

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 830 728**

51 Int. Cl.:

H01Q 1/28 (2006.01)
G01S 7/03 (2006.01)
G01S 13/87 (2006.01)
H01Q 3/38 (2006.01)
H01Q 21/00 (2006.01)
H01Q 21/06 (2006.01)
H01Q 21/28 (2006.01)
H01Q 13/18 (2006.01)
G01S 13/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.11.2017** **E 17200470 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.10.2020** **EP 3319172**

54 Título: **Sistema de RF pulsada multidetección de apertura distribuida aerotransportado/espacial**

30 Prioridad:

07.11.2016 IT 201600111859

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

04.06.2021

73 Titular/es:

**LEONARDO S.P.A. (100.0%)
Piazza Monte Grappa 4
00195 Roma, IT**

72 Inventor/es:

**APRILE, ANGELO;
ISELLA, GIORGIO y
MONTANARI, ALESSANDRO**

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 830 728 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

Sistema de RF pulsada multidetección de apertura distribuida aerotransportado/espacial

5 Campo técnico de la invención

La presente invención se refiere en general a radares pulsados aerotransportados/espaciales, y en particular a una arquitectura de radar pulsado aerotransportado/espacial basada en un conjunto de antenas de banda ancha y transmisores de RF diseñado para ser montado en la superficie de revestimiento de una aeronave de forma conforme o cuasi conforme con el fin de tener un bajo impacto en la forma y la aerodinámica de la aeronave y para permitir la detección pulsada simultánea de múltiples RF.

Estado de la técnica

15 Tal como se sabe, comunicación, el enlace de datos y la guerra electrónica son aspectos obligatorios para las misiones aerotransportadas modernas, especialmente para los sistemas aéreos pilotados a distancia (RPAS), que hacen uso de diferentes bandas del espectro electromagnético (EM), por lo que requieren componentes de hardware (HW) adicionales que deben montarse en la plataforma y usarse en simultaneidad con el radar. Esto tiene un impacto en el peso total de la carga útil de la misión y plantea cuestiones en el presupuesto total asequible de tamaño, peso y potencia (SWaP) para permitir la detección simultánea de múltiples RF, así como en la disponibilidad de la superficie de la plataforma para el despliegue de antenas.

25 El solicitante ha experimentado que la tecnología aerotransportada de antenas activas orientables electrónicamente (AESA) que se aprovecha actualmente en los sistemas modernos de vigilancia aerotransportada y misiones de combate se ve afectada negativamente por varias cuestiones problemáticas, algunas de los principales son:

- Coste/asequibilidad

30 Los radares de AESA se basan en una tecnología muy cara y dan lugar a sistemas muy complejos, ya que es necesario controlar uno a uno miles de módulos de transmisión/recepción (TRM). El coste total del sistema depende principalmente del número de TRM requeridos para formar la apertura completa de la antena. Además, el pleno aprovechamiento de todas sus ventajas requiere un conocimiento altamente cualificado y un largo tiempo de desarrollo

35 - Refrigeración/peso/consumo de potencia/instalación

Los sistemas de AESA de alto rendimiento requieren muy a menudo refrigeración líquida y se caracterizan por un alto suministro de potencia y un gran peso que repercute significativamente en la viabilidad de la instalación (la instalación de AESA de pleno rendimiento solo es factible en aeronaves de tamaño medio-alto)

40 - Detectabilidad de guerra electrónica (EW)

El alto rendimiento que puede lograr la tecnología de AESA aumenta la probabilidad de detección del radar mediante sistemas ESM/EW

45 - Restricciones del Reglamento internacional de tráfico de armas (ITAR)

Los componentes de AESA suelen estar limitados por restricciones del ITAR

50 - Límites de volumen/instalación

Los sistemas de AESA aerotransportados de alto rendimiento son voluminosos y están lejos de ser delgados. Esto impide la facilidad de instalación y el montaje conforme o cuasi conforme en la superficie del revestimiento de la aeronave.

55 Una de las mayores causas de los límites anteriores es que, con el fin de aprovechar al máximo la superficie disponible, los sistemas tradicionales de detección de RF pulsada, y particularmente los radares, se basan en la transmisión y recepción a través de la misma antena.

60 En general, incluso sin considerar la tecnología de AESA sino también la tecnología tradicional de sensor pulsado de RF, además de las cuestiones anteriores, es una experiencia generalizada entre los expertos en la materia que hoy los sistemas aerotransportados adoptan una configuración de equipo dedicado para cada tipo de sensor de RF necesario para la misión (concretamente, radares, EW, comunicaciones, enlace de datos, IFF, etc.), con un impacto significativo en el peso total del sistema, el consumo de potencia y el coste.

65 Solo con fines ilustrativos, la Figura 1 esboza una arquitectura de AESA tradicional, donde los TRM se

organizan/combinan en planchas, las planchas se combinan luego en uno o más canales de RX, y el interespaciamiento máximo de los elementos de antena es poco más de la mitad (0,54) de la longitud de onda operativa para un ángulo de visión máximo de 60 °.

5 El documento EP 2857858 A1 divulga un radar de matriz activa digital que comprende una matriz de radar de onda continua modulado en frecuencia (FMCW) que incluye una carcasa, una matriz de transmisión que comprende una pluralidad de elementos de antena de transmisión configurados para emitir un haz de transmisión de FMCW, una matriz de recepción que comprende una pluralidad de elementos de antena de recepción y un estrangulador ranurado dispuesto entre la matriz de transmisión y la matriz de recepción. La matriz de transmisión y la matriz de
10 recepción pueden acoplarse mecánicamente a la carcasa. El estrangulador ranurado comprende una pluralidad de ranuras que tienen dimensiones seleccionadas para proporcionar la cancelación de la radiación electromagnética del haz de transmisión de onda continua modulado en frecuencia para reducir una magnitud de radiación de la matriz de transmisión a la que la matriz de recepción está expuesta indirectamente.

15 **Objeto y sumario de la invención**

El objetivo de la presente invención es hacer frente a las cuestiones principales descritas anteriormente de la tecnología de AESA aerotransportada y presentar soluciones alternativas de tecnología de sensores pulsados de RF.

20 La presente invención se refiere a un sistema pulsado de RF multidetección de apertura distribuida aerotransportado/espacial, como se reivindica en las reivindicaciones adjuntas.

25 **Breve descripción de los dibujos**

La Figura 1 muestra esquemáticamente una arquitectura de AESA tradicional.
La Figura 2 muestra esquemáticamente un sistema pulsado de RF multidetección de apertura distribuida (DAMSS) de acuerdo con la presente invención y compuesto a modo de ejemplo por cuatro módulos DAMSS dispuestos en una aeronave en forma de vehículo aéreo de combate no tripulado (UCAV).
30 La Figura 3 muestra esquemáticamente un diagrama de bloques funcional de un módulo DAMSS y un ejemplo de conexión eléctrica de módulos DAMSS a una unidad de procesamiento electrónico de control central.
La Figura 4 muestra esquemáticamente un diagrama de bloques de funciones de un grupo radiante DAMSS en un módulo DAMSS.
La Figura 5 muestra esquemáticamente un diagrama de bloques funcional de un receptor digital multicanal DAMSS en un módulo DAMSS.
35 La Figura 6 muestra esquemáticamente una matriz de antenas fabricada de acuerdo con una tecnología de matriz activa (PAA) de placa de circuito impreso (PCB).
La Figura 7 muestra esquemáticamente la superposición de una PCB de placa radiante y una PCB de combinación de RF en una matriz de antenas de acuerdo con la tecnología PAA.
40 Las Figuras 8 y 9 muestran imágenes renderizadas en 3D de una matriz de antenas, en una configuración ensamblada y en una configuración despiezada, respectivamente.
La Figura 10 muestra comparativamente la disposición espacial y la ocupación de área de los módulos de antena de solo transmisión, solo recepción y transmisión-recepción en el grupo radiante.
Las Figuras 11 y 12 muestran esquemáticamente un ejemplo de un solo elemento de antena de radiación/recepción de parche apilado, tanto en una configuración ensamblada como en una configuración despiezada, respectivamente.
45 La Figura 13 muestra comparativamente representaciones gráficas de los principios de operación de un Grupo Radiante y de un sistema de AESA tradicional o de un sistema de TX/RX de tecnología convencional.
La Figura 14 muestra esquemáticamente una representación gráfica de un principio de operación de haz múltiple en recepción que se muestra en la Figura 13.
50 La Figura 15 muestra una representación gráfica de las bandas de frecuencia operativa y rechazada del grupo radiante para modos de radar simultáneos.
La Figura 16 muestra esquemáticamente una técnica de submatrización.
La Figura 17 muestra esquemáticamente un diagrama de bloques de un circuito diseñado para aplicar desplazamientos de fase a señales de salida digitalizadas de las submatrices de antenas.
55 La Figura 18 muestra un diagrama que representa la discontinuidad del desplazamiento de fase en submatrices.
La Figura 19 muestra el efecto de la discontinuidad del desplazamiento de fase en el patrón de radiación de campo lejano de cinco haces estrechos múltiples.
La Figura 20 muestra el efecto de la provisión de submatrices solapadas y de tamaño diferente en el patrón de radiación de campo lejano de cinco haces estrechos múltiples.
60

Descripción detallada de realizaciones de la invención

65 La presente invención se describirá ahora en detalle con referencia a las figuras adjuntas para posibilitar que un experto en la materia la implemente y utilice. Diversas modificaciones de las realizaciones descritas serán inmediatamente evidentes para el experto y los principios genéricos descritos pueden aplicarse a otras realizaciones

y aplicaciones, sin por ello salirse del alcance protector de la presente invención, como se define en las reivindicaciones adjuntas. Por lo tanto, la presente invención no debe considerarse limitada a las formas de realización descritas e ilustradas, sino que debe otorgarse con el alcance más amplio que cumpla con los principios y peculiaridades descritos y reivindicados.

5 En líneas generales, el sistema pulsado de RF multidetección de apertura distribuida (DAMSS) de la presente invención es un concepto de arquitectura de sistema de radar pulsado basado en un conjunto de antenas de banda ancha y transmisores de RF diseñado para ser montado en la superficie de revestimiento de la aeronave de forma conforme o cuasi conforme con el fin de tener un bajo impacto en la forma y la aerodinámica de la aeronave y para permitir la detección y operación simultáneas de múltiples RF.

10 El DAMSS puede verse generalmente como una interfaz común entre el entorno de RF externo y los buses digitales de plataforma compartidos por un amplio grupo de equipos de aviónica como radares, comunicaciones y guerra electrónica.

15 El concepto de arquitectura DAMSS se origina directamente a partir de la ecuación del radar, que puede escribirse como sigue, al incluir secuencialmente las limitaciones que enfrentan los temas enumerados anteriormente:

$$\frac{S}{N} = \frac{P_{Avg} \cdot G_{Ant-TX} \cdot G_{Ant-RX} \cdot \lambda^2 \cdot T_{OT} \cdot RCS}{(4\pi)^3 \cdot k \cdot T_0 \cdot F \cdot L} \cdot \frac{1}{R^4}$$

20 donde:

- S/N es la relación de potencia de señal a ruido en la salida del receptor;
- P_{Avg} es la potencia media transmitida;
- G_{Ant-TX} es la ganancia de antena en transmisión;
- G_{Ant-RX} es la ganancia de antena en recepción;
- λ es la longitud de onda de la forma de onda transmitida;
- T_{OT} es el tiempo en el objetivo (intervalo de iluminación del objetivo);
- RCS es la sección transversal de radar objetivo;
- kT_0F es la densidad de la potencia del ruido;
- L es la pérdida debida a las rutas de Tx y de Rx;
- R es la distancia del sensor al objetivo.

25 La detectabilidad del sistema de radar está directamente relacionada con la energía transmitida, es decir, con el producto $P_{Avg} \cdot G_{Ant-TX}$, que por lo tanto debe reducirse con el fin de alcanzar una condición de baja probabilidad de interceptación (LPI). Además, el coste de un sistema de AESA depende principalmente del alto número de TRM requeridos.

30 En la arquitectura DAMSS, la reducción del coste y la detectabilidad se logran separando la antena de Tx de la antena de Rx y considerando antenas de Tx pequeñas con un número bajo de módulos de transmisión costosos y patrones de antena de Tx de haz ancho/baja ganancia.

35 Para equilibrar la consiguiente reducción de potencia en la transmisión, se debe lograr un alto valor de G_{Ant-RX} . Esto significa que se asignará la superficie más amplia posible para la antena de Rx. También puede obtenerse cierta recuperación del rendimiento aprovechando el mayor tiempo de observación (tiempo en el objetivo -ToT) posibilitado por el haz ancho de la antena de Tx pequeña (multihaz en recepción -MBR). Con el fin de preservar la capacidad de escaneo electrónico, las antenas de Tx y de Rx deben estar completamente pobladas por desfases (uno para cada elemento radiante/de recepción de antena).

40 De este razonamiento preliminar, siguen directamente las principales características de DAMSS:

- 50 - separación entre funciones de Tx y de Rx, con
- haz de transmisión de baja directividad que da como resultado una antena de Tx de tamaño pequeño con un pequeño número de módulos de solo Tx (sin necesidad de conmutadores o circuladores de Tx/Rx que reducen las pérdidas de Tx y maximizan la eficiencia de Tx),
- 55 - haz de recepción de alta directividad que da como resultado una matriz de Rx de gran tamaño con un gran número de módulos de solo Rx (pasivos) (sin necesidad de conmutadores o circuladores de Tx/Rx que reducen las pérdidas de Rx y maximizan la figura de ruido de Rx), y
- procesamiento multihaz en recepción (MBR) para aprovechar el ToT, que da como resultado una antena de Rx multicanal.

60 Esta primera decisión arquitectónica tiene las siguientes ventajas potenciales:

- la antena de Tx de tamaño pequeño y completamente poblada da como resultado un AESA asequible, de bajo

- coste y potencialmente refrigerada por aire, y
- la matriz de Rx de gran tamaño y completamente poblada comprende un gran número de módulos pasivos que contribuyen a los efectos beneficiosos sobre la disipación de calor, la complejidad del sistema, los pesos y el coste.

5 Todos los demás aspectos del concepto DAMSS derivan directamente al imponer las restricciones de diseño restantes.

10 A diferencia de los sistemas de AESA actuales, donde la pseudo multifuncionalidad se logra sobre la base del reparto de tiempos, en el DAMSS la multifuncionalidad real se obtiene introduciendo una segunda unidad de Tx/Rx independiente, que en realidad asegura la implementación de funcionalidades realmente simultáneas. Para superar las limitaciones de peso y tamaño, debe proporcionarse una antena de Tx/Rx pequeña.

15 El Tx/Rx independiente puede usarse para ataque EW o modo de radar auxiliar, mientras que el modo de radar principal se logra mediante Tx activo y Rx pasivo. Cuando no se proporciona la antena de Tx/Rx opcional, la multifuncionalidad se logra sobre la base del reparto de tiempos como en los sistemas de AESA actuales.

La capacidad de Tx doble independiente posibilita el procesamiento multientrada, multisalida (MIMO).

20 La antena de RX pasiva ESA tiene un ancho de banda ancho (5,0 - 11 GHz) e incorpora una antena de Tx/Rx para cubrir la operación COMMS/enlace de datos/ESM (medidas electrónicas de apoyo) en el espectro de baja frecuencia (0,8 - 5 GHz).

25 Para mantener la planitud, todos los elementos de antena en el DAMSS son de tipo Tile y se fabrican convenientemente de acuerdo con la conocida tecnología de parche apilado.

Esto se logra mediante el uso de placas de circuito impreso (PCB) tanto para implementar patrones de radiación de antena de Tx y/o de Rx como para montar todos los componentes electrónicos de estado sólido.

30 Las principales tareas funcionales del DAMSS son:

- modos de vigilancia por radar de banda X y C,
- funcionalidades ECM y ESM en las bandas C y X,
- ataque electrónico en las bandas C y X,
- 35 - comunicación punto a punto de la banda L a la X, y
- enlace de datos de la banda L a la X.

La arquitectura DAMSS es particularmente adecuada para aplicaciones RPAS, en particular para plataformas de media altura y larga duración (MALE) y vehículos aéreos de combate no tripulados (UCAV), porque esta:

- 40 - reduce el tamaño y el peso de la carga útil de la misión requerida
- permite una distribución cuasi conforme de las antenas en toda la superficie de la plataforma
- posibilita el acceso a diferentes servicios de RF: radares, EW, comunicaciones, IFF y enlace de datos
- 45 - posibilita la operación del radar pasivo completo, asumiendo que una plataforma MALE separada ilumina el área de interés, lo que reduce en gran medida el riesgo de detección del enemigo
- facilita la fusión e integración de sensores al depender de un procesador centralizado para el procesamiento final de la señal digital.

50 La arquitectura DAMSS también es convenientemente aplicable a plataformas tripuladas, tanto de ala fija como giratoria.

El DAMSS tiene varias ventajas sobre toda la tecnología de AESA actual, concretamente:

- Reducción de costes/asequibilidad mejorada.
- 55 - Refrigeración más fácil/menor peso y consumo de potencia/instalación más fácil.
- Detectabilidad EM reducida
- Soporte a múltiples solicitudes de servicios de RF (radares, comunicación, enlace de datos, IFF y guerra electrónica).

60 En particular, las principales ventajas de la arquitectura DAMSS son:

- reducción de los requisitos de refrigeración, consumo de potencia, peso y coste debida a:
 - ✓ el bajo número de costosos componentes de transmisión y recepción (TRM) requeridos,
 - 65 ✓ el uso de componentes comercialmente disponibles (COTS) empaquetados de alto rendimiento de última

generación, evitando así la necesidad de dispositivos miniaturizados personalizados, por ejemplo: amplificadores de alta potencia (HPA) altamente eficientes y basados en GaN empaquetados o amplificadores de muy bajo ruido (LNA) empaquetados,

✓ el uso de una PCB simple para el montaje de todos los componentes empaquetados requeridos, y

5 ✓ el uso de paneles de antena de bajo coste y alto rendimiento basados en PCB.

- fiabilidad muy alta (sin partes de antena móviles, solo componentes de estado sólido y minoría de componentes activos) y facilidad de instalación debido al bajo espesor de la parte radiante de cada grupo de Tx/Rx (pocos centímetros),

10 - capacidad para realizar técnicas de procesamiento avanzadas de última generación (multihaz en recepción (MBR), formación de haz digital adaptable (ADBF), multientrada/multisalida (MIMO), multifuncionalidad) debido a la arquitectura multiantena/multicanal, e

- integración del radar con otros sensores de RF para lograr una operación multisensor combinada de mayor rendimiento a través de una reducción adicional de costes y SWaP centralizada a nivel de plataforma.

15 La Figura 2 esboza esquemáticamente el DAMSS montado en una aeronave.

El DAMSS 1 es un sistema modular que comprende uno o más módulos de DAMSS 2, dependiendo de la aplicación y de la necesidad. Para lograr un campo de observación (FoR) de 360 °, se proporcionan tres o convenientemente 4

20 módulos de DAMMS 2, que están dispuestos en una aeronave 3 que se muestra a modo de ejemplo en la Figura 2 en forma de un vehículo aéreo de combate no tripulado (UCAV), y pueden realizar de manera selectiva las mismas o diferentes funciones de detección de RF pulsada.

La Figura 3 muestra un diagrama de bloques funcional de un módulo de DAMSS 2.

25 Un módulo de DAMMS 2 es esencialmente una unidad sustituible en línea (LRU) que comprende las siguientes unidades sustituibles en taller (SRU) básicas:

- un grupo radiante (RG) 4, y

30 - un receptor digital multicanal (MCDR) 5,

que pueden fabricarse como componentes físicamente distintos y conectarse por medio de un grupo de cables y cableado de RF, o que pueden estar integrados en un solo componente y conectados funcionalmente por medio de conectores eléctricos.

35 Los módulos de DAMSS 2 están conectados, mediante un bus digital bidireccional, a una unidad de procesamiento de control central 6 electrónica externa que proporciona comandos y configuraciones, datos de navegación de ruta desde una unidad de navegación externa o empuotrada.

40 La Figura 4 muestra un diagrama de bloques de funciones de un grupo radiante 4 en un módulo de DAMSS 2.

El grupo radiante 4 comprende esencialmente:

- una unidad de alimentación 7, y

45 - un módulo básico de transmisión-recepción 8, etiquetado y en lo sucesivo en el presente documento denominado "TxRx1", donde las funciones de transmisión y recepción están separadas y, como consecuencia, pueden realizarse selectivamente de forma independiente y asíncrona, y que comprende esencialmente:

✓ un módulo de antena de solo transmisión 9, etiquetado y en lo sucesivo en el presente documento denominado "matriz de Tx", formado por una matriz en fase completamente poblada de un pequeño número de elementos de antena de solo transmisión y que tiene un haz de transmisión de RF ancho y de baja ganancia (haz reflector) para capacidades efectivas de escaneo de haz electrónico y LPI, concretamente diseñado para transmitir un haz de RF con un patrón de transmisión de ancho de haz más ancho;

55 ✓ un módulo de antena de solo recepción 10, etiquetado y en lo sucesivo en el presente documento denominado "matriz de Rx", distinto del módulo de antena de solo transmisión 9 y formado por una matriz en fase completamente poblada de un gran número de elementos de antena y que tiene haces múltiples de recepción estrechos simultáneos, de alta ganancia y escaneados electrónicamente para cubrir el haz de transmisión ancho, concretamente diseñado para recibir múltiples haces de RF simultáneos procesables para generar haces de recepción con patrones de recepción de ancho de haz más estrechos; y

60 un controlador de antena 11 diseñado para controlar los módulos de antena de solo transmisión y solo recepción 9 y 10.

Opcionalmente, el módulo de transmisión-recepción 8 puede comprender además:

65

- un kit de banda L/S destinado a aplicaciones de baja frecuencia (bandas L, S) (interrogador amigo o enemigo (IFF), comunicaciones, enlace de datos, etc.) y que comprende:

- 5 ✓ un transceptor de RF a digital **12** para la conversión directa ascendente/descendente de banda L/S a digital, y
- ✓ un frontal de banda L/S **13** que comprende dipolos de transmisión/recepción y circuitos de RF.

Opcionalmente, el grupo radiante **4** puede comprender además un módulo de transmisión-recepción **14**, etiquetado y en lo sucesivo en el presente documento denominado "TxRx2", donde las funciones de transmisión y recepción no están separadas, y que es operativamente independiente del módulo de transmisión-recepción **8**, y esencialmente comprende:

- 15 - un módulo de antena de transmisión y recepción **15**, etiquetado y denominado también "matriz de TxRx", distinto de las matrices de Tx y de Rx **9**, **10** y formado por una matriz en fase completamente poblada de un pequeño número de elementos de antena, aproximadamente por el mismo número que en la matriz de Tx **9**, y provisto de canales suma y auxiliar (señales de protección, Delta de acimut y Delta de elevación), para modos de radar simultáneos escaneados electrónicamente, aplicaciones MIMO, capacidades de ataque electrónico, así como comunicaciones y enlace de datos; y
- 20 - un controlador de antena **16** diseñado para controlar la matriz de TxRx **15**.

La Figura 5 muestra un diagrama de bloques funcional de un receptor digital multicanal (MCDR) **5** en un módulo de DAMSS **2**.

El MCDR **5** comprende esencialmente los siguientes componentes:

- 25 - un convertidor ascendente **17** para la matriz de Tx **9**,
- un convertidor descendente multicanal **18** para la matriz de Rx **10**,
- un convertidor ascendente/descendente **19** para la matriz de TxRx **15**,
- 30 - un primer frontal digital **20**, etiquetado y en lo sucesivo en el presente documento denominado "DFE1", dedicado a las matrices de Tx y de Rx **9**, **10**,
- un segundo frontal digital **21**, etiquetado y en lo sucesivo en el presente documento denominado "DFE2", dedicado a la matriz de TxRx **15**,
- una unidad de preprocesamiento rápido **22** común a DFE1 **20** y a DFE2 **21**, y
- 35 - una fuente de alimentación **23**.

El MCDR **5** asegura la recepción simultánea de hasta 16 canales de RF, lo que posibilita la conversión descendente y la digitalización de banda ancha (con hasta 2,8 GHz de ancho de banda instantáneo entre 5,0 y 11 GHz).

Constructivamente, un grupo radiante **4** comprende un número de matrices de antenas de banda ancha totalmente pobladas fabricadas de acuerdo con una tecnología de matriz activa (PAA) de placa de circuito impreso (PCB).

Como se esboza esquemáticamente en la Figura 6, la tecnología de PAA permite minimizar la profundidad total de la matriz de Tx **9** y de la matriz de TxRx **15** en el grupo radiante **4** (básico para instalaciones aerotransportadas sin impacto sobre plataformas) superponiendo las siguientes capas en el orden indicado:

- 45 - una PCB de placa radiante **24** que contiene los elementos de antena individuales,
- una PCB de filtro de muesca **25** opcional para aumentar el aislamiento EM entre las partes de transmisión y de recepción, para modos de RF simultáneos asíncronos. En particular, la PCB de filtro de muesca **25** se proporciona cuando la matriz de TxRx **15** se proporciona en el módulo de DAMSS **2** y se dispone relativamente cerca de la matriz de Rx **9** para interferir significativamente, mientras que la PCB de filtro de muesca **25** se omite cuando se omite la matriz de TxRx **15** en el módulo de DAMSS **2** o cuando la matriz de TxRx **15** se proporciona en el módulo de DAMSS **2** y se dispone relativamente lejos de la matriz de Rx **9** para interferir débilmente o de manera débil o insignificante;
- 50 - una PCB de módulo de RF **26** que contiene módulos de Tx/Rx y que implementa las tareas de dirección de haz y amplificación de frontal (matrices completamente pobladas, que escanean un cono de +/-60 ° alrededor de la dirección del eje de puntería), y
- 55 - una PCB de combinador de RF **27** que contiene la red de formación de haces de RF y que genera los canales de salida para el MCDR **5**.

60 La Figura 7 esboza esquemáticamente la superposición de la PCB de placa radiante **24** (multicapa) y la PCB de combinador de RF **27** (multicapa) en la matriz de Tx **9** y en la matriz de TxRx **15** de acuerdo con la tecnología de PAA, mientras que las imágenes renderizadas en 3D de la matriz de TxRx **15**, tanto en una configuración ensamblada como en una configuración despiezada, se muestran en las Figuras 8 y 9, respectivamente, con una unidad de medición inercial (IMU) integrada.

65

Es importante destacar que la tecnología de PAA elimina la fuerte restricción implícita en la tecnología de AESA y de acuerdo con la cual el interespaciamiento máximo de los elementos radiantes de antena y la electrónica de los TRM depende de la longitud de onda operativa. En la tecnología de PAA de DAMSS, hay una única y pequeña matriz de Tx o de TxRx donde la electrónica de los TRM no debe colocarse necesariamente con una exigente restricción de interespaciamiento de media longitud de onda como los elementos radiantes de antena, lo que hace que el diseño de la antena sea muy simple y de bajo coste.

Cuando se considera la tecnología de PAA de DAMSS para la matriz de Rx **10**, la electrónica detrás de los elementos de antena debe colocarse con un interespaciamiento de media longitud de onda debido al gran tamaño que puede tener la matriz de Rx **10**. En este caso, la restricción del interespaciamiento de media longitud de onda es mucho más fácil de lograr porque la electrónica debe implementar módulos de solo recepción (RM) empaquetados de baja potencia y tamaño pequeño.

La Figura 10 esboza comparativamente la matriz de Tx **9**, la matriz de Rx **10** y la matriz de TxRx **15** con el fin de dar una idea aproximada de una posible disposición espacial y ocupación de área de las mismas, y donde los elementos de antena individuales tienen el mismo tamaño, pero también pueden tener diferentes tamaños.

Las Figuras **11** y **12** esbozan un solo elemento de antena de radiación/recepción de parche apilado en la matriz de Tx **9**, la matriz de Rx **10** y la matriz de TxRx **15**, tanto en una configuración ensamblada como en una configuración despiezada, respectivamente.

La Figura 13 muestra comparativamente representaciones gráficas de los principios de operación del TxRx1 **8** y del TxRx2 **14** y de un sistema de AESA tradicional, mientras que la Figura 14 muestra esquemáticamente una representación gráfica de una operación de haz múltiple en recepción (MBR) que se muestra en la Figura 13.

En particular, el TxRx1 **8** forma un radar biestático único, donde la matriz de Tx **9** transmite un haz reflector y la matriz de Rx **10** sintetiza un grupo de múltiples haces estrechos de ganancia completa simultáneos (operación MBR). Esta mecanización requiere una sincronización completa entre la matriz de Tx **9** y la matriz de Rx **10**.

Al mismo tiempo, el TxRx2 **14** forma un sistema de radar independiente monoestático, que puede ser operado de forma autónoma y simultánea al anterior.

Además, también es posible un modo operativo (de tipo MIMO) donde tanto la matriz de Tx **9** como la matriz de TxRx **15** transmiten, y tanto la matriz de Rx **10** como la matriz de TxRx **15** reciben de forma síncrona.

Dado que estos dos sistemas de radar distintos comparten la misma ubicación, se debe garantizar un aislamiento suficiente entre los elementos de antena de transmisión y de recepción con el fin de evitar la supresión de los limitadores y la saturación del amplificador de bajo ruido (LNA) en los diversos módulos de recepción. Por este motivo, la transmisión asíncrona se permite solo dentro de las bandas permitidas, correspondientes a las bandas de rechazo de los filtros de muesca de PCB.

La Figura 15 muestra una representación gráfica de las bandas de frecuencia operativa del módulo de DAMSS **2**, así como de las bandas de frecuencia rechazadas (bandas negras) para modos de radar simultáneos. Las bandas de frecuencia rechazadas están ausentes cuando se omite la PCB de filtro de muesca **25**, lo que resulta en un aumento del rendimiento y la flexibilidad de uso del módulo de DAMSS **2**.

Con el fin de mejorar el rendimiento de MBR, se aplica la técnica de submatrización, de acuerdo con la cual la matriz de Rx **10** se subdivide en una multiplicidad M de submatrices parcialmente solapadas no necesariamente del mismo tamaño, lo que resulta en una multiplicidad correspondiente de N haces estrechos de ganancia completa simultáneos que se sintetizan simultáneamente actuando sobre los desplazamientos de fase aplicados a las señales de salida digitalizadas de las M submatrices de Rx.

La Figura 16 esboza la técnica de submatrización, mientras que la Figura 17 esboza un diagrama de bloques de un circuito acoplado a los elementos de antena individuales en las submatrices de Rx y diseñado para aplicar desplazamientos de fase asociados a las señales de salida digitalizadas de las M submatrices de Rx.

Se sabe que la submatrización requiere la aplicación de desplazamiento de fase discontinuos a las señales de salida digitalizadas de las submatrices de Rx, y se sabe que esta discontinuidad de desplazamiento de fase produce lóbulos laterales no deseados con amplitudes de cresta notables en el patrón de radiación de campo lejano de los múltiples haces estrechos.

La Figura 18 muestra un diagrama que representa la discontinuidad del desplazamiento de fase sobre las submatrices de Rx, mientras que la Figura 19 muestra el efecto de la discontinuidad del desplazamiento de fase en el patrón de radiación de campo lejano de uno de los múltiples haces estrechos.

Con el fin de reducir las amplitudes de cresta de los lóbulos laterales no deseados, convenientemente las

submatrices de Rx pueden ser de tamaño diferente (no uniformes), concretamente pueden estar formadas por diferentes números de elementos de antena y/o pueden solaparse parcialmente, concretamente, los elementos de antena de una submatriz de Rx se comparten con elementos de antena en otras submatrices.

- 5 La Figura 20 muestra los efectos de la provisión de submatrices de tamaño diferente y parcialmente solapadas en los patrones de radiación de campo lejano para cinco de los posibles múltiples haces estrechos. Puede apreciarse que la provisión de submatrices de diferentes tamaños junto con la provisión de submatrices que se solapan parcialmente da como resultado una reducción notable de las amplitudes de cresta de los lóbulos laterales.
- 10 Las diferentes peculiaridades distintivas del DAMSS permiten lograr las siguientes ventajas técnicas distintas.

- Separación entre funciones de Tx y de Rx

- 15 ✓ reducir la detectabilidad del sistema en operaciones de escenarios hostiles (baja directividad en Tx y capacidad para modos pasivos de solo radar) (característica LPI);
- ✓ limitar la complejidad de la antena principalmente al diseño de una matriz de Rx pasiva, reduciendo así drásticamente el peso, el coste y los requisitos de refrigeración de todo el sistema;
- 20 ✓ posibilitar la simultaneidad real entre diferentes servicios de RF (radar, EW, comunicaciones y enlace de datos) debido a la presencia simultánea de dos antenas de Tx y de Rx;
- ✓ aprovechar un patrón de Tx reflector y un cluster de haces de Rx simultáneos (MBR) que permite extender la integración de tiempo en el objetivo;
- ✓ posibilitar técnicas de ADBF avanzadas, tales como MIMO y algoritmos de cancelación de perturbaciones.

- PAA

- 25 La tecnología de matriz activa de PCB permite:

- 30 ✓ Tecnología de AESA equivalente en una configuración de antena de teja plana (muy bajo espesor y sin uso de planchas);
- ✓ COTS - Módulos de transmisión/recepción discretos empaquetados comercialmente disponibles que posibilitan un ITAR gratis, una implementación más barata de la placa PCB del módulo de RF, con requisitos de refrigeración y costes atenuados;
- 35 ✓ Fácil uso de módulos de alto rendimiento de última generación (por ejemplo: amplificadores de alta potencia basados en GaN) para un rendimiento y una eficiencia de suministro de potencia máximos y
- ✓ El interespaciamiento de los TRM y de la electrónica no debe restringirse a la longitud de onda operativa, liberando así el diseño de la antena de la frecuencia operativa del DAMSS.

- Sistema de sensor de banda ancha /RF múltiple

- 40 En el mismo conjunto, cada módulo de DAMSS aloja antenas y receptores adecuados para soportar un ancho de banda operativo muy grande (desde 0,1 hasta 11 GHz), soportando así una multitud de servicios de RF, como lo requieren las misiones modernas de vigilancia y combate aerotransportadas (modos de radar, EW, comunicaciones, IFF y enlace de datos).
- 45 La concentración de diferentes sensores de RF y su operación simultánea imponen requisitos muy exigentes en el acoplamiento mutuo entre elementos de antena adyacentes, que se han abordado en el diseño de DAMSS y han dado lugar a las siguientes soluciones innovadoras:
- 50 ✓ Diseño ad hoc del artículo del grupo radiante (elementos reales, celosía y selección HW), con el fin de maximizar el aislamiento de los elementos radiantes;
- ✓ Introducción de la capa de muesca de PCB en el diseño de PAA.

- Cobertura de 360 ° sin partes móviles

- 55 El uso de múltiples grupos radiantes en la superficie de revestimiento de la plataforma, posibilita implementar un campo de observación (FOR) de 360 ° con diferentes funciones o misiones en cada panel.

REIVINDICACIONES

1. Sistema pulsado de RF multidetección de apertura distribuida aerotransportado/espacial (1) que comprende uno o más grupos radiantes (4) y una unidad de procesamiento de control central (6) configurada para hacer que los Grupos Radiantes (4) realicen de forma independiente y selectiva las mismas o diferentes funciones de RF pulsada entre Radar, comunicación, guerra electrónica, enlace de datos, interrogador amigo o enemigo; cada grupo radiante (4) comprende módulo de transmisión-recepción (8) básico, donde las funciones de transmisión y recepción están separadas, y que comprende:
- un módulo de antena de solo transmisión (9) que comprende una matriz en fase de elementos de antena de solo transmisión,
 - un módulo de antena de solo recepción (10) que comprende una matriz en fase de elementos de antena de solo recepción, y
 - un controlador de antena (11) configurado para hacer que los elementos de antena de solo transmisión en el módulo de antena de solo transmisión (9) transmitan un haz de RF que tiene un patrón de transmisión con un ancho de haz de transmisión, y los elementos de antena de solo recepción en el módulo de antena de solo recepción (10) reciban múltiples haces de RF simultáneos procesables para generar haces de recepción que tienen patrones de recepción con anchos de haz de recepción individualmente más estrechos que el ancho de haz de transmisión;
- el controlador de antena (11) está configurado además para hacer que el módulo de antena de solo transmisión (9) y el módulo de antena de solo recepción (10) realicen de manera independiente y selectiva las mismas o diferentes funciones de RF pulsada;
- el número de elementos de antena de solo transmisión en el módulo de antena de solo transmisión (9) es menor que el número de elementos de antena de solo recepción en el módulo de antena de solo recepción (10), el módulo de antena de solo transmisión (9) y el módulo de antena de solo recepción (10) están diseñados de tal manera que el haz de transmisión tiene una directividad menor que los haces de recepción individuales para que el haz de transmisión tenga un ancho de haz acimutal y/o de elevación más ancho que los haces de recepción individuales, y
- el módulo de antena de solo transmisión (9) tiene una ganancia de antena menor que el módulo de antena de solo recepción (10);
- cada grupo radiante (4) comprende además un módulo de transmisión-recepción (14) adicional, operativamente independiente del módulo de transmisión-recepción (8) básico, y donde las funciones de transmisión y recepción no están separadas;
- el módulo de transmisión-recepción (14) adicional comprende:
- un módulo de antena de transmisión y recepción (15) que comprende una matriz en fase de elementos de antena de transmisión y recepción, donde el número de elementos de antena en el módulo de antena de transmisión-recepción (14) es menor que el número de elementos de antena en el módulo de antena de solo recepción (10); y
 - un controlador de antena (16);
- los controladores de antena (11, 16) del módulo de transmisión-recepción (8) básico y del módulo de transmisión-recepción (14) adicional están diseñados para hacer que el módulo de transmisión-recepción (8) básico y el módulo de transmisión-recepción (14) realicen de forma independiente y selectiva las misma o diferentes funciones de RF pulsada.
2. El sistema pulsado de RF multidetección de apertura distribuida aerotransportado/espacial de la reivindicación 1, donde el módulo de transmisión-recepción (8) básico comprende además un kit de banda L/S destinado a aplicaciones en bandas de frecuencia L/S y que comprende un transceptor de RF a digital (12) para la conversión ascendente/descendente directa de banda L/S a digital, y un frontal de banda L/S (13) que comprende dipolos de transmisión/recepción y circuitos de RF.
3. El sistema pulsado de RF multidetección de apertura distribuida aerotransportado/espacial de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde los elementos de antena del grupo o grupos radiantes (4) son elementos de antena de placa de circuito impreso (PCB).
4. El sistema pulsado de RF multidetección de apertura distribuida aerotransportado/espacial de la reivindicación 3, donde los elementos de antena son elementos de antena de parche apilado.
5. El sistema pulsado de RF multidetección de apertura distribuida aerotransportado/espacial de la reivindicación 3 o 4, donde cada grupo radiante (4) es una matriz activa (PAA) de placa de circuito impreso (PCB) que comprende las siguientes placas de circuito impreso superpuestas: una placa de circuito impreso de placa radiante (24) que contiene los elementos de antena; una placa de circuito impreso de filtro de muesca (25) proporcionada con el módulo de transmisión-recepción (15) adicional y diseñada para aislar electromagnéticamente las partes de transmisión y recepción para modos de RF simultáneos asíncronos; una placa de circuito impreso de módulo de RF

(26) que contiene el módulo o módulos de transmisión-recepción y que implementa tareas de amplificación frontal y de dirección de haz; y una placa de circuito impreso de combinador de RF (27) que contiene una red de formación de haces de RF y que genera canales de salida.

- 5 6. El sistema pulsado de RF multidetección de apertura distribuida aerotransportado/espacial de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la matriz en fase de elementos de antena de solo recepción en el módulo de antena de solo recepción (10) se subdivide en una multiplicidad de submatrices de elementos de antena de solo recepción diseñadas para recibir múltiples haces de RF simultáneos procesables para sintetizar simultáneamente una multiplicidad correspondiente de haces de recepción simultáneos con patrones de recepción de ancho de haz
- 10 más estrecho actuando sobre los desplazamientos de fase aplicados a las señales de salida digitalizadas de las submatrices.
7. El sistema pulsado de RF multidetección de apertura distribuida aerotransportado/espacial de la reivindicación 6, donde las submatrices de elementos de antena de solo recepción tienen diferentes tamaños.
- 15 8. El sistema pulsado de RF multidetección de apertura distribuida aerotransportado/espacial de la reivindicación 6, donde las submatrices de elementos de antena de solo recepción se solapan parcialmente.

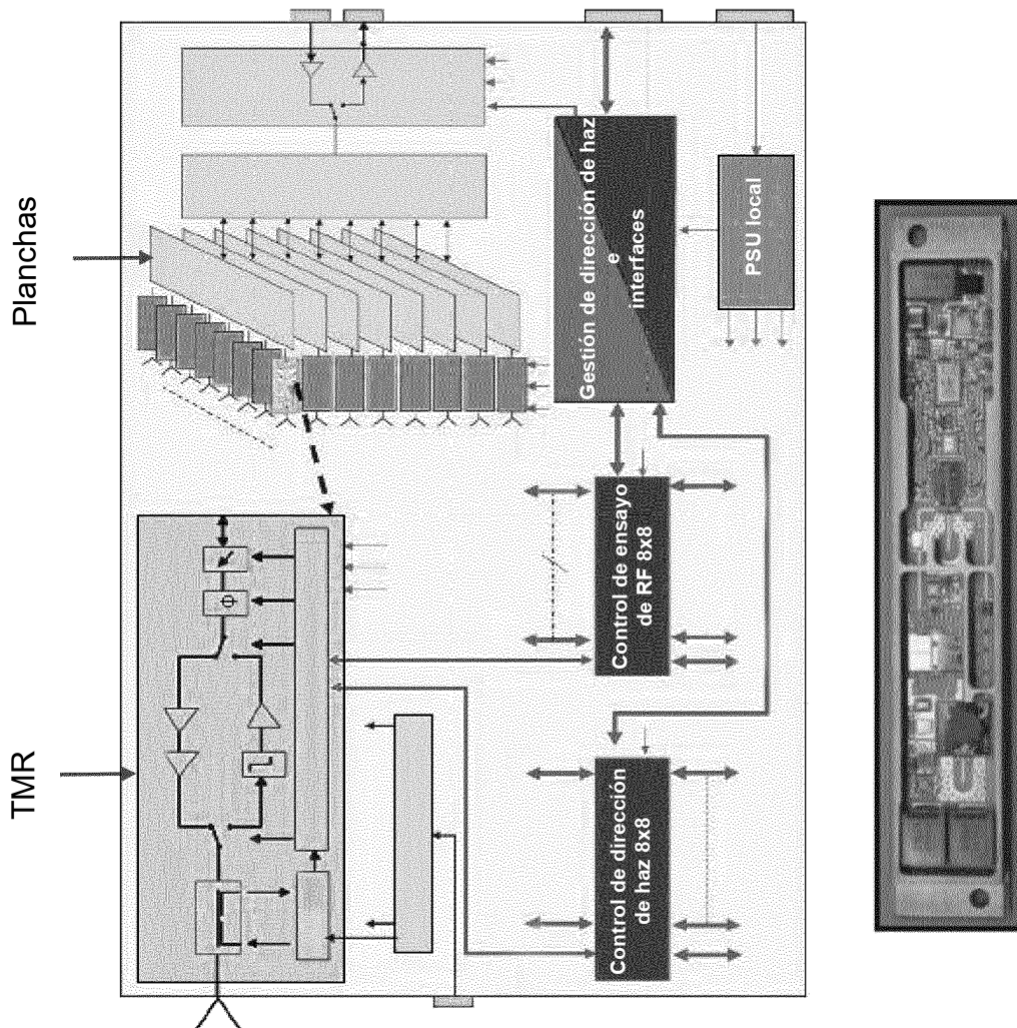
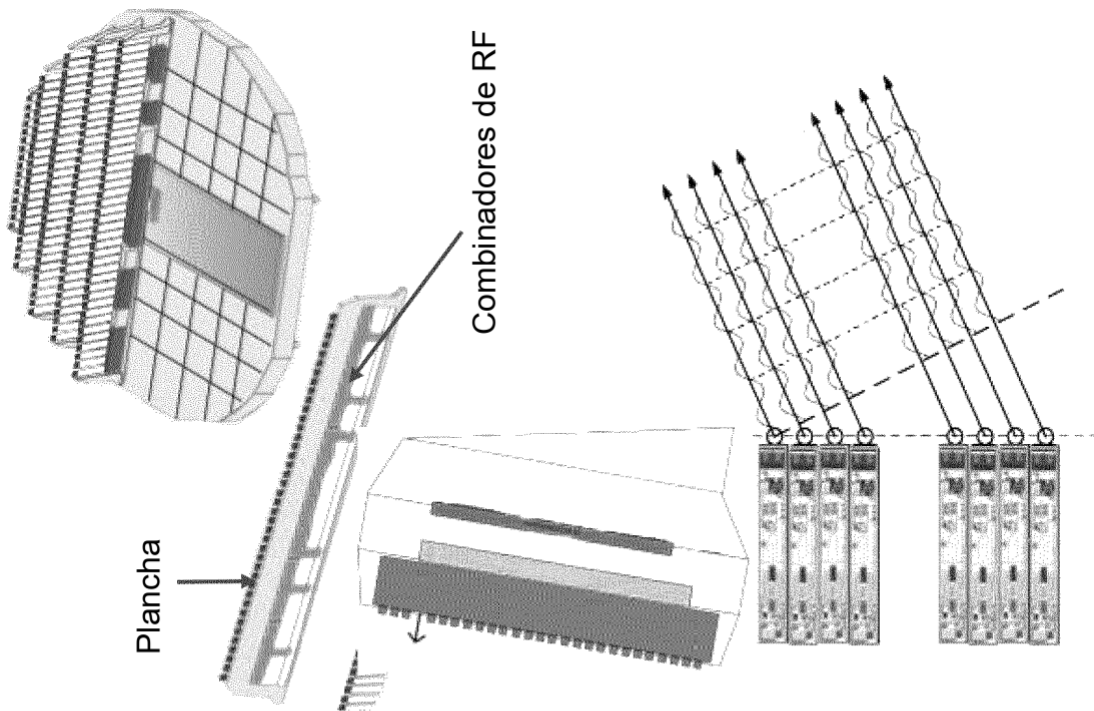


FIG. 1

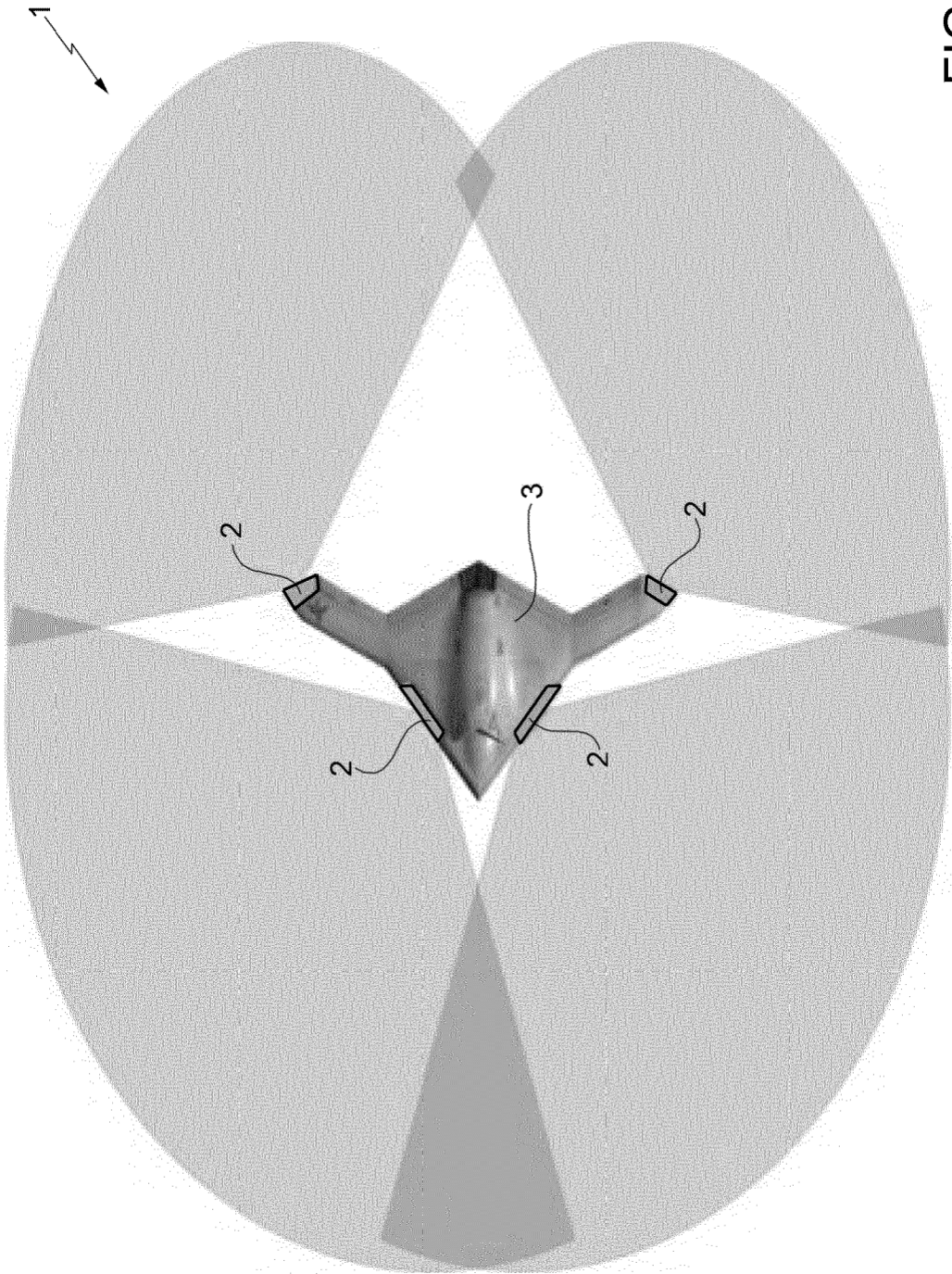


FIG. 2

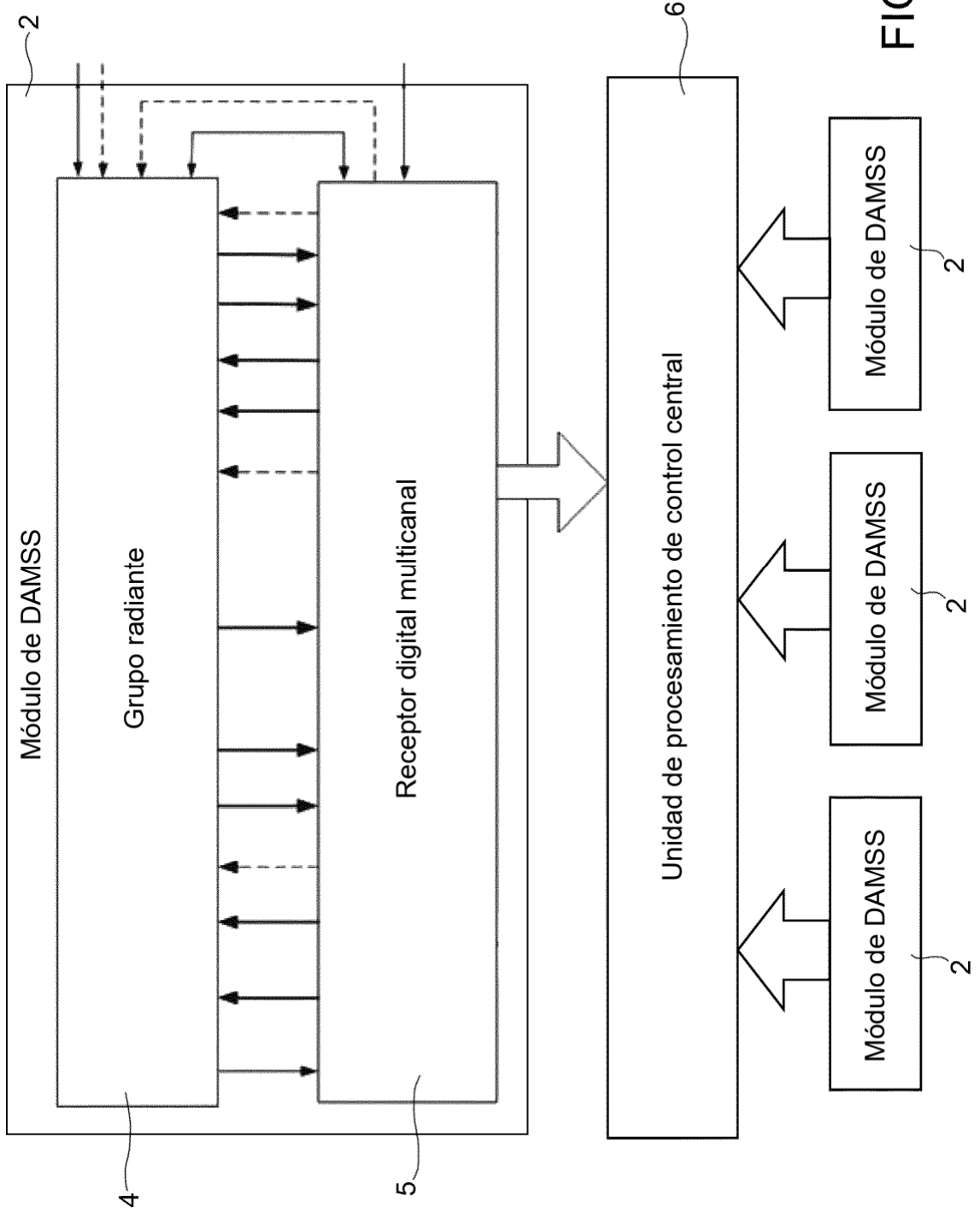


FIG. 3

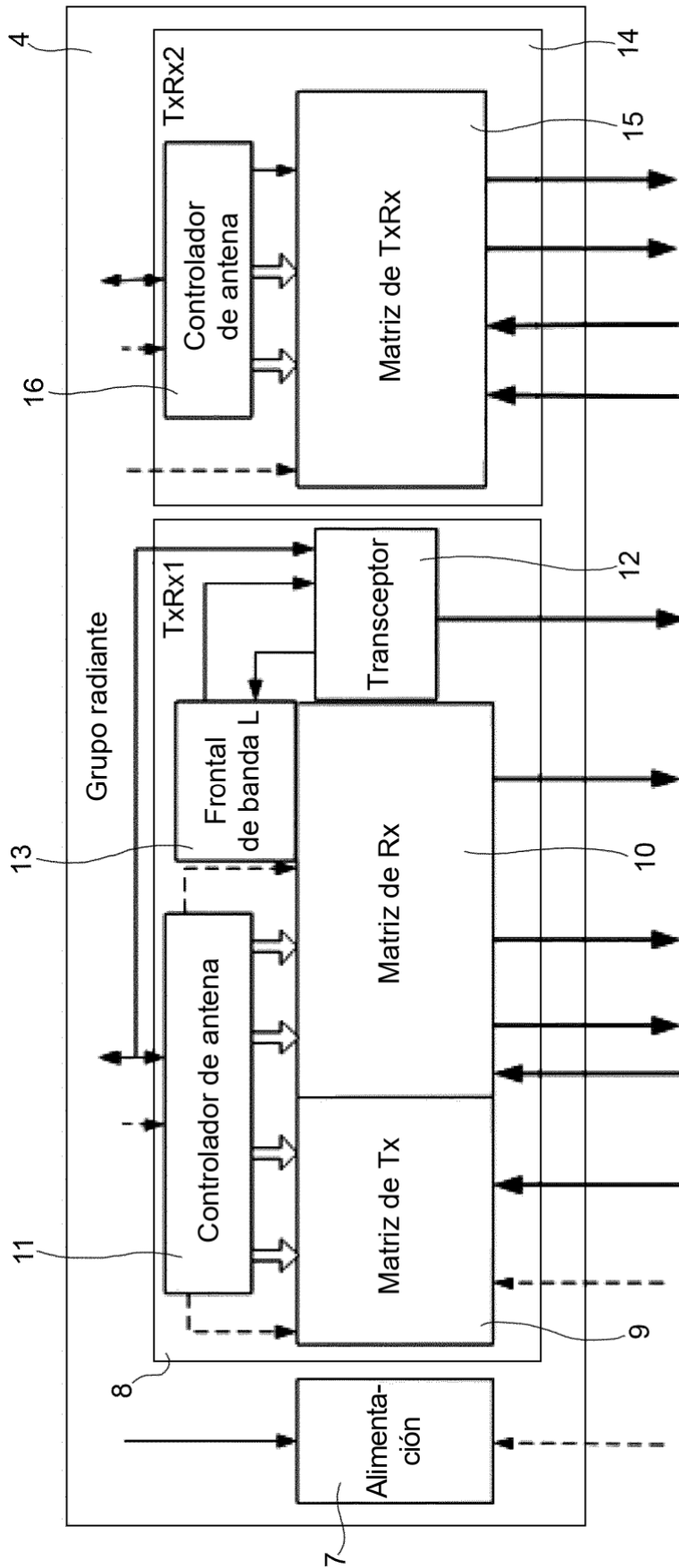


FIG. 4

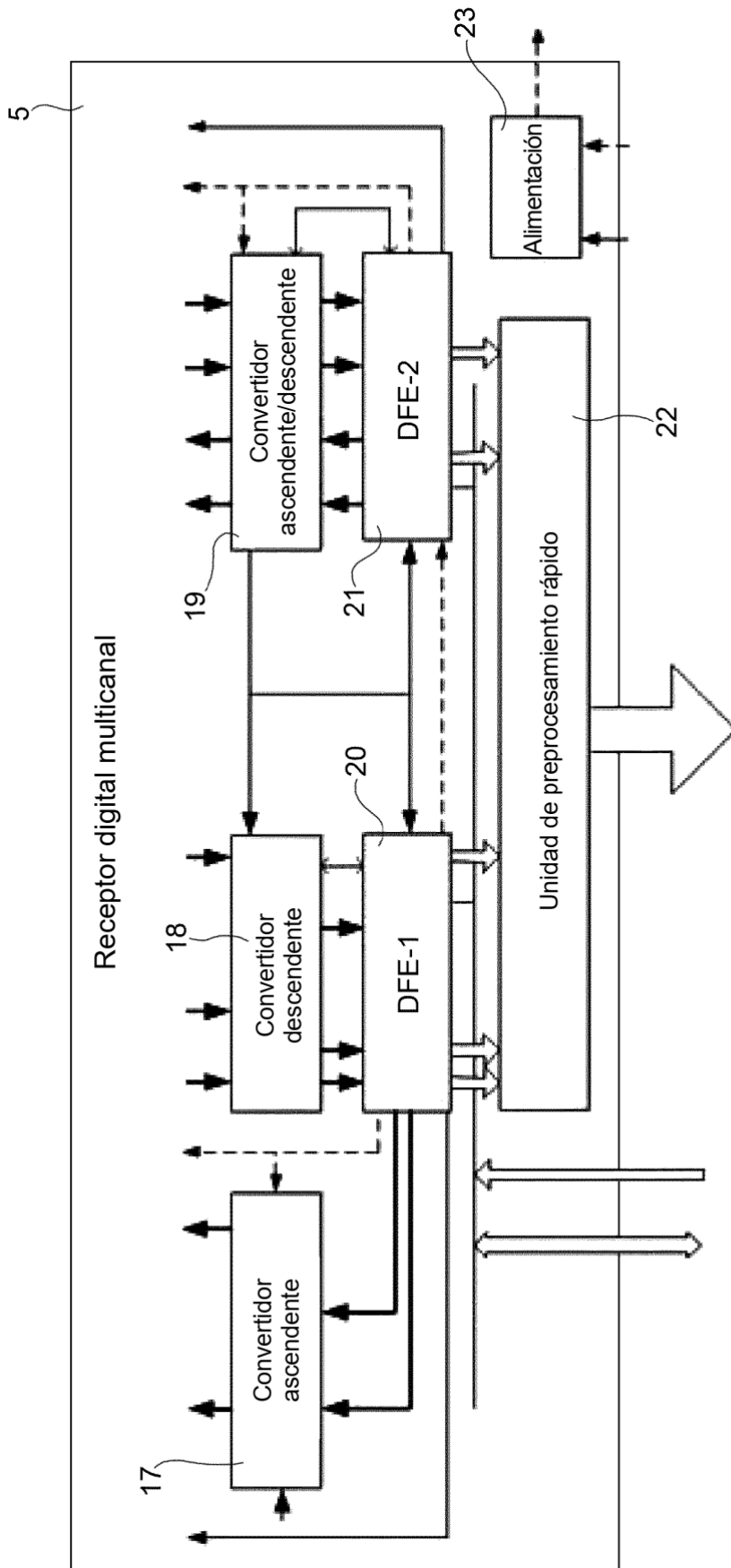


FIG. 5

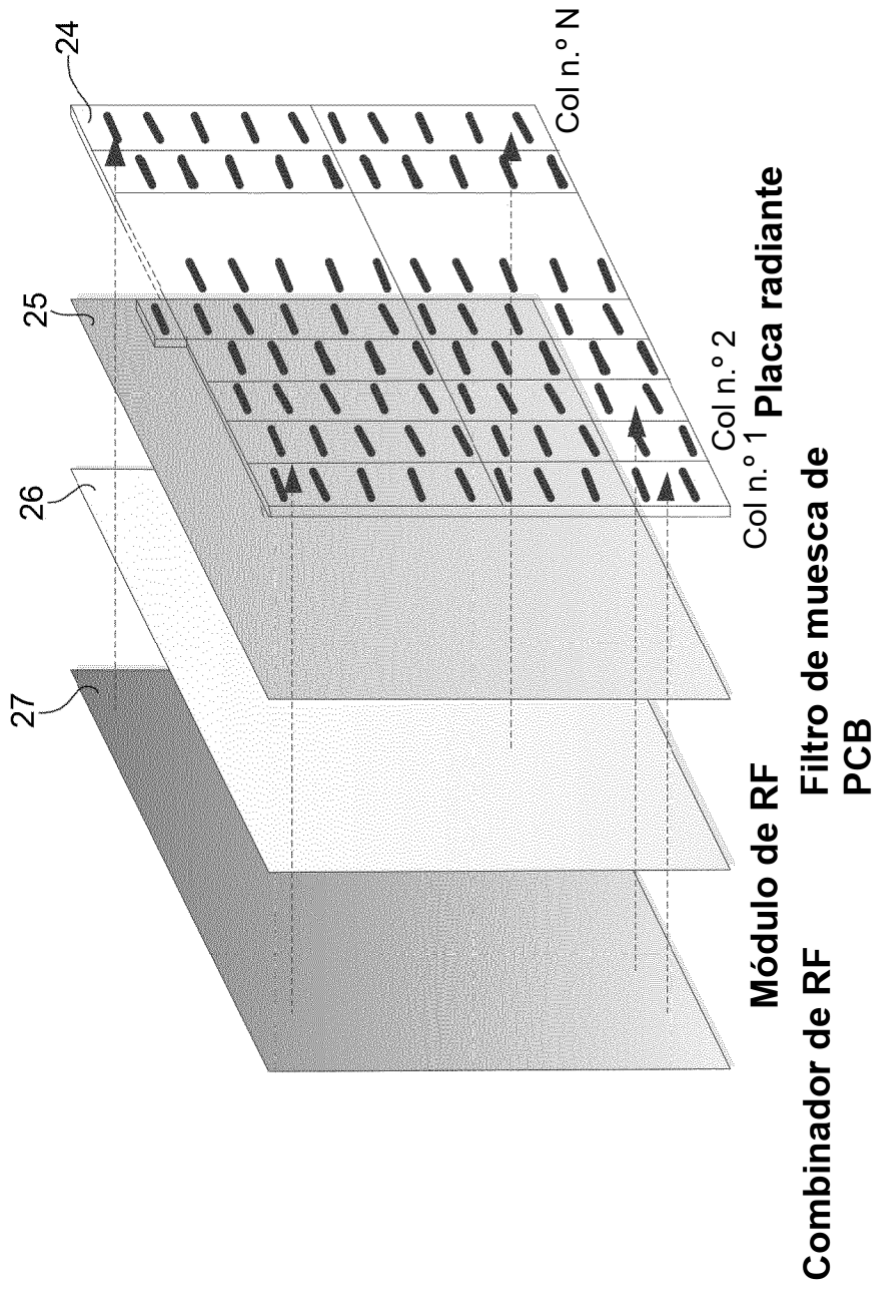


FIG. 6

9, 15

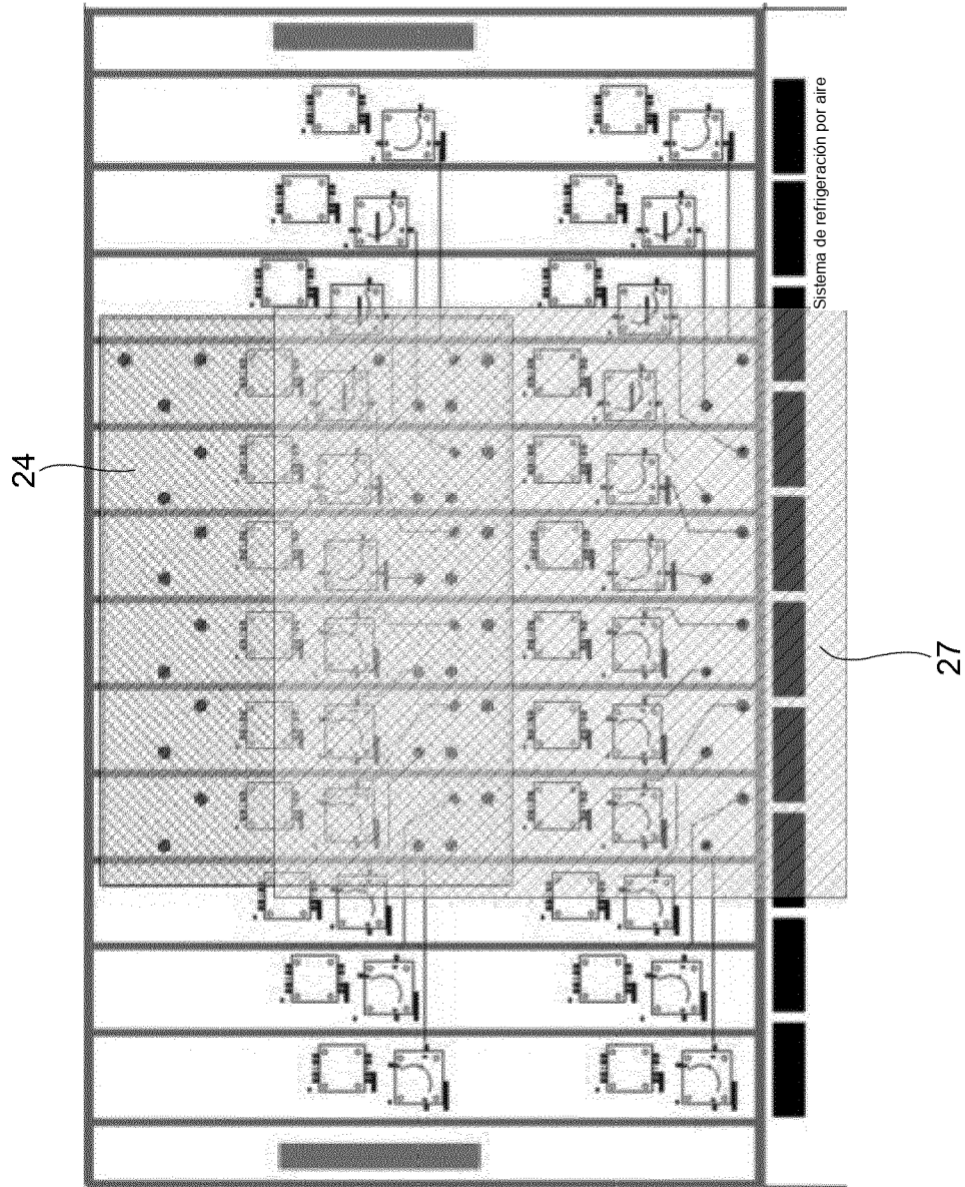


FIG. 7

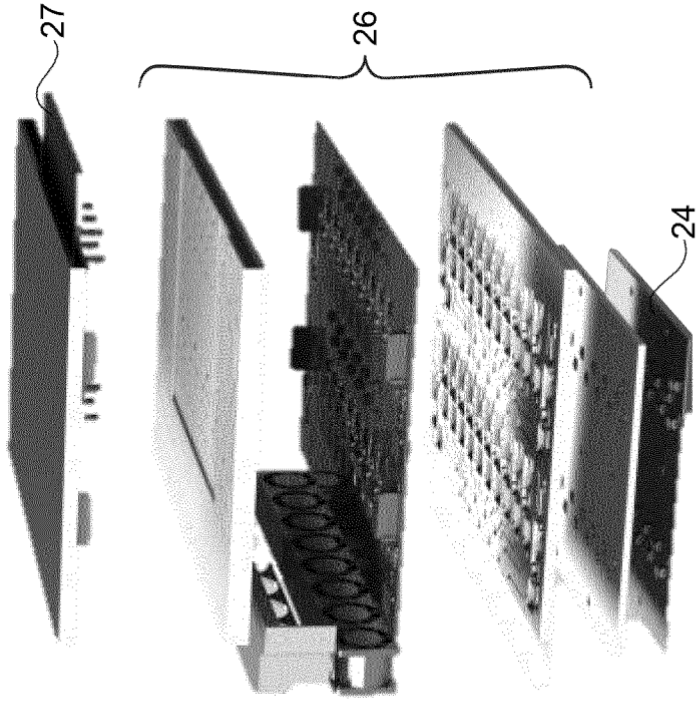


FIG. 9

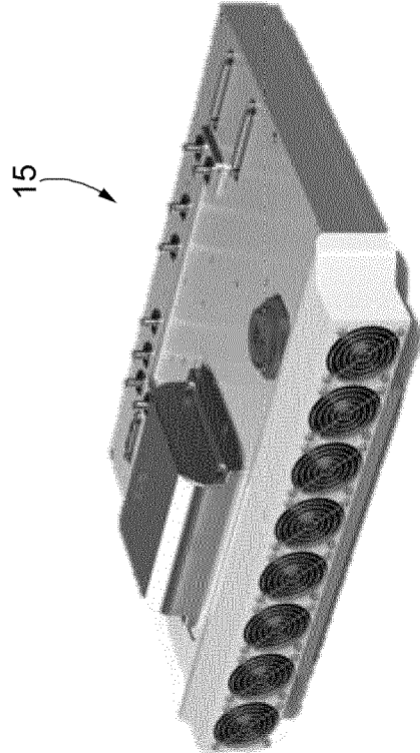


FIG. 8

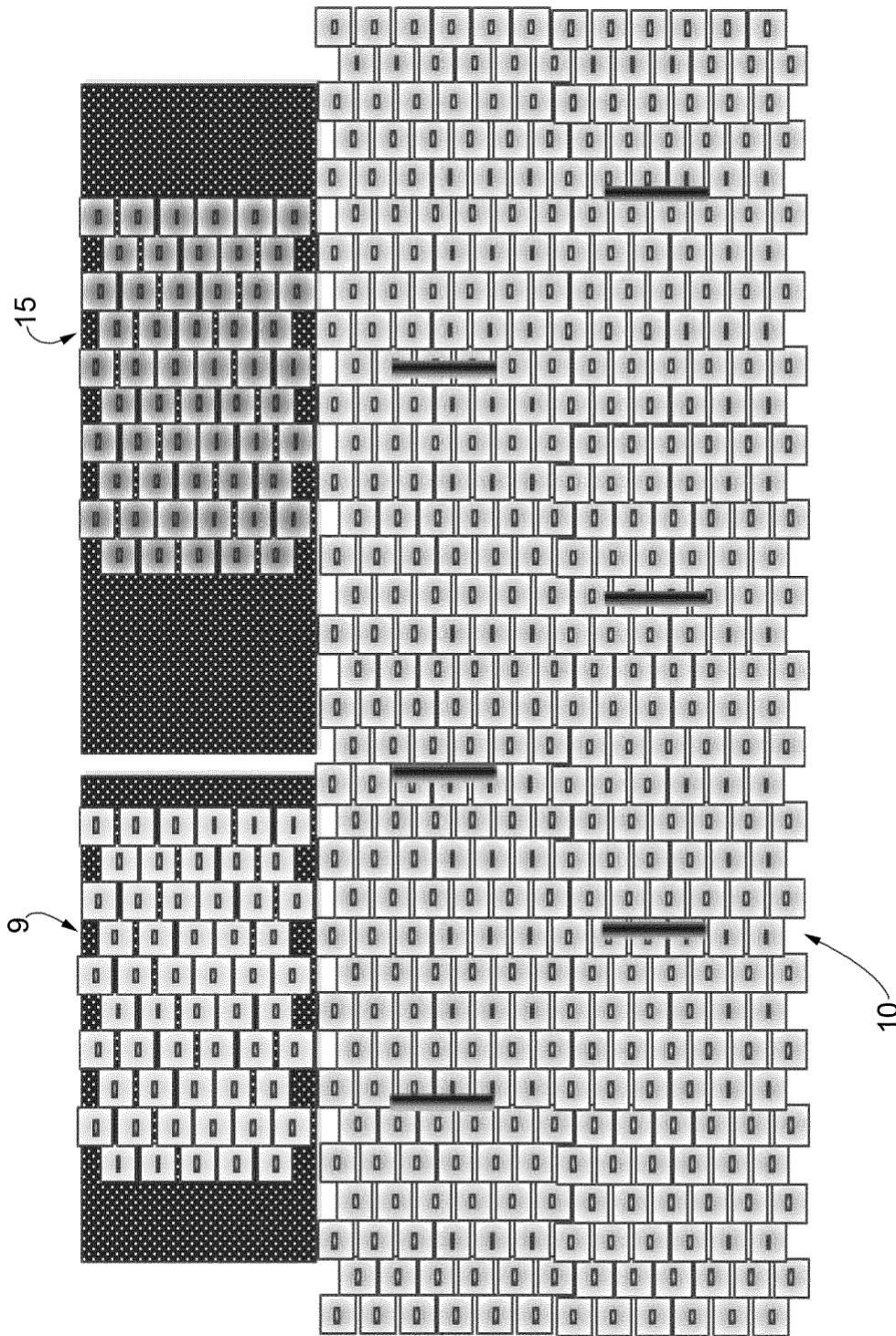


FIG. 10

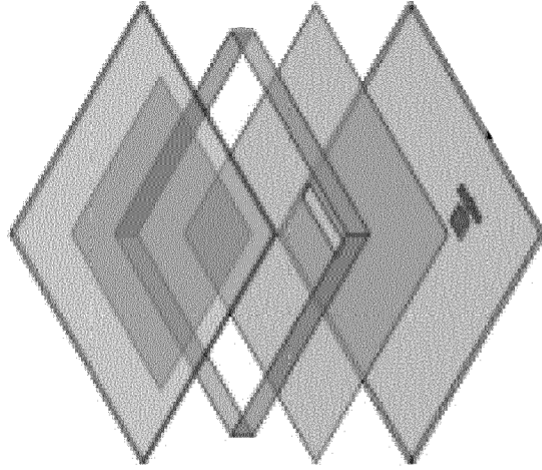


FIG. 12

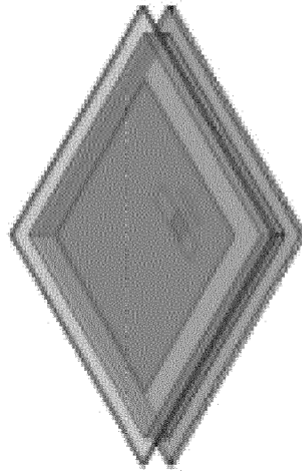


FIG. 11

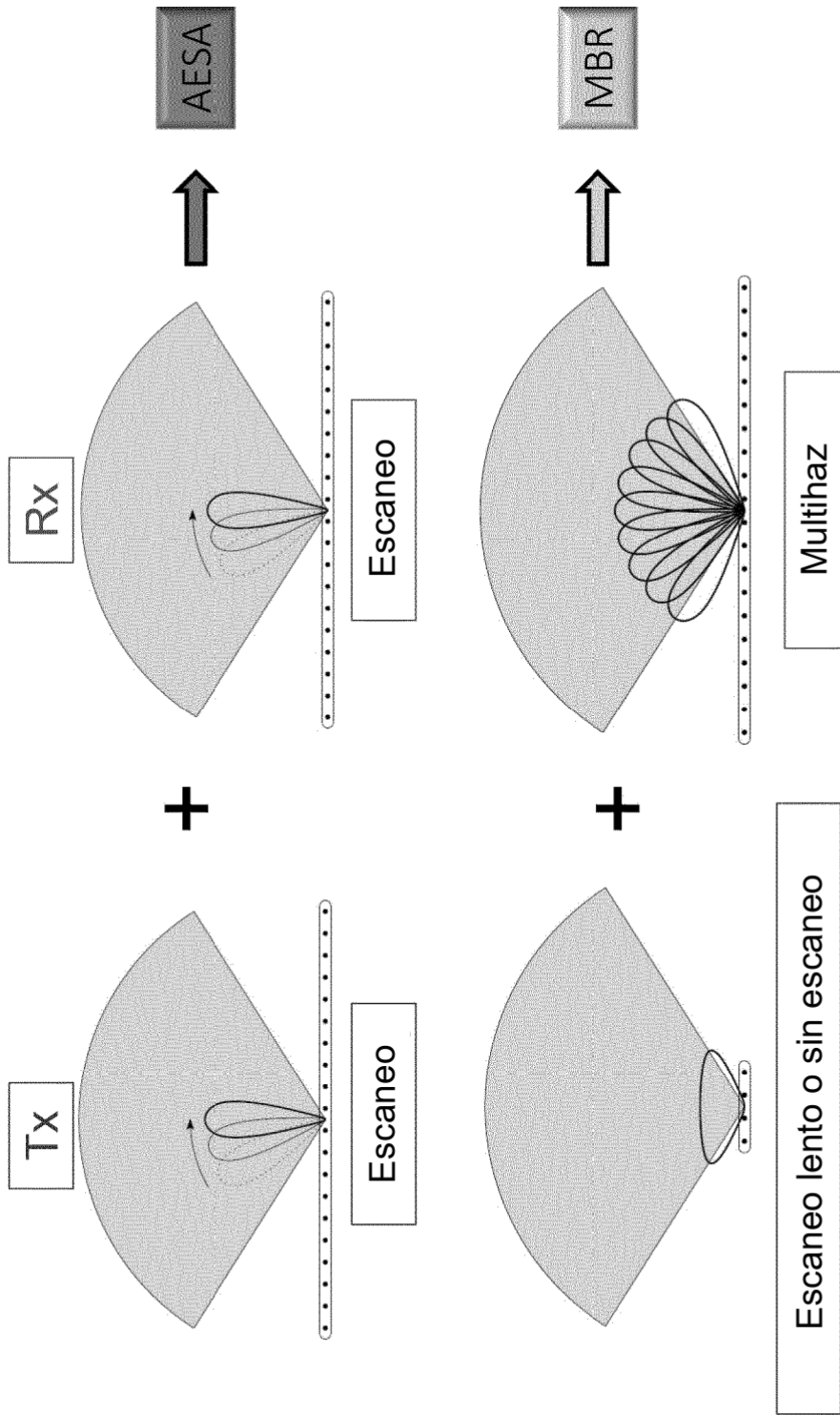


FIG. 13

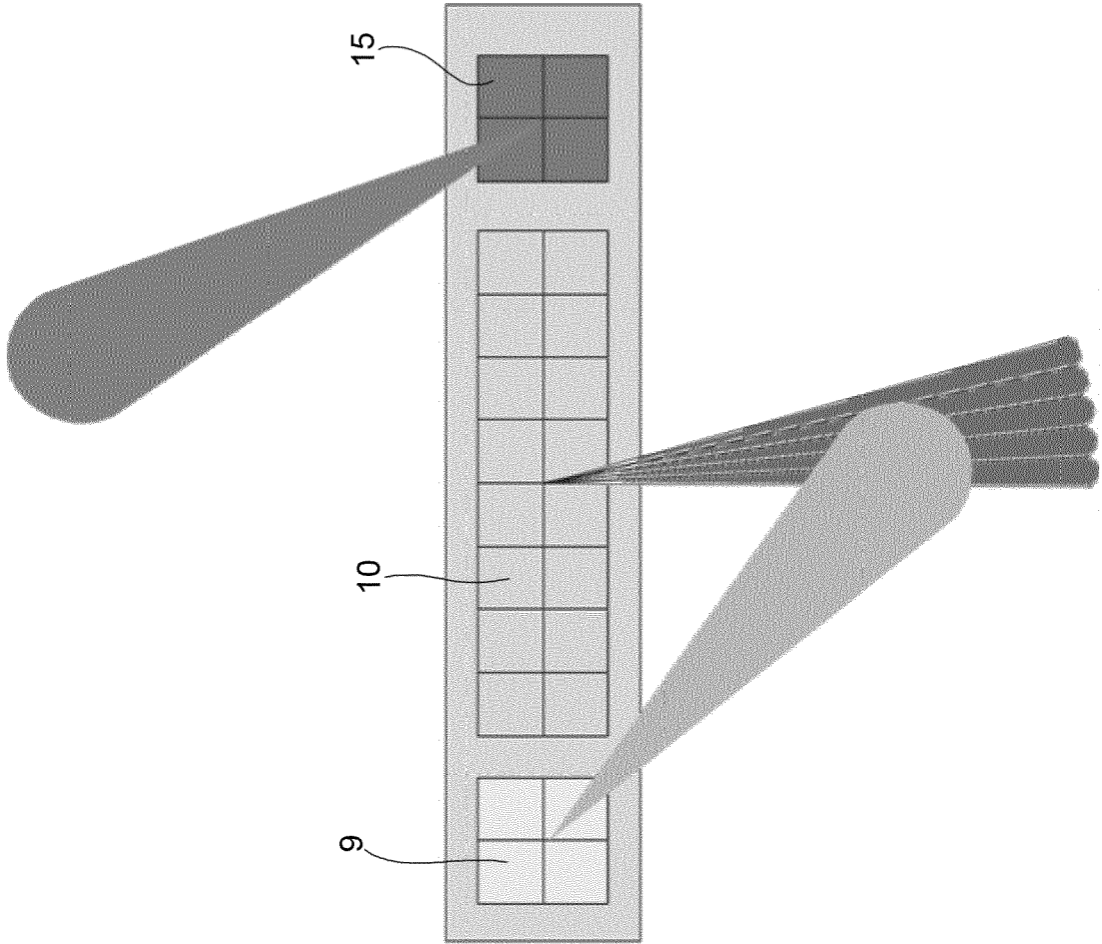


FIG. 14

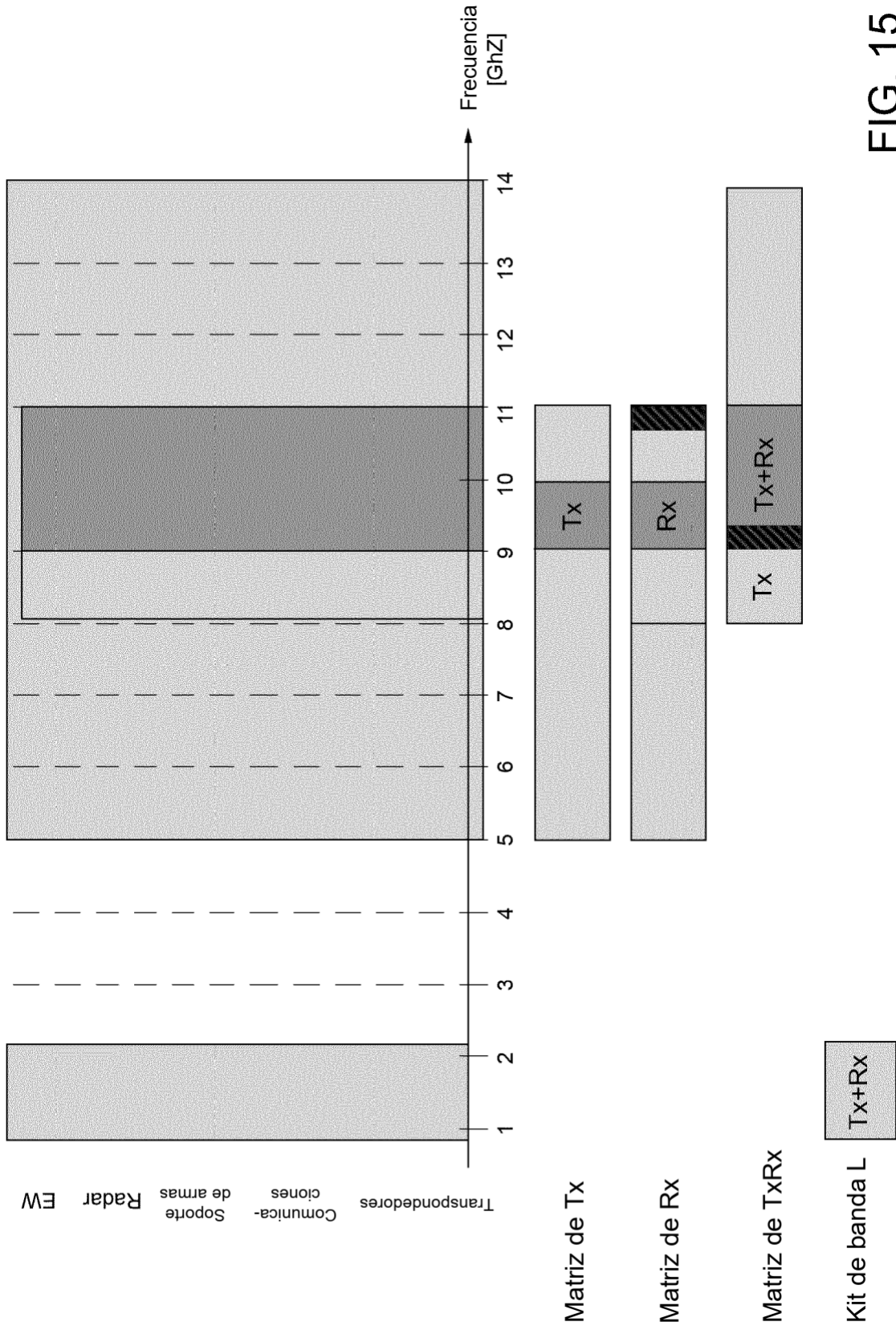


FIG. 15

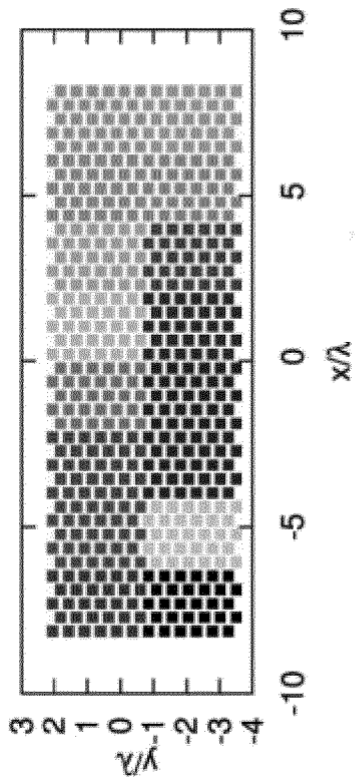


FIG. 16

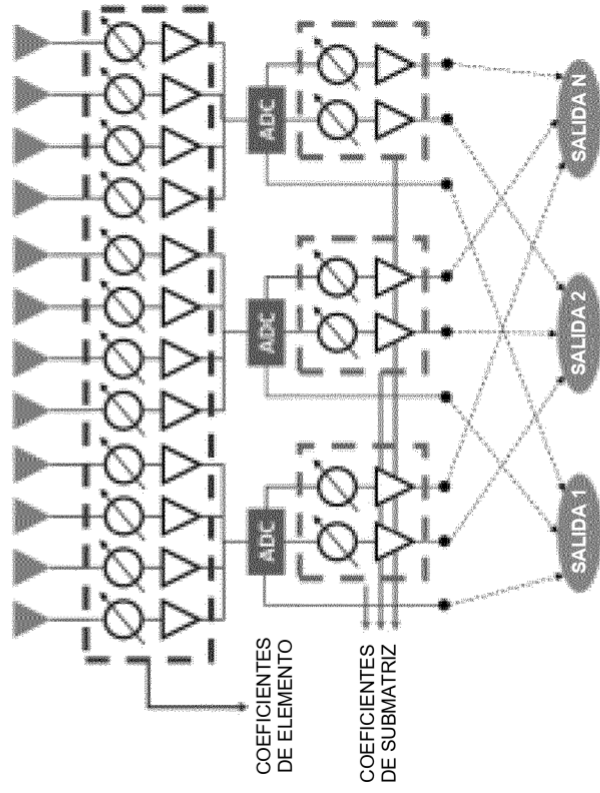


FIG. 17

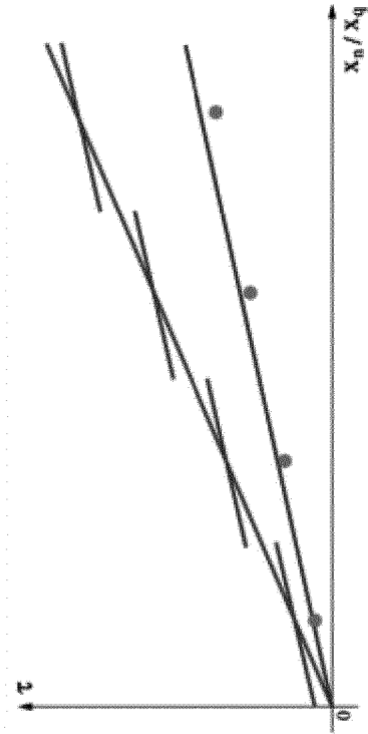


FIG. 18

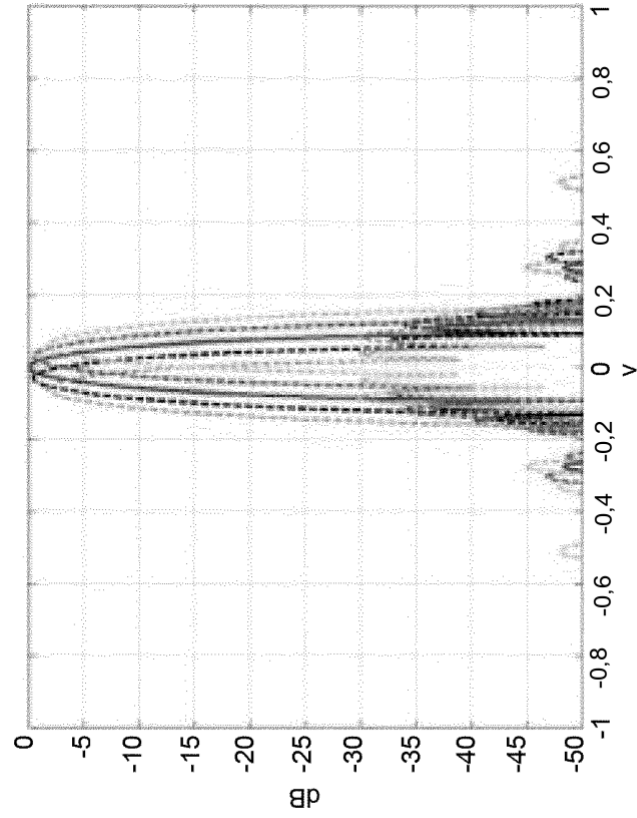


FIG. 20

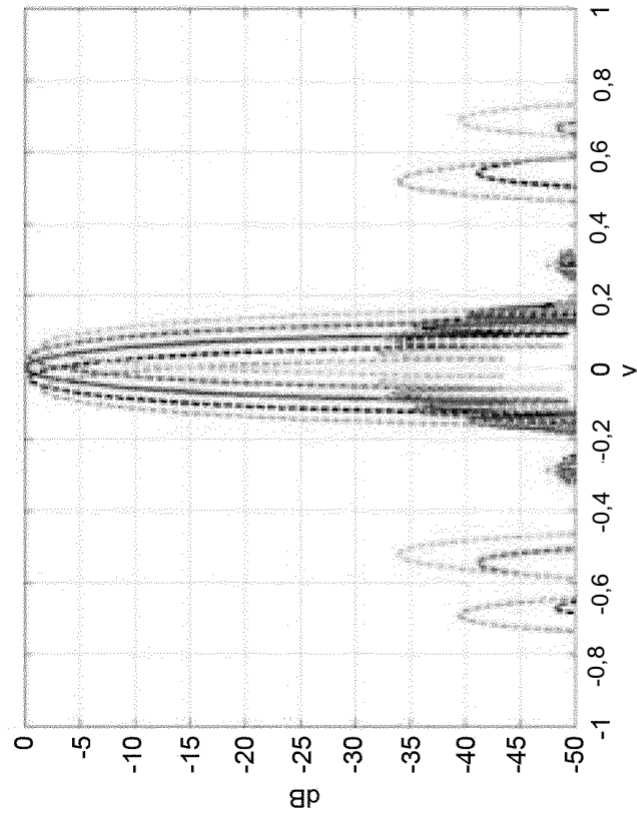


FIG. 19