximadamente 15 dB) de la magnitud del lóbulo lateral 170 en la Figura 27.

Con referencia nuevamente a la Figura 27, así como a la Figura 14, la técnica de desplazamiento, en AZ (y/o desplazamiento en EL), la porción de transmisión 182 (106) con relación a la porción de transmisión 184 (108) puede aplicarse para descorrelacionar los lóbulos laterales de transmisión y recepción en otros ángulos de haz en la dimensión AZ. Un diseñador puede seleccionar la magnitud y la polaridad/dirección del desplazamiento que produce la mejor descorrelación lateral general en todos los ángulos de haz en la dimensión AZ para una aplicación particular.

Otra técnica para reducir el alisado debido a que la antena receptora recibe energía transmitida redirigida a lo largo de uno o más lóbulos laterales de recepción es aprovechar la pluralidad de pesos complejos que pueden aplicarse a cada uno de los canales de recepción, señalando el hecho de que múltiples opciones para el vector de peso complejo pueden dar como resultado conjunto de recepción con haces principales casi idénticos, pero con patrones de lóbulos laterales muy diferentes.

Esta técnica puede aplicarse para reducir selectivamente uno o más de los lóbulos laterales de recepción mediante el ajuste del peso complejo de cada uno de uno o más de los segmentos de antena de recepción 22 (figura 4) para cada uno de uno o más posiciones del haz de recepción (o conjunto de haces de recepción). Un diseñador puede determinar, mediante simulación o medición, los lóbulos laterales de recepción principales en una posición del conjunto de recepción, y puede determinar la mejor ponderación compleja para cada segmento de antena 22 para impartir al haz de recepción (o conjunto de haces de recepción) las características de haz deseadas (por ejemplo, HPBW en las dimensiones AZ y EL) y para impartir a los lóbulos laterales de recepción principales las características de lóbulos laterales deseadas (por ejemplo, magnitud, fase). Después, el diseñador puede programar el sistema de radar 14 para implementar estas respectivas ponderaciones complejas determinadas para los segmentos de antena 22 mientras que el haz de recepción tiene la posición del conjunto de recepción correspondiente. El diseñador puede repetir este procedimiento para una o más posiciones del haz de recepción, y puede almacenar, por ejemplo, en una tabla de

consulta (LUT), las ponderaciones complejas respectivas para cada segmento de antena 22 para cada posición del haz de recepción.

La Figura 33 es un diagrama de bloques de un subsistema de radar 210, que incluye un grupo de antenas o subsistema 212 que incluye una o más de las antenas transmisoras y receptoras 10, 12, 100 y 180 de las Figuras 1 - 2, 4, 9, 14 y 28, de acuerdo con una modalidad en la que el subsistema de radar 210 puede ser el mismo que, o puede sustituirse por, el sistema de radar 14 de la Figura 1.

Además del grupo de antena 212, el subsistema de radar 210 incluye un transceptor 214, un controlador de dirección de haz 216, una unidad de procesamiento de radar 218 y un controlador maestro 220, cuyos componentes pueden ser circuitos que están cableados, que son configurables en flujo de datos, que ejecutan software o que son subcombinación o combinación de tales circuitos.

El subsistema de antena 212 incluye una antena transmisora 222, que puede incluir una o más de las secciones de antena transmisora 10 (figura 1), 100 (figura 14) y 180 (figura 28), e incluye una antena receptora 224, que puede incluir una o más de las secciones de antena receptora 12 (figuras 1 - 2 y 4) o 70 (figura 9). Como se describió anteriormente, la antena transmisora 222 se configura para generar uno o más patrones de haz de transmisión que tienen una o más características deseadas, y la antena receptora 224 se configura para generar uno o más patrones de haz de recepción que tienen una o más características deseadas, de manera que los patrones de haz de transmisión se combinan con los patrones de haz de recepción respectivos para formar filtros espaciales.

El transceptor 214 incluye el circuito de transmisión 226 y el circuito de recepción 228. El circuito transmisor 226 incluye un oscilador controlado por tensión (VCO) 230, un preamplificador 232 y un amplificador (PA) 234. El VCO 230 se configura para generar una señal que tiene una frecuencia $f_0 = c/\lambda_0$, que es la frecuencia para la cual se diseña la antena transmisora 222. El preamplificador 232 se configura para amplificar la señal del VCO, y el PA 234 se configura para amplificar la señal del preamplificador. El circuito receptor 228 incluye un canal de recepción respectivo 236 para cada segmento de antena 22 de la antena receptora 224. Cada uno de un amplificador de bajo ruido (LNA) 238, un mezclador 240 y un convertidor analógico-digital (ADC) 242. El LNA 238 se configura para amplificar las señales recibidas por la antena receptora 224. El mezclador 240 se configura para desplazar las frecuencias de las señales recibidas amplificadas hacia una banda base, y el ADC 242 se configura para convertir las señales analógicas desplazadas hacia abajo en señales digitales para su procesamiento por la unidad de procesamiento de radar 220.

El controlador de dirección del haz 216 se configura para dirigir los haces de transmisión generados por la una o más antenas transmisoras MESA 222 generando, en las líneas de control 18 (figura 1) las señales de control a las unidades de antena que componen la una o más antenas transmisoras como una función del tiempo y la posición del haz de transmisión principal. Al generar adecuadamente las señales de control, el controlador de dirección del haz 216 se configura para activar y desactivar selectivamente los elementos de antena de la una o más antenas transmisoras MESA 222 de acuerdo con patrones espaciales y temporales seleccionados. La dirección del haz de una antena transmisora, tal como una o más antenas transmisoras MESA 222, se describe más abajo junto con las Figuras 35 - 37.

La unidad de procesamiento de radar 218 se configura para recibir cada una de las señales recibidas de banda base digitalizadas del receptor 228, y para procesar las señales para formar, y para dirigir, un haz de recepción como se describió anteriormente. Como se describió anteriormente, la unidad de procesamiento de radar 218 se configura para generar, en cualquier momento dado, un patrón de haz de recepción respectivo mediante la amplificación de cada una de las señales digitalizadas con una ganancia respectiva, y mediante el desplazamiento de cada una de las señales digitalizadas mediante una fase respectiva. Al cambiar las ganancias y los desplazamientos de fase como una función del tiempo, la unidad de procesamiento de radar 218 dirige eficazmente uno o más haces de recepción principales del patrón de haz de recepción. Y la unidad de procesamiento de radar 218 proporciona los datos de radar transportados por el patrón de haz de recepción formado a un circuito de procesamiento de datos convencional para su procesamiento adicional para, por ejemplo, detectar un objeto a lo largo de un haz de recepción, y determinar la ubicación y velocidad del objeto. Por ejemplo, el circuito de procesamiento de datos puede configurarse para analizar las señales del receptor 228 para, por ejemplo, identificar un objeto detectado y la ubicación y velocidad del objeto, y para determinar qué acción, si la hay, que un sistema que incluye, o acoplado a, el subsistema de radar 210 debe tomar. Por ejemplo, si el sistema es un vehículo autónomo o un dron autodirigido, entonces el circuito de procesamiento de datos se configura para determinar qué acción (por ejemplo, frenado, maniobra), si la hay, debe tomar el vehículo en respuesta al objeto detectado. Alternativamente, la unidad de procesamiento de radar 218 puede configurarse para realizar dicho procesamiento adicional de los datos de radar en lugar de, o además de, al sistema de procesamiento de datos.

El controlador maestro 220 se configura para controlar el transceptor 214, el controlador de dirección de haz 216 y la unidad de procesamiento de radar 218 en respuesta a las señales de control de radar de un controlador del sistema de radar (no se muestra en la Figura 33). Por ejemplo, suponiendo que la una o más antenas transmisoras 222 están diseñadas para operar a frecuencias en un intervalo centrado alrededor de f_0 , el controlador maestro 220 se configura para ajustar la frecuencia de la señal generada por el VCO 230 para, por ejemplo, condiciones ambientales tales como el clima, el número promedio de objetos en el alcance de la una o más antenas transmisoras y una o más antenas

receptoras 224, y la distancia promedio de los objetos desde la una o más antenas transmisoras y receptoras, y para adaptar la señal de transmisión a las regulaciones del espectro. Además, en el ejemplo, el controlador maestro 220 puede configurarse para emitir, al controlador de dirección de haz 216 y a la unidad de procesamiento de radar 218, comandos que hacen que el controlador de dirección de haz y la unidad de procesamiento de radar formen haces de transmisión y recepción, respectivamente, que corresponden a los comandos.

El funcionamiento del subsistema de radar 220 se describe a continuación, de acuerdo con una modalidad. Cualquiera de los componentes del sistema, tal como el controlador maestro 220, puede almacenar en una memoria, y ejecutar, instrucciones de software/programa para realizar las acciones descritas más abajo. Alternativamente, cualquiera de los componentes del sistema, tal como el controlador del sistema (no mostrado en la Figura 33), puede almacenar, en una memoria, un conjunto de datos, tal como el microprograma, que cuando se carga configura uno o más de los componentes del sistema para realizar las acciones descritas más abajo. O cualquiera de los componentes del sistema, tal como el controlador del sistema, puede estar cableado para realizar las acciones descritas más abajo.

El controlador maestro 220 genera una tensión de control que hace que el VCO 230 genere una señal a una frecuencia dentro de un intervalo de frecuencias centrado alrededor de f_0 . Por ejemplo, f_0 puede estar en el intervalo de aproximadamente 5 Gigahercios (GHz) - 100 GHz.

El VCO 230 genera la señal, y el PA 232 y el amplificador 234 amplifican la señal y proporcionan la señal amplificada a la una o más antenas transmisoras 222.

Mientras el amplificador 234 acopla la señal de transmisión a la una o más antenas transmisoras 222, el controlador de dirección de haz 216, en respuesta al controlador maestro 220, genera señales de control a las unidades de antena de la una o más antenas transmisoras. Estas señales de control hacen que una o más antenas transmisoras generen y dirijan uno o más haces de transmisión de señal principales. Como se describió anteriormente junto con las Figuras 7-8, 10 - 27, y 29 - 32, las señales de control hacen que el uno o más haces de transmisión de señal principal tengan las características deseadas, y también hacen que los lóbulos laterales de transmisión tengan las características deseadas tales como la potencia lateral total adecuada y un nivel lateral adecuado (por ejemplo, entre el haz de transmisión de señal principal más pequeño y el lóbulo lateral más grande).

Después, el controlador maestro 220 hace que el VCO 230 deje de generar la señal de transmisión.

A continuación, mientras el VCO 230 no genera señal, los LNA 238 amplifican respectivamente las señales recibidas de los segmentos de antena receptora 22 respectivos.

Después, los mezcladores 240 convierten respectivamente hacia abajo las señales amplificadas recibidas de los LNA 238 de una frecuencia, por ejemplo, en o cerca de f_0 , a una frecuencia de banda base.

A continuación, los ADC 242 convierten las señales analógicas convertidas a señales digitales respectivas.

Después, el controlador maestro 220 genera y envía una o más señales de control a la unidad de procesamiento de radar 218.

Estas señales de control hacen que la unidad de procesamiento de radar 218 genere y dirija uno o más haces de señal de recepción principal aplicando, a cada una de las señales digitalizadas del circuito receptor 214, una ganancia y un desplazamiento de fase respectivos adecuados. Como se describió anteriormente junto con las Figuras 7-8, 10 - 27, y 29 - 32, las señales de control hacen que la unidad de procesamiento de radar 218 genere el uno o más haces de recepción de señal principal para que tengan las características deseadas, y también para generar los lóbulos laterales para que tengan las características deseadas tales como la potencia lateral total adecuada y un nivel lateral adecuado.

A continuación, la unidad de procesamiento de radar 218, o el circuito de procesamiento de datos (no mostrado en la Figura 33), analiza las señales digitales amplificadas y desplazadas de fase para obtener información de las señales y determinar qué, si acaso, se debe hacer en respuesta a la información obtenida de las señales.

El subsistema de radar 210 puede repetir el ciclo anterior una o más veces.

Aún con referencia a la Figura 33, se contemplan modalidades alternativas del subsistema de radar 210. Por ejemplo, el subsistema de radar 210 puede incluir uno o más componentes adicionales no descritos anteriormente, y puede omitir uno o más de los componentes descritos anteriormente. Además, las funciones u operaciones atribuidas a un componente del subsistema de radar 210 pueden realizarse por otro componente del subsistema de radar o por otro componente fuera del subsistema de radar.

La Figura 34 es un diagrama de bloques de un sistema, tal como un sistema de vehículo 250, que incluye el subsistema de radar 210 de la Figura 33, de acuerdo con una modalidad. Por ejemplo, el sistema de vehículo 250 puede ser un vehículo aéreo no tripulado (UAV) tal como un dron, o un automóvil autónomo.

Además del subsistema de radar 210, el sistema de vehículo 250 incluye un conjunto de accionamiento 242 y un controlador del sistema 244.

El conjunto de accionamiento 252 incluye una unidad de propulsión 256, tal como un propulsor o motor, y una unidad de dirección 258, tal como un timón, flaperón, control de paso, o control de guiñada (por ejemplo, un UAV o dron), o un volante vinculado a ruedas direccionales (por ejemplo, un automóvil autónomo).

El controlador del sistema 254 se configura para controlar y recibir información del subsistema de radar 210 y el conjunto de accionamiento 252. Por ejemplo, el controlador del sistema 254 puede configurarse para recibir ubicaciones, tamaños y velocidades de objetos cercanos del subsistema de radar 210, y para recibir la velocidad y la dirección de viaje del sistema de vehículo 210 desde, por ejemplo, un receptor GPS (no mostrado en la figura 34) o desde un sensor (por ejemplo, acelerómetro, tampoco mostrado en la figura 34) a bordo del sistema 250.

El funcionamiento del sistema de vehículo 250 se describe más abajo, de acuerdo con una modalidad. Cualquiera de los componentes del sistema, tal como el controlador del sistema 254, puede almacenar en una memoria, y ejecutar, instrucciones de software/programa para realizar las acciones descritas más abajo. Alternativamente, cualquiera de los componentes del sistema, tal como el controlador del sistema 254, puede almacenar, en una memoria, el microprograma que cuando se carga configura uno o más de los componentes del sistema para realizar las acciones descritas más abajo. O cualquiera de los componentes del sistema, tal como el controlador del sistema 244, puede ser un circuito cableado para realizar las acciones descritas más abajo.

El controlador del sistema 254 activa el subsistema de radar 210, que, como se describió anteriormente junto con la Figura 33, proporciona al controlador del sistema información sobre uno o más objetos en las cercanías del sistema de vehículo 250. Por ejemplo, si el sistema de vehículo 250 es un UAV o un dron, entonces el subsistema de radar puede proporcionar información sobre uno o más objetos (por ejemplo, aves, aeronaves y otros UAV/drones), en la trayectoria de vuelo hacia el frente, los lados y la parte trasera del UAV/dron. Alternativamente, si el sistema de vehículo 250 es un automóvil autónomo, entonces el subsistema de radar 210 puede proporcionar información sobre uno o más objetos (por ejemplo, otros vehículos, escombros, peatones, ciclistas) en la carretera al frente, los lados y la parte trasera del sistema de vehículo.

En respuesta a la información del objeto del subsistema de radar 210, el controlador del sistema 254 determina qué acción, si la hay, debe tomar el sistema de vehículo 250 en respuesta a la información del objeto. Alternativamente, el controlador maestro 220 (figura 33) del subsistema de radar 210 puede tomar esta determinación y proporcionarla al controlador del sistema 254.

A continuación, si el controlador del sistema 254 (o controlador maestro 220 de la Figura 33) determina que se debe tomar una acción, entonces el controlador del sistema hace que el conjunto de accionamiento 252 tome la acción determinada. Por ejemplo, si el controlador del sistema 254 o el controlador maestro 220 determinan que un sistema de UAV 250 se acerca a un objeto frente al sistema de UAV, entonces el controlador del sistema 254 puede controlar la unidad de propulsión 256 para reducir la velocidad del aire. O, si el controlador del sistema 254 o el controlador maestro 220 determinan que un objeto delante de un sistema de conducción autónoma 250 se está desacelerando, entonces el controlador del sistema 254 puede controlar la unidad de propulsión 256 para reducir la velocidad del motor y aplicar un freno. O si el controlador del sistema 254 o el controlador maestro 220 determinan que se necesita una acción evasiva para evitar un objeto (por ejemplo, otro UAV/dron, un pájaro, un niño que corrió delante del sistema de vehículo 250) delante del sistema de vehículo, entonces el controlador del sistema 254 puede controlar la unidad de propulsión 256 para reducir la velocidad del motor y, para un vehículo autónomo, para aplicar un freno, y puede controlar la unidad de dirección 258 para maniobrar el sistema de vehículo lejos de o alrededor del objeto.

Aún con referencia a la Figura 34, se contemplan modalidades alternativas del sistema de vehículo 250. Por ejemplo, el sistema de vehículo 250 puede incluir uno o más componentes adicionales no descritos anteriormente, y puede omitir uno o más de los componentes descritos anteriormente. Además, el sistema de vehículo 250 puede ser un sistema de vehículo distinto de un UAV, dron o automóvil autónomo. Otros ejemplos del sistema de vehículo 250 incluyen una embarcación, una motocicleta, un automóvil que no es autónomo, y una nave espacial. Además, un sistema que incluye el subsistema de radar 210 puede ser distinto de un sistema de vehículo.

La Figura 35 es una vista en planta de la sección de antena transmisora 10 de la Figura 1 en la que la sección de antena transmisora es una sección de antena de apertura holográfica que tiene múltiples guías de onda $260_1 - 260_n$ y elementos de antena conductores correspondientes $262_1 - 262_n$, de acuerdo con una modalidad. Las guías de ondas 260 son guías de ondas de línea de transmisión de tiras rectangulares convencionales, solo las porciones superiores de las cuales son visibles en la Figura 35, y son aproximadamente paralelas entre sí. Los elementos de antena $262_1 - 262_n$ se disponen sobre las guías de onda 260 en respectivos conjuntos unidimensionales. Por ejemplo, los elementos de antena 262_1 se disponen en un conjunto unidimensional sobre la guía de ondas 260_1 , los elementos de antena 262_2 se disponen en un conjunto unidimensional sobre la guía de ondas 260_2 , y así sucesivamente. Suponiendo que la sección de antena transmisora 10 se diseña para transmitir y recibir señales a una longitud de onda de λ_0 , las guías de onda 260 se separan entre sí, en el centro longitudinal, por una distancia $d_1 \approx \lambda_0/2$, y los elementos de antena 262 dentro de cada conjunto unidimensional se separan entre sí por una distancia $d_2 \ll \lambda_0$. Por ejemplo, $\lambda_0/1000 < d_2 <$

$\lambda_0/10$. Además, cada uno de los guías de onda 260 tiene aproximadamente la misma longitud l de entre aproximadamente $3\lambda_0 - 20\lambda_0$, o la longitud l puede ser incluso más larga que $20\lambda_0$.

La Figura 36 es una vista lateral en corte de la sección de antena transmisora 10 de la Figura 35, tomada a lo largo de la línea A-A de la Figura 35, de acuerdo con una modalidad. Aunque solo la guía de ondas 260₃ y los elementos de antena correspondientes 262₃ se muestran en la Figura 36, la siguiente discusión también se aplica a los otros guías de onda y elementos de antena.

La guía de ondas 262₃ incluye una capa de acoplamiento 270 que tiene una impedancia ajustable alrededor de una frecuencia $f_0 = c/\lambda_0$, una capa/tira conductora 272₃, y una capa dieléctrica 274, donde c es la velocidad de la luz en el espacio libre. Aunque no se muestra, la sección de antena transmisora 10 incluye un plano conductor, tal como un plano de tierra, dispuesto debajo de la capa dieléctrica 274. En funcionamiento, una señal guiada por la guía de ondas 260₃ se propaga a lo largo de la capa dieléctrica 274 entre la tira conductora 272₃ y el plano de tierra. Aunque la sección de antena transmisora 10 puede incluir una sola capa de acoplamiento 270 y una sola capa dieléctrica 274 común a todas las guías de onda 260, la sección de antena incluye tiras conductoras separadas 272, una tira por guía de onda. Son estas tiras 272, y los elementos de antena correspondientes 262, los que están separados por la distancia d_1 (ver Figura 35).

Cada elemento de antena 262₃, y una región de acoplamiento 276₃ de la capa 270 dispuesta debajo del elemento de antena, forman una unidad de antena respectiva 278₃. Por ejemplo, el elemento de antena 262_{3,5} y la región de acoplamiento 276_{3,5} de la capa 270 forman una unidad de antena 278_{3,5} de la sección de antena transmisora 10.

La Figura 37 es una vista lateral y un diagrama eléctrico de la unidad de antena 278_{3,5} de la Figura 36, y la porción de la tira conductora 272₃ del guía de ondas 260₃ correspondiente a la unidad de antena, de acuerdo con una modalidad.

La región de acoplamiento 276_{3,5} puede modelarse como un elemento de impedancia ajustable agrupada 280_{3,5}, que se acopla eléctricamente entre la tira conductora 272₃ y el elemento de antena 262_{3,5}. Una línea de control conductora 282_{3,5} se acopla directamente al elemento agrupado 280_{3,5}, o se acopla indirectamente al elemento agrupado a través del elemento de antena conductora 262_{3,5} como se muestra. Como se describe más abajo, un controlador (por ejemplo, el controlador maestro 220 de la Figura 33) puede acoplar y desacoplar selectivamente la señal que se propaga a lo largo de la guía de ondas 260₃ a y desde el elemento de antena 262_{3,5}, y por lo tanto puede activar y desactivar selectivamente el elemento de antena, al cambiar selectivamente la señal de polarización (por ejemplo, una tensión de polarización) en la línea de control 282_{3,5}. Además, un filtro de paso bajo 284_{3,5} puede acoplarse en serie entre el elemento concentrado 280_{3,5} y el controlador para desacoplar, del controlador, la energía de alta frecuencia de la señal que se propaga a lo largo de la guía de ondas 260₃.

Y la porción de la tira conductora 272₃ correspondiente a la unidad de antena 278_{3,5} incluye un espacio 38_{3,5}, que puede rellenarse con ese mismo material que forma la capa de acoplamiento 270, y que se configura para acoplar la señal que se propaga a lo largo de la guía de ondas 260₃ a la unidad de antena.

Aún con referencia a la Figura 37, durante el funcionamiento de la unidad de antena 278_{3,5}, en respuesta a la señal de control en la línea de control 282_{3,5} que tiene un nivel que inactiva el elemento agrupado 280_{3,5}, la región de acoplamiento 276_{3,5} presenta una gran impedancia al espacio 286_{3,5}, y por lo tanto bloquea la señal que se propaga a lo largo de la guía de ondas 260₃ de acoplar a, y excitar, el elemento de antena 262_{3,5}. Por lo tanto, el elemento de antena 262_{3,5} irradia poca o ninguna energía.

Por el contrario, en respuesta a la señal de control en la línea de control 282_{3,5} que tiene un nivel que activa el elemento agrupado 280_{3,5}, la región de acoplamiento 276_{3,5} presenta una pequeña impedancia al espacio 286_{3,5}, y por lo tanto acopla la señal que se propaga a lo largo de la guía de ondas 260₃ al elemento de antena 262_{3,5} de manera que la señal excite el elemento de antena. Por lo tanto, el elemento de antena excitado 262_{3,5} irradia energía a la misma frecuencia o frecuencias que la frecuencia o frecuencias de la señal que se propaga a lo largo de la guía de ondas 260₃. Por ejemplo, cuando el elemento agrupado 280_{3,5} está activo, la región de acoplamiento 276_{3,5} se configura para formar, junto con el elemento de antena 262_{3,5}, un circuito de resonancia en serie que tiene una frecuencia resonante de aproximadamente f_0 . Como se conoce, en su frecuencia resonante, un circuito de resonancia en serie tiene una impedancia baja, idealmente impedancia cero. Debido a que la señal que se propaga a lo largo de la guía de ondas 260₃ tiene una frecuencia de aproximadamente f_0 , la región 276_{3,5}, cuando el elemento agrupado 280_{3,5} está activo, presenta una baja impedancia a la señal. Para implementar un circuito resonante selectivo de este tipo, el elemento 280_{3,5} puede ser, o puede incluir, un dispositivo semiconductor, tal como un diodo de unión PN, un transistor de efecto de campo (FET), u otro dispositivo que, cuando se activa, altera la impedancia de la región de acoplamiento 26_{3,5} de manera que la región de acoplamiento forma, en f_0 , un circuito resonante en serie con el elemento de antena 262_{3,5}, o entre la tira conductora 272₃ y el elemento de antena.

Aún con referencia a la Figura 37, aunque solo la unidad de antena 278_{3,5} se describe, todas las demás unidades de antena 278 de la sección de antena transmisora 10 (figuras 1 y 35 - 36) pueden tener la misma estructura, y pueden operar de la misma manera, como la unidad de antena 278_{3,5}.

Con referencia a las Figuras 1 y 35 - 37, los detalles adicionales de la sección de antena transmisora 10 y las unidades de antena 278 se pueden encontrar en los siguientes documentos, que se incorporan en la presente descripción como referencia: Solicitud de patente de Estados Unidos núm. 14/506,432, titulado Surface Scattering Antennas With Lumped Elements, que se presentó el 03 de octubre de 2014, y La patente de Estados Unidos 9,450,310, titulada Surface Scattering Elements, que se presentó el 14 de octubre de 2011. Además, cada una de las subsecciones 106 y 108 de la sección de antena transmisora 100 de la Figura 14, y cada una de las subsecciones 182 y 184 de la sección de antena transmisora 180 de la Figura 28, pueden ser similares en estructura y funcionamiento a la sección de antena transmisora 10.

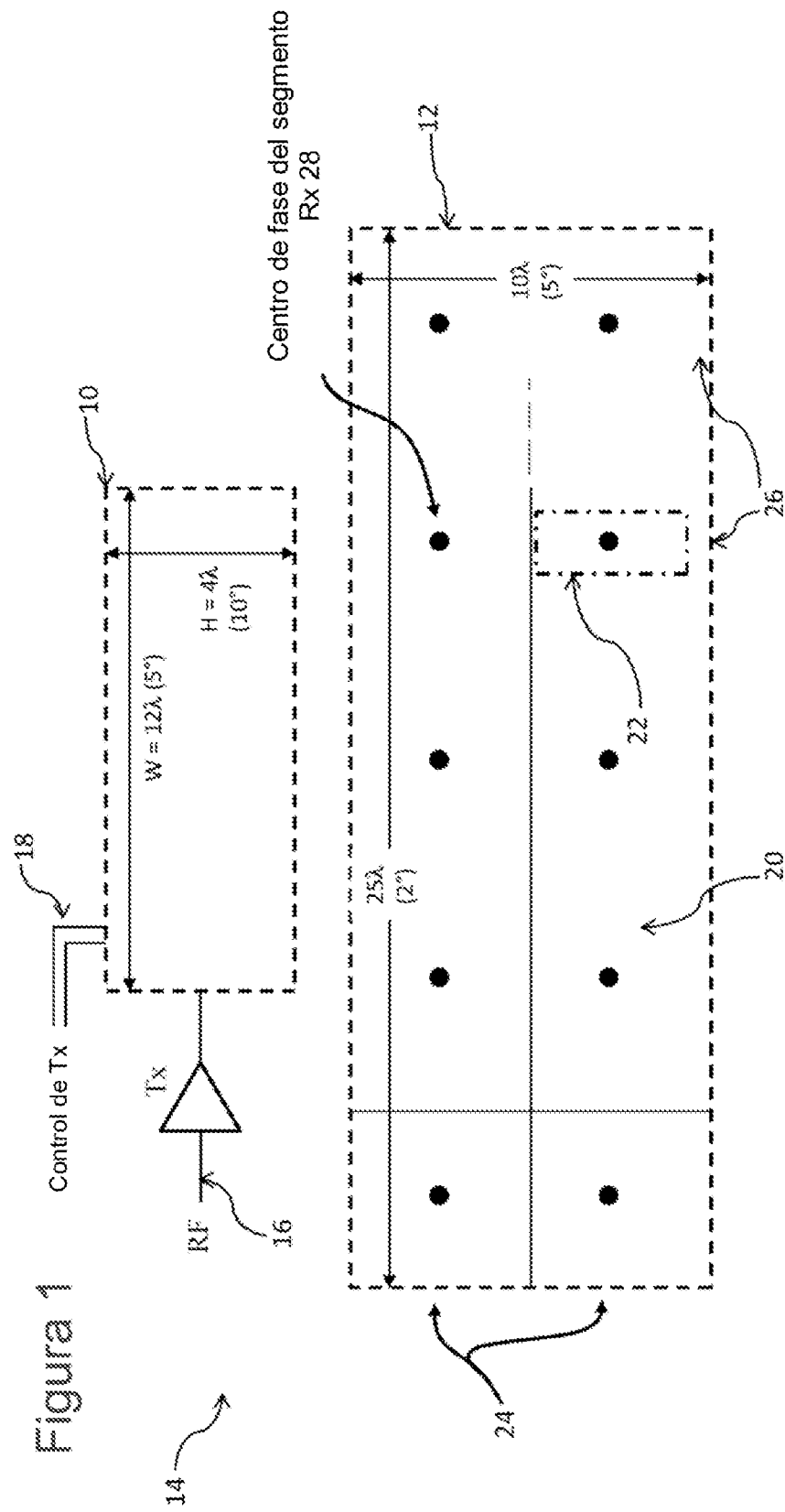
De lo anterior se apreciará que, aunque en la presente descripción se han descrito modalidades específicas con fines de ilustración, pueden realizarse varias modificaciones sin desviarse del alcance de la descripción como se define en las reivindicaciones adjuntas.

Además, cuando se describe una alternativa para una modalidad particular, esta alternativa también puede aplicarse a otras modalidades incluso si no se indica específicamente. Además, cualquier componente u operación descrita puede implementarse/realizarse en hardware, software, microprograma, o una combinación de dos o más de hardware, software y microprograma. Además, uno o más componentes de un aparato o sistema descrito pueden haberse omitido de la descripción por claridad o por otra razón. Además, uno o más componentes de un aparato o sistema descrito que se han incluido en la descripción pueden omitirse del aparato o sistema.

REIVINDICACIONES

1. Un subsistema de antena (212), que comprende:
 - una antena receptora dispersa (12, 70, 224) que incluye un conjunto (20) de elementos receptores (22) cada uno configurado para recibir una señal respectiva que tiene una longitud de onda y cada uno separado de cada elemento receptor (22) adyacente por una primera distancia respectiva que es mas de la mitad de la longitud de onda; y
 - una antena transmisora electrónicamente orientable (10, 100, 180, 222) que incluye:
 - una serie de elementos transmisores (262) cada uno configurado para radiar una señal respectiva que tiene la longitud de onda y cada uno separado de cada elemento transmisor adyacente (262) por una segunda distancia respectiva que es menor que la mitad de la longitud de onda,
 - una primera sección de antena transmisora (106,182) que tiene un primer subconjunto de los elementos transmisores (262), y
 - una segunda sección de antena transmisora (108,184) que tiene un segundo subconjunto de los elementos transmisores (262), apilado con la primera sección de antena transmisora (106,182) en una primera dimensión, y desplazado de la primera sección de antena transmisora en una segunda dimensión ortogonal a la primera dimensión.
2. El subsistema de antena (212) de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la antena receptora dispersa (12, 70, 224) incluye no menos de ocho y no mas de sesenta y cuatro elementos receptores.
3. El subsistema de antena (212) de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en donde:
 - la primera dimensión es vertical; y
 - la segunda dimensión es horizontal.
4. El subsistema de antena (212) de acuerdo con cualquier reivindicación de 1 a 3, en donde:
 - la primera dimensión es la elevación; y
 - la segunda dimensión es el azimut.
5. El subsistema de antena (212) de acuerdo con cualquier reivindicación de 1 a 4, en donde cada segunda distancia no es mayor que una décima parte de la longitud de onda.
6. El subsistema de antena (212) de acuerdo con cualquier reivindicación de 1 a 5, en donde la antena transmisora electrónicamente orientable (10, 100, 180, 222) incluye una antena transmisora electrónicamente orientable de metamaterial.
7. El subsistema de antena (212) de acuerdo con cualquier reivindicación de 1 a 6, en donde el conjunto de la antena transmisora electrónicamente orientable (10, 100, 180, 222) se configura como un conjunto de sobremuestreo.
8. El subsistema de antena (212) de acuerdo con cualquier reivindicación de 1 a 7, en donde la antena transmisora electrónicamente orientable carece de circuitos de desplazamiento de fase.
9. El subsistema de antena (212) de acuerdo con cualquier reivindicación de 1 a 8, en donde la antena transmisora electrónicamente orientable (10, 100, 180, 222) incluye una antena holográfica.
10. Un subsistema de radar (210) que comprende el subsistema de antena (212) de acuerdo con cualquier reivindicación de 1 a 9, y que comprende, además:
 - un controlador de dirección de haz (216) configurado para hacer que la antena transmisora electrónicamente orientable (10, 100, 180, 222) forme, a partir de las señales radiadas, un patrón de haz de transmisión (54, 58) que incluye un haz de transmisión principal que ocupa una región de haz de transmisión;
 - y
 - una unidad de procesamiento de radar (218) configurada para formar, a partir de las señales recibidas, un patrón de haz de recepción (40, 42, 72, 74) que incluye un haz de recepción principal (44, 76) dentro de la región de haz de transmisión (82) e incluye un primer lóbulo lateral de recepción (46, 48, 50, 52, 78, 80) que tiene una primera amplitud y dentro de una porción de la región de haz de transmisión (82) que tiene una segunda amplitud que es menor que la primera amplitud.

11. El subsistema de radar (210) de acuerdo con la reivindicación 10, en donde la unidad de procesamiento de radar (218) se configura para formar el patrón de haz de recepción (72, 74) mientras la antena transmisora forma el patrón de haz de transmisión (72, 74).
- 5 12. El subsistema de radar (210) de acuerdo con la reivindicación 10, en donde la unidad de procesamiento de radar (218) se configura para formar el patrón de haz de recepción (72, 74) después de que la antena transmisora forme el patrón de haz de transmisión (72, 74).
- 10 13. El subsistema de radar (210) de acuerdo con cualquier reivindicación de 10 a 12, en donde:
el controlador de dirección del haz (216) se configura para hacer que la antena transmisora (10, 100, 180, 222) forme, a partir de las señales radiadas, el patrón de haz de transmisión (72, 74) que incluye un pico de lóbulo lateral de transmisión (126, 128) en una primera dirección; y
15 la unidad de procesamiento de radar (218) se configura para formar, a partir de las señales recibidas, el patrón de haz de recepción que incluye un segundo lóbulo lateral de recepción que tiene un valor nulo (122, 124) en aproximadamente la primera dirección.
- 20 14. El subsistema de radar (210) de acuerdo con cualquier reivindicación de 10 a 13, en donde:
el controlador de dirección del haz (216) se configura para hacer que la antena transmisora (10, 100, 180, 222) forme, a partir de las señales radiadas, el patrón de haz de transmisión que incluye un valor nulo de lóbulo lateral de transmisión (114, 116) en una primera dirección; y
25 la unidad de procesamiento de radar (218) se configura para formar, a partir de las señales recibidas, el patrón de haz de recepción que incluye un segundo pico de lóbulo lateral de recepción (118, 120) aproximadamente en la primera dirección.
- 30 15. Un vehículo (250), que comprende:
el subsistema de radar de acuerdo con cualquier reivindicación de 10 a 14, en donde la unidad de procesamiento de radar (218) se configura para generar datos en respuesta a una señal recibida a través del haz de recepción principal (76);
un conjunto de accionamiento (252); y
un controlador (254) configurado para controlar el conjunto de accionamiento (252) en respuesta a los datos
35
40
45
50
55
60
65



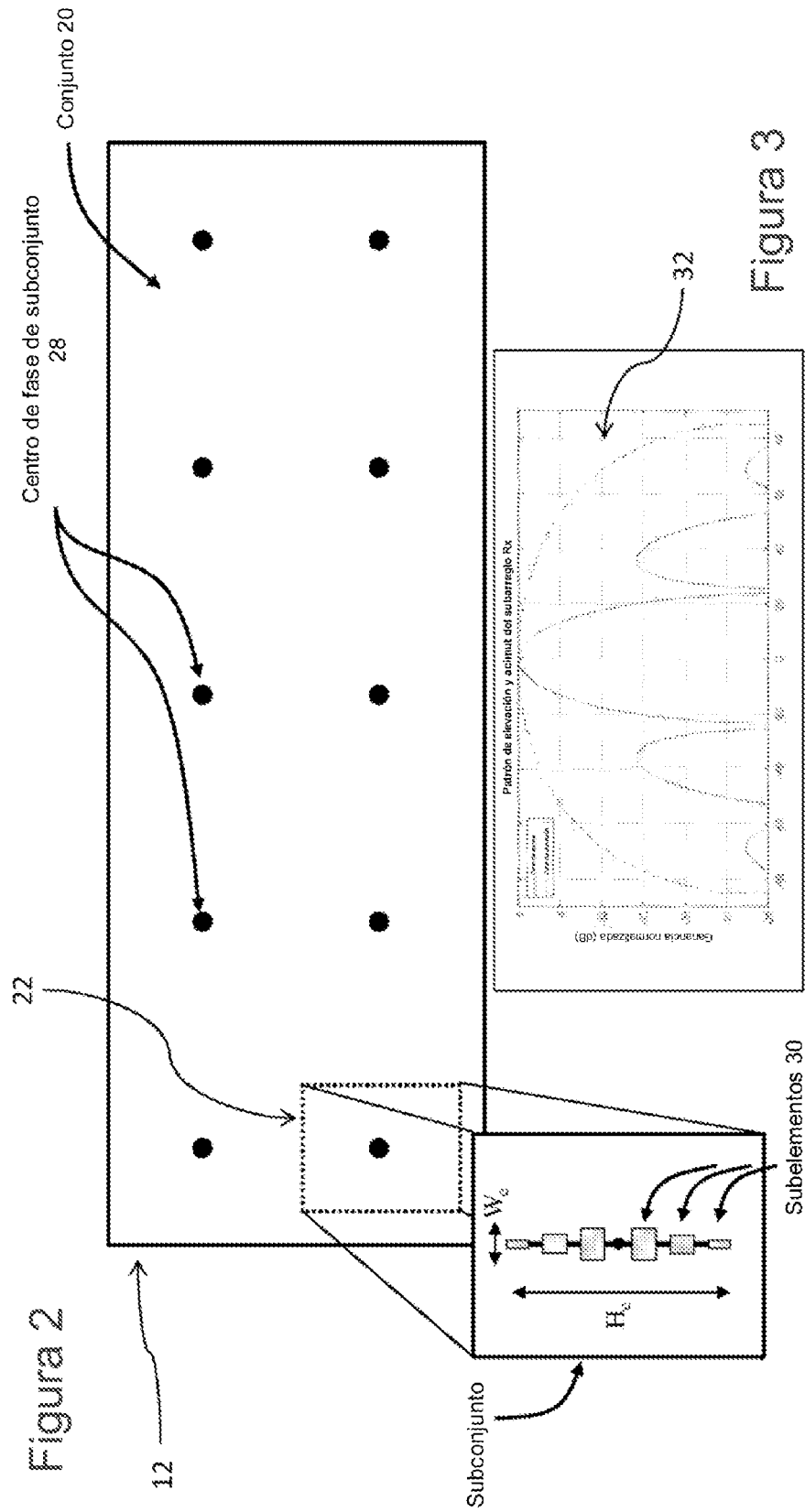


Figura 4

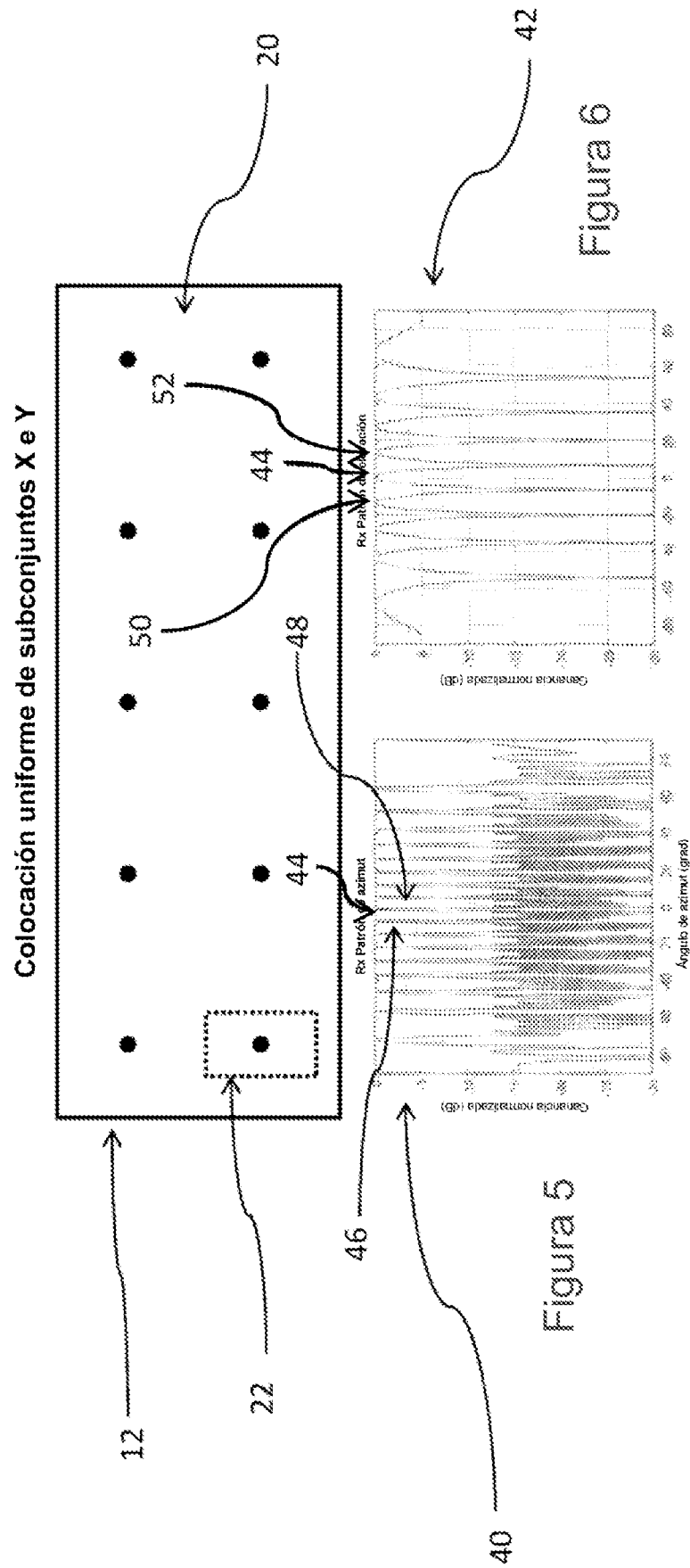


Figura 5

Figura 6

Figura 7

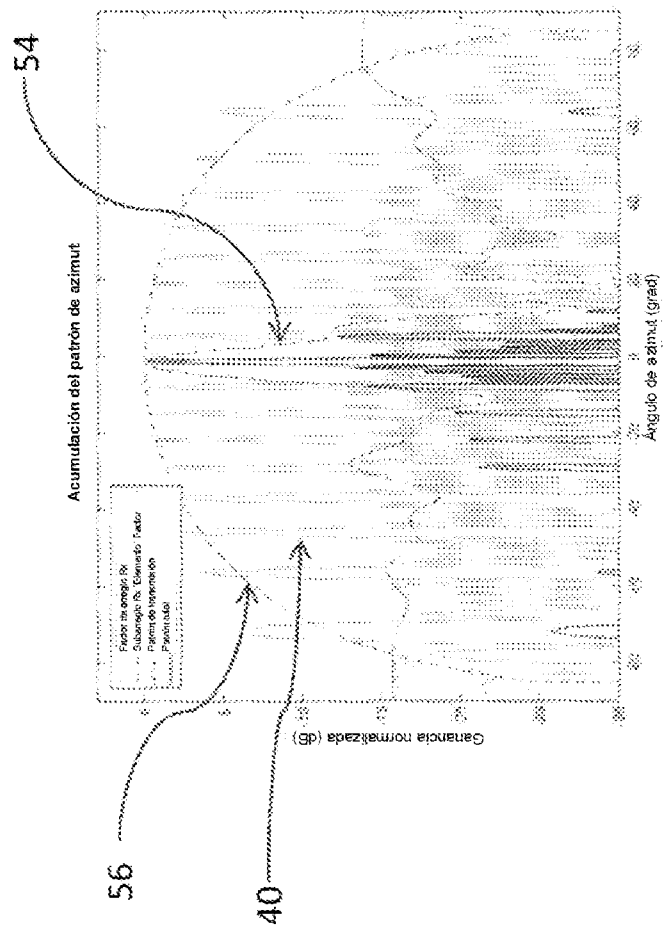
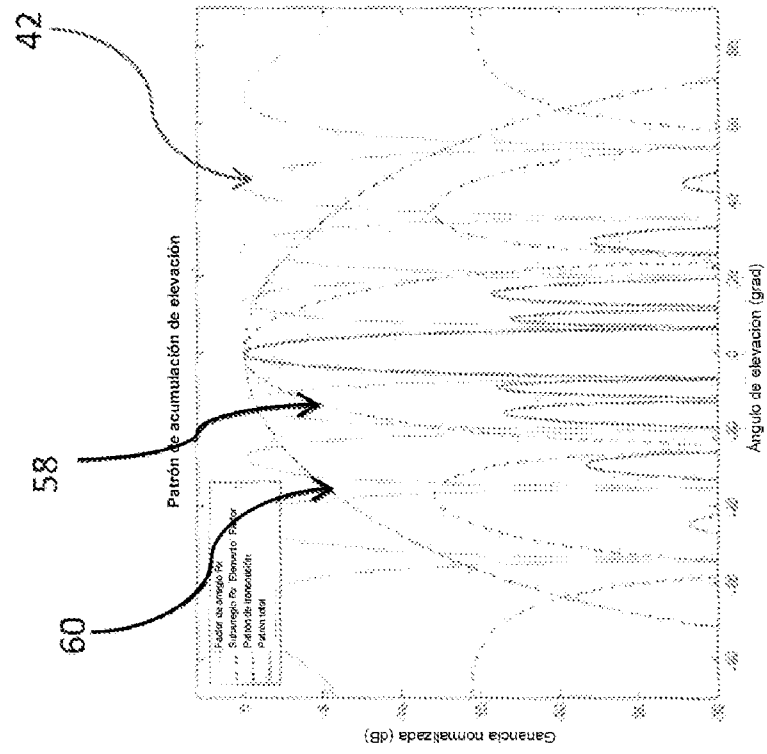


Figura 8



Colocación no uniforme de subconjuntos Rx X e Y

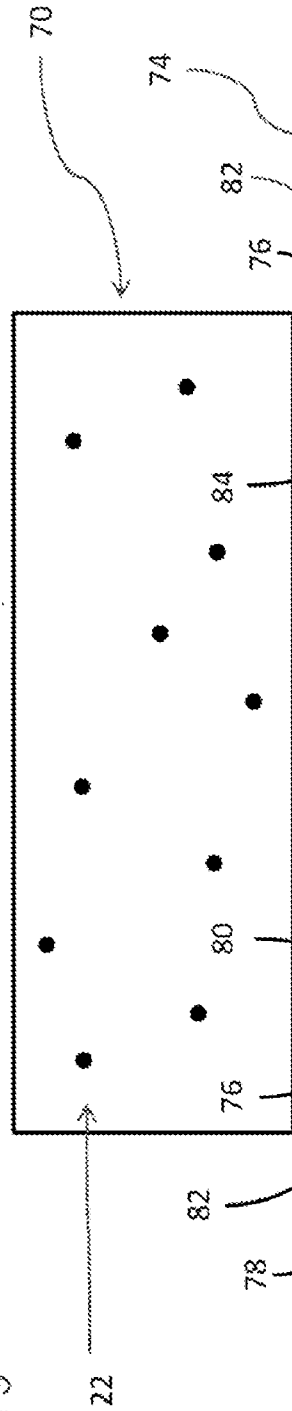


Figura 9

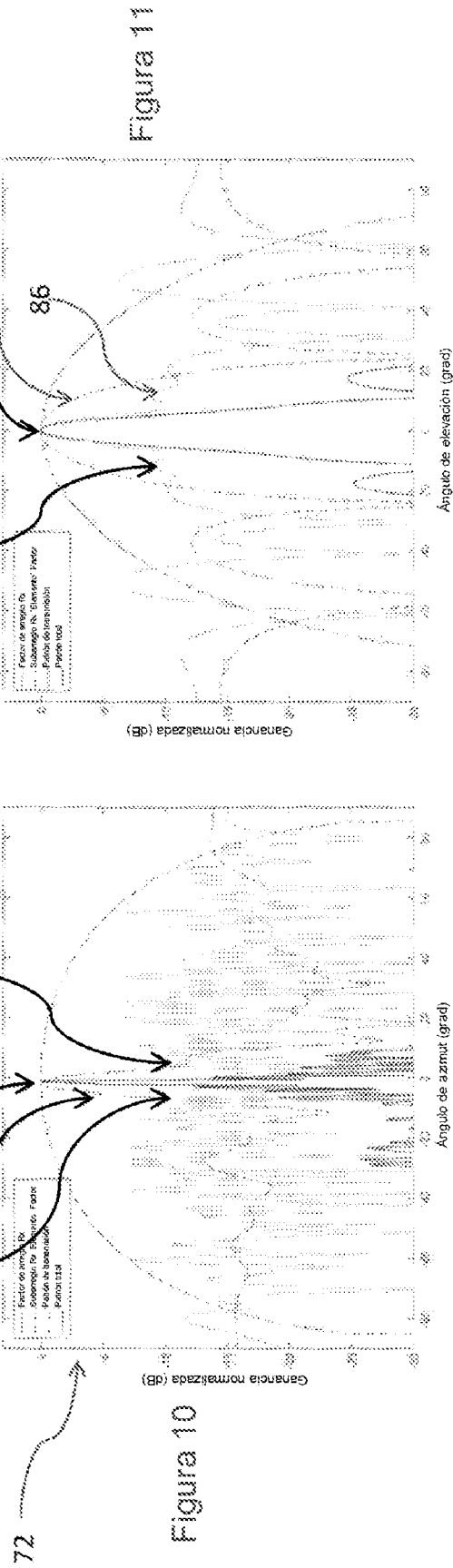


Figura 10

Figura 11

92

Figura 13

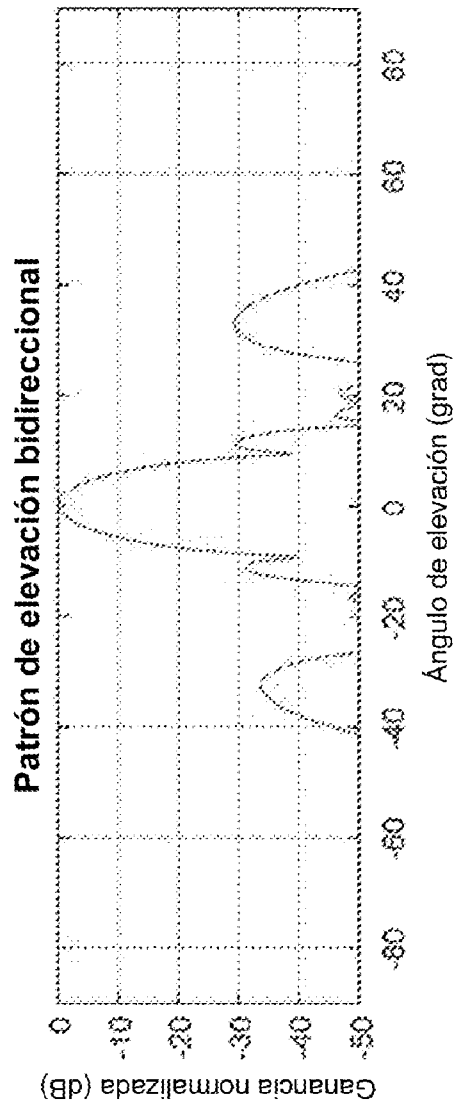
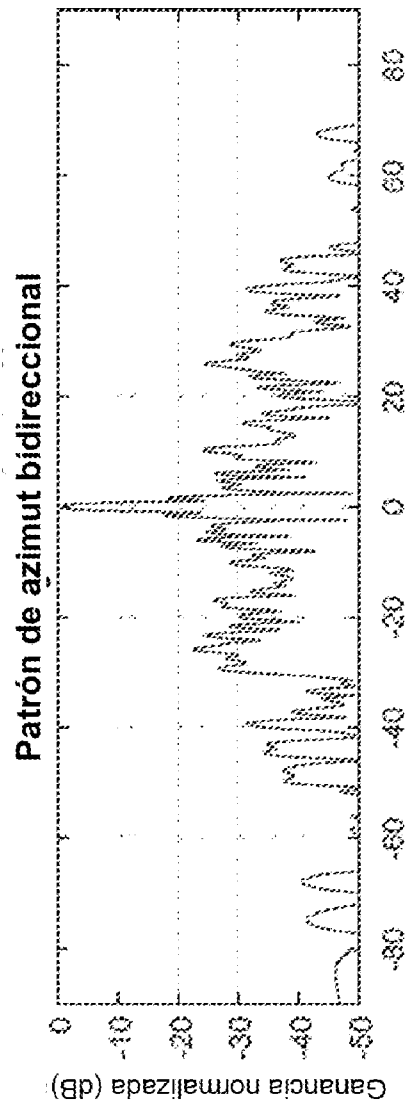


Figura 12



90

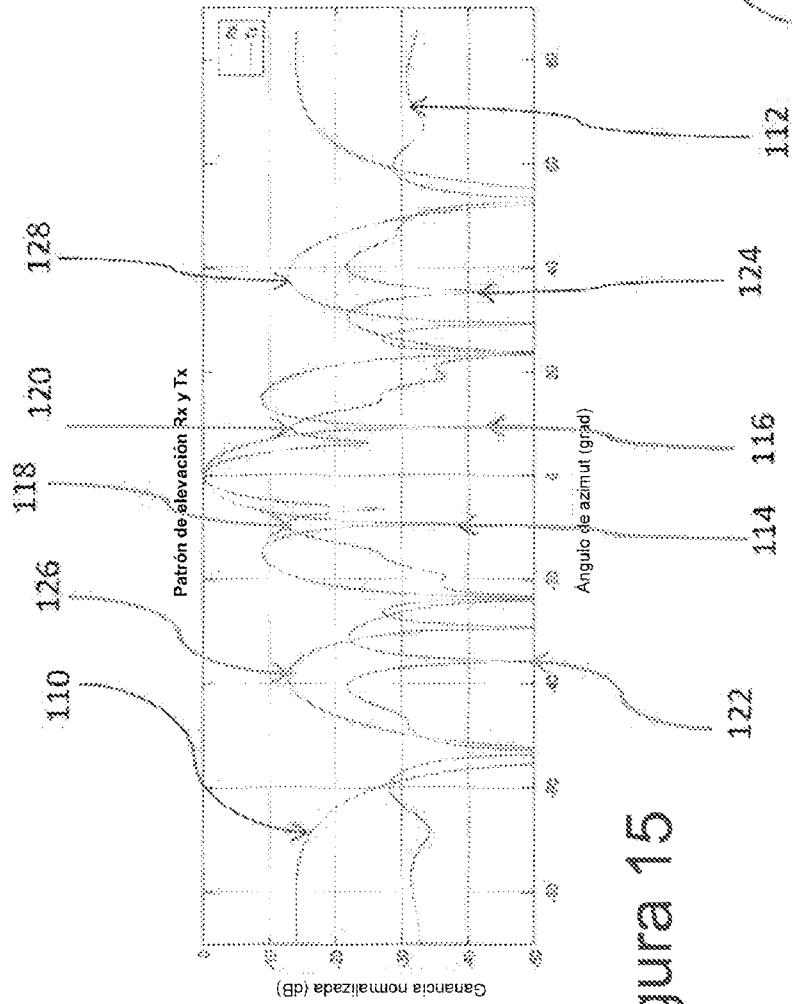
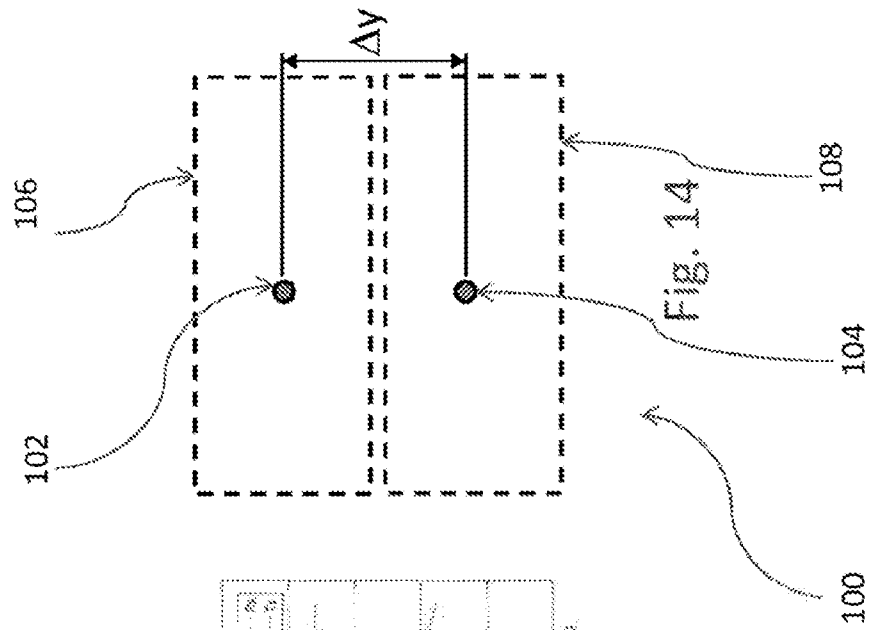
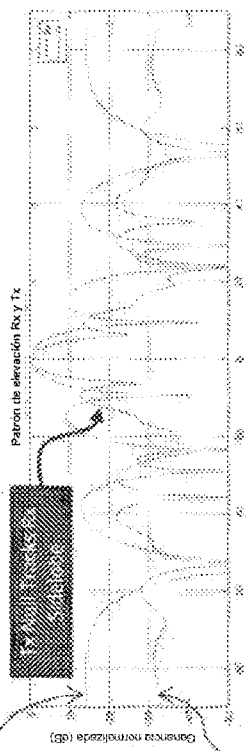


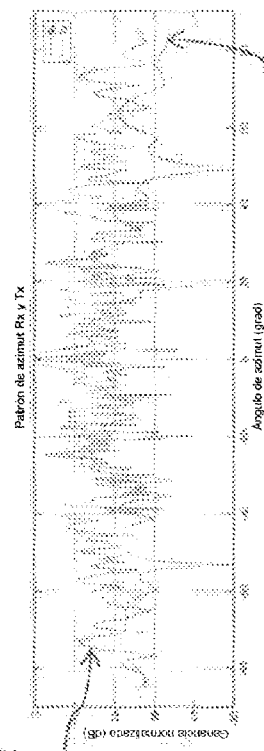
Figura 15

Figura 16

110



112



134

Figura 18

132

Figura 17

$El = 0^\circ Az = 0^\circ$

130

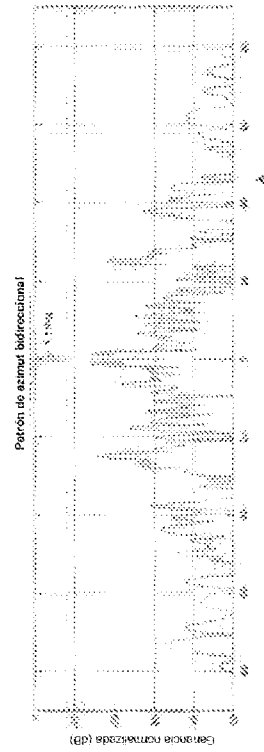
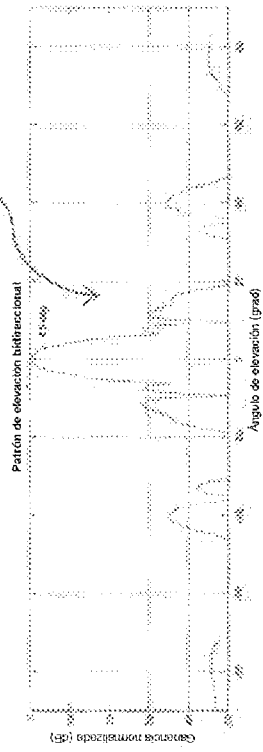


Figura 19

136

Figura 20

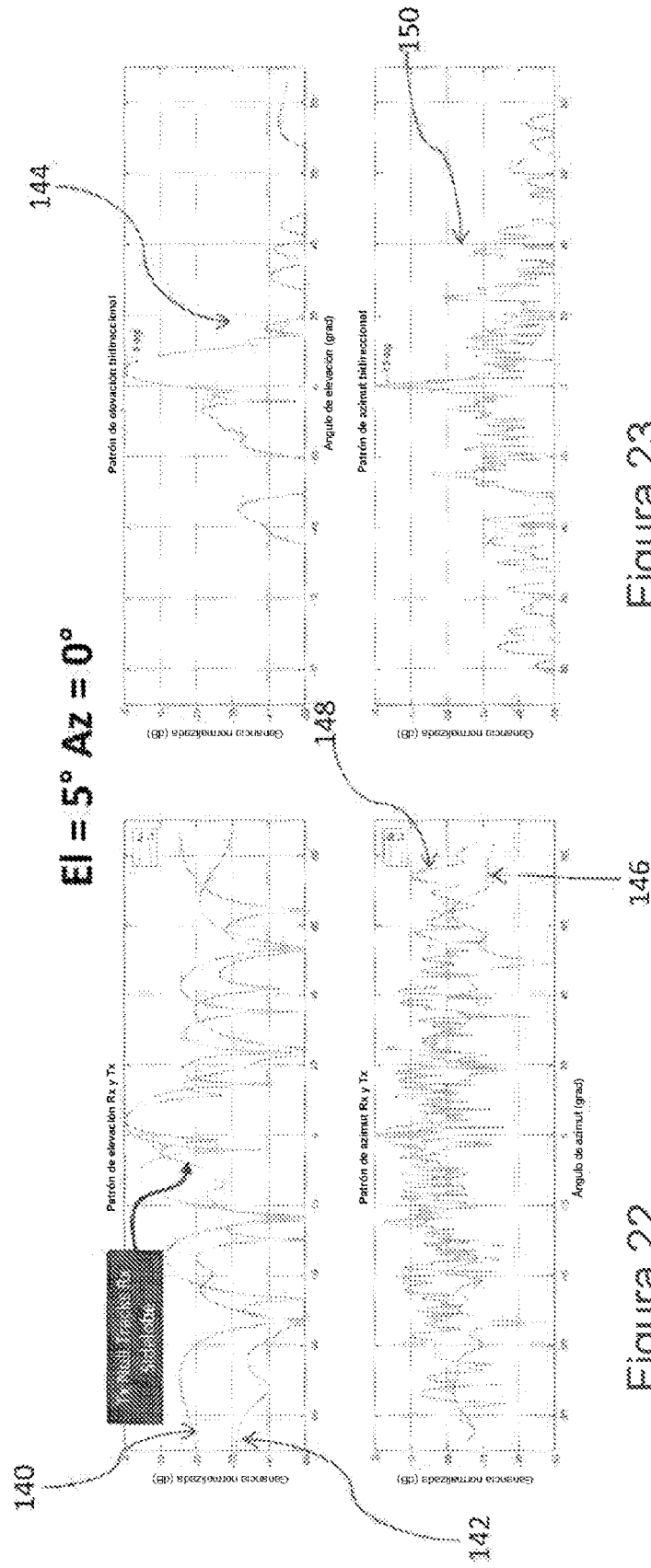


Figura 21

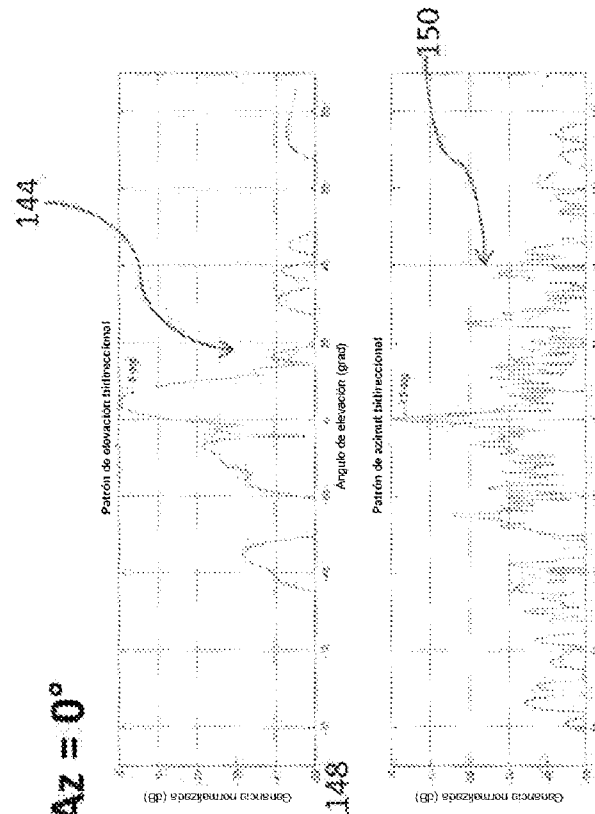


Figura 23

Figura 22

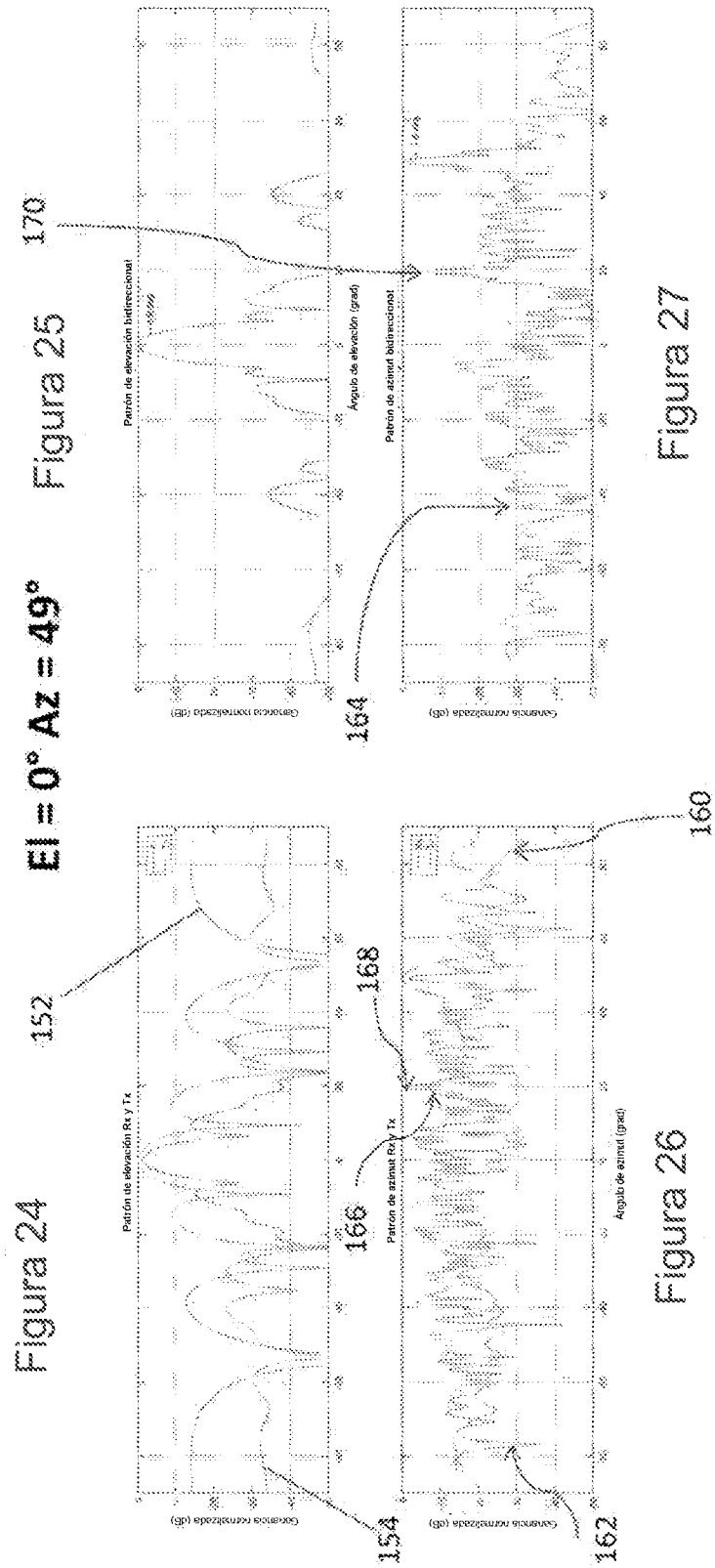
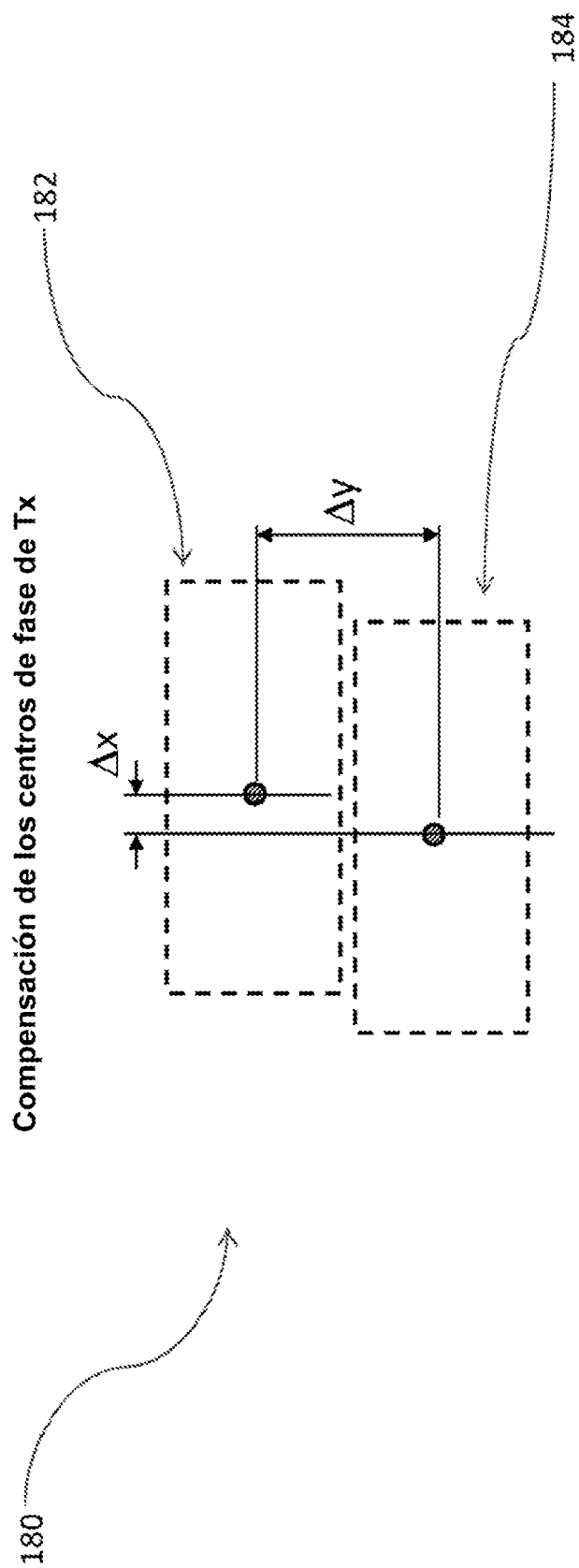
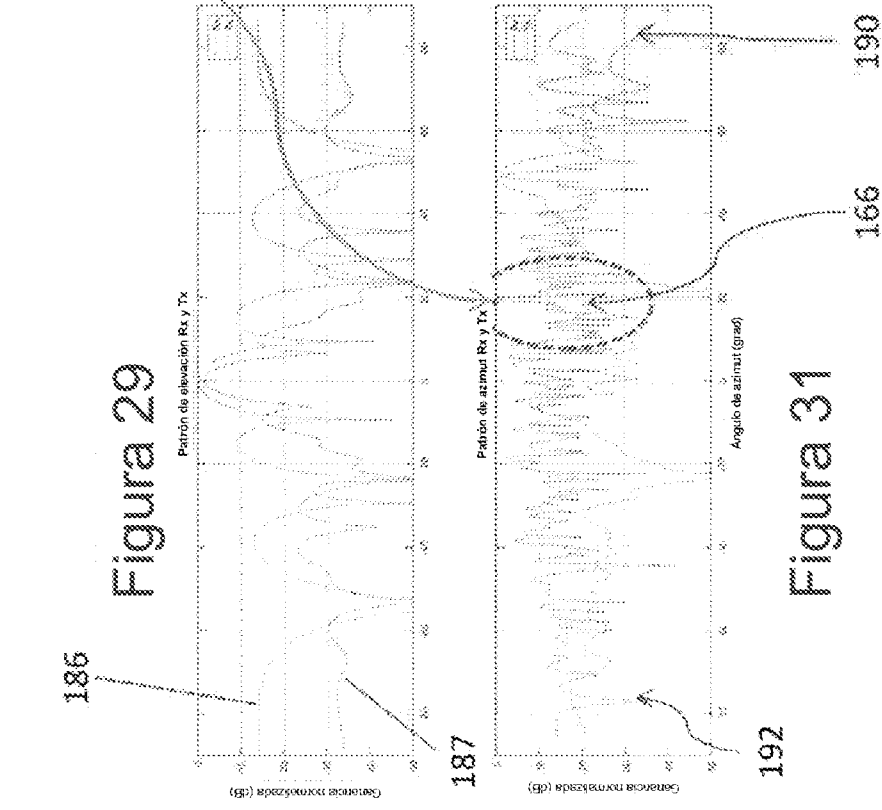
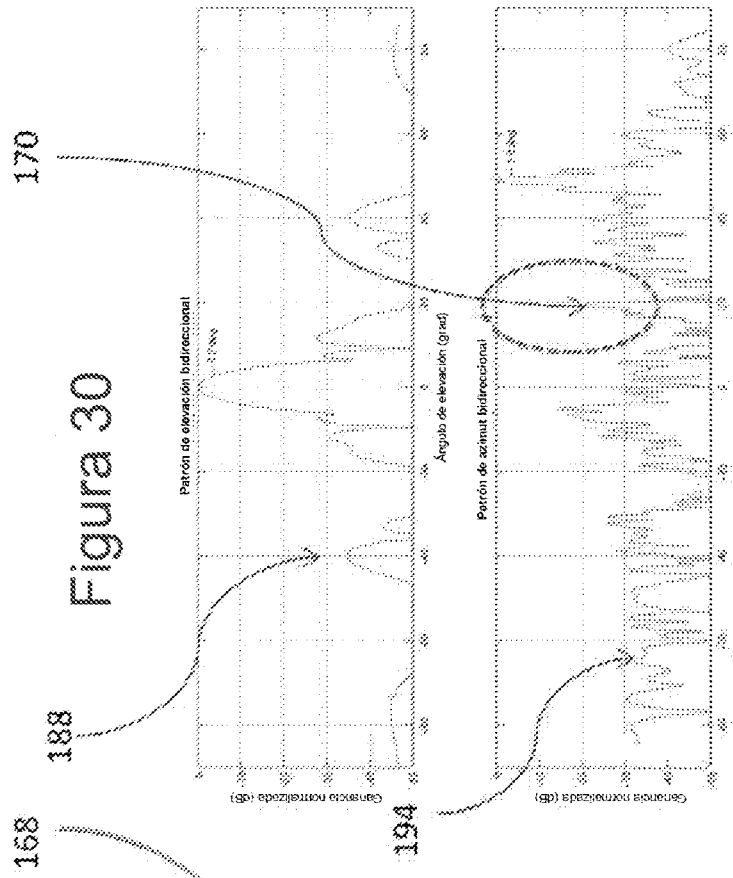
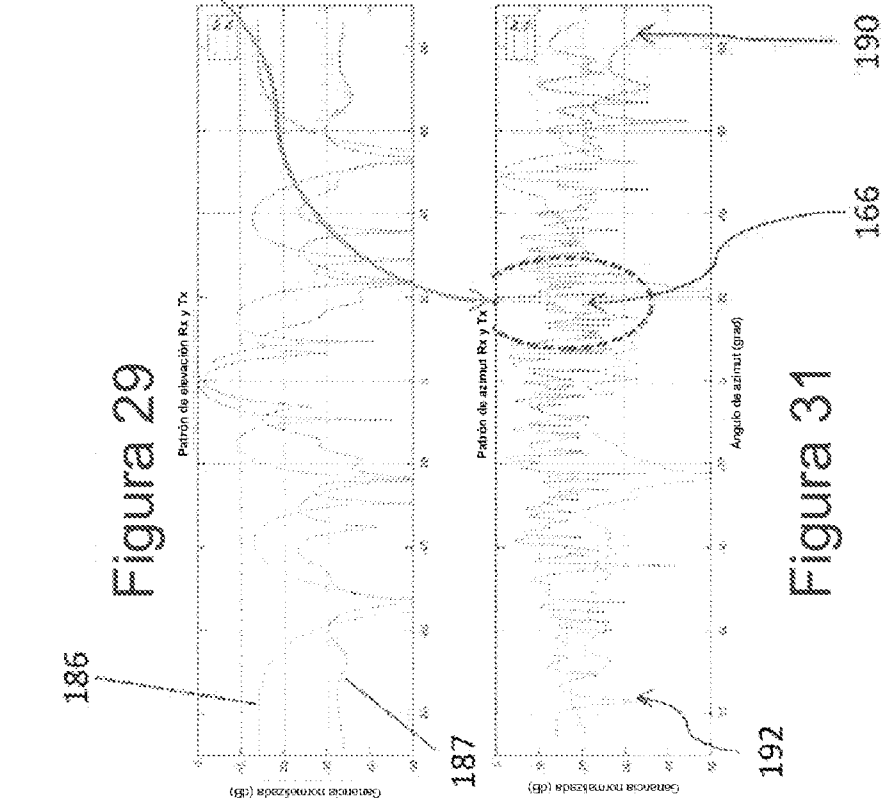
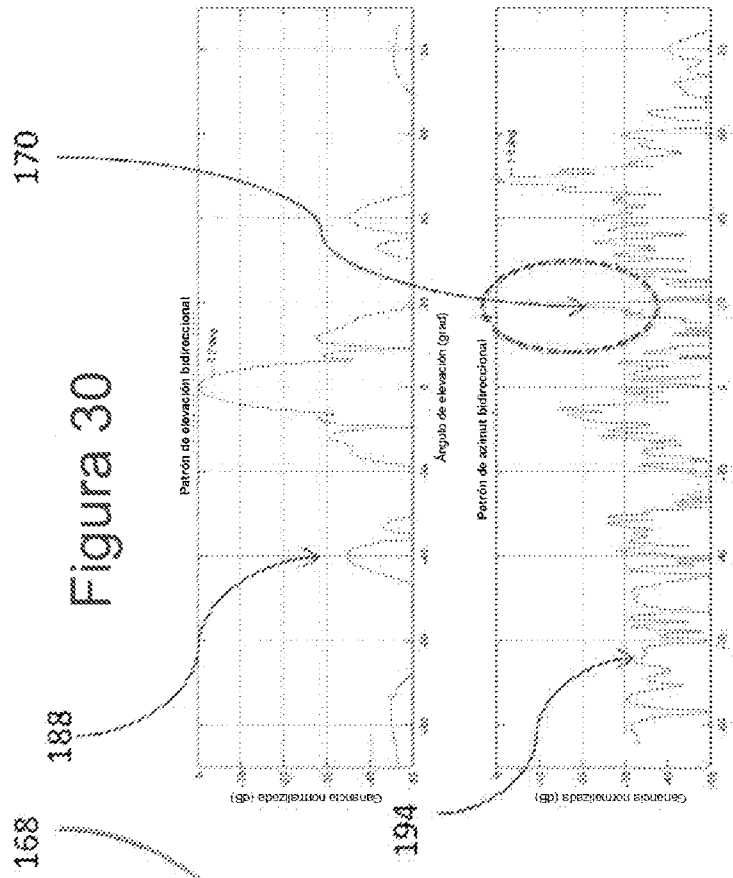


Figura 28





3594

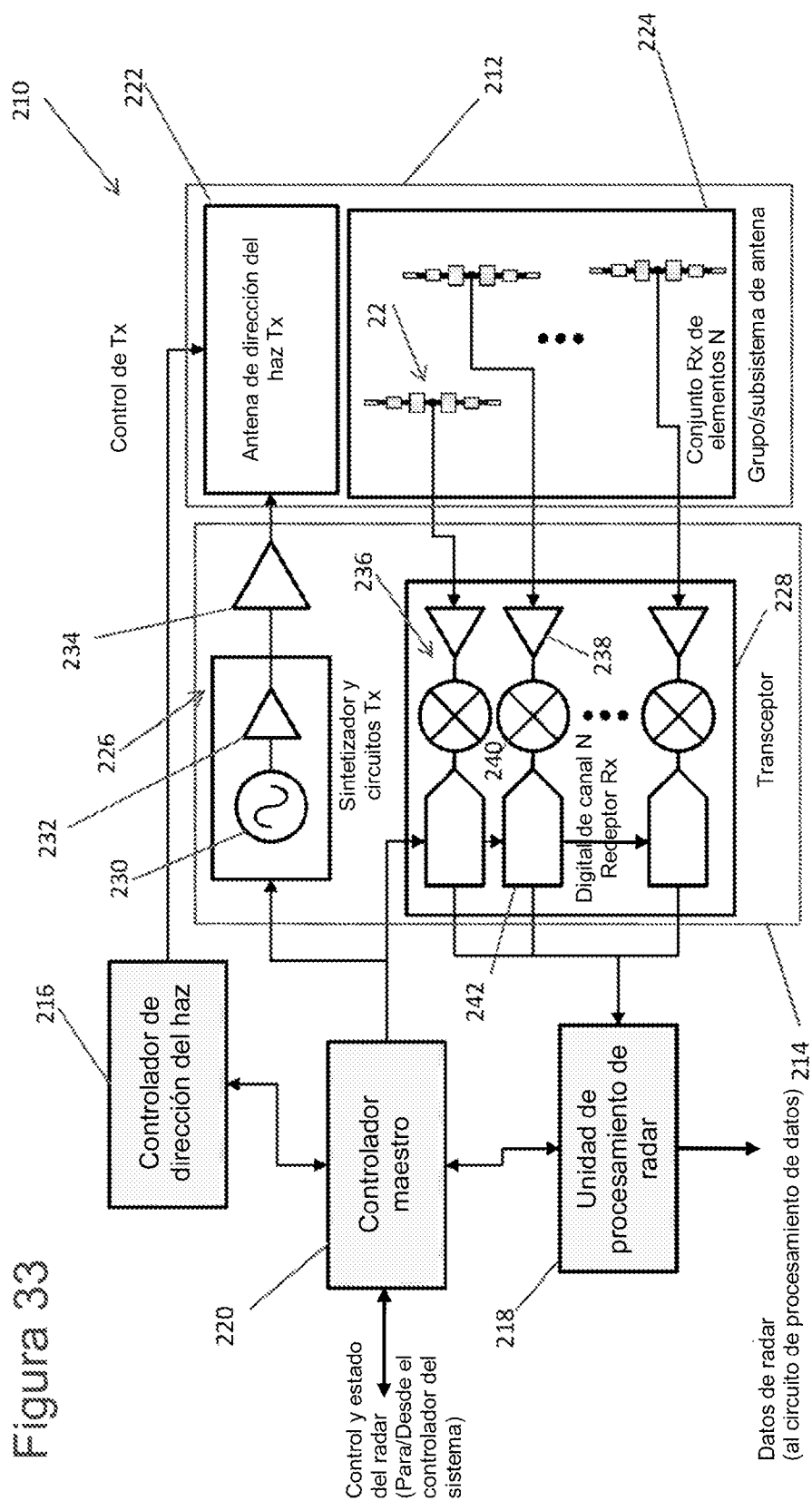
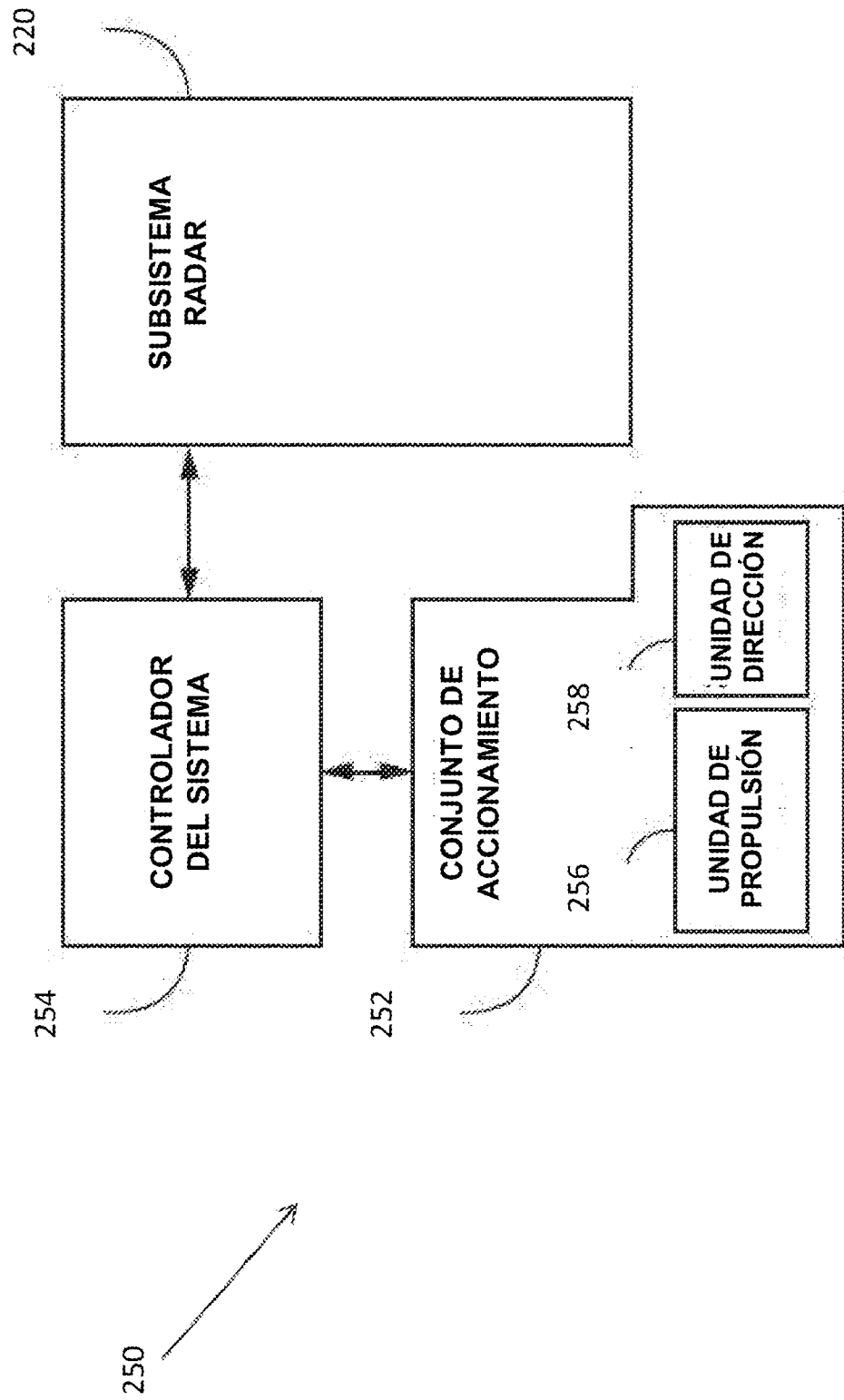


Figura 34



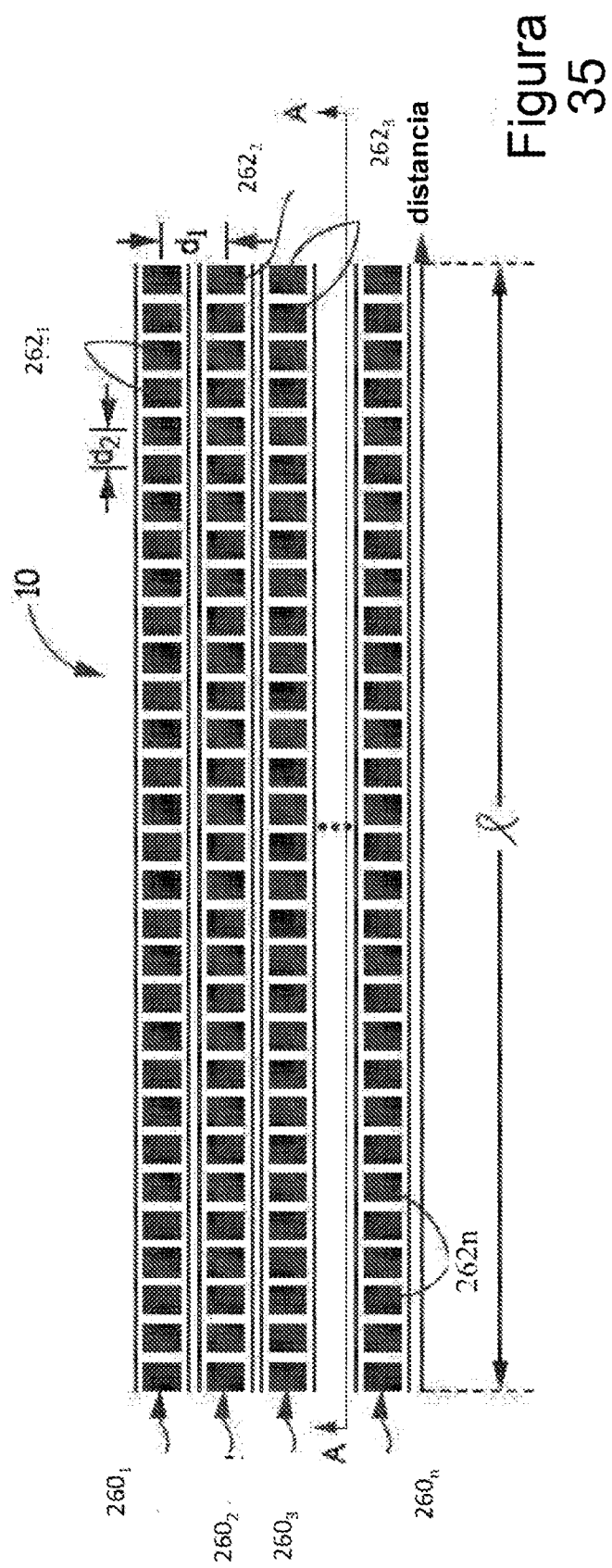


Figura 36

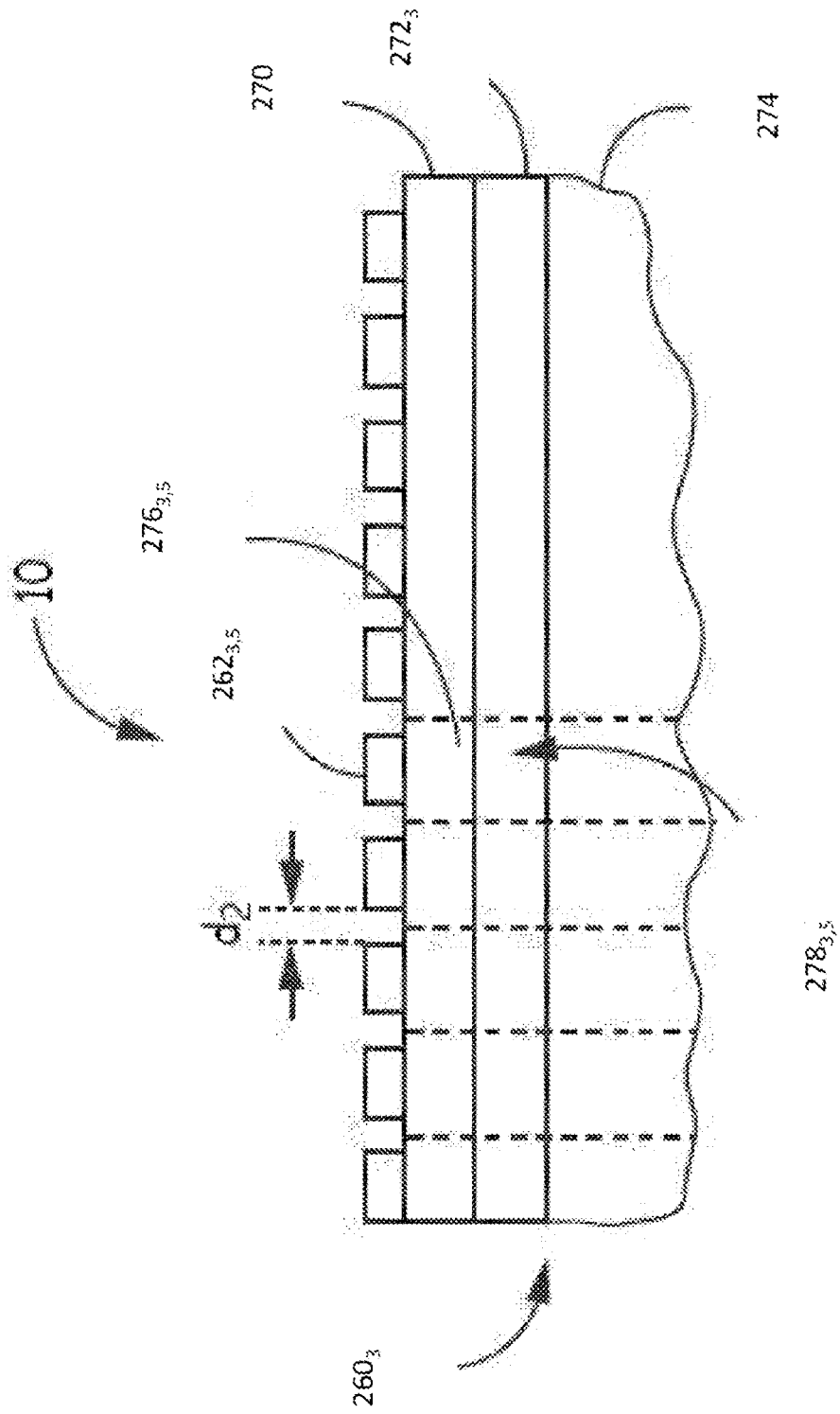


Figura 37

