

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 976 833**

51 Int. Cl.:

H04B 7/06 (2006.01)

H01Q 3/26 (2006.01)

H01Q 1/02 (2006.01)

H01Q 21/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.10.2021** **PCT/IB2021/060038**

87 Fecha y número de publicación internacional: **05.05.2022** **WO22091026**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.10.2021** **E 21799350 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.01.2024** **EP 4238233**

54 Título: **Arquitectura innovadora tridimensional en forma de u para módulos de transmisión/recepción de sistemas de AESA**

30 Prioridad:

29.10.2020 IT 20200025723

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

09.08.2024

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**APRILE, ANGELO;
ISELLA, GIORGIO;
TROYSI, ELEONORA;
VERTEMATI, GIOVANNI;
MELEDANDRI, DARIO;
BREGLIA, ALFONSO y
VANNICOLA, ERSILIO**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 976 833 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

Arquitectura innovadora tridimensional en forma de U para módulos de transmisión/recepción de sistemas de AESA

5 Campo técnico de la invención

La presente invención se refiere, en general, a Antenas Activas Dirigidas Electrónicamente (o Dirigibles) (AESA) - a veces también llamadas Matrices Activas de Escaneo Electrónico - y, más específicamente, a una innovadora arquitectura tridimensional (3D) en forma de U para módulos de Transmisión y/o Recepción (T/R) de AESA, en particular AESA planas o cuasi planas.

Estado de la técnica

Como es sabido, hoy en día existe una creciente necesidad de sistemas que ofrezcan mayores niveles de flexibilidad, integración y funcionalidad para una amplia gama de aplicaciones de radar, comunicación, enlace de datos y guerra electrónica (EW), lo que aumenta la demanda continua de soluciones AESA de bajo costo, compactas y modulares.

En particular, una de las tendencias actuales más significativas de los equipos electrónicos está relacionada con el aumento de la integración, flexibilidad y funcionalidades de los sistemas para lograr:

reducción de peso y miniaturización para permitir equipar plataformas con un conjunto completo de sensores para cumplir misiones caracterizadas por un rendimiento y requisitos operativos de alta demanda; reducción de costos; y bajo espesor y bajo impacto en la forma de la plataforma.

Estos aspectos son particularmente importantes para las plataformas aéreas no tripuladas para las cuales el tamaño de la carga útil, el peso y el consumo de energía son factores limitantes graves.

De todos modos, estos aspectos también son muy significativos y aplicables a cualquier otro tipo de plataformas.

En este sentido, vale la pena señalar que si, por un lado, los sistemas basados en la tecnología AESA representan la única solución adecuada para cumplir con los requisitos del mercado, por otro lado, los sistemas AESA tradicionales son voluminosos y ciertamente no delgados, y muy exigentes en términos de enfriamiento, suministro de energía y requisitos de peso.

La Figura 1a) representa un ejemplo de una arquitectura tradicional de AESA. En particular, la Figura 1a) es una vista despiezada de un AESA plano tradicional cuyas partes principales incluyen típicamente:

un conjunto de tablón, que representa una parte de carga frontal de la AESA y proporciona transmisión y recepción controladas de señales de radiofrecuencia (RF) a través de módulos de transmisión y/o recepción (T/R) (en lo sucesivo, también denominados TRM), a saber, los bloques de construcción básicos de cualquier AESA; una interfaz de RF diseñada para dividir y/o combinar las señales de RF en la transmisión y/o recepción; un colector de RF, es decir, una red de RF que distribuye las señales de RF desde el ensamblaje de plancha a la interfaz de RF y viceversa; y una placa base que proporciona una interfaz eléctrica (potencia y control) entre el conjunto de tableros y los subconjuntos, y también funciona como gestor de interfaz lógica externa de la AESA.

Además, la Figura 1b) bosqueja un ejemplo de una arquitectura de ensamblaje de tablón tradicional en una configuración ensamblada, para ilustrar que la cantidad de componentes a montar causa un gran espesor general del ensamblaje de tablón.

De hecho, para lograr un alto rendimiento, un AESA requiere cientos (o incluso miles) de TRM dispuestos en el conjunto de tablón y posicionados detrás de los elementos radiantes del AESA, cada uno de los cuales incluye una serie de componentes electrónicos como amplificadores de alta potencia (HPA), amplificadores de bajo ruido (LNA), limitadores T/R, chips de núcleo (que, a su vez, comprenden desfases y atenuadores controlados digitalmente, controladores/preamplificadores, interruptores de transmisión/recepción (Tx/Rx)), controladores, interruptores y/o circuladores para enrutar señales de RF entre las rutas de transmisión y recepción, y otros componentes opcionales (filtros, etapas de preamplificación, etc.). A este respecto, la Figura 2 esboza un ejemplo de diseño de un único TRM tradicional, en el que se indican algunos componentes electrónicos principales del mismo.

Como consecuencia del elevado número de componentes y de la integración de los mismos, hay que tener en cuenta dos cuestiones principales:

1) Dimensiones generales de AESA: de hecho, por un lado, el alto número de componentes que se incluirán en los módulos T/R requeriría una gran envolvente espacial, pero, por otro lado, la frecuencia de funcionamiento también impone una restricción en las dimensiones de AESA en términos de distancia entre elementos radiantes adyacentes; en particular,

las frecuencias más altas requieren un espaciado de celosía más estrecho entre los elementos activos, lo que hace cada vez más difícil ajustar todos los componentes electrónicos en una sola capa; esto se vuelve aún más estricto para aquellas aplicaciones donde se requiere un espaciado $\lambda/2$ (es decir, la mitad de la longitud de onda a la frecuencia transmitida) o menos para una exploración amplia y para la reducción de lóbulos de rejilla indeseables; con el fin de cumplir tanto las restricciones de alojar todos los componentes electrónicos de los módulos T/R como de ajustar el espaciado de celosía, la arquitectura de tablón tradicional generalmente se expande a lo largo de una dirección transversal a los elementos radiantes, aumentando así el grosor general de AESA;

2) Disipación de energía: de hecho, debido a la baja eficiencia energética típica de un módulo T/R y la proximidad de los componentes, un AESA generalmente necesita disipar una gran cantidad de calor que debe extraerse adecuadamente para evitar ocurrencias y fallas en las condiciones de sobrettemperatura; los sistemas tradicionales de enfriamiento por aire no son adecuados para la alta densidad de componentes de los AESA y, por lo tanto, los AESA modernos son enfriados por líquido, con el consiguiente aumento de los requisitos de potencia y peso, lo que, a su vez, podría limitar la capacidad de instalación de los sistemas AESA en plataformas aerotransportadas.

A este respecto, se presentarán y discutirán brevemente a continuación varias soluciones conocidas relacionadas con la disipación de energía/gestión térmica en matrices en fase activa, AESA, sistemas de antenas/RF y equipos/dispositivos electrónicos.

US 8,937,574 B2 se refiere a una unidad ligera de transmisión/recepción enfriada por aire y una matriz en fase activa que incluye la misma. En particular, dicha unidad ligera de transmisión/recepción enfriada por aire incluye un primer miembro de cubierta externo, un segundo miembro de cubierta externo opuesto y una unidad de alojamiento central, que incluye medios de gestión térmica, interpuestos entre el primer y segundo miembros de cubierta externos. Una placa de circuito de transmisión/recepción, que incluye componentes y un elemento radiante integrado y común para al menos un canal, se interpone entre una primera superficie de la unidad de alojamiento central y el primer miembro de cubierta externa, y una placa de circuito controlador y una placa de circuito convertidor de potencia se interponen entre una segunda superficie opuesta de la unidad de alojamiento central y el segundo miembro de cubierta externa.

US 9,172,145 B2 se refiere a una tarjeta hija de transmisión/recepción con circulador integral. En particular, US 9,172,145 B2 describe una placa de cableado impreso (PWB) multicapa de señal mixta fabricada en un solo paso de laminación. La PWB incluye una o más interconexiones de RF entre diferentes capas de circuitos en diferentes placas de circuitos que componen la PWB. La PWB incluye una serie de celdas unitarias con elementos radiantes y una jaula de RF dispuesta alrededor de cada celda unitaria para aislar la celda unitaria. Una pluralidad de circuitos de chip invertido está dispuesta en una superficie externa del PWB y un disipador de calor puede estar dispuesto sobre los componentes del chip invertido.

US 6,975,267 B2 y US 7,132,990 B2 se refieren a un AESA de bajo perfil para sistemas de radar de banda Ka. En particular, US 6,975,267 B2 y US 7,132,990 B2 describen un AESA de banda Ka integrado verticalmente que incluye, entre otras cosas, un panel reubicador de guía de ondas de RF en transición ubicado detrás de una placa frontal del radiador y una matriz de baldosas de control de haz acopladas respectivamente a uno de una pluralidad de módulos transceptores a través de un colector de RF. Cada una de las baldosas de control de haz incluye una pluralidad respectiva de celdas T/R de alta potencia, así como guías de onda dieléctricas, línea de cinta de RF y elementos de línea de transmisión coaxial. El panel reubicador de guía de ondas se fabrica preferentemente mediante un apilamiento de laminado de cobre unido por difusión con relleno dieléctrico. Las baldosas de control de haz se fabrican preferiblemente mediante el uso de múltiples capas de material de cerámica cocida a baja temperatura (LTCC) laminadas juntas. El panel reubicador de guía de ondas y las baldosas de control de haz están diseñados para enrutar señales de RF hacia y desde un módulo transceptor respectivo de cuatro módulos transceptores y una matriz en cuadratura de radiadores de antena adaptados al espacio libre formado en la placa frontal. Se proporcionan juntas de resorte metálicas de tipo plano entre las capas de interfaz para proporcionar y garantizar la interconexión entre los puertos de guía de ondas mutuamente enfrentados y para evitar fugas de RF alrededor del perímetro de los puertos de guía de ondas. El enfriamiento de los diversos componentes se logra mediante un par de miembros planos disipadores de calor de aire forzado que están ubicados a cada lado de la matriz de baldosas de control de haz. La alimentación de CC y el control de las celdas T/R se proporciona mediante un conjunto de placa de cableado de circuito impreso ubicado adyacente a la matriz de baldosas controladas por haz con conexiones de CC sin soldadura que se proporcionan mediante una disposición de elementos de conector eléctrico de "botón de pelusa".

US 7,859,835 B2 se refiere a un método y un aparato para la gestión térmica de un sistema de RF. En particular, US 7,859,835 B2 describe un sistema de gestión térmica que incluye un montaje de conducto de aire que comprende un conducto de aire de suministro que tiene una abertura de entrada de aire, un conducto de aire de retorno que tiene una abertura de salida de aire y una pluralidad de conductos de aire de distribución configurados para estar en comunicación fluida con la abertura de entrada de aire del conducto de aire de suministro y con la abertura de salida de aire del conducto de aire de retorno. Un ventilador está dispuesto dentro del conjunto del conducto de aire para dirigir el aire desde la abertura de entrada de aire del conducto de aire de suministro a través del conducto de aire de suministro y fuera de la abertura de salida de aire del conducto de aire de retorno. El ventilador y el conducto de suministro están dispuestos para dirigir el aire sobre una primera superficie de un disipador de calor. Una segunda superficie opuesta del disipador de calor está dispuesta sobre y configurada para estar en contacto térmico con una pluralidad de circuitos activos dispuestos en una primera superficie de un PWB multicapa de RF.

US 8,355,255 B2 se refiere al enfriamiento de circuitos activos coplanares. En particular, US 8,355,255 B2 describe un sistema que incluye una primera placa de circuito provista de circuitos integrados, un primer difusor térmico acoplado a los circuitos integrados de la primera placa de circuito, una primera placa compatible acoplada a la primera placa de circuito, una segunda placa de circuito provista de circuitos integrados y un segundo difusor térmico acoplado a los circuitos integrados de la segunda placa de circuito. La primera placa de circuito y el primer difusor térmico tienen un primer espesor. La segunda placa de circuito y el segundo difusor térmico tienen un segundo espesor. El sistema incluye además una segunda placa compatible acoplada a la segunda placa de circuito, un montaje de placa acoplado a la primera y segunda placas compatibles y un montaje de placa fría en contacto con el primer y segundo difusores térmicos. Cualquiera de la primera o la segunda placa compatible está configurada para expandirse o contraerse para tener en cuenta las diferencias entre el primer y el segundo espesor.

EP 2 368 291 A1 se refiere a una arquitectura de enfriamiento, especialmente para antenas de módulo activo. En particular, EP 2 368 291 A1 se refiere al enfriamiento por circulación de aire de equipos electrónicos dispuestos en filas superpuestas apiladas en bastidores o en gabinetes. Más específicamente, la solución de acuerdo con EP 2 368 291 A1 se refiere a estructuras de antenas de módulo activo y está destinada a suplantar los sistemas de ventilación convencionales que implican la circulación de una corriente de aire que pasa en serie a través de las diversas filas de equipos y se lleva la energía térmica disipada por este equipo a medida que dicha corriente se propaga a través del mismo. En detalle, la solución de acuerdo con EP 2 368 291 A1 consiste en la adición de medios de enfriamiento de aire dispuestos de tal manera que refresquen la corriente de aire forzado cuando sale de una fila de equipos y antes de que llegue a la siguiente fila.

US 2008/0209931 A1 se refiere a un sistema de enfriamiento para enfriar equipos de procesamiento en centros de datos. Dicho sistema de enfriamiento incluye un conducto vertical que transporta un líquido de enfriamiento y una matriz de elementos conductores de calor alargados, tales como tuberías de calor, que se extienden lateralmente hacia afuera desde el conducto. Una porción de extremo interior de cada elemento conductor de calor está en contacto térmico con el líquido refrigerante que fluye en el conducto y una porción de extremo exterior de cada elemento conductor de calor está adaptada para el contacto térmico conductor con al menos un componente electrónico productor de calor.

WO 2016/065485 A1 se refiere a un sistema o aparato de eliminación de calor que proporciona un método para montar y conectar eléctricamente dispositivos eléctricos de disipación de calor, preferiblemente en una geometría radial mientras se logra una buena fuerza de sujeción de superficie a superficie, en variantes enfriadas por líquido y/o aire.

US 2017/0323843 A1 se refiere a un Circuito Integrado (IC) tridimensional (3D) enfriado por gas con interconexiones inalámbricas, en donde dicho IC 3D incluye dos o más pilas de una o más capas activas, una capa de enfriamiento por gas que separa las dos o más pilas y una interconexión inalámbrica entre las dos o más pilas que permite la comunicación entre las dos o más pilas.

WO 2014/206578 A2 se refiere a un alojamiento, un cuerpo de enfriamiento y un método para producir un cuerpo de enfriamiento para enfriar componentes eléctricos y/o electrónicos. En particular, el alojamiento enfriado por convección de acuerdo con WO 2014/206578 A2 comprende una pluralidad de aberturas en el lado superior del alojamiento, y un cuerpo de enfriamiento que comprende al menos una lámina, dispuesta de tal manera, en el lado superior del alojamiento, con respecto a la pluralidad de aberturas de tal manera que un flujo de aire que pasa a través del alojamiento se dirige directamente a la lámina que está dispuesta arriba.

US 7,289,327 B2 se refiere a métodos y aparatos de enfriamiento activo para módulos. En particular, US 7,289,327 B2 describe un módulo de circuito que incluye un sistema para reducir la variación térmica y enfriar el módulo de circuito. Dicho módulo de circuito incluye un sustrato rígido térmicamente conductor que tiene un primer y un segundo lados laterales, un borde y un componente de enfriamiento integrado. El componente de enfriamiento integrado reduce la variación térmica y enfría el módulo de circuito. Los circuitos flexibles poblados con una pluralidad de IC y que exhiben una instalación conectiva que comprende contactos plurales para su uso con un conector de borde se envuelven alrededor del borde del sustrato térmicamente conductor. El calor de la pluralidad de IC es térmicamente conducido por el sustrato térmicamente conductor al componente de enfriamiento integrado.

US 9,161,478 B2 se refiere a un aparato y un método para un disipador de calor de antena activo. En particular, US 9,161,478 B2 enseña que la disipación de calor en configuraciones de dispositivos anfitriones dispuestos verticalmente se puede mejorar mediante la inclusión de disipadores de calor que tienen arquitecturas de aletas de corriente dividida. La arquitectura de aletas de corriente dividida incluye dos o más conjuntos de aletas en ángulo separadas por un conducto central, lo que permite una entrada y/o expulsión más eficiente del aire de enfriamiento por convección sobre el disipador de calor. La disposición de aletas de corriente dividida puede incluir aletas inclinadas hacia adentro para aspirar aire de enfriamiento por convección hacia adentro desde las entradas horizontales, en cuyo caso el escape caliente se expulsa a través del conducto central. Por el contrario, la disposición de aletas de corriente dividida puede incluir aletas en ángulo hacia afuera, que extraen el aire de enfriamiento por convección del conducto central y expulsan el aire caliente a través de los escapes horizontales. Las disposiciones de aletas de flujo dividido funcionan bien cuando los dispositivos huésped se configuran horizontalmente, lo que permite configuraciones de dispositivos huésped más flexibles.

Finalmente, US 2009/231197 A1 describe una antena de formación de haz digital y una matriz de enlace de datos relacionada, en donde esta última incluye elementos de matriz de transmisión y elementos de matriz de recepción. Cada uno de los elementos de la matriz incluye un procesador. Las funciones de modulación y demodulación se realizan en los procesadores de cada elemento de la matriz. Las funciones de modulación y demodulación utilizan desplazamientos de tiempo de recepción y desplazamientos de fase, y transmiten desplazamientos de tiempo y desplazamientos de fase, respectivamente. Los desplazamientos de tiempo de recepción y los desplazamientos de fase, y los desplazamientos de tiempo de transmisión y los desplazamientos de fase son determinados por una unidad central de procesamiento con el fin de formar el haz de las señales recibidas y las señales transmitidas, respectivamente. Los elementos de matriz están dispuestos en cadena para facilitar la comunicación de parámetros de control, la comunicación de bits a transmitir y la combinación distribuida de muestras de banda base demoduladas de un elemento de matriz a otro y la comunicación de las muestras combinadas a la unidad central de procesamiento.

Objeto y breve descripción de la invención

En vista de lo anterior, el Solicitante ha sentido la necesidad de llevar a cabo un estudio en profundidad con el fin de desarrollar una arquitectura innovadora para los sistemas AESA (en particular, para AESA planos o cuasi planos), centrándose en la mejora de la eficiencia energética, la reducción de los requisitos de potencia, la gestión térmica basada en el enfriamiento por aire, la reducción del espesor y el peso de AESA para aumentar la viabilidad de la instalación, la facilidad de prueba y calibración, la simplificación del control de AESA y la modularidad y flexibilidad de la arquitectura, llegando así a la presente invención.

Por lo tanto, el objeto de la presente invención es el de proporcionar una solución arquitectónica de bajo costo para sistemas AESA planos o cuasi planos, que proporcione un alto rendimiento como soluciones AESA planos o cuasi planos tradicionales y que, además, permita también:

la mejora de la eficiencia energética y reducción de los requisitos de potencia;
gestión térmica basada en el enfriamiento por aire;
reducción de espesor y peso AESA para aumentar la viabilidad de la instalación;
facilidad de prueba y calibración;
simplificación del control AESA; y
modularidad y flexibilidad de la arquitectura.

Este y otros objetos se logran mediante la presente invención en lo que se refiere a una Antena Activa Dirigible Electrónicamente (AESA), como se define en las reivindicaciones adjuntas.

En particular, la AESA de acuerdo con la presente invención incluye una matriz radiante plana o cuasi plana configurada para transmitir y/o recibir señales de radiofrecuencia o microondas, y una pluralidad de módulos tridimensionales en forma de U, cada uno dispuesto detrás, y acoplado a, una respectiva submatriz radiante plana o cuasi plana de N elementos radiantes dispuestos en dos filas o columnas, cada uno de $N/2$ elementos radiantes, siendo N un número entero par.

Cada módulo tridimensional en forma de U comprende:

una pared de base respectiva;
dos paredes laterales respectivas que son
dispuestas ortogonalmente con respecto a la pared de base respectiva para formar con ella una estructura tridimensional en forma de U respectiva, y
dispuestas, cada una, detrás de una fila o columna respectiva de $N/2$ elementos radiantes de la respectiva subagrupación radiante plana o cuasi plana; y
electrónica de transmisión y/o recepción respectiva distribuida en dicha base y paredes laterales respectivas y configurada para implementar N módulos de transmisión y/o recepción respectivos;

Además, para cada módulo tridimensional en forma de U, la electrónica de transmisión y/o recepción respectiva incluye:

para cada pared lateral respectiva, $N/2$ módulos frontales de transmisión y/o recepción respectivos que son
montados en dicha pared lateral respectiva,
acoplados a los $N/2$ elementos radiantes de la respectiva fila o columna de la respectiva subagrupación radiante plana o cuasi plana, y
configurados para implementar amplificadores de potencia, amplificadores de bajo ruido e interruptores o circuladores; y
electrónica de pared de base respectiva montada en la pared de base respectiva, conectada a los N módulos frontales de transmisión y/o recepción respectivos y configurada para llevar a cabo funciones de dirección del haz que incluyen desplazamiento de fase de la señal y funciones de atenuación y/o amplificación.

Breve descripción de los dibujos

Para una mejor comprensión de la presente invención, las realizaciones preferidas, que se pretenden puramente a modo de ejemplos no taxativos, se describirán ahora con referencia a los dibujos adjuntos (todos no a escala), en donde:

Las Figuras 1a) y 1b) esbozan respectivamente una arquitectura AESA tradicional en una configuración despiezada, y una arquitectura de ensamblaje de tablón tradicional en una configuración ensamblada;

La Figura 2 esboza un diseño de módulo T/R tradicional;

5 Las Figuras 3a) y 3b) esbozan un primer módulo 3D en forma de U de acuerdo con una realización ilustrativa de la presente invención;

Las Figuras 4a) y 4b) dibujan respectivamente un segundo módulo 3D en forma de U y un AESA correspondiente basado en el mismo, de acuerdo con una realización ejemplar de la presente invención;

10 Las Figuras 5a) y 5b) dibujan respectivamente un tercer módulo 3D en forma de U y un AESA correspondiente basado en el mismo, de acuerdo con una realización ejemplar de la presente invención;

La Figura 6 muestra un ejemplo adicional de AESA de acuerdo con una realización ilustrativa de la presente invención;

Las Figuras 7a y 7b ilustran respectivamente una arquitectura de módulo 3D en forma de U en una configuración despiezada y en una configuración ensamblada, de acuerdo con una realización ejemplar de la presente invención, mientras que las Figuras 7c y 7d muestran respectivamente vistas superior e inferior de la misma;

15 Las Figuras 8a y 8b bosquejan un ejemplo de implementación de componentes electrónicos en la arquitectura de módulos en forma de U 3D de las Figuras 7a, 7b, 7c y 7d;

La Figura 9 ilustra esquemáticamente un ejemplo de diseño de módulo frontal Tx/Rx integrado que se puede explotar ventajosamente para implementar la electrónica frontal Tx/Rx de un módulo 3D en forma de U de acuerdo con una realización ilustrativa de la presente invención;

20 La Figura 10 representa un ejemplo de arquitectura AESA que utiliza módulos 3D en forma de U de acuerdo con una realización ilustrativa de la presente invención;

La Figura 11 muestra un ejemplo de dos módulos 3D en forma de U dispuestos uno al lado del otro de acuerdo con una realización ilustrativa de la presente invención;

25 Las Figuras 12, 13a) y 13b) muestran los resultados de un primer análisis térmico realizado en una antena AESA plana que incluye módulos 3D en forma de U;

La Figura 14 muestra los resultados de un segundo análisis térmico realizado en una antena AESA plana que incluye módulos 3D en forma de U;

Las Figuras 15 y 16 bosquejan dos formas alternativas de forzar el flujo de aire a través de una AESA que incluye módulos 3D en forma de U;

30 Las Figuras 17a) y 17b) muestran los resultados de un tercer análisis térmico realizado en una antena AESA plana que incluye módulos 3D en forma de U; y

Las Figuras 18a) y 18b) esbozan ejemplos de posibles combinaciones de módulos 3D en forma de U para obtener antenas con diferentes formas/tamaños.

35 Descripción detallada de la invención

La siguiente descripción se presenta para permitir que un experto en la técnica realice y use la invención. Diversas modificaciones a las realizaciones serán fácilmente evidentes para los expertos en la técnica, sin apartarse del alcance de la presente invención como se reivindica. Por lo tanto, la presente invención no pretende limitarse a las realizaciones mostradas y descritas, sino que se le debe otorgar el alcance más amplio de protección consistente con las características definidas en las reivindicaciones adjuntas.

45 La presente invención se refiere a una arquitectura innovadora para módulos de transmisión y/o recepción (T/R) de AESA planas o cuasi planas (convenientemente, de AESA planas/cuasi planas completamente pobladas), que permite lograr, entre otras cosas, una reducción en las dimensiones generales de AESA y una optimización del requisito de enfriamiento.

En particular, dicha arquitectura innovadora se basa en una estructura modular tridimensional (3D) en forma de U que incluye una pared base y dos paredes laterales, preferentemente una placa de circuito impreso (PCB) base y dos PCB laterales, en donde:

50 todos los componentes electrónicos de una pluralidad de módulos T/R se distribuyen en dicha base y paredes laterales (preferentemente, en dicha base y PCB laterales); y

dichas tres paredes (preferentemente, dichas tres PCB) están convenientemente encerradas y montadas en estructuras metálicas diseñadas para facilitar el intercambio de calor y el enfriamiento.

55 Por lo tanto, se puede lograr una AESA plana o cuasi plana general agrupando un número adecuado de módulos 3D en forma de U, dispuestos uno al lado del otro, de acuerdo con las características de AESA requeridas en términos de forma y número de elementos radiantes.

60 En otras palabras, la arquitectura innovadora de acuerdo con la presente invención se basa en una distribución 3D de los componentes electrónicos requeridos (es decir, de los módulos T/R y, convenientemente, también de otros componentes electrónicos) para implementar las funciones de frontales, amplificación y dirección de haz de transmisión y/o recepción (Tx/Rx) de un AESA, en donde los módulos 3D en forma de U se utilizan como bloques de construcción básicos para hacer un AESA plano o cuasi plano.

65 La presente invención ha sido concebida para mitigar algunos de los principales problemas que afectan a la tecnología

tradicional AESA cuando se requiere un alto rendimiento, es decir:

uso de enfriamiento por líquido, alta fuente de alimentación y alto peso; y alto espesor y fuerte impacto en la forma e instalación de la aeronave.

De hecho, como se explicó anteriormente, para algunas aplicaciones, estos problemas relacionados con la tecnología AESA tradicional pueden representar una fuerte limitación en términos de viabilidad de la instalación.

Por el contrario, la innovadora distribución 3D de los componentes de los módulos T/R de acuerdo con la presente invención (según la cual todos los componentes electrónicos de estado sólido se montan convenientemente en PCB dispuestos para formar una estructura en forma de U) permite una implementación asequible de las tareas de dirección de haz, amplificación y dirección frontal de un AESA plano o cuasi plano, con menor espesor, menores costos y peso, y requisitos de enfriamiento relajados.

Para una mejor comprensión de la presente invención, las Figuras 3a) y 3b) esbozan un primer módulo 3D en forma de U (denotado en su conjunto por 1) de acuerdo con una realización ejemplar de la presente invención.

En particular, el primer módulo en forma de U en 3D 1 se alarga en una dirección longitudinal que es ortogonal a los planos paralelos en los que se define/se encuentra su forma de U.

Más específicamente, la Figura 3a) es una vista esquemática en sección transversal de dicho primer módulo en forma de U en 3D 1 en un plano en el que se define/se encuentra su forma de U (es decir, ortogonalmente a su dimensión longitudinal), en donde dicho primer módulo en forma de U en 3D 1:

incluye una PCB base 11 y dos PCB laterales 12, 13 dispuestas ortogonalmente con respecto a la PCB base 11 para formar con ella una estructura en forma de U 3D alargada en dicha dirección longitudinal; y está diseñado para implementar ocho módulos T/R cuyos componentes electrónicos se distribuyen entre la base y los PCB laterales 11, 12, 13.

Adicionalmente, la Figura 3b) esboza un ejemplo de distribución de los componentes electrónicos de los ocho módulos T/R del primer módulo 3D en forma de U 1 en dichas PCB base y laterales 11, 12, 13. En particular, dos chips de núcleo 110 se instalan/montan en la PCB base 11 y se conectan a la electrónica frontal de transmisión y/o recepción (Tx/Rx) instalada/montada en las PCB laterales 12, 13 para accionar dicha electrónica frontal Tx/Rx. Más específicamente, dichos dos chips de núcleo 110 están configurados convenientemente para llevar a cabo el desplazamiento de fase de la señal, la atenuación y/o la amplificación, la conmutación y la división y/o la combinación, mientras que la electrónica frontal Tx/Rx está configurada convenientemente para realizar la amplificación de potencia en la transmisión (Tx), la amplificación de bajo ruido en la recepción (Rx) y la conmutación Tx/Rx. En detalle, la electrónica frontal de Tx/Rx incluye, para cada una de las dos PCB laterales 12, 13, cuatro amplificadores de potencia (PA) respectivos 121, 131, cuatro amplificadores de bajo ruido (LNA) respectivos 122, 132 y cuatro interruptores o circuladores de Tx/Rx respectivos 123, 133, por lo que cada una de las dos PCB laterales 12, 13 está diseñada para acoplarse a, y para accionar, cuatro elementos respectivos de transmisión y recepción de RF (es decir, elementos radiantes) de la AESA. Preferentemente, las dos PCB laterales 12, 13 están separadas por una distancia de alrededor de $\lambda/2$, donde λ indica la longitud de onda de funcionamiento.

Para hacer una AESA general, el número y el tamaño de los módulos 3D en forma de U empleados dependen de la dimensión requerida de dicha AESA general, es decir, del número requerido de módulos T/R. De hecho, cada módulo 3D en forma de U incluye un número N del número total de TRM en la AESA. Debido a la disposición en forma de U, el Tx/Rx frontal de los N TRM se divide entre las dos paredes laterales del módulo 3D en forma de U. Cuando se orienta a lo largo de una dirección horizontal, el módulo 3D en forma de U se puede ver como una pequeña AESA que incluye dos filas y $N/2$ columnas, en donde N puede ser el número de los TRM requeridos de la AESA, o un submúltiplo de los mismos. Por lo tanto, las dimensiones totales de AESA se pueden lograr agrupando un número adecuado de los mismos módulos básicos en forma de U en 3D dispuestos uno al lado del otro en la dirección vertical. A este respecto, la Figura 4a) bosqueja un segundo módulo en forma de U en 3D 2 de acuerdo con una realización ejemplar de la presente invención, en donde dicho segundo módulo en forma de U en 3D 2 implementa 24 TRM dispuestos en 2 filas y 12 columnas. Además, la Figura 4b) bosqueja un ejemplo de AESA (denotado en su conjunto por 20) que incluye tres o más segundos módulos en forma de U en 3D 2 (para un total de 72 o más TRM) dispuestos uno al lado del otro en la dirección vertical.

Del mismo modo, un módulo 3D en forma de U se puede ver como una pequeña AESA de $N/2$ filas y dos columnas y, por lo tanto, de acuerdo con la necesidad, se puede lograr una AESA agrupando un número adecuado de los mismos módulos básicos 3D en forma de U dispuestos uno al lado del otro en la dirección horizontal. A este respecto, la Figura 5a) bosqueja un tercer módulo 3D en forma de U 3 de acuerdo con una realización ejemplar de la presente invención, en donde dicho tercer módulo 3D en forma de U 3 implementa 24 TRM dispuestos en 12 filas y 2 columnas. Además, la Figura 5b) esboza un ejemplo de AESA (denotado en su conjunto por 30) que incluye tres o más terceros módulos en forma de U en 3D 3 (para un total de 72 o más TRM) dispuestos uno al lado del otro en la dirección horizontal.

Obviamente, también se puede lograr una AESA agrupando convenientemente un número adecuado de los mismos módulos básicos en forma de U en 3D dispuestos uno al lado del otro a lo largo de las direcciones vertical y horizontal. A este respecto, la Figura 6 muestra un ejemplo adicional de AESA (denotado en su conjunto por 40) que incluye una pluralidad de los mismos módulos básicos en forma de U en 3D dispuestos uno al lado del otro a lo largo de las direcciones vertical y horizontal, de acuerdo con una realización ejemplar de la presente invención.

El uso de módulos 3D básicos en forma de U para formar una AESA aporta importantes beneficios en términos de simplificación del diseño, fabricación, pruebas y validación, además de contribuir a una reducción general de los costes de desarrollo y producción.

Por lo tanto, como se explicó anteriormente, la presente invención se refiere a una arquitectura 3D innovadora para agrupar y distribuir los componentes de los TRM que se utilizarán en antenas AESA compactas y enfriadas por aire para encajar todos los componentes de estado sólido en una red de un AESA completamente poblada, montando los componentes (preferentemente, COTS empaquetados, es decir, componentes disponibles comercialmente o disponibles comercialmente) en tres PCB diferentes y disponiéndolos en una estructura en forma de U, como, por ejemplo, se ilustra esquemáticamente en las Figuras 3a) y 3b).

Convenientemente, los tres PCB independientes están interconectados en el área frontal y soportados por una estructura metálica específica que garantiza un flujo de aire eficiente a través de los módulos T/R, para facilitar el intercambio de calor y el enfriamiento. También se puede utilizar convenientemente un perfil de aleta para mejorar la eficiencia de enfriamiento.

La Figura 7a representa una arquitectura de módulo en forma de U 3D más detallada en una configuración despiezada, de acuerdo con una realización ejemplar de la presente invención.

En particular, la Figura 7a muestra un cuarto módulo en forma de U en 3D 5 que se alarga en una dirección longitudinal que es ortogonal a los planos paralelos en los que se define/se encuentra su forma de U, y que incluye:

dos PCB laterales longitudinalmente alargadas 51 equipadas con electrónica frontal Tx/Rx (por ejemplo, PA, LNA y circuladores o interruptores) para llevar a cabo funciones frontales Tx/Rx;
una PCB de base longitudinalmente alargada equipada con chips de núcleo configurados para llevar a cabo el desplazamiento de fase de la señal, la atenuación y/o la amplificación, la conmutación y la división y/o la combinación, y
un controlador de PCB 52 conectado a través de un conector 53 a
un controlador principal AESA (no mostrado en la Figura 7a), para un control distribuido de los TRM y una simplificación general de las interfaces del controlador principal AESA (convenientemente, también se podría usar una pluralidad de controladores de PCB para cada módulo en forma de U, dependiendo del tamaño);
dos soportes mecánicos laterales longitudinalmente alargados 54 (preferentemente, dos soportes mecánicos laterales metálicos 54) dispuestos/montados externamente a las PCB laterales 51 y equipados, preferentemente, con disipadores de calor;
un soporte mecánico central alargado longitudinalmente en forma de U 55 (preferentemente, un soporte mecánico central metálico en forma de U 55) que está dispuesto/montado en/sobre la PCB de base entre las PCB laterales 51 y está equipado con un paso de aire alargado longitudinalmente (o canal) 551 para el tránsito de aire y, por lo tanto, para el enfriamiento por aire de la PCB de base y su electrónica, y de las PCB laterales 51 y su electrónica frontal Tx/Rx; y
un soporte mecánico inferior 56 alargado longitudinalmente (preferentemente, un soporte mecánico inferior metálico 56) sobre el cual se dispone/monta la PCB base.

La Figura 7b representa la configuración ensamblada del cuarto módulo 3D en forma de U 5, en donde la PCB de base está montada en el soporte mecánico inferior 56, el soporte mecánico central en forma de U 55 está montado en/sobre la PCB de base e interpuesto entre las PCB laterales 51 (en particular, entre las superficies superior/frontal de las mismas en las que se instala/monta la electrónica frontal Tx/Rx), y los dos soportes mecánicos laterales 54 están montados externamente a las PCB laterales 51 (en particular, cada uno en una superficie inferior/posterior de una PCB lateral respectiva 51), por lo que la estructura 3D en forma de U formada por la PCB de base y las PCB laterales 51 está encerrada en una estructura metálica 3D en forma de U formada por el soporte mecánico inferior 56 y los soportes mecánicos laterales 54.

Además, las Figuras 7c y 7d muestran respectivamente una vista superior y una vista inferior del cuarto módulo en forma de U en 3D 5, en donde:

como se muestra en la Figura 7c, el pasaje de aire 551 está cerrado en la parte superior por un elemento metálico alargado longitudinalmente 501;
veinticuatro elementos radiantes 502 se muestran en la Figura 7c (y también en la Figura 7b), que están conectados a la electrónica frontal Tx/Rx en las PCB laterales 51; y
seis puertos de división/combinación de entrada/salida 503 se muestran en la Figura 7d, que están conectados a los chips de núcleo de la PCB base, preferentemente a seis chips de núcleo correspondientes, cada uno diseñado para accionar cuatro elementos radiantes respectivos 502.

En este sentido, la Figura 8a representa un ejemplo de implementación de los componentes electrónicos instalados/montados en las dos PCB laterales 51 y en la PCB base del cuarto módulo 3D en forma de U 5, en donde:

la electrónica frontal Tx/Rx (incluidos PA, LNA y circuladores o interruptores) en las PCB laterales 51 se implementa por medio de componentes discretos; y
los chips de núcleo en la PCB base (en la Figura 8a indicados en su conjunto por 57) se implementan por medio de chips de cuatro núcleos altamente integrados (o IC), cada uno de los cuales está configurado para controlar cuatro elementos radiantes 502 y para implementar desplazamiento de fase, atenuación de señal y/o preamplificación, conmutación Tx/Rx, distribución de señal de uno a cuatro (durante la fase Tx) y formación de haz de cuatro a uno (durante la fase RX).

Además:

uno de los chips de cuatro núcleos (indicado por 58) instalado/montado en la PCB base 57 también se ilustra esquemáticamente en la parte inferior izquierda de la Figura 8a, en donde dicho IC de cuatro núcleos 58 está provisto de una única interfaz (I/F) y controla cuatro módulos frontales Tx/Rx respectivos 59 (cada uno incluye un PA respectivo, un LNA respectivo y un interruptor/circulador respectivo implementado por medio de componentes discretos) instalado/montado en las PCB laterales 51;

un diseño principal de los chips de cuatro núcleos 58 también se bosqueja en la Figura 8b; y
una imagen ampliada de la electrónica frontal Tx/Rx (es decir, de los módulos frontales Tx/Rx 59) instalada/montada en una de las PCB laterales 51 también se proporciona en la parte inferior derecha de la Figura 8a.

Con referencia a la arquitectura de implementación electrónica representada en las Figuras 8a y 8b y descrita anteriormente, vale la pena señalar que:

cada módulo de extremo frontal Tx/Rx 59 puede controlarse individualmente mediante el respectivo chip de cuatro núcleos 58;
hoy en día, los circuitos integrados empaquetados de cuatro núcleos están ampliamente disponibles en el mercado y pueden ser una solución muy adecuada para la presente invención; y
componentes empaquetados permiten una fácil instalación y prueba en las PCB.

Como alternativa al uso de chips, también la electrónica de PCB de base podría implementarse convenientemente por medio de componentes discretos, lo que da como resultado una mayor anchura de la PCB de base (aproximadamente comparable a la anchura del controlador de PCB 52) que, sin embargo, todavía asegura la separación $\lambda/2$ entre las PCB laterales.

Además, como alternativa a la implementación de la electrónica frontal Tx/Rx por medio de componentes discretos, los módulos frontales Tx/Rx integrados se pueden utilizar convenientemente, combinando múltiples funciones en un solo paquete, con el fin de reducir los costos y la complejidad del diseño, reducir aún más las huellas de PCB y minimizar el grosor. En este sentido, la Figura 9 ilustra esquemáticamente un ejemplo de diseño de módulo frontal Tx/Rx integrado que se puede explotar ventajosamente para implementar la electrónica frontal Tx/Rx de un módulo 3D en forma de U.

En particular, la Figura 9 bosqueja un módulo de frontal Tx/Rx integrado (denotado en su conjunto por 6) que incluye:

un primer puerto 61 diseñado para actuar como entrada de Tx, es decir, para recibir, desde la electrónica de PCB base (no mostrada en la Figura 9), señales de RF a transmitir;
un PA 62 conectado al primer puerto 61 y configurado para aplicar amplificación de potencia a las señales de RF a transmitir;
un LNA 63 configurado para aplicar amplificación de bajo ruido a las señales de RF entrantes;
un segundo puerto 64 conectado al LNA 63 y diseñado para actuar como salida Rx, a saber, para proporcionar a la electrónica PCT base las señales RF entrantes amplificadas por el LNA 63;
un tercer puerto 65 diseñado para proporcionar un elemento radiante (no mostrado en la Figura 9) con las señales de RF a transmitir amplificadas por el PA 62, y
recibir, desde el elemento radiante, las señales de RF entrantes recibidas por este último; y
un interruptor 66 operable para conectar selectivamente el tercer puerto 65 al PA 62 o al LNA 63.

Gracias al uso de módulos frontales Tx/Rx integrados, se puede reducir la altura de las paredes laterales (es decir, las PCB laterales), logrando así una reducción de espesor correspondiente para los módulos 3D en forma de U.

La Figura 10 representa un ejemplo de arquitectura AESA que utiliza módulos 3D en forma de U de acuerdo con una realización ejemplar de la presente invención. En particular, la Figura 10 es una vista despiezada de una AESA (denotado como un todo por 7) que incluye:

una placa radiante 71 que está configurada para realizar funciones de radiación de RF y recepción de eco y que está acoplada con una antena de protección 72;
un conjunto de módulos T/R en forma de U en 3D 73 acoplados con la placa radiante 71 a través de una interfaz de

conectores de RF 74;

una placa combinadora/divisora de RF 75 acoplada con los módulos T/R en forma de U en 3D 73 y configurada para señales de RF divididas que se transmitirán para alimentar dichos módulos T/R en forma de U en 3D 73 en transmisión, y

5 combinar señales de RF procedentes de dichos módulos T/R en forma de U en 3D 73 en la recepción; y
un controlador principal AESA y una placa DC-DC (denotada en su conjunto por 76) junto con un controlador T/R y conectores de módulos (denotados en su conjunto por 77) y con un disipador de calor 78.

La arquitectura AESA que se muestra en la Figura 10 representa una solución asequible y escalable para las AESA planas.

10

El uso de la arquitectura del módulo 3D en forma de U de acuerdo con la presente invención proporciona muchos beneficios (en particular, en términos de enfriamiento por aire extremadamente eficiente, reducción del espesor de AESA, reducción de pérdidas en los elementos radiantes, facilidad de prueba, simplificación del control de AESA, flexibilidad de la arquitectura y posibilidad de operaciones multipolarimétricas), como se explicará en detalle a continuación.

15

En particular, la arquitectura de módulo 3D en forma de U de acuerdo con la presente invención facilita el intercambio de calor y soporta un enfriamiento de aire eficiente, con el aire fluyendo a través del módulo 3D en forma de U y, en el caso de múltiples módulos 3D en forma de U combinados para formar una AESA, también en la región entre dos módulos 3D adyacentes en forma de U con perfiles de aleta. De esta manera, todos las PCB se enfrían por ambos lados y no es necesario ningún líquido.

20

En este sentido, la Figura 11 representa un ejemplo de dos módulos 3D en forma de U (en particular, un primer módulo 3D en forma de U indicado en su conjunto por 81 y un segundo módulo 3D en forma de U indicado en su conjunto por 82) dispuestos uno al lado del otro, en donde:

25

un primer pasaje de aire 83 (en forma de un canal rectangular) está ubicado entre las PCB laterales y sobre la PCB base del primer módulo 3D en forma de U 81;

un segundo pasaje de aire 84 (en forma de un canal rectangular) está ubicado entre las PCB laterales y sobre la PCB base del segundo módulo en forma de U en 3D 82;

30

primeras aletas (indicadas en su conjunto por 85) están dispuestas entre las PCB laterales adyacentes del primer y segundo módulos en forma de U en 3D 81, 82, mientras que las segundas aletas (indicadas en su conjunto por 86) están dispuestas externamente a las otras PCB laterales del primer y segundo módulos en forma de U en 3D 81, 82.

De esta manera, el aire puede fluir a través del primer pasaje de aire 83, el segundo pasaje de aire 84 y la primera y segunda aletas 85, 86, por lo que las PCB laterales se enfrían en ambos lados.

35

El enfriamiento por aire eficiente también permite el uso de amplificadores de alta potencia (por ejemplo, se ha demostrado que el uso de amplificadores de potencia de hasta 20 W de potencia de salida cada uno es factible, en contraste con las matrices totalmente planas tradicionales) y aumenta el rendimiento de la antena manteniendo el tamaño pequeño de la antena.

40

Con el fin de demostrar los méritos de la presente invención en términos de eficiencia de enfriamiento de aire, a continuación, se informarán los resultados de diferentes análisis térmicos realizados por el Solicitante para diferentes tamaños de antena y diferentes requisitos de gestión de energía.

45

En particular, las Figuras 12, 13a) y 13b) muestran los resultados de un primer análisis térmico realizado en una antena AESA plana que incluye módulos 3D en forma de U que implementan 144 TRM y equipados con amplificadores de potencia máxima de 10 W. Dicho primer análisis térmico se realizó bajo las siguientes condiciones:

Caudal volumétrico total = 55 L/s;

50

Temperatura del aire de entrada = 25 °C;

Presión relativa = 250 Pa;

Ciclo de trabajo Tx/Rx (DC) = 10 %;

Potencia transmitida = 144 W al 10 % de CC (pico de 1440 W);

Disipación de potencia = 529 W al 10 % de CC;

55

Absorción de potencia = 673 W al 10 % CC.

Más específicamente, la Figura 12 muestra:

en la parte superior, un mapa térmico de la mecánica externa de la antena; y,

en la parte inferior, mapas térmicos de los puntos de acceso de los PCB.

60

Para una mejor comprensión de la Figura 12, en el mapa térmico inferior de los puntos calientes de las PCB laterales (o laterales), el número de referencia 91 denota los interruptores/circuladores, el número de referencia 92 denota los amplificadores de potencia máxima de 10 W, el número de referencia 93 denota los LNA y el número de referencia 94 denota los preamplificadores; además, en el mapa térmico inferior de los puntos calientes de las PCB de base (o centrales), el número de referencia 95 denota los chips de núcleo.

65

En lo que respecta al mapa térmico de los puntos calientes de los PCB laterales (o laterales), vale la pena señalar que

los amplificadores de potencia máxima de 10 W 92 alcanzan las temperaturas más altas, mientras que las temperaturas alcanzadas por los otros componentes (es decir, los interruptores/circuladores 91, los LNA 93 y los preamplificadores 94) son notablemente más bajas.

5 En cambio, en lo que respecta al mapa térmico de los puntos calientes de la PCB de base (o central), vale la pena señalar que todos los chips de núcleo 95 operan sustancialmente a una y la misma temperatura. Esta característica representa una ventaja técnica importante de la presente invención. De hecho, como se explicó anteriormente, los chips de núcleo en la PCB base realizan, entre varias funciones, también un desplazamiento de fase de señal. Como se sabe, los desplazadores de fase son altamente sensibles a la temperatura y, por lo tanto, el diseño tradicional de la antena AESA típicamente tiene que tener en cuenta y compensar los desplazamientos de fase debido a las diferentes temperaturas de funcionamiento de los desplazadores de fase. Por el contrario, la presente invención permite que los chips de núcleo (y, por lo tanto, los desplazadores de fase) funcionen a una y la misma temperatura, por lo que ya no es necesario tener en cuenta las compensaciones de desplazamiento de fase relacionadas con las diferentes temperaturas de funcionamiento de los desplazadores de fase.

15 En cuanto a las Figuras 13a) y 13b), la primera muestra la velocidad del aire de salida, mientras que la segunda muestra la temperatura del aire de salida.

20 Además, la Figura 14 muestra los resultados de un segundo análisis térmico realizado en una antena AESA plana que incluye módulos 3D en forma de U que implementan 704 TRM y están equipados con amplificadores de potencia máxima nominal de 4.5W. Dicho segundo análisis térmico se realizó bajo las siguientes condiciones:

Caudal volumétrico total = 68 L/s;
 Temperatura del aire de entrada = 25 °C;
 25 Ciclo de trabajo Tx/Rx (DC) = 10 %;
 Potencia Radiada Neta = 260 W al 10 % de CC (pico neto de 2600 W considerando una pérdida de 0,85 dB después de la potencia máxima nominal de Tx de 3168 W);
 Absorción de potencia = 1340 W al 10 % CC.

30 En particular, la Figura 14 muestra un mapa térmico de la mecánica externa de la antena.

El aire puede ser forzado a fluir en una y la misma dirección a través de cualquier módulo 3D en forma de U como en los ejemplos reportados en las Figuras 12, 13a), 13b) y 14, o en direcciones alternas, una hacia adelante y otra hacia atrás, entre dos secciones adyacentes, según sea conveniente. En este sentido, vale la pena señalar que esta segunda forma de forzar que el aire fluya a través de los módulos 3D en forma de U (es decir, en direcciones alternas) puede ser preferible cuando la AESA incluye una gran cantidad de módulos 3D en forma de U alineados a lo largo de una dimensión particular (por ejemplo, antenas grandes para misiones de vigilancia), como se informa en el ejemplo que se muestra en las Figuras 15 y 16, donde, en una antena AESA grande ejemplar 100 que incluye módulos 3D en forma de U, el aire puede ser forzado a fluir a través de los módulos 3D en forma de U por cámaras impelentes desde uno y el mismo lado (Figura 15), o desde lados opuestos (Figura 16).

45 Además, las Figuras 17a) y 17b) muestran los resultados de un tercer análisis térmico realizado en una antena AESA plana que incluye módulos 3D en forma de U que implementan 432 TRM, equipados con amplificadores de potencia máxima de 7 W y que operan a un ciclo de trabajo (CC) de 100, con aire forzado a fluir en direcciones opuestas a través de los módulos 3D en forma de U. En particular, la Figura 17a) esboza el diseño de enfriamiento por aire de dicha antena AESA plana (denotada en su conjunto por 200), mientras que la Figura 17b) muestra un mapa térmico correspondiente de la mecánica externa de la antena.

50 Gracias al uso de la presente invención, la dimensión de las antenas AESA se reduce notablemente, aumentando la viabilidad de instalación en un gran número de plataformas aerotransportadas, incluidos los vehículos aéreos no tripulados (UAV).

De hecho, la arquitectura de módulo en forma de U 3D de acuerdo con la presente invención permite ajustar todos los componentes electrónicos de un módulo T/R en la separación de red de matriz, posicionando cada TRM justo detrás del elemento radiante relevante y limitando la necesidad de expansión a lo largo de la dirección transversal, como ocurre típicamente en el caso de la arquitectura de tablón tradicional; a este respecto, se puede hacer referencia, por ejemplo, a las Figuras 1a) y 1b).

60 Por ejemplo, para el funcionamiento en banda X, el grosor de un módulo 3D en forma de U puede ser tan pequeño como 2,5 cm (o inferior), con un peso inferior a 0,5 kg. El espesor está relacionado principalmente con el valor de la potencia máxima del amplificador de potencia (PA) y la necesidad de enfriamiento. Las dimensiones escalables se pueden lograr convenientemente para el funcionamiento en diferentes bandas de frecuencia.

65 Además, como ventaja adicional de la presente invención, vale la pena señalar que, dado que el Amplificador de Alta Potencia (HPA) (que genera la señal de RF a transmitir) y el Amplificador de Bajo Ruido (LNA) (que determina la sensibilidad de recepción) de los módulos T/R están muy cerca del elemento radiante, las pérdidas en las rutas de

transmisión y recepción se reducen.

Además, cada módulo 3D en forma de U puede equiparse convenientemente con conectores de alimentación y control que pueden explotarse ventajosamente para la prueba y calibración automáticas conectando los conectores TRM a los equipos de medición de RF adecuados, logrando así una notable facilidad de prueba y calibración.

Además, se monta preferiblemente un controlador dedicado en cada módulo 3D en forma de U, asignando parte de la programación y el control de TRMS al propio módulo 3D en forma de U, a través de una matriz de puertas programables en campo (FPGA) dedicado que interactúa con el controlador principal de AESA. De esta manera, se implementa un control distribuido del funcionamiento general de AESA, simplificando las tareas del controlador principal de AESA.

La arquitectura modular de acuerdo con la presente invención permite construir antenas AESA con diferentes formas/tamaños, combinando adecuadamente los bloques de construcción básicos en forma de U 3D. Esto permite la reutilización de los mismos (o pocos) módulos para formar antenas más grandes o antenas de formas diferentes, dependiendo de la aplicación, los requisitos de rendimiento y/o las restricciones de instalación. Por ejemplo, para aplicaciones de UAV, donde el peso de la carga útil y el consumo de energía son factores limitantes graves, una antena rectangular pequeña, pero que funcione, que incluya un número limitado de elementos radiantes puede ser la solución más adecuada, mientras que las aplicaciones de combate utilizan mejor las antenas circulares para tener simetría en las direcciones azimutal y de elevación y para encajar dentro de la nariz de la aeronave; donde la aplicación solicita un mejor rendimiento, se puede lograr una antena grande agrupando un número adecuado de los módulos básicos en forma de U 3D dispuestos uno al lado del otro en la dirección longitudinal.

En este sentido, las Figuras 18a) y 18B) esbozan dos ejemplos de posibles combinaciones de módulos 3D en forma de U para obtener antenas con diferentes formas/tamaños. En particular, la Figura 18a) muestra una pequeña antena AESA rectangular 300 que incluye seis módulos 3D en forma de U 301; la Figura 18B) muestra una antena AESA circular 400 obtenida combinando módulos 3D en forma de U de diferentes tamaños, para aplicaciones de combate. La dimensión vertical de AESA se puede lograr utilizando un solo módulo 3D en forma de U con, por ejemplo, 2x24 elementos, o dos módulos 3D en forma de U con 2x12 elementos cada uno (con uno o dos controladores T/R), alineados en la dirección vertical.

Además del beneficio de flexibilidad, la arquitectura modular de acuerdo con la presente invención también simplifica la integración del sistema, lo que permite una reparación rápida y reduce los costos.

Además, también vale la pena señalar que la forma de U y la aplicación de componentes altamente integrados (es decir, módulos frontales Tx/Rx integrados, circuitos integrados de cuatro núcleos, etc.) permiten ahorrar espacio, pero garantizan la compacidad general de AESA. Como consecuencia, es posible soportar operaciones multipolarimétricas agregando (en el espacio "ahorrado") interruptores para alimentar dos elementos radiantes diferentes con diferentes polarizaciones.

En vista de lo anterior, las ventajas técnicas y las características innovadoras de la presente invención son inmediatamente evidentes para los expertos en la técnica.

En particular, es importante enfatizar el punto de que la presente invención se refiere a una innovadora arquitectura 3D en forma de U para módulos T/R de antenas AESA (en particular, AESA planas o cuasi planas) que permite ajustar todos los componentes electrónicos que realizan tareas de amplificación, Tx/Rx frontal y dirección de haz en el espacio de la cuadrícula de una AESA completamente poblada (convenientemente, con un espaciado de elementos de aproximadamente la mitad de la longitud de onda operativa).

La disposición de los componentes de estado sólido en tres PCB diferentes para formar una estructura 3D en forma de U da como resultado una tecnología AESA equivalente, pero en una configuración de bajo espesor, bajo costo, bajo volumen, alta eficiencia de enfriamiento, alto rendimiento y fácil de probar y calibrar.

En particular, la arquitectura de módulo 3D en forma de U de acuerdo con la presente invención permite reducir los costos, el tamaño y los requisitos de enfriamiento de AESA, garantizando al mismo tiempo un alto rendimiento como las arquitecturas AESA planas o cuasi planas tradicionales.

Más específicamente, el uso de los módulos 3D en forma de U de acuerdo con la presente invención para formar AESA aporta varios beneficios significativos que incluyen:

- enfriamiento por aire eficiente (incluso en caso de requisitos de alto rendimiento), lo que también permite el uso de amplificadores de alta potencia;
- configuración compacta y rentable (convenientemente, mediante el uso de componentes COTS y tecnología altamente integrada);
- la mejora de la eficiencia energética y reducción de los requisitos de potencia;
- reducción general del grosor y el peso de AESA, lo que aumenta la viabilidad de la instalación;
- modularidad y flexibilidad de la arquitectura;
- simplificación del diseño, la fabricación, las pruebas y la validación;

fácil montaje de componentes empaquetados en PCB;
fácil instalación, integración, prueba, calibración y producción en serie;
simplificación del control AESA;

5 reducción de costos de desarrollo y producción, en particular reducción de costos de desarrollo para nuevos AESA mediante la reutilización de los módulos 3D en forma de U como bloques comunes en otras antenas AESA, con diferentes tamaños y para diferentes aplicaciones; y
redujeron las pérdidas a los elementos radiantes.

10 Dado que la presente invención permite diseñar sistemas AESA de bajo costo, bajo volumen, bajo consumo de energía, enfriados por aire y de alto rendimiento, dichos sistemas AESA se pueden instalar ventajosamente a bordo de cualquier tipo de plataforma, incluso aeronaves medianas o pequeñas, con bajo impacto en la plataforma para la instalación del sistema AESA.

15 También vale la pena señalar que ninguna de las soluciones conocidas actualmente enseña, sugiere o divulga la arquitectura de módulo en forma de U 3D distintiva de acuerdo con la presente invención, o las ventajas técnicas anteriores de la misma.

20 Por ejemplo, la solución de acuerdo con US 8,937,574 B2 utiliza dos PCB paralelas: una que comprende electrónica TRM (incluidos los chips de núcleo) y la otra que comprende componentes de control y fuente de alimentación. La PCB que comprende la electrónica TRM está conectada a otra estructura paralela que aloja la red de formación de haces. Dado que la operación de AESA impone una separación máxima entre los elementos radiantes (es decir, aproximadamente la mitad de la longitud de onda de operación), la solución de acuerdo con US 8,937,574 B2 obliga a realizar un ensamblaje electrónico y mecánico en espacios muy confinados que puede hacer que dicha solución sea inviable o extremadamente crítica a medida que aumenta la frecuencia de operación.

25 Por el contrario, de acuerdo con la presente invención, dos PCB paralelas albergan la electrónica frontal Tx/Rx de los TRM, mientras que una tercera PCB ortogonal aloja los chips de núcleo para el desplazamiento de fase de la señal, la atenuación/amplificación, la conmutación y la división/combinación, junto con los medios de control del módulo. De esta manera, es extremadamente más fácil lograr el espacio entre los elementos radiantes impuestos por la operación de AESA.

30 Además, el mecanismo de enfriamiento de acuerdo con US 8,937,574 B2 es estructuralmente diferente al de acuerdo con la presente invención. De hecho, de acuerdo con US 8,937,574 B2, las unidades T/R se enfrían mediante flujos de aire secundarios que son generados por un flujo de aire principal a través de una estructura equipada con aberturas y que son ortogonales a dicho flujo de aire principal. Este mecanismo reduce la eficiencia de enfriamiento y también provoca un aumento en el espesor de AESA con respecto a la presente invención en la que el flujo de aire principal enfría directamente los componentes electrónicos sin necesidad de estructuras adicionales o flujos de aire secundarios.

35 En cambio, la solución de acuerdo con US 9,172,145 B2 está relacionada con la conocida arquitectura de baldosas AESA, en donde la baldosa básica está hecha por varias capas planas que implementan las funciones eléctricas, electrónicas, mecánicas y de RF de una AESA. Por lo tanto, a diferencia de la presente invención, esta solución arquitectónica no utiliza ninguna distribución 3D de componentes/funciones TRM en una estructura en forma de U. Además, de nuevo a diferencia de la presente invención, el mecanismo de enfriamiento de acuerdo con US 9,172,145 B2 se implementa por medio de un disipador de calor aplicado a una superficie externa de la baldosa y acoplado a través de una placa fría.

40 La solución de acuerdo con US 6,975,267 B2 y US 7,132,990 B2 es bastante similar a la de acuerdo con US 9,172,145 B2, en donde múltiples capas mutuamente paralelas de elementos de circuito se intercalan juntas contra una placa frontal de antena. Por lo tanto, también en este caso, no existe una distribución 3D de los componentes/funciones de TRM en una estructura en forma de U. Además, de acuerdo con 6,975,267 B2 y US 7,132,990 B2, el enfriamiento se logra por medio de un par de miembros disipadores de calor de aire forzado planos ubicados a cada lado de las baldosas de control de haz de matriz, por lo que dicho mecanismo de enfriamiento es completamente diferente con respecto al de acuerdo con la presente invención.

45 También la solución de acuerdo con US 8,355,255 B2 está relacionada con la de acuerdo con US 9,172,145 B2, lo que resulta en una solución arquitectónica y de enfriamiento completamente diferente con respecto a la presente invención.

50 Además, cabe señalar que también US 7,859,835 B2, EP 2 368 291 A1, US 2008/0209931 A1, WO 2016/065485 A1, US 2017/0323843 A1, WO 2014/206578 A2, US 7,289,327 B2 y US 9,161,478 B2 se refieren a soluciones arquitectónicas y de enfriamiento que son completamente diferentes con respecto a la presente invención.

55 Finalmente, también vale la pena señalar que la arquitectura de antena de acuerdo con US 2009/231197 A1 es totalmente diferente de la arquitectura AESA de acuerdo con la presente invención.

60 En conclusión, está claro que se pueden realizar numerosas modificaciones y variantes a la presente invención, todas dentro del alcance de la invención, como se define en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Antena activa dirigible electrónicamente (20, 30, 40, 7, 100, 200, 300, 400) que incluye una matriz radiante plana o cuasi plana configurada para transmitir y/o recibir señales de radiofrecuencia o microondas;
- que incluye además una pluralidad de módulos tridimensionales en forma de U (1, 2, 3, 5, 81, 82, 301), cada uno dispuesto detrás y acoplado a una respectiva subagrupación radiante plana o cuasi plana de N elementos radiantes (502) dispuestos en dos filas o columnas, cada uno de los $N/2$ elementos radiantes (502), siendo N un número entero par; en donde cada módulo tridimensional en forma de U (1, 2, 3, 5, 81, 82, 301) comprende:
- una pared de base respectiva (11, 57);
 - dos paredes laterales respectivas (12, 13, 51) que están
- dispuestas ortogonalmente con respecto a la pared de base respectiva (11, 57) para formar con ellas una estructura tridimensional en forma de U respectiva, y
 - dispuestas, cada una, detrás de una fila o columna respectiva de $N/2$ elementos radiantes (502) de la respectiva subagrupación radiante plana o cuasi plana; y
- electrónica de transmisión y/o recepción respectiva distribuida en dicha base (11, 57) y paredes laterales (12, 13, 51) respectivas y configurada para implementar N módulos de transmisión y/o recepción respectivos;
- en donde, para cada módulo tridimensional en forma de U (1, 2, 3, 5, 81, 82, 301), la electrónica de transmisión y/o recepción respectiva incluye:
- para cada pared lateral respectiva (12, 13, 51), $N/2$ módulos frontales de transmisión y/o recepción respectivos (59, 6) que están
 - montados en dicha pared lateral respectiva (12, 13, 51),
 - acoplados a los $N/2$ elementos radiantes (502) de la respectiva fila o columna de la respectiva subagrupación radiante plana o cuasi plana, y
 - configurados para implementar amplificadores de potencia (121, 131, 92), amplificadores de bajo ruido (122, 132, 93) e interruptores o circuladores (122, 132, 91); y
 - electrónica de pared de base respectiva montada en la pared de base respectiva (11, 57), conectada a los N módulos frontales de transmisión y/o recepción respectivos (59, 6) y configurada para llevar a cabo funciones de dirección de haz que incluyen desplazamiento de fase de señal y funciones de atenuación y/o amplificación.
2. La antena activa dirigible electrónicamente de la reivindicación 1, en donde la electrónica de pared de base respectiva de cada módulo tridimensional en forma de U (1, 2, 3, 5, 81, 82, 301) está configurada para llevar a cabo también funciones de conmutación y división y/o combinación de señales.
3. La antena activa dirigible electrónicamente de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en donde la electrónica de pared de base respectiva de cada módulo tridimensional en forma de U (1, 2, 3, 5, 81, 82, 301) incluye electrónica de control (52) que está configurada para controlar el funcionamiento de dicho módulo tridimensional en forma de U (1, 2, 3, 5, 81, 82, 301) y está diseñada para acoplarse a un controlador principal (76) de la antena activa dirigible electrónicamente (20, 30, 40, 7, 100, 200, 300, 400).
4. La antena activa dirigible electrónicamente de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en donde los respectivos módulos frontales de transmisión y/o recepción (59, 6) de cada módulo tridimensional en forma de U (1, 2, 3, 5, 81, 82, 301) están configurados, cada uno, para implementar un respectivo amplificador de potencia (121, 131, 92), un respectivo amplificador de bajo ruido (122, 132, 93) y un respectivo interruptor o circulador (122, 132, 91).
5. La antena activa dirigible electrónicamente de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en donde la respectiva electrónica de pared de base de cada módulo tridimensional en forma de U (1, 2, 3, 5, 81, 82, 301) se implementa por medio de una pluralidad de circuitos integrados empaquetados o chips de núcleo (110, 58, 95), cada uno conectado a los respectivos módulos frontales de transmisión y/o recepción (59, 6).
6. La antena activa dirigible electrónicamente de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-4, en donde la electrónica de pared de base respectiva de cada módulo tridimensional en forma de U (1, 2, 3, 5, 81, 82, 301) se implementa por medio de componentes electrónicos discretos.
7. La antena activa dirigible electrónicamente de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en donde los respectivos módulos frontales de transmisión y/o recepción (59, 6) de cada módulo tridimensional en forma de U (1, 2, 3, 5, 81, 82, 301) se implementan por medio de circuitos integrados empaquetados o componentes electrónicos discretos.
8. La antena activa dirigible electrónicamente de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en donde la pared de base

respectiva (11, 57) y las paredes laterales respectivas (12, 13, 51) de cada módulo tridimensional en forma de U (1, 2, 3, 5, 81, 82, 301) son placas de circuito impreso.

9. La antena activa dirigible electrónicamente de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en donde la respectiva estructura tridimensional en forma de U de cada módulo tridimensional en forma de U (1, 2, 3, 5, 81, 82, 301) está encerrada en una respectiva estructura metálica tridimensional en forma de U que incluye:

- un soporte mecánico inferior respectivo (56) en el que se monta la pared de base respectiva (11, 57); y
- dos soportes mecánicos laterales respectivos (54) montados externamente a las paredes laterales respectivas (12, 13, 51);

en donde cada módulo tridimensional en forma de U (1, 2, 3, 5, 81, 82, 301) comprende además una estructura metálica central respectiva (55) que está montada sobre o sobre la pared de base respectiva (11, 57) entre las paredes laterales respectivas (12, 13, 51) y está equipada con un pasaje de aire respectivo (551, 83, 84) para enfriar por aire dicha base respectiva (11, 57) y paredes laterales (12, 13, 51) y de la electrónica de transmisión y/o recepción respectiva.

10. La antena activa dirigible electrónicamente de la reivindicación 9, en donde la estructura tridimensional en forma de U respectiva de cada módulo tridimensional en forma de U (1, 2, 3, 5, 81, 82, 301) se alarga en una dirección longitudinal que es ortogonal a los planos en los que se define la forma de U de dicha estructura tridimensional en forma de U; y en donde, para cada módulo tridimensional en forma de U (1, 2, 3, 5, 81, 82, 301), también el soporte mecánico inferior respectivo (56), los soportes mecánicos laterales respectivos (54), la estructura metálica central respectiva (55) y el pasaje de aire respectivo (551, 83, 84) se alargan en dicha dirección longitudinal.

11. La antena activa dirigible electrónicamente de acuerdo con la reivindicación 9 o 10, en donde, para cada módulo tridimensional en forma de U (1, 2, 3, 5, 81, 82, 301), los respectivos soportes mecánicos laterales (54) están provistos de respectivas aletas (85, 86) para el enfriamiento por aire adicional de las respectivas paredes laterales (12, 13, 51) y de los respectivos módulos frontales de transmisión y/o recepción (59, 6).

12. La antena activa dirigible electrónicamente de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en donde los módulos tridimensionales en forma de U (1, 2, 3, 5, 81, 82, 301) están dispuestos uno al lado del otro a lo largo de una dirección horizontal o vertical, o ambas direcciones horizontal y vertical; y en donde dichos módulos tridimensionales en forma de U (1, 2, 3, 5, 81, 82, 301) tienen el mismo tamaño o tienen diferentes tamaños.

13. La antena activa dirigible electrónicamente (20, 30, 40, 7, 100, 200, 300, 400) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 9-11, que incluye además medios configurados para generar un flujo de aire a través del pasaje de aire respectivo (551, 83, 84) de cada módulo tridimensional en forma de U (1, 2, 3, 5, 81, 82, 301) para su enfriamiento por aire.

14. La antena activa dirigible electrónicamente de la reivindicación 13, en donde el flujo de aire se genera:

- en una misma dirección para todos los módulos tridimensionales en forma de U (1, 2, 3, 5, 81, 82, 301); o
- en dos direcciones opuestas, incluida una primera dirección para algunos de los módulos tridimensionales en forma de U (1, 2, 3, 5, 81, 82, 301) y una segunda dirección opuesta para los otros módulos tridimensionales en forma de U (1, 2, 3, 5, 81, 82, 301).

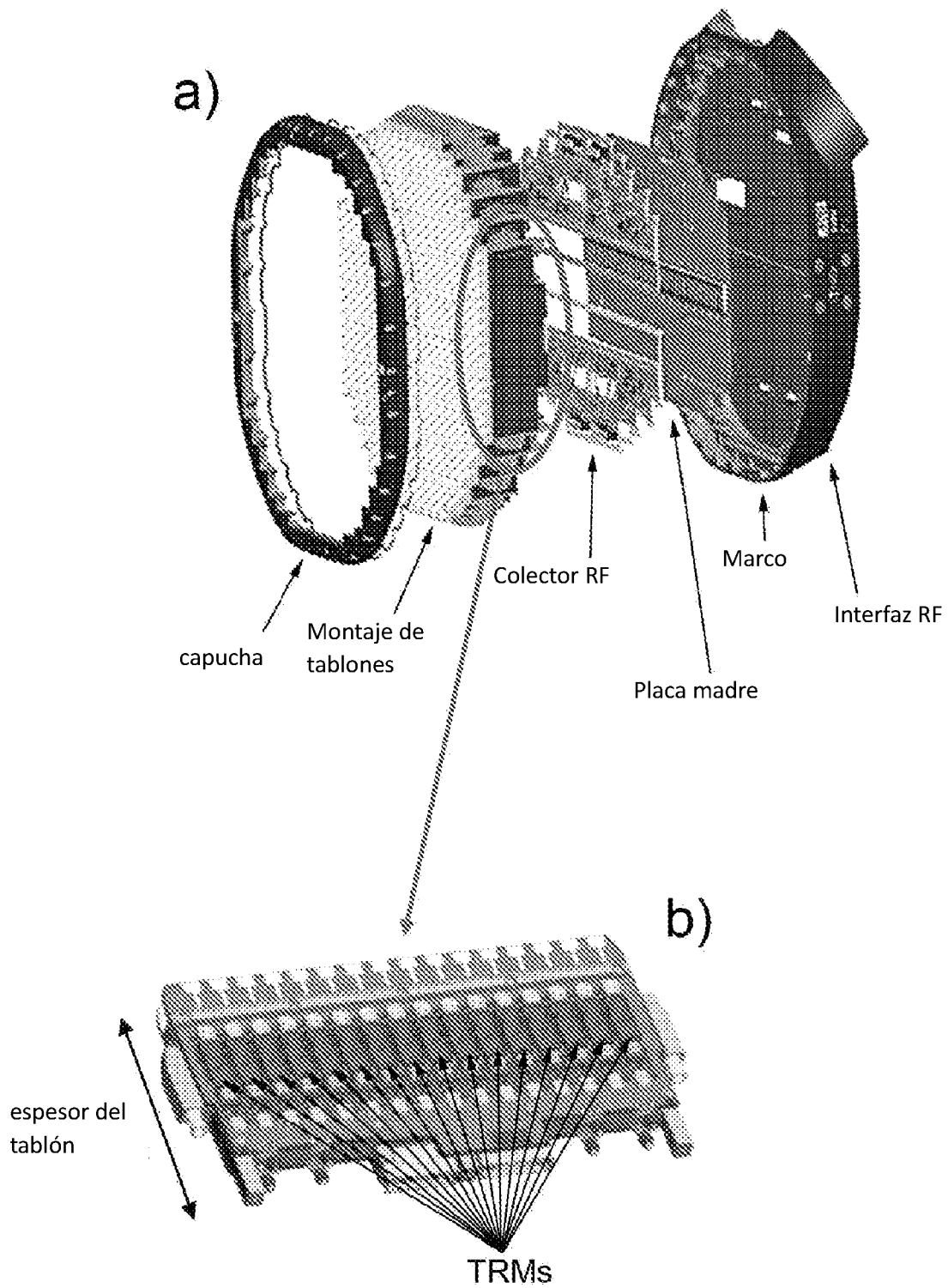


FIG. 1

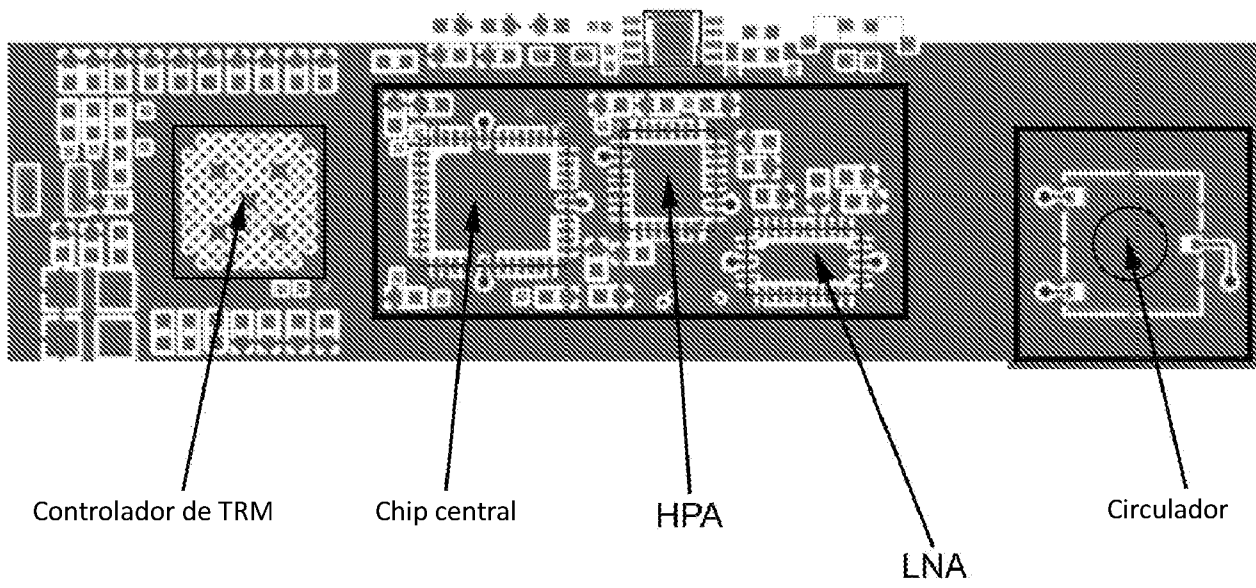


FIG. 2

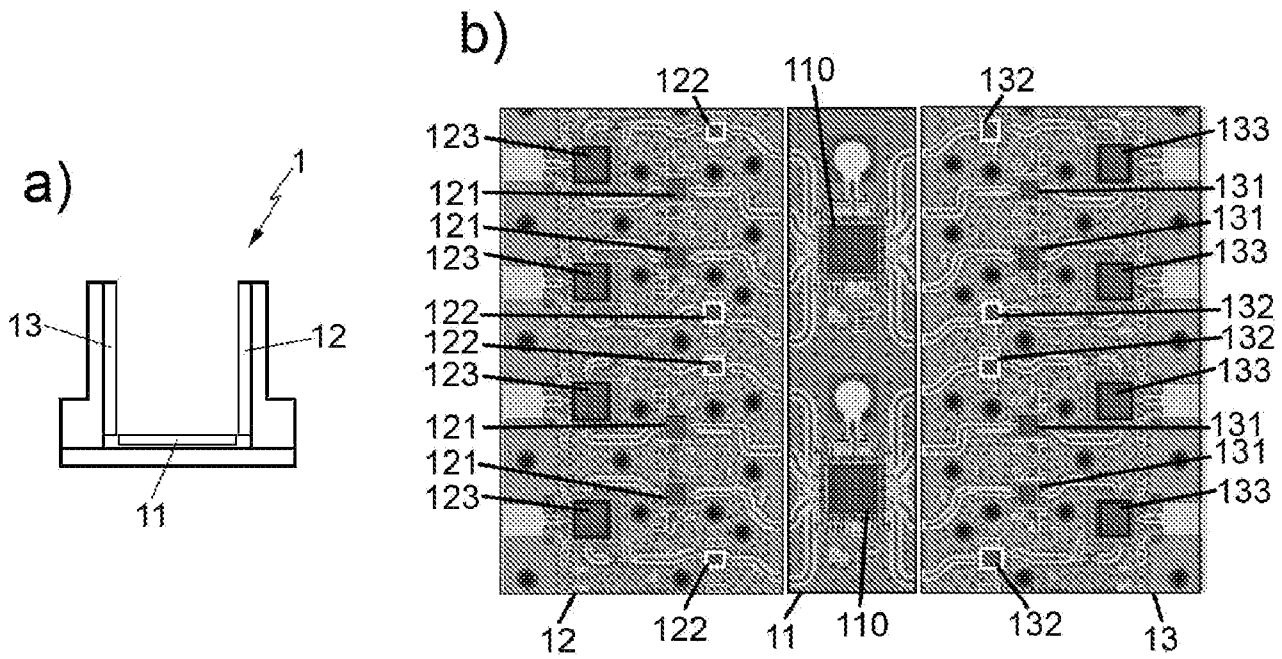


FIG. 3

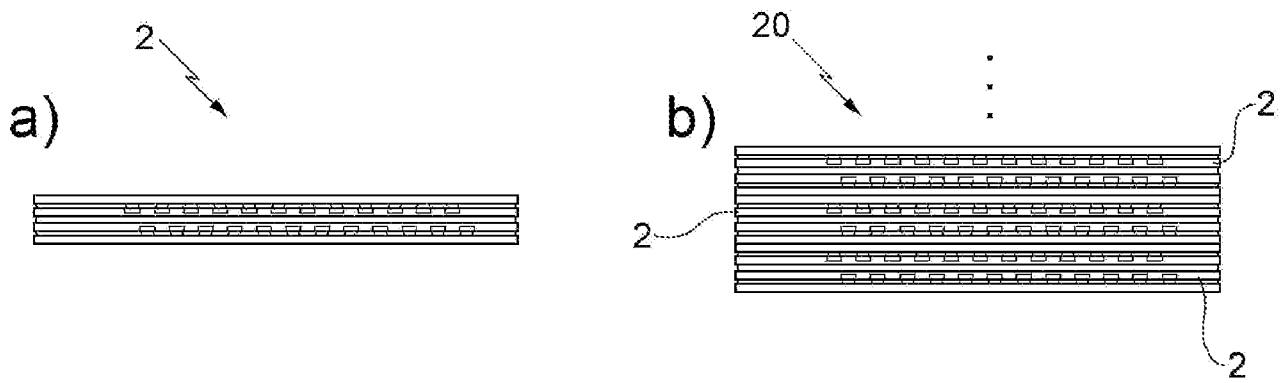


FIG. 4

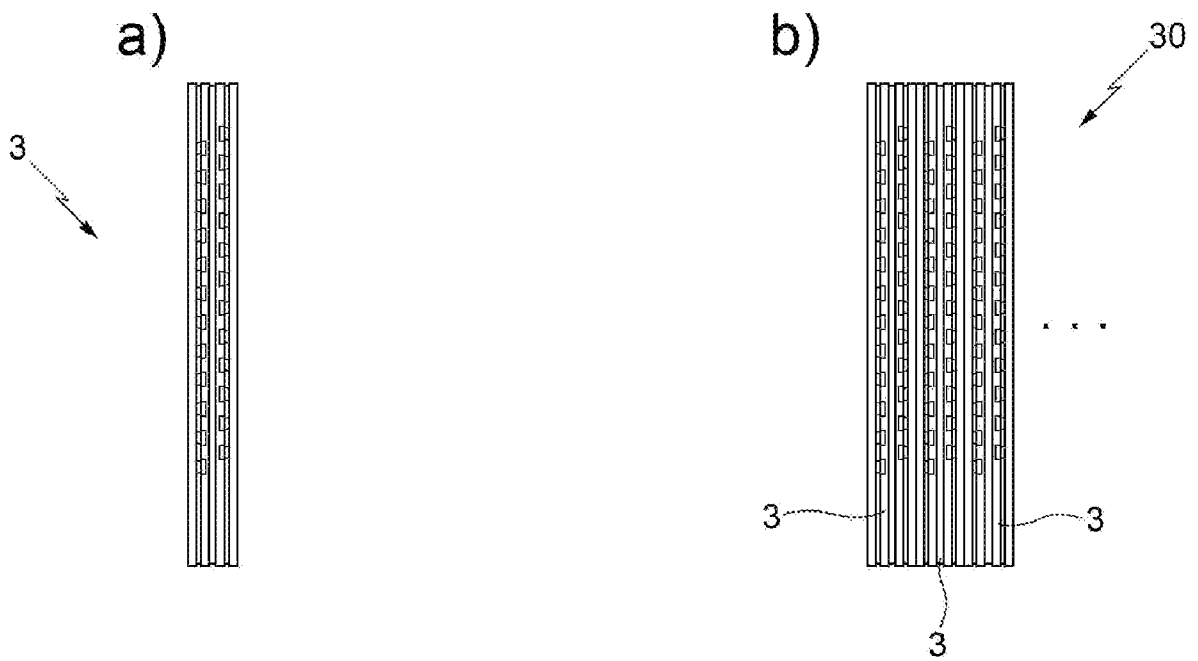


FIG. 5

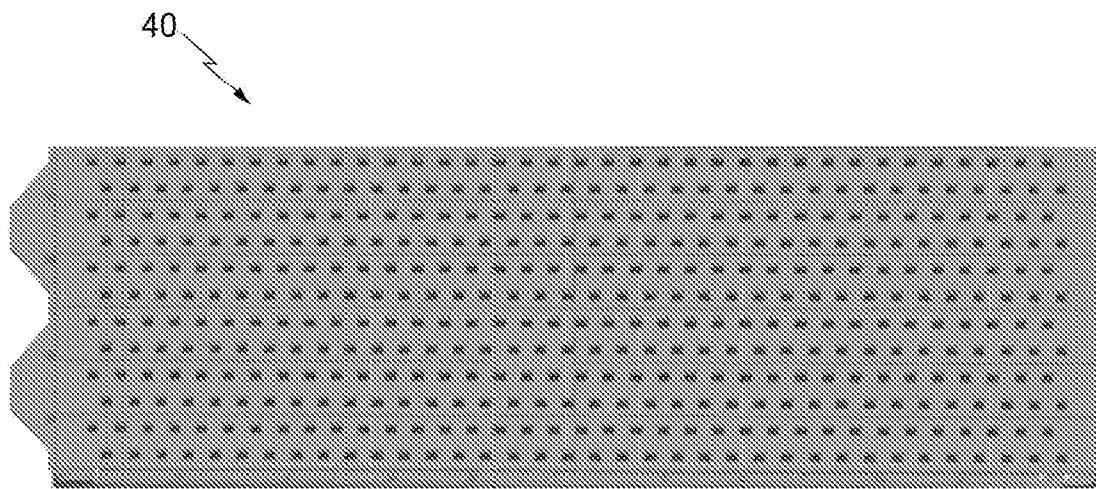


FIG. 6

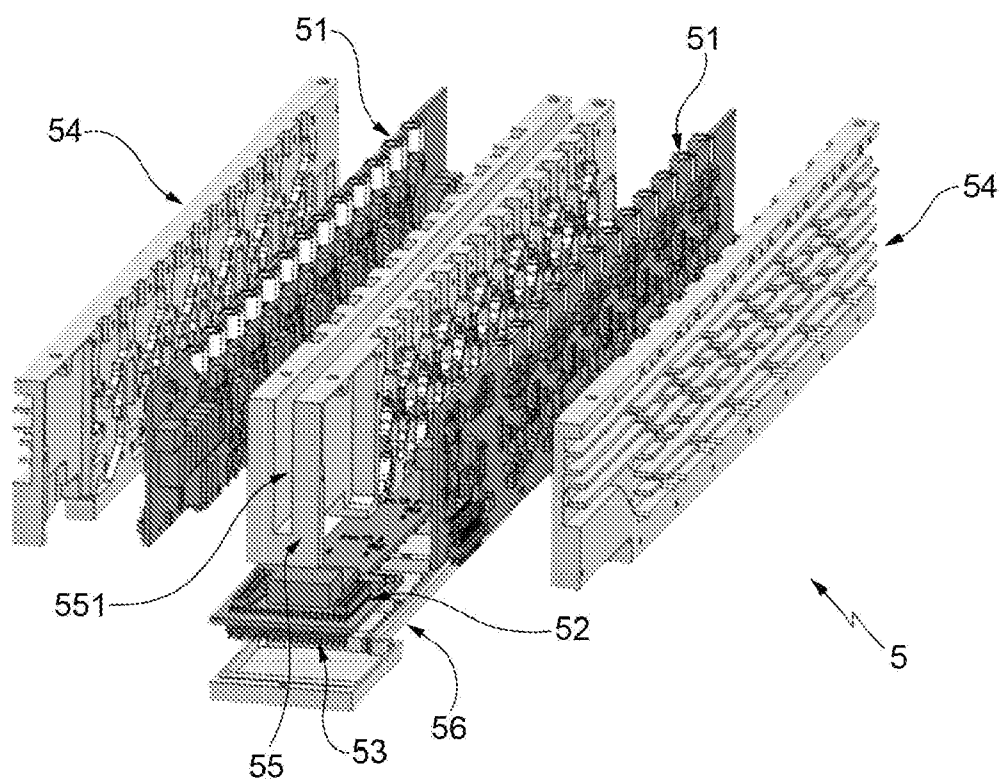


FIG. 7A

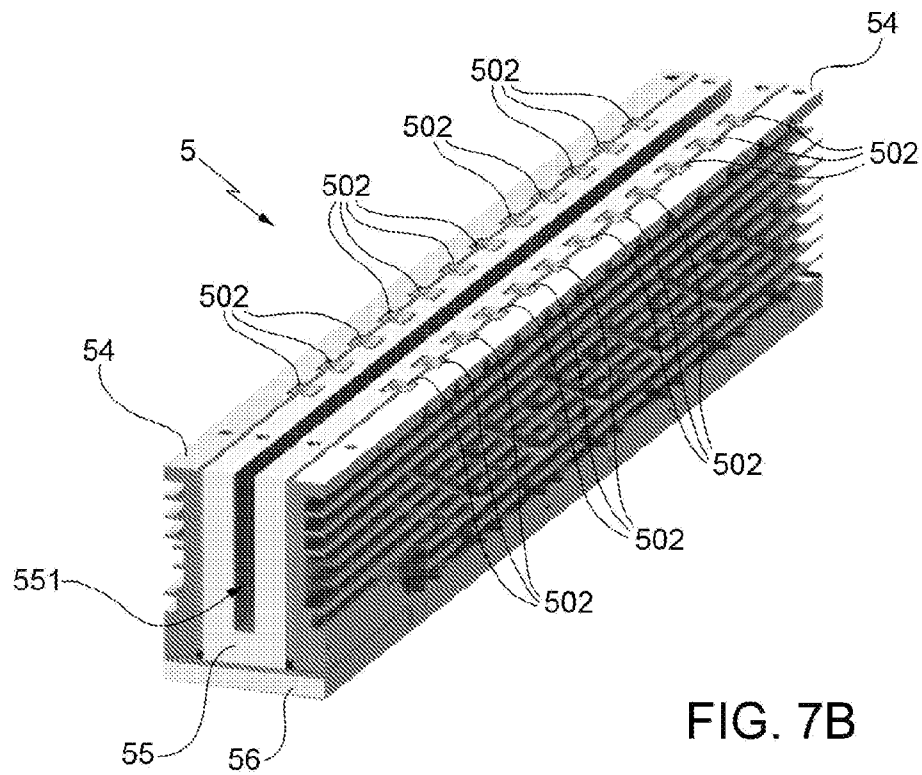


FIG. 7B

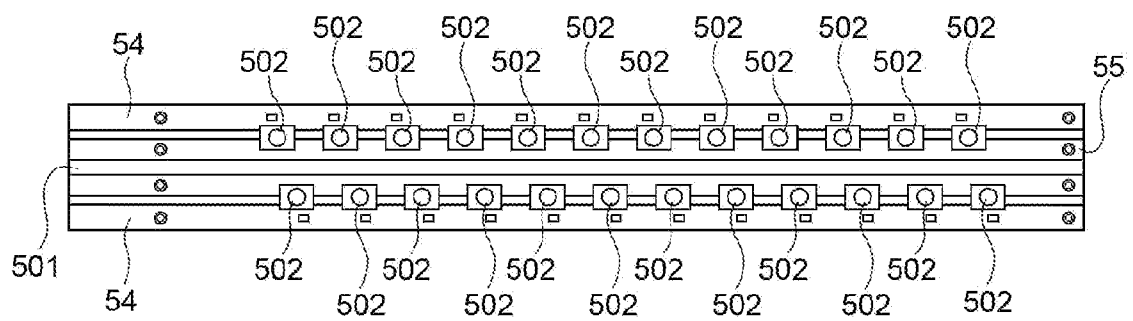


FIG. 7C

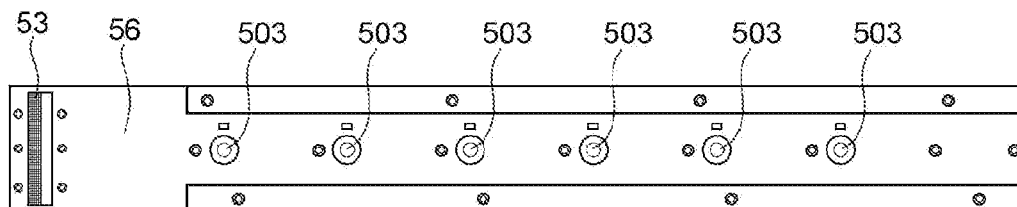


FIG. 7D

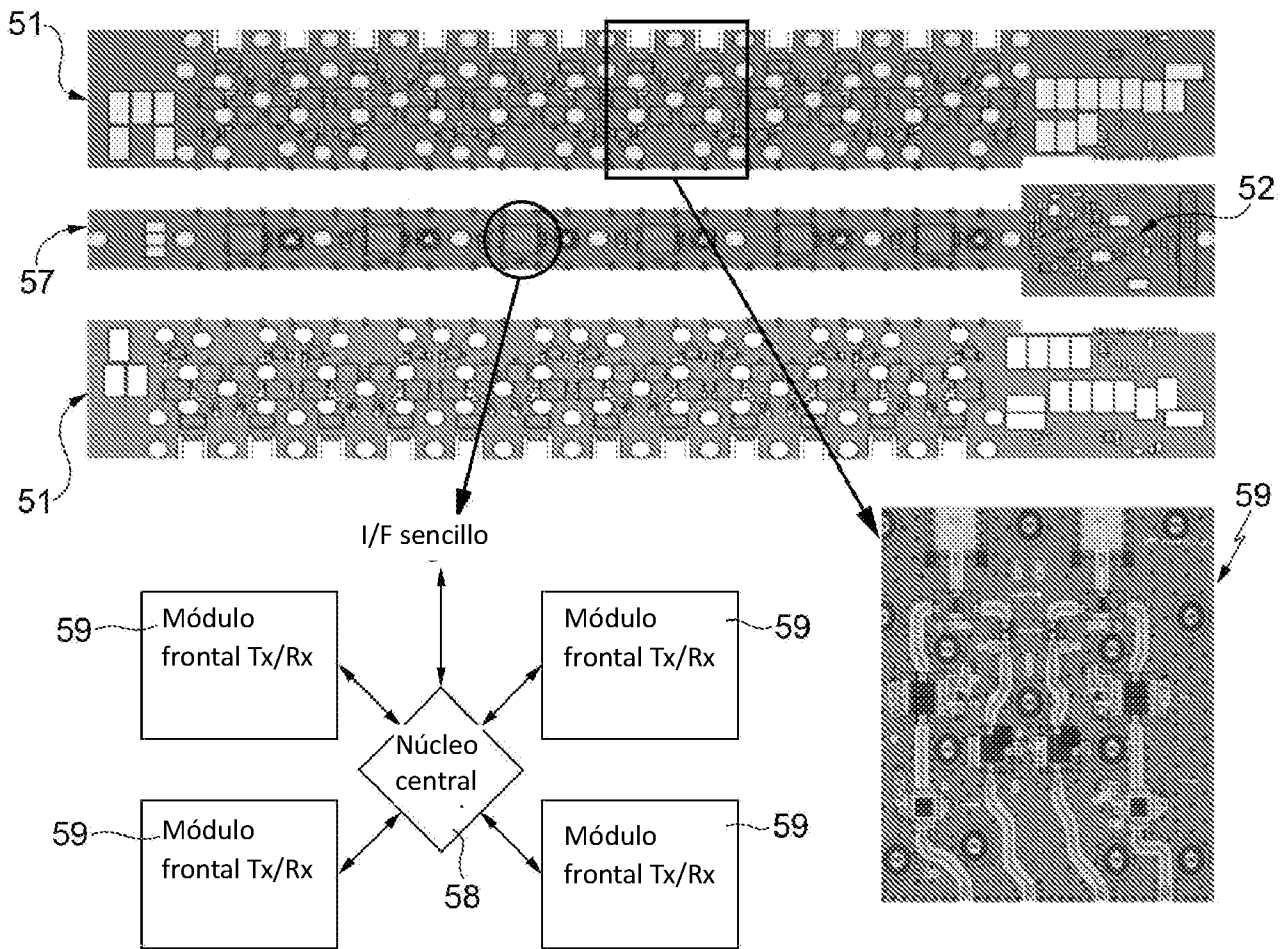
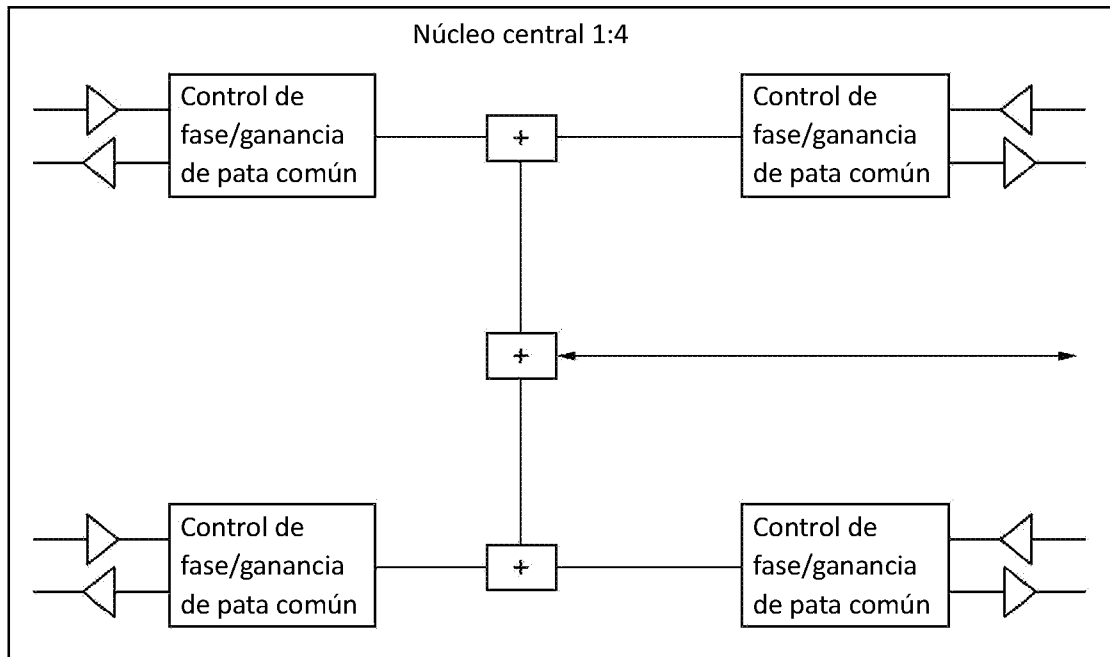


FIG. 8A



58 ↗

FIG. 8B

6 ↗

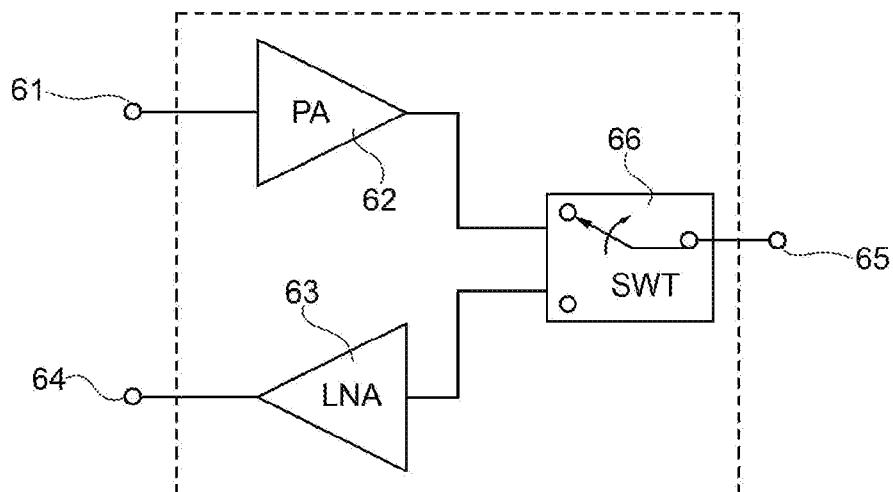


FIG. 9

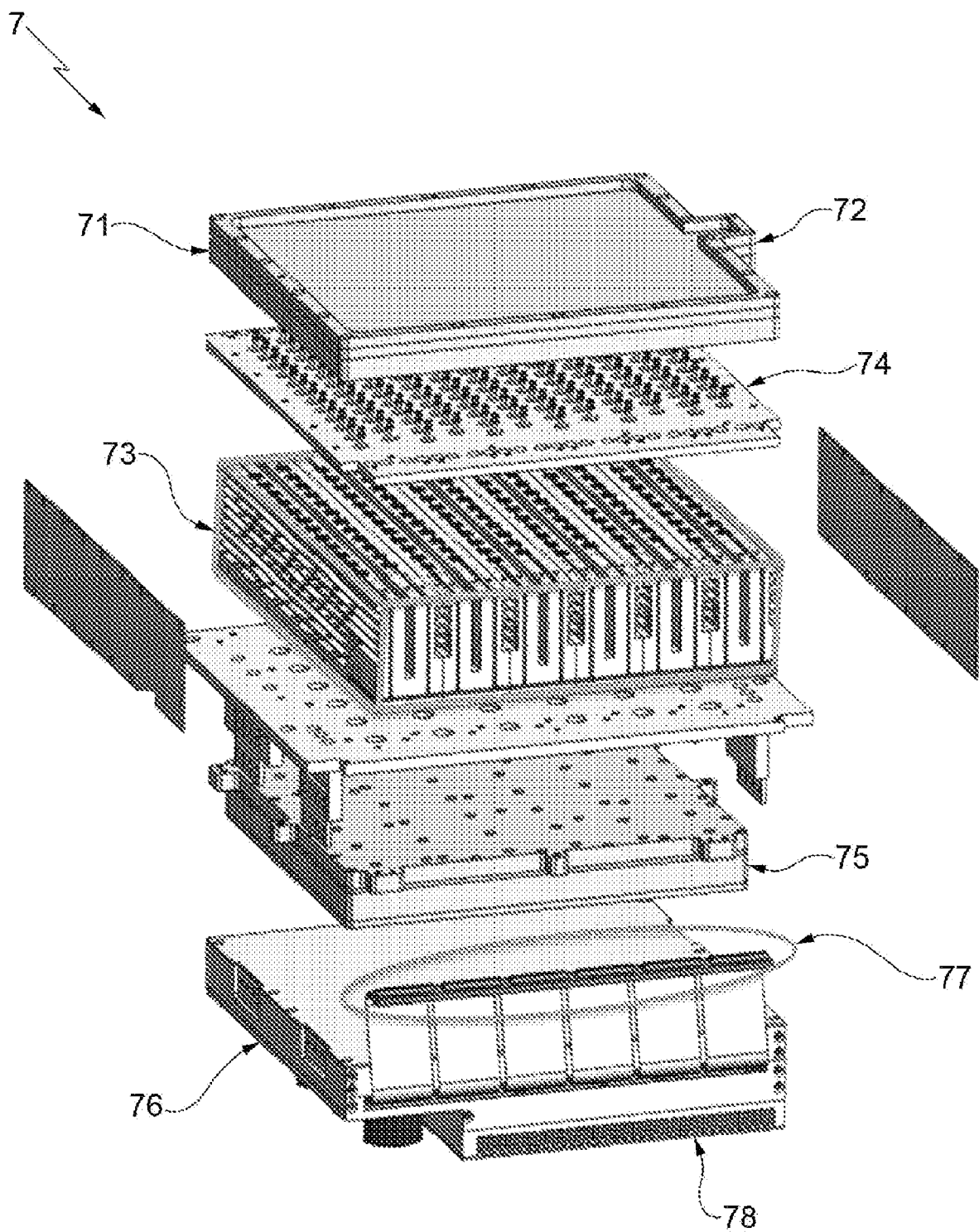


FIG. 10

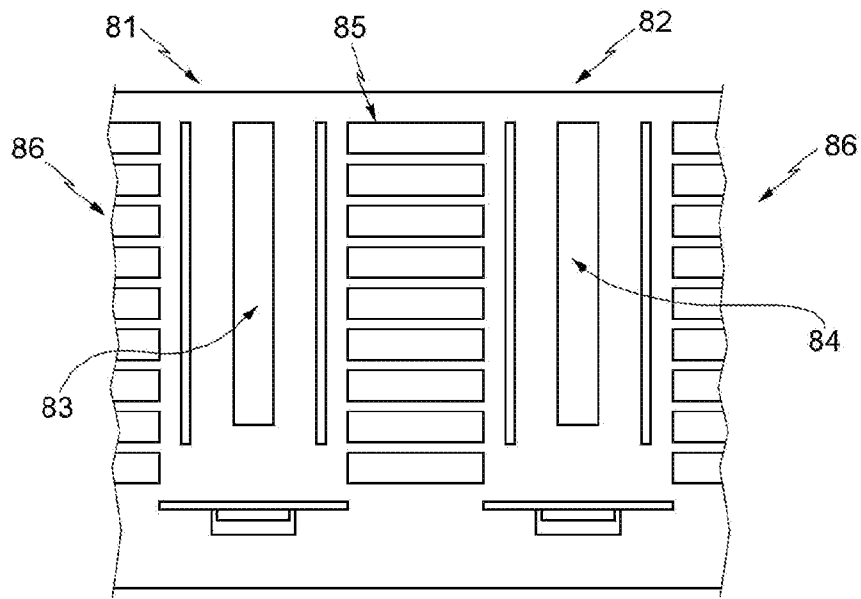


FIG. 11

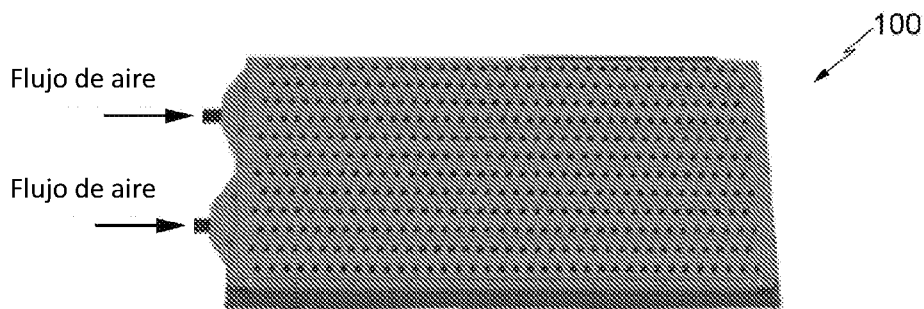


FIG. 15

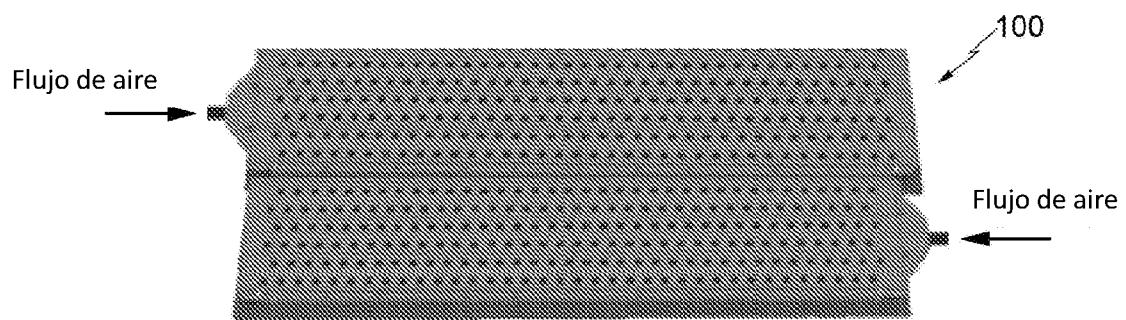


FIG. 16

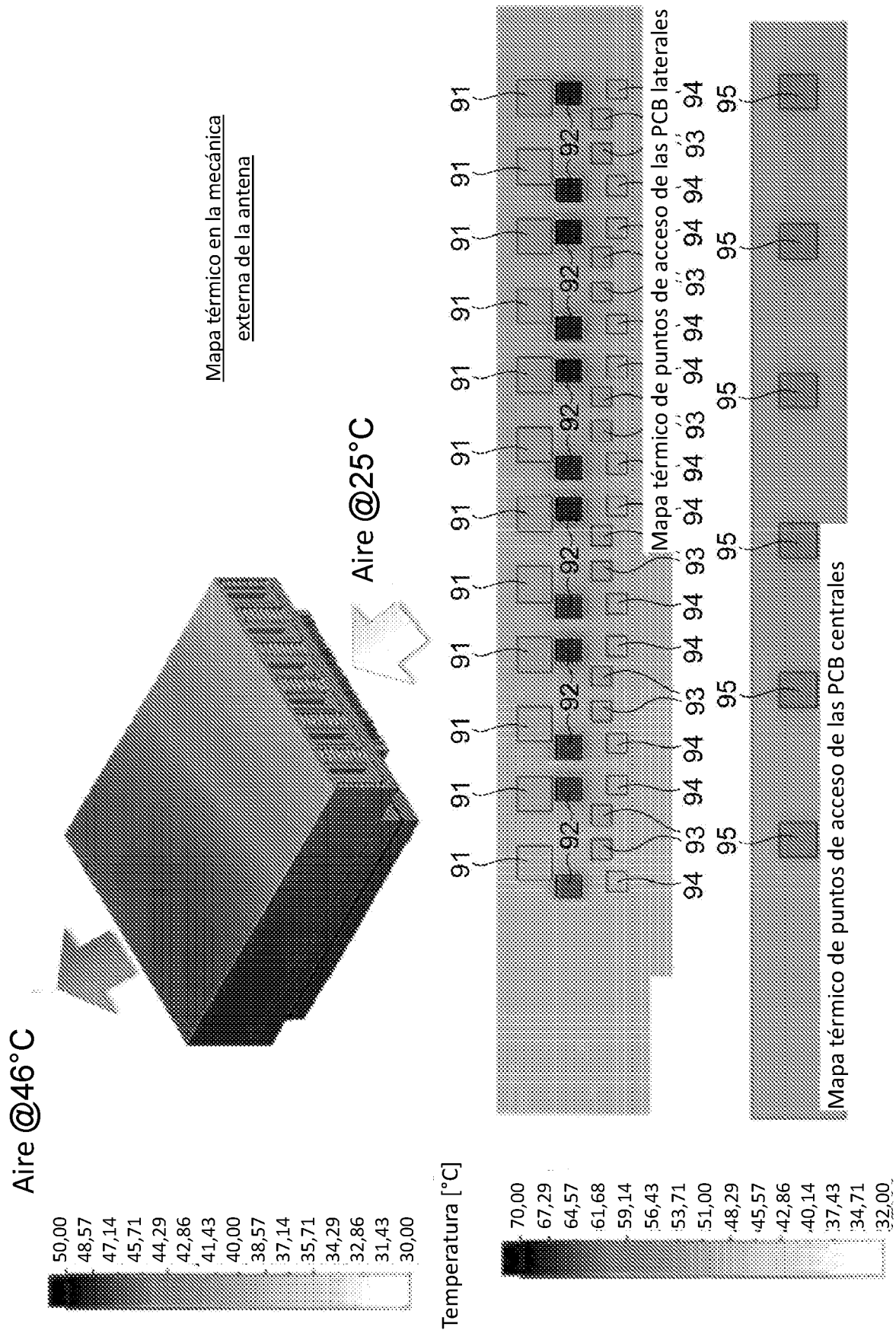


FIG. 12

Temperatura [°C]

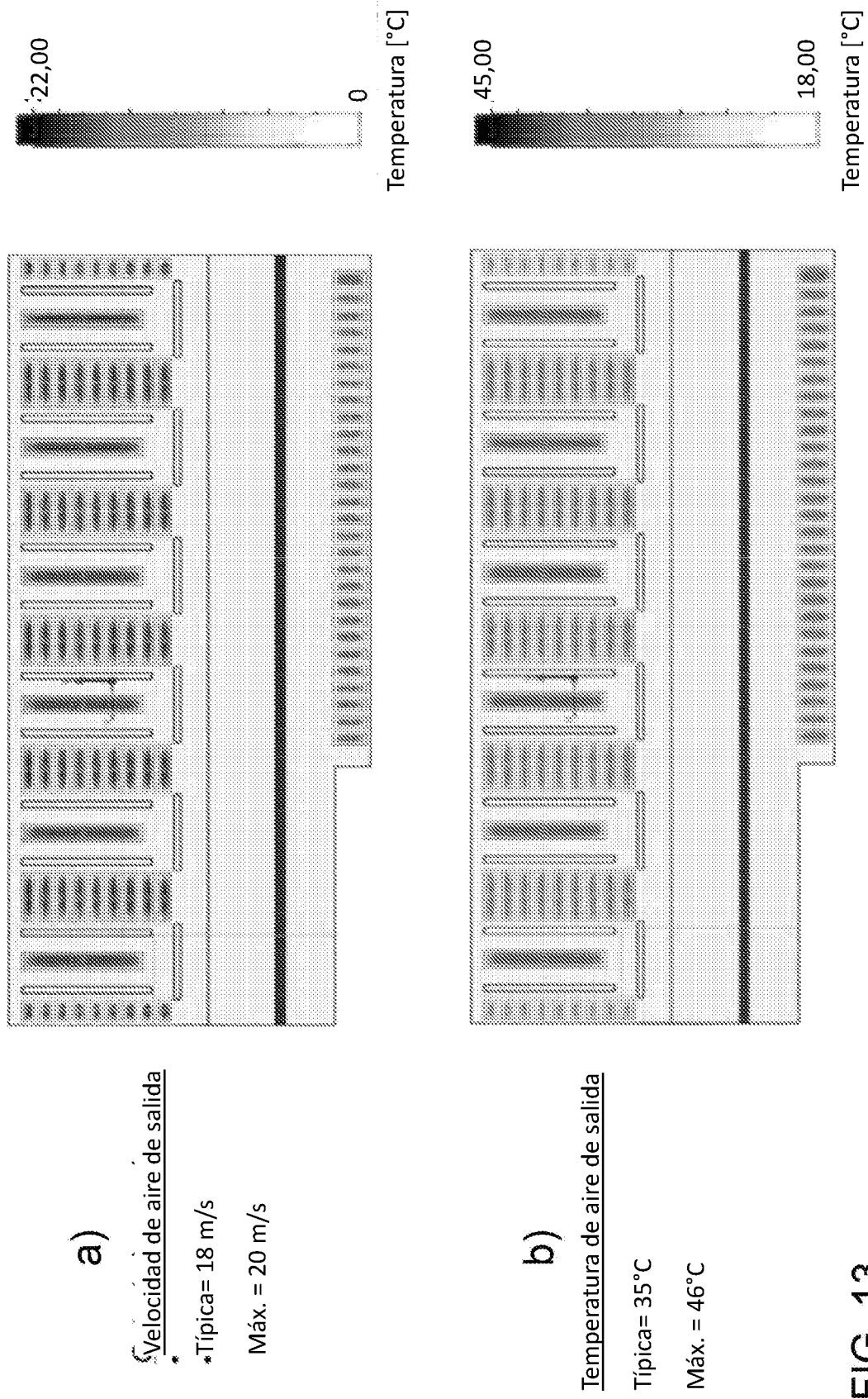


FIG. 13

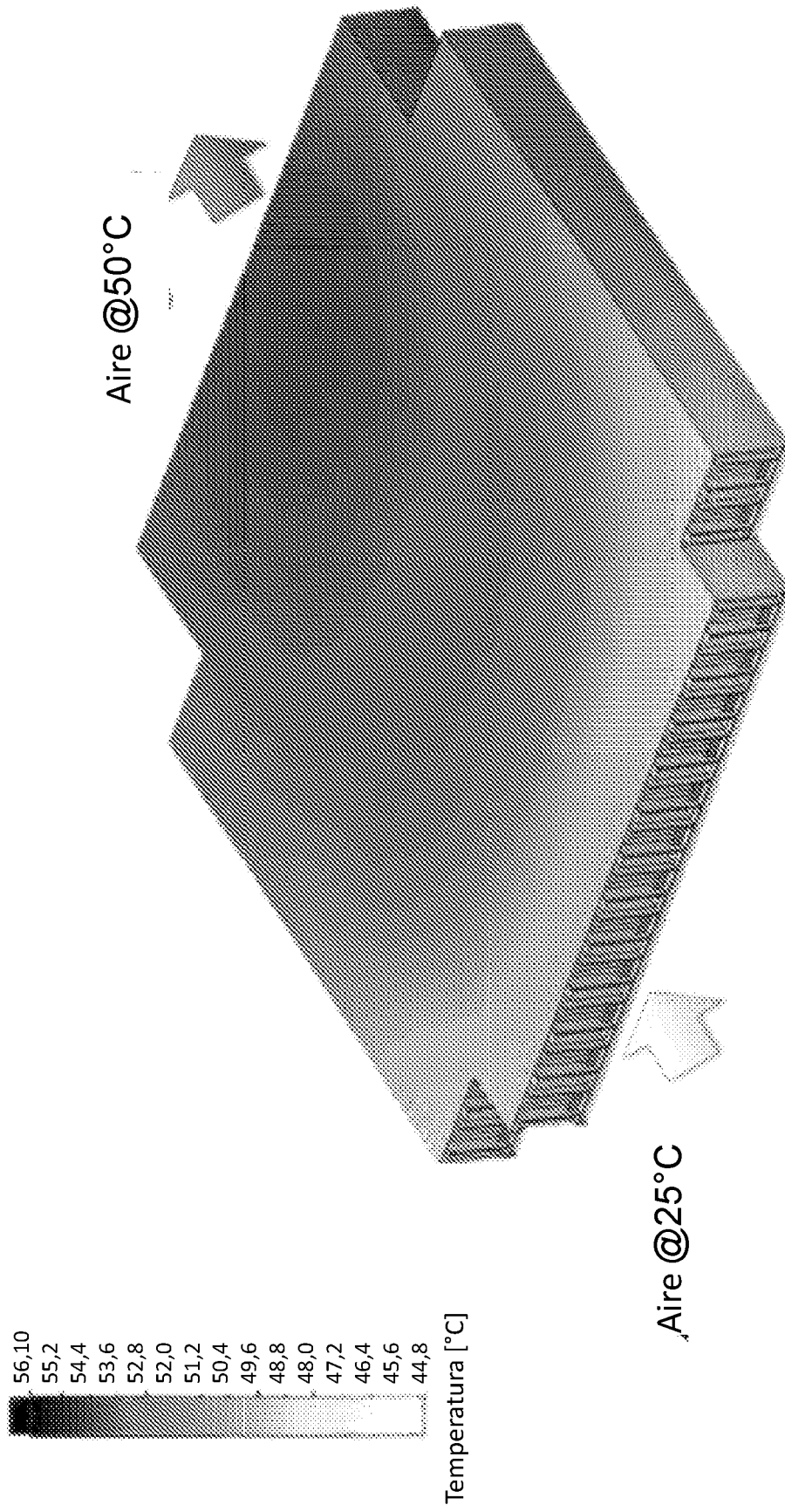


FIG. 14

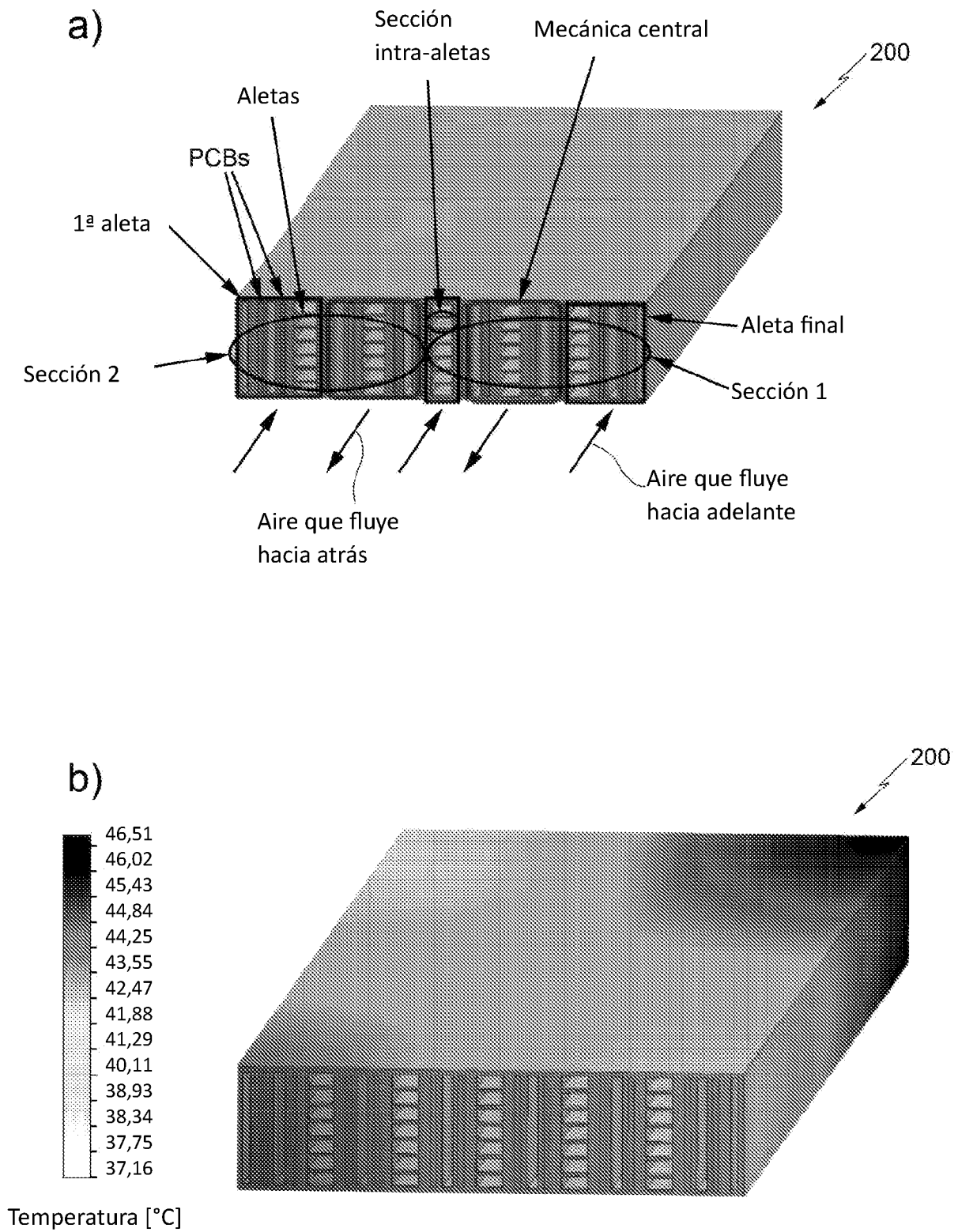


FIG. 17

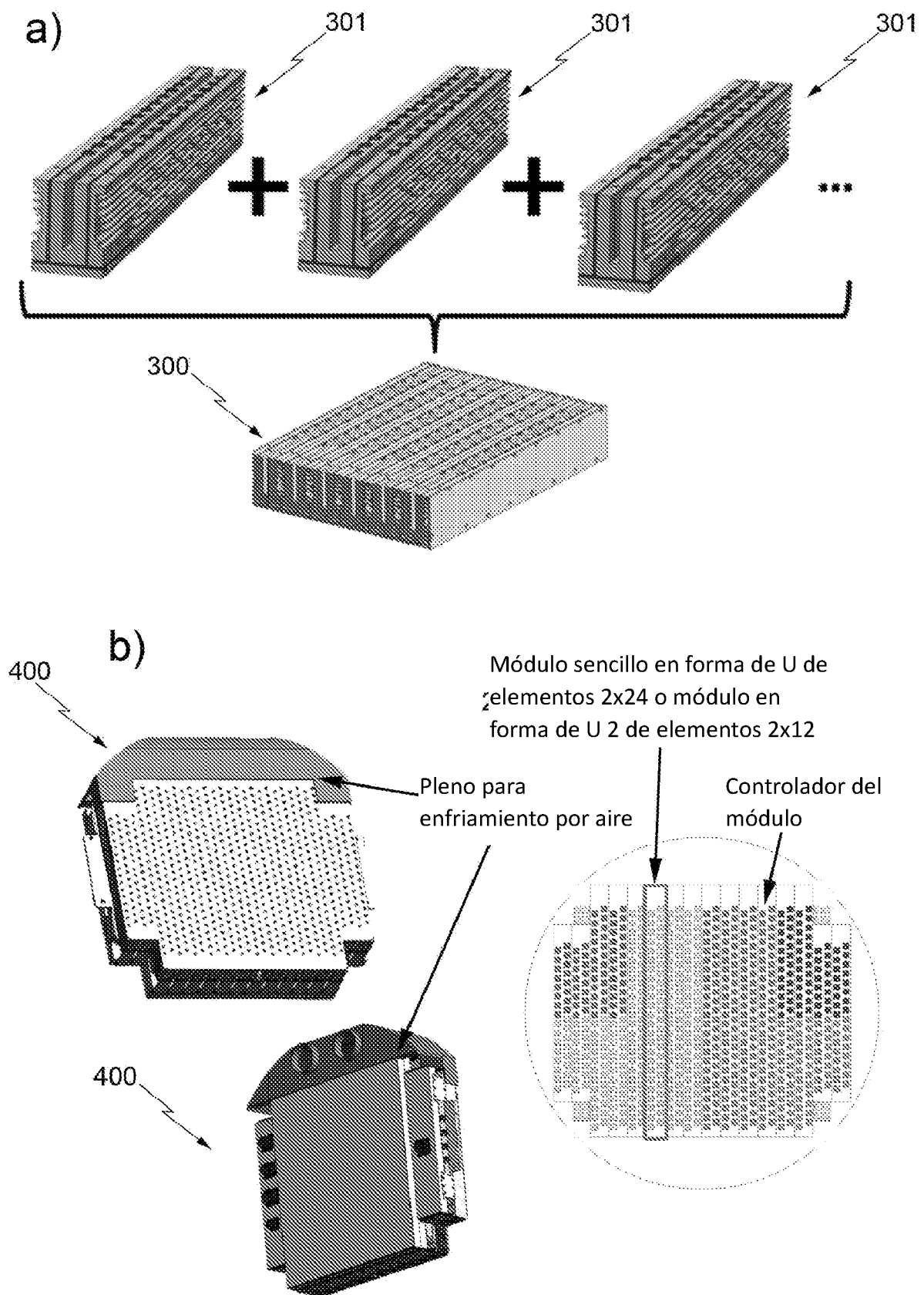


FIG. 18