

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 880 014**

51 Int. Cl.:

G01S 13/78 (2006.01)

G01S 13/76 (2006.01)

G01S 13/87 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.03.2017** **E 17162459 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.06.2021** **EP 3223032**

54 Título: **Radar secundario capaz de detectar objetivos a gran altura**

30 Prioridad:

25.03.2016 FR 1600504

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

23.11.2021

73 Titular/es:

THALES (100.0%)
Tour Carpe Diem, Place des Corolles, Esplanade Nord
92400 Courbevoie, FR

72 Inventor/es:

BILLAUD, PHILIPPE

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo

ES 2 880 014 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

Radar secundario capaz de detectar objetivos a gran altura

La presente invención se refiere a un radar secundario capaz de detectar objetivos a gran altura.

5 Los radares de control de tráfico aéreo generalmente no cubren todos los ángulos de elevación comprendidos entre la dirección del horizonte y el cenit. La zona no cubierta por encima del centro de fase de la antena del radar forma un cono llamado cono de silencio. Este cono de silencio puede afectar a varias funciones del radar de control del tráfico aéreo.

10 Los radares "En ruta" se caracterizan por tener un alcance muy grande en la dirección de su máxima radiación. Su instalación en lugares de gran altitud, libres de obstáculos del terreno, garantiza que puedan explotar esta capacidad de alcance a baja altura. Para estos radares, el cono de silencio puede considerarse demasiado grande (por ejemplo, la altitud de crucero de los vuelos comerciales (FL 330) corresponde a un ángulo de elevación de 25° a 25 km). El cono de silencio también puede causar problemas a los radares de los aeropuertos. De hecho, en ambos casos el cono de silencio induce lagunas:

- de larga duración para vuelos de gran altitud (configuración en ruta);
- 15 • de menor duración pero para vuelos de maniobra a media altura (configuración aeropuerto).

Clásicamente, las antenas de los radares de control de tráfico aéreo, también llamados radares ATC (Air Traffic Control), son por tanto antenas tipo LVA (Large Vertical Aperture, (gran apertura vertical)) con cuatro objetivos:

- una alta ganancia máxima para aplicaciones "En ruta" (de largo alcance), normalmente 27 dB entre 5° y 10° de elevación;
- 20 • un haz principal fino en azimut (típicamente 2,5° que corresponde a una anchura de antena de 8 m) para garantizar la precisión y limitar el efecto de la contaminación.
- una fuerte caída hacia el suelo para protegerse en configuración aeropuerto de las reflexiones de los edificios cercanos, como las torres de unas decenas de metros de altura, con, por ejemplo, una caída de ganancia de 2 dB por grado para elevaciones de 0° a -10°;
- 25 • por último, un nivel transmitido o recibido con los objetivos que es casi constante para los vuelos de larga distancia (estables en altitud), normalmente entre 5° y 40°;

30 Las antenas en el campo del control del tráfico aéreo civil (ATC) tienen un patrón de radiación cosecante al cuadrado, debido a su adaptación a la vigilancia aérea: dicho patrón permite que la energía radiada se distribuya en el plano vertical en una sola exploración del número cuántico azimutal. Este patrón de radiación proporciona una señal recibida de amplitud relativamente constante para un objetivo que describe una trayectoria a una altitud constante. La figura 1 muestra la ganancia típica de un radar ATC que utiliza este tipo de antena. Más concretamente, ilustra mediante una curva 10 la ganancia de la antena parametrizada en ángulo de elevación y proyectada en un diagrama distancia-altitud.

35 Para un patrón de cosecante al cuadrado de este tipo y en una zona recorrida a lo largo de un trayecto de altitud constante, la ganancia de la antena G varía sustancialmente como el cuadrado de la cosecante del ángulo de elevación β , es decir, $G(\beta) \approx \text{cosec}^2\beta$, es decir, la variación de esta ganancia compensa el efecto de proximidad para mantener un nivel constante de señal recibida en esa porción del trayecto. Además, no es necesario realizar la vigilancia del espacio aéreo por encima del techo de vuelo de las aeronaves

40 En la práctica, el cono de silencio 20 se contempla más bien como un grado de libertad para el diseño de la antena. En concreto, los requisitos se relacionarían más bien con una atenuación garantizada por encima de unos 50° de elevación. La figura 2 muestra el patrón de elevación para el canal suma 21 y el canal de control 22 (cada uno relativo a su respectivo máximo) de una antena LVA convencional. Esta figura muestra que la ganancia de la antena se desploma a grandes alturas (ángulos superiores a 50°).

45 Por lo tanto, las antenas actuales utilizadas en el mundo del ATC no están claramente diseñadas para procesar objetivos en el cono de silencio.

Por lo tanto, la solución del sistema a este problema común a los radares ATC es utilizar una cobertura de radar doble.

Estos 2 radares al estar bastante cerca permiten a cada uno asegurar la detección en el cono de silencio del otro.

50 Un documento EP 2 930 531A1 divulga un radar de vigilancia secundario de alta frecuencia de actualización. Un documento US 4 303 920 A divulga un radar primario que utiliza impulsos de diferentes longitudes a diferentes

frecuencias para mejorar la detección de la elevación. Un documento EP 2 922 144 A1 revela un radar secundario de doble función.

Un propósito de la invención es, en particular, superar la desventaja descrita anteriormente. Para ello, la invención tiene por objeto un radar secundario capaz de detectar un objetivo a gran altura en el cono de silencio, equipado con una antena principal que tiene tres patrones de radiación, un patrón suma, un patrón diferencia y un patrón asignado a una función de control, correspondiente a dicha antena, comprendiendo además dicho radar:

- un dispositivo de antena auxiliar, compuesto por una antena y un elemento radiante trasero situado en la parte posterior de dicha antena, fijado por encima de la misma;
- y medios de acoplamiento, dicho dispositivo de antena auxiliar:

- con tres patrones de radiación, un patrón suma, un patrón diferencia y un patrón asignado a una función de control, siendo dicho patrón de control proporcionado por dicho elemento radiante trasero;
- estando inclinado para asegurar la máxima ganancia de su patrón suma en el rango de elevación que caracteriza dicho cono de silencio, por ejemplo entre 60° y 90°;

- 15 dicho patrón de control proporcionado por dicho elemento trasero que tiene a 90° de elevación una ganancia igual a la del patrón suma de dicha antena del dispositivo de antena auxiliar y luego una ganancia máxima más allá de 90° de elevación, dicho medio de acoplamiento que acopla los tres patrones de radiación de dicha antena con los tres patrones de radiación de dicho dispositivo de antena auxiliar.

Dicha antena del dispositivo de antena auxiliar es, por ejemplo, de tipo haz.

- 20 La posición del patrón suma de dicha antena del dispositivo de antena auxiliar se ajusta, por ejemplo, en elevación y ganancia con respecto al patrón de dicha antena principal ajustando la inclinación de dicha antena y el coeficiente de acoplamiento entre estas dos antenas respectivamente.

La rigidez de los flancos del patrón suma de dicha antena del dispositivo de antena auxiliar se ajusta, por ejemplo, actuando en el número de elementos en elevación.

- 25 La posición del patrón de control proporcionada por dicho miembro trasero es, por ejemplo, ajustada en elevación actuando en la inclinación de dicho elemento trasero en un plano vertical.

Dicha antena principal está compuesta, por ejemplo, por una antena de tipo LVA, con una gran apertura vertical, y un elemento radiante trasero.

- 30 Otras características y ventajas de la invención se harán evidentes a partir de la siguiente descripción hecha con referencia a los dibujos adjuntos que muestran:

- la figura 1 un ejemplo de un patrón de principio de ganancia de antena de radar ATC, como se ha descrito anteriormente;
- la figura 2, un patrón de radiación relativo de elevación típico de una antena LVA, ya descrito;
- la figura 3 un ejemplo de la arquitectura actual de un radar secundario que funciona en modo S;
- la figura 4, la estructura de la antena de un radar según la invención y su acoplamiento a dicho radar;
- la figura 5, un ejemplo de realización de una antena según la invención;
- la figura 6, los patrones típicos de radiación absoluta en elevación de las antenas que componen una antena según la invención;

- 40 La figura 3 muestra un ejemplo de la arquitectura actual de un radar secundario de vigilancia que opera en modo S, un radar que en adelante se denominará SSR ("Secondary Surveillance Radar"), clásicamente constituido por:

- la antena SSR 1, generalmente del tipo LVA, que proporciona la radiación de las interrogaciones SSR/Modo S, a la frecuencia de 1030 MHz y la captación de las respuestas, a la frecuencia de 1090 MHz, de los transpondedores a bordo de la aeronave, una junta rotativa estándar 2 que tiene tres obleas de RF para los tres canales de banda L de la función SSR: el canal suma Σ , el canal diferencia Δ y el canal de control Ω ;

- un armario 3, denominado MSSR, que incluye dos sistemas independientes (sólo uno está representado) que garantizan la redundancia pasiva, cada uno de los cuales implementa las distintas funciones dedicadas al procesamiento SSR/Modo S.

5 El armario MSSR 3 incluye una unidad de RF 31 para transferir señales de RF desde el transmisor 33 a los patrones Σ , Δ , Ω de la antena 1 y, viceversa desde estos patrones al receptor 34. Cada armario 3 incluye:

- una gestión espacio-temporal 32 que genera las consultas en función de las tareas a realizar con los objetivos previstos presentes en el lóbulo principal;
- un transmisor 33 que convierte las interrogaciones que debe irradiar la antena en señales de RF de alta potencia a la frecuencia de 1030 MHz;
- 10 • un receptor 34 que demodula las señales de RF, a la frecuencia de 1090 MHz, recibidas por la antena;
- un procesamiento de señales 35 para detectar y decodificar las respuestas recibidas en el lóbulo principal de la antena;
- un extractor 36 que forma parcelas extraídas a partir de las detecciones elementales (respuestas), formando el extractor parte de un conjunto 37 de gestión del haz de la antena.

15 Clásicamente, el armario MSSR 3 puede incluir también recursos redundantes comunes al procesamiento primario y secundario, en particular:

- la asociación y el seguimiento de las parcelas primarias y secundarias dentro de un conjunto de gestión de la exploración (scan management);
- la gestión de las parcelas y la supervisión en particular.

20 El armario también incluye interfaces redundantes 39 con los enlaces de los clientes. Las funciones auxiliares permiten la gestión del radar por parte del cliente presentando la supervisión, las compensaciones de parcelas y pistas y los ajustes de los parámetros de las funciones primarias PSR, secundarias SSR /Modo S y compensación.

En el modo S, la gestión dinámica de las aeronaves se controla principalmente mediante:

- 25 • la gestión del haz 37, para lo que se refiere a las actividades relacionadas con el haz en azimut, atravesado por una línea de flecha 30 en la figura 3 incluyendo en particular la gestión espacio-temporal 32 y la extracción de las parcelas 36;
- la gestión de la exploración 38 con respecto a las actividades relacionadas al recorrido de la antena atravesadas por una línea de flecha 300 en la figura 3, incluyendo el seguimiento y la predicción de las actividades en la siguiente exploración del haz para cada aeronave.

30 La figura 4 muestra la estructura de la antena de un radar ATC según la invención y su acoplamiento al radar.

Ventajosamente, según la invención, se añade un kit de adaptación a la arquitectura existente de un radar ATC, del tipo mostrado en la figura 3 por ejemplo, que permite asegurar el seguimiento en el cono de silencio de todos los objetivos secundarios sea cual sea el protocolo. En particular, este kit se aplica al tráfico aéreo. Podría completarse con una parte de software aplicada a los medios de extracción de las parcelas 36.

35 El kit comprende al menos una antena de haz 41 (que comprende pocos elementos, típicamente de 1 a 3 elementos radiantes en altura), que puede tener una anchura pequeña, por ejemplo de 2 a 4 metros, un elemento radiante trasero 42 y medios de acoplamiento 43. La antena de haz 41 está acoplada a la antena SSR 1 (tipo LVA estándar) en los mismos puertos existentes por los medios de acoplamiento 43.

No es necesario realizar ningún cambio:

- 40 • ni en el aire (mecanismos, junta rotativa, motor...);
- ni en la cadena de transmisión y recepción.

La invención es, por tanto, sencilla y económica de implementar.

La figura 5 muestra, además de la figura 4, un ejemplo de realización del conjunto de antena de un radar según la invención, mediante una vista en perspectiva. Este conjunto se compone:

- 45 • de la antena SSR 1 y su elemento radiante trasero 12, que forman la antena principal;

- de la antena de haz 41 y su elemento radiante trasero 42, formando el dispositivo de antena auxiliar;

los elementos radiantes traseros 12, 42 están asignados a una función de control como se describirá más adelante. La antena de haz 41 está fijada por encima de la antena SSR 1, con la misma orientación, más precisamente orientada hacia la parte delantera de la antena SSR 1, está inclinada con respecto a la de la antena SSR 1.

- 5 La antena SSR 1 suele estar compuesta por un conjunto de barras radiantes 51. Esta antena 1, tipo LVA, puede ser una antena estándar del mercado ATC de vigilancia SSR, que opera con tres patrones de radiación: suma, diferencia y control.

- 10 Un elemento radiante 12, situado en la parte trasera del panel frontal constituido por las barras radiantes, permite realizar una función de control del modo SSR/Modo S, en particular en lo que respecta a la localización geográfica de los transpondedores capturados.

La antena de haz 41 es, por ejemplo, una antena de haz utilizada a menudo como antena IFF para radares militares y, por tanto, tiene los mismos tipos de patrones de radiación que la antena principal 1 tipo LVA: suma, diferencia y control.

- 15 Preferiblemente tiene al menos dos elementos en elevación para que el valor de ganancia cero esté cerca de su lóbulo principal, lo que provoca una rigidización de los flancos a ambos lados del lóbulo principal, como ilustra el patrón suma 63 de la antena de haz 41 mostrado en la figura 6, descrita a continuación.

Esta rigidez de los flancos es una función del número de elementos de la antena en elevación.

La antena 41 está inclinada en un plano vertical para dirigir su máxima ganancia hacia el cono de silencio y para asegurar que su ganancia se minimiza tanto por encima de 90° de elevación como por debajo de 40°.

- 20 También incluye un elemento radiante 42 situado en la parte trasera, dedicado a su diagrama de control Ω 66 mostrado en la Figura 6, también inclinado en elevación, para presentar la máxima ganancia más allá de los 90° de elevación. Además, las inclinaciones mutuas de la antena de haz 41 y del elemento radiante 42 son tales que sus ganancias son cercanas para 90° de elevación.

- 25 Esto permite bloquear los transpondedores que no se encuentran en la dirección azimutal de la antena de haz 41 y así se evita tener respuestas espurias en la parte posterior de la antena

- 30 Los medios de acoplamiento 43 realizan el acoplamiento de los tres patrones suma Σ , diferencia Δ y de control Ω de la antena de haz, con un coeficiente de acoplamiento típicamente del valor de 25 dB (a ajustar según el valor de la ganancia máxima del patrón de canal suma 63 de la antena de haz 41), a los tres patrones suma Σ , diferencia Δ y control Ω de la antena SSR 1, con el objetivo de garantizar una ganancia máxima del patrón suma en el cono de silencio del orden de 20 dB por debajo de la meseta de ganancia suma de la antena SSR (meseta que se extiende de 20° a 40° de elevación, como ilustra la figura 6).

- 35 La mencionada figura 6 ilustra, en un sistema de ejes en el que las abscisas representan ángulos de elevación y las ordenadas representan ganancias absolutas de la antena, los patrones de radiación en elevación de las antenas descritas anteriormente para el canal suma 61 de la antena SSR 1, para el canal de control 62 de la antena SSR 1, para el canal suma 63 de la antena de haz 41, y para el canal de control 66 del elemento radiante trasero 42 del dispositivo de antena auxiliar.

- 40 Como se muestra en estos patrones, uno de los objetivos es garantizar una ganancia mínima del orden de 35 a 40 dB por debajo del máximo incluso a 90° de elevación (dado que las aeronaves de gran elevación están necesariamente cerca en distancia, la ganancia de antena requerida para su detección es mucho menor que la de las aeronaves de larga distancia, normalmente de 35 a 40 dB). Esto se consigue inclinando la antena de haz 41 para trasladar sus patrones de elevación, especialmente su patrón suma (traslación a lo largo del eje de abscisas). El valor del coeficiente de acoplamiento entre la antena de haz 41 y la antena SSR 1, ajustando la ganancia, permite también ajustar los patrones a lo largo del eje de ordenadas. El ajuste de la posición de los patrones se completa así con una traslación a lo largo del eje de ordenadas.

- 45 El valor del coeficiente de acoplamiento queda así definido, tanto:

- para evitar la contaminación de la antena SSR 1 por la antena de haz 41, es decir, más de 25 dB de diferencia de ganancia por debajo de 40° de elevación:
 - con pérdidas muy bajas inducidas en la transmisión y la detección;
 - y casi ninguna modificación del haz en azimut;

- 50 • como para evitar que se contaminen por "garbling" los objetivos cercanos a elevaciones inferiores a 40° (típicas de los radares de aeropuerto) al detectar objetivos de gran elevación.

- La zona 64 de equivalencia de la ganancia de canal sumada entre la antena SSR 1 y la antena de haz 41 es típicamente de alrededor de 55° de elevación. Por encima de este valor de elevación, la ganancia 63 de la antena de haz toma el relevo de la ganancia 61 de la antena SSR 1 para asegurar la ganancia mínima deseada para el canal suma hasta el cenit. Puede comprobarse que el nivel transmitido en el patrón del canal suma 63 de la antena de haz 41 está muy por encima del nivel del patrón del canal de control 62 de la antena SSR 1, lo que garantiza que los objetivos situados a grandes elevaciones de 60° a más de 90° respondan a las interrogaciones del radar. El canal de control 62 asociado al elemento trasero 12 de la antena SSR 1 permite convencionalmente el bloqueo de los transpondedores que reciben las interrogaciones por fugas en el patrón de radiación suma 61 de la antena para elevaciones de 90° a 180°.
- 5
- 10 Preferiblemente, el patrón de radiación suma 63 de la antena de haz no debe ser demasiado amplio para no interferir con el patrón de radiación 61 de la antena principal fuera del cono de silencio. El canal de control 66 asociado al elemento radiante 42, situado en la parte posterior de la antena de haz 41, impide la recepción de respuestas del objetivo más allá de la elevación de 90°, marcada por una línea 65 en la figura 6. El ajuste de la posición de elevación del patrón de control 66 con respecto al patrón de control 62 de la antena SSR 1 se realiza por
- 15 traslación a lo largo del eje de abscisas, ajustando la inclinación del elemento radiante trasero 42.
- Las señales transmitidas por el radar a través del elemento trasero 42 permiten así bloquear el transpondedor de un objetivo cuando la antena principal 1 está en la dirección opuesta al azimut de dicho objetivo. El patrón de radiación y la orientación de este elemento radiante 42 están adaptados para este fin, en particular un ajuste óptimo debe permitir bloquear el transpondedor a partir de 91°.
- 20 Alrededor de la zona 64 de equivalencia de las ganancias de los canales suma de la antena SSR 1 y de la antena de haz 41, la recombinación de las señales no controladas en fase puede inducir pérdidas de detección en una gama de +/- 5°, es decir, de +50° a +60°, en elevación en el ejemplo de esta figura 6. Para limitar estos efectos inducidos, puede ser útil asegurar que las señales transmitidas a 1030 MHz por los dos patrones suma 61 y 63 estén en fase.

REIVINDICACIONES

1. Radar secundario con una antena principal (1, 12) que comprende dos elementos:

- una antena SSR (1) que tiene tres patrones de radiación, un patrón suma (61), un patrón diferencia y un patrón de control (62) asignado a una función de control, correspondiente a dicha antena SSR;
- un elemento radiante trasero (12), asignado a una función de control, asociado al canal de control de la antena SSR (1);

caracterizado porque comprende además medios capaces de detectar un objetivo a gran altura situado en el cono de silencio de dicha antena SSR, dichos medios comprenden:

- un dispositivo de antena auxiliar (41, 42), fijado por encima de dicha antena (1, 12), que permite el seguimiento de todos los objetivos en el cono de silencio; dicho dispositivo de antena auxiliar comprende:
 - una antena (41) orientada hacia delante de dicha antena principal, con tres patrones de radiación, un patrón suma (63), un patrón diferencia y un patrón de control;
 - un elemento radiante (42) situado en la parte trasera, asignado a una función de control, con un patrón de control (66);
- medios de acoplamiento (43);

dicha antena (41) tiene la misma orientación que la antena SSR (1) y está inclinada en elevación con respecto a la antena SSR (1) para tener una ganancia máxima en la dirección del cono de silencio y una ganancia mínima tanto por encima de 90° de elevación como por debajo de 40° de elevación dicho elemento radiante trasero (42) también está inclinado en elevación, para presentar una ganancia máxima por encima de los 90° de elevación y para obtener inclinaciones recíprocas de la antena (41) y del elemento radiante trasero (42) de manera que sus ganancias sean sustancialmente las mismas para una elevación cercana a los 90°; dichos medios de acoplamiento (43) realizan, de forma independiente para cada patrón, el acoplamiento de cada uno de los tres patrones de radiación de dicha antena principal (1, 12) con el correspondiente patrón de radiación de dicho dispositivo de antena auxiliar (41, 42), realizándose el acoplamiento con un coeficiente de acoplamiento determinado para obtener tres patrones de antena resultantes: un patrón suma resultante, un patrón diferencia resultante y un patrón de control resultante, con lo que se garantiza que la ganancia máxima del patrón suma resultante sea unos 20 dB inferior a la meseta de ganancia del canal suma de la antena SSR (1) en el cono de silencio.

2. El radar secundario según la reivindicación 1, **caracterizado porque** dicha antena (41) del dispositivo de antena auxiliar (41, 42) es de tipo haz.
3. Radar secundario según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la posición del patrón suma (63) de dicha antena (41) del dispositivo de antena auxiliar se ajusta en elevación y en ganancia con respecto al patrón (61) de dicha antena principal (1) actuando respectivamente sobre la inclinación de dicha antena (41) y sobre el coeficiente de acoplamiento entre estas dos antenas (41, 1).
4. Radar secundario según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la rigidez de los flancos del patrón suma (63) de dicha antena (41) del dispositivo de antena auxiliar se ajusta actuando en el número de elementos en elevación.
5. Radar secundario según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la posición del patrón de control (66) proporcionado por dicho elemento trasero (42) se ajusta en elevación actuando en la inclinación de dicho elemento trasero en un plano vertical.
6. Radar secundario según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** dicha antena principal (1, 12) está compuesta por una antena (1) del tipo LVA, con una gran apertura vertical, y por un elemento radiante trasero (12).

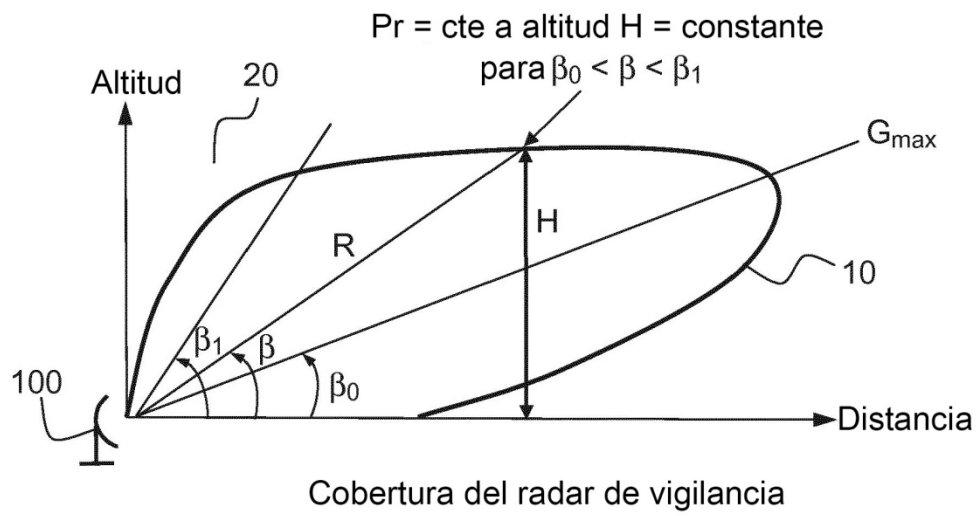


FIG.1

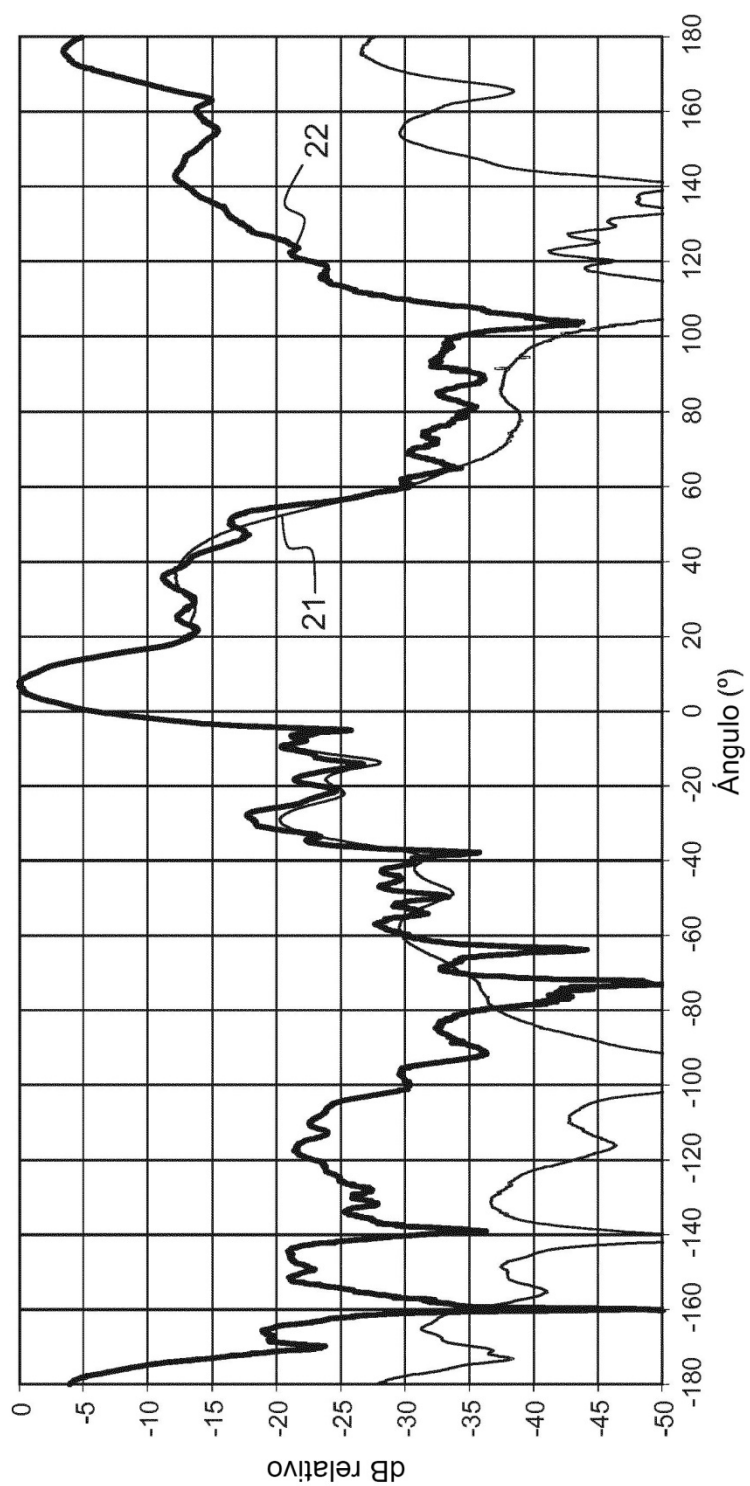


FIG.2

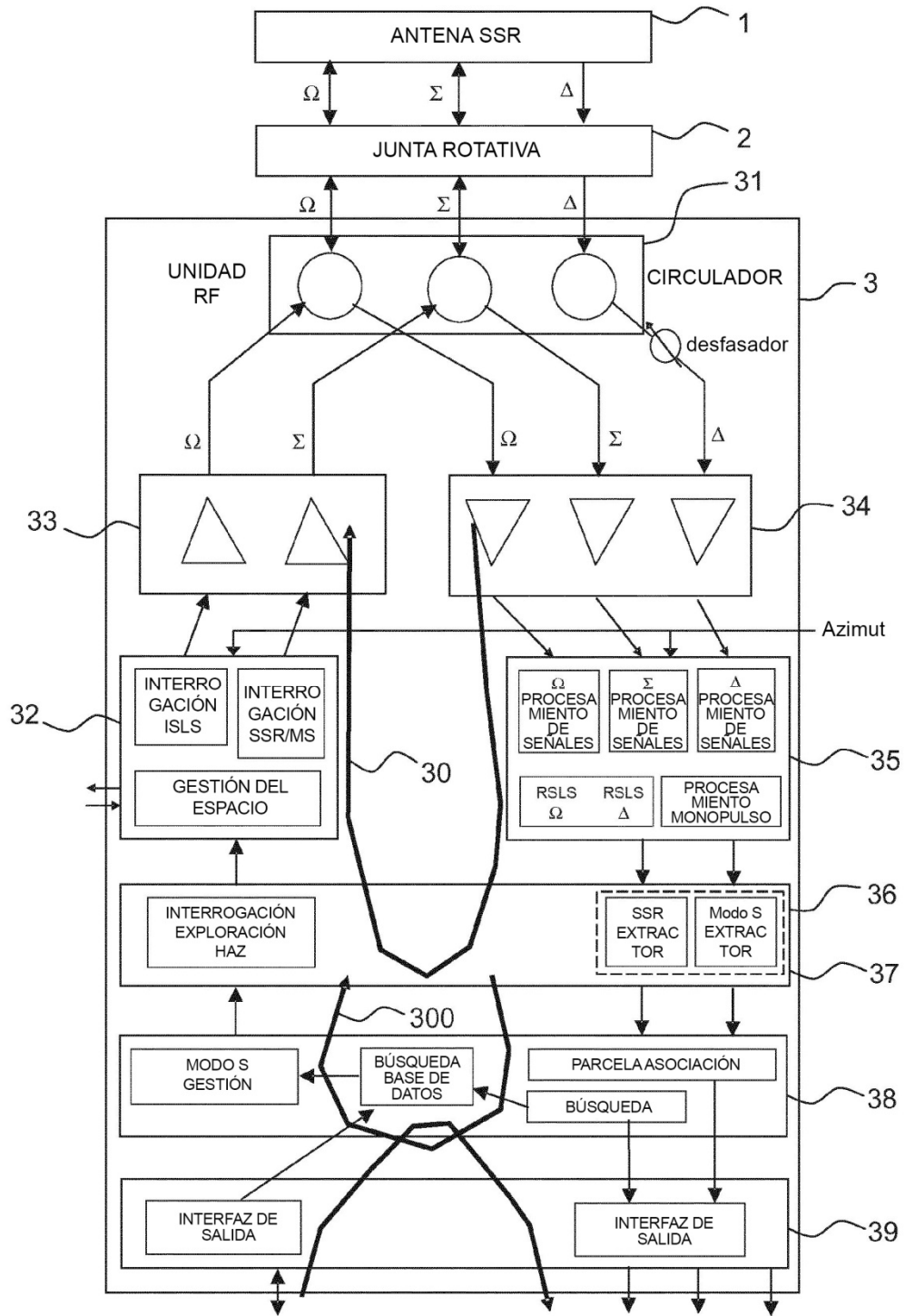


FIG.3

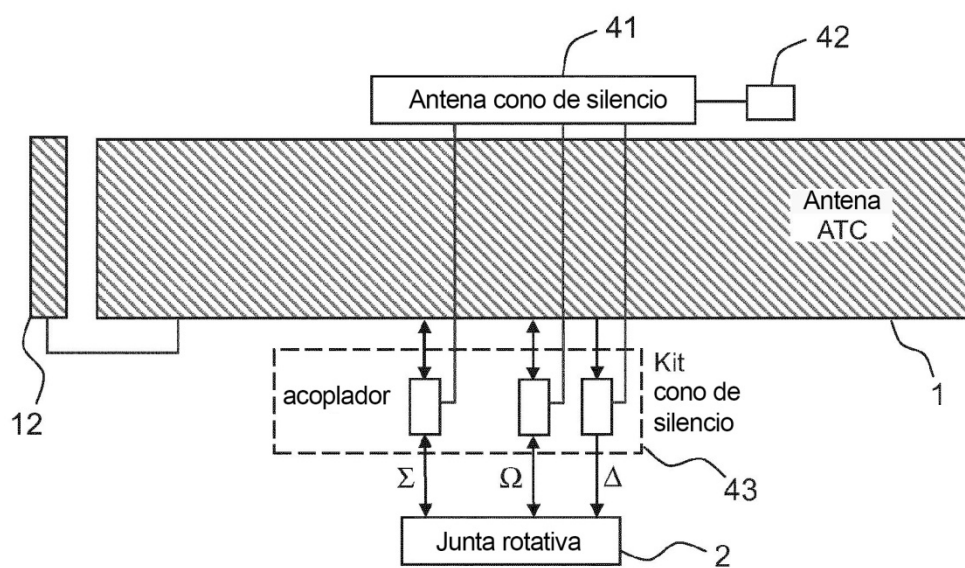


FIG.4

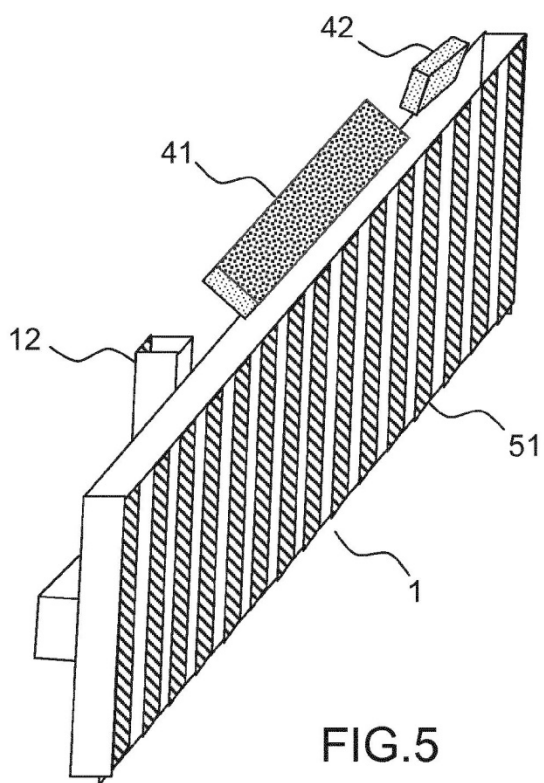


FIG.5

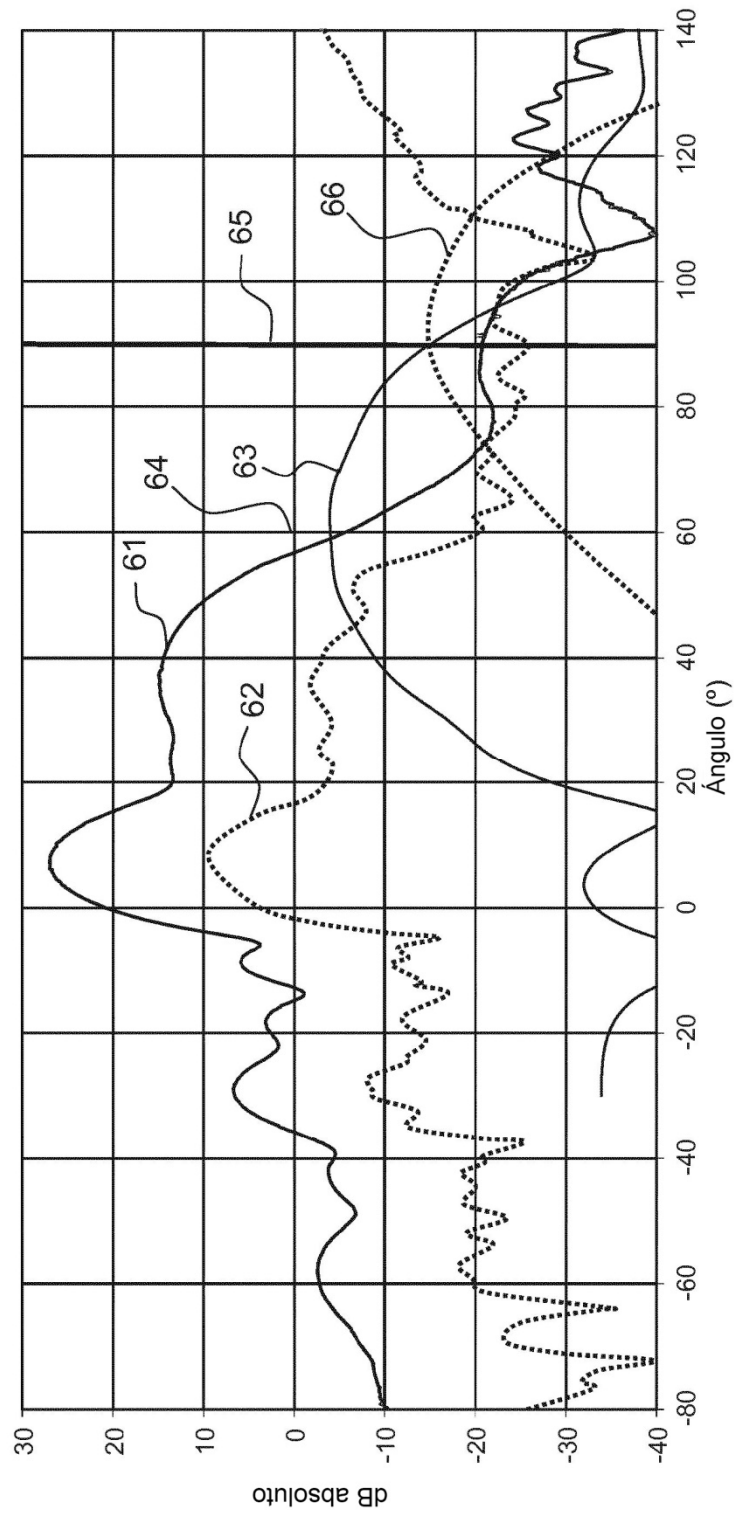


FIG.6