

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 646 668**

51 Int. Cl.:

**H01Q 3/26** (2006.01)

**H01Q 3/40** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.06.2011 PCT/EP2011/060522**

87 Fecha y número de publicación internacional: **29.12.2011 WO11161198**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.06.2011 E 11726833 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.10.2017 EP 2586097**

54 Título: **Una antena**

30 Prioridad:

**23.06.2010 EP 10275065**

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

**14.12.2017**

73 Titular/es:

**ASTRIUM LIMITED (100.0%)  
Gunnels Wood Road, Stevenage  
Hertfordshire SG1 2AS , GB**

72 Inventor/es:

**STIRLAND, SIMON, JOHN**

74 Agente/Representante:

**PONS ARIÑO, Ángel**

ES 2 646 668 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Una antena

### 5 Campo de la invención

La invención se refiere a la conformación de haz para una antena. La invención también se refiere a una antena y un procedimiento para reducir la exposición de los componentes de la antena a señales interferentes.

### 10 Antecedentes de la invención

A menudo se desea generar múltiples haces puntuales en los satélites de comunicaciones comerciales. Pueden generarse múltiples haces puntuales usando una antena de elementos múltiples y conformando el haz de las señales recibidas o transmitidas por la antena.

15

Usando técnicas de conformación de haz digital y aplicando pesos digitales complejos a las señales de elementos de antena para cada canal de frecuencia de comunicación, puede conseguirse un gran número de haces puntuales estrechos. Sin embargo, los conformadores de haz digitales tienen una gama dinámica limitada. Una gama dinámica típica para un conformador de haz digital es aproximadamente 50 dB. Debido a la gama dinámica limitada, los

20

conformadores de haz digitales pueden ser vulnerables a las señales interferentes de alta frecuencia cuando operan en modo de recepción. La gama dinámica puede aumentarse pero a alto coste. Por otra parte, una señal interferente suficientemente fuerte, dirigida al satélite de comunicación, puede hacer que el conformador de haz digital resulte inoperativo. Las señales interferentes con una potencia elevada también pueden saturar otros componentes de procesamiento de señales digitales de la antena.

25

Se conoce el hecho de separar los elementos de una antena de elementos múltiples en un número de subagrupaciones con el fin de reducir el número de puntos de control de conformación de haz en la red de conformación de haz digital y simplificar de ese modo la red de conformación de haz.

30

La solicitud de patente internacional WO2007/053213A1 describe un sistema de antena basada en elementos en fase para comunicación por medio de procedimientos de conformación de haz.

La solicitud de patente europea EP1742081A2 describe procedimientos de conformación de haz con sensibilidad mejorada, cobertura de ángulo ancho con haces estrechos, y número minimizado de receptores, lóbulos reticulados

35

eliminados, lóbulos laterales reducidos y compensación de haz para movimiento de objetivo.

La solicitud de patente europea EP0896383A2 describe una antena de elementos en fase para aplicaciones que requieren transmisión y recepción de muy alta frecuencia.

40

El documento de Xh Huang, Yj Guo y Jd Bunton: "A Hybrid Adaptive Antenna Array" IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 9, nº 5, mayo de 2012, páginas 1770-1779, XP002607259 Piscataway, USA DOI: 10.1109/TWC.2010.05.091020 describe una agrupación de antenas adaptable híbrida que consiste en subagrupaciones analógicas y un conformador de haz digital.

45

La solicitud de patente de Estados Unidos US2007/285312A1 describe un sistema de antena de haces múltiples adaptable compatible con GSM.

La solicitud de patente internacional WO2007/103589A1 describe un módulo de agrupación de losas de haces múltiples para sistemas de elementos en fase.

50

La solicitud de patente internacional WO2009/013527A1 describe un satélite en el cual una red de conformación de haz está diseñado para producir una cuadrícula de haces puntuales y limitar la ganancia de las señales interferentes fuera de esta región.

55

La invención se realizó en este contexto.

### Resumen de la invención

60

De acuerdo con la invención, se proporciona una antena de elementos en fase para proporcionar un patrón de radiación que comprende al menos un haz de comunicación en una región geográfica de acuerdo con la

reivindicación 1.

Generando el nulo, la antena de elementos en fase puede impedir o reducir en gran medida la exposición de la red de conformación de haz digital a las señales interferentes.

5

De acuerdo con otro aspecto de la invención, también se proporciona un procedimiento de operación de una antena de elementos en fase para proporcionar un patrón de radiación que comprende al menos un haz de comunicación en una región geográfica de acuerdo con la reivindicación 13.

10 Las características opcionales se exponen en las reivindicaciones dependientes.

### Breve descripción de los dibujos

A continuación se describirán realizaciones de la invención, a título de ejemplo, con referencia a las figuras 1 a 10b de los dibujos adjuntos, en los cuales:

- La figura 1 muestra un sistema de comunicación por satélite;  
la figura 2 es un diagrama esquemático que ilustra componentes de una antena receptora de elementos en fase de la técnica anterior;
- 20 la figura 3 es un diagrama esquemático que ilustra los componentes de una antena receptora de elementos en fase de acuerdo con algunas realizaciones de la invención;  
la figura 4 ilustra cómo los elementos de antena pueden estar dispuestos en subagrupaciones;  
la figura 5 ilustra cómo se combinan las señales procedentes de los elementos de cada subagrupación;  
la figura 6 ilustra un conjunto de pesos de subagrupación para generar un nulo;
- 25 la figura 7a muestra un patrón de radiación con un nulo creado usando una red de conformación de haz digital;  
la figura 7b muestra un patrón de radiación correspondiente con el nulo creado por una red de conformación de haz analógica;  
la figura 8a muestra un segundo patrón de radiación con dos nulos creados usando una red de conformación de haz digital;
- 30 la figura 8b muestra un patrón de radiación que corresponde al segundo patrón de radiación con los dos nulos creados usando una red de conformación de haz analógica;  
las figuras 9a, 9b y 9c ilustran cómo los elementos de antena pueden estar dispuestos en subagrupaciones;  
la figura 10a muestra un tercer patrón de radiación con un nulo creado usando una red de conformación de haz digital; y
- 35 la figura 10b muestra un patrón de radiación que corresponde al tercer patrón de radiación pero con el nulo creado usando una red de conformación de haz analógica.

### Descripción detallada

40 Con referencia a la figura 1, un sistema de comunicación por satélite comprende un satélite de comunicación (1) en comunicación con una estación de control desde tierra (2). El satélite (1) está configurado para producir una pluralidad de haces de comunicaciones (3) en forma de haces puntuales dentro de una región geográfica predefinida (4). El satélite puede ser un satélite geoestacionario que proporciona cobertura sobre un área global. La figura 1 también muestra una señal interferente (5) que se origina en la región geográfica (4) y que está dirigida al satélite de comunicación. La señal interferente puede interferir con la recepción de las señales de haz puntual buscadas.

Con referencia a la figura 2, se muestra una antena receptora de elementos en fase convencional (6) para recibir los haces puntuales procedentes de la región geográfica. La antena receptora de elementos en fase (6) puede ser una antena de agrupación de radiación directa (DRA). La antena receptora de elementos en fase convencional  
50 comprende una abertura conformada por una pluralidad de elementos de antena (7). La figura 2 sólo muestra una fila de elementos de antena. Sin embargo, debería comprenderse que los elementos de antena pueden estar dispuestos en una agrupación bidimensional. Cada elemento proporciona una señal de elemento receptor a un amplificador de bajo ruido respectivo (8). Cada salida de amplificador de bajo ruido está conectada a un convertidor reductor respectivo (9) para reducir la señal a una frecuencia intermedia en la cual la señal puede ser procesada en el satélite. Los convertidores reductores pueden estar conectados a una fuente de frecuencia de oscilador local  
55 común (no mostrada) para mantener el seguimiento de fase entre las señales. Las señales también pueden filtrarse y procesarse adicionalmente.

Después de que las señales hayan sido reducidas y procesadas adicionalmente en el dominio analógico, las señales  
60 se proporcionan a un procesador de señales digitales (10). El procesador de señal digital comprende una pluralidad

de puertos de entrada (11). Cada señal de elemento de antena es dirigida a un puerto de entrada diferente. Cada entrada está conectada a un convertidor analógico-digital (ADC) (12) para digitalizar las señales recibidas desde los elementos de antena. Las señales digitalizadas se proporcionan luego a demultiplexores (13) para demultiplexar la señal recibida en sus componentes de frecuencia. Por ejemplo, la radiación recibida puede comprender K canales de frecuencia que están contenidos en los haces puntuales conformados dentro de la cobertura general de la antena. Cada señal de elemento de antena es demultiplexada en los K canales de frecuencia separados en los demultiplexores respectivos. Las señales de canal se proporcionan luego a una pluralidad de conformadores de haz digitales (14a), (14b), (14c), (14d) que conforman una red de conformación de haz (14). Existe al menos un conformador de haz por cada canal de frecuencia. Puede proporcionarse más de un conformador de haz para uno o más canales de frecuencia para permitir la reutilización de frecuencia. Cada conformador de haz puede adoptar como entrada todas las componentes de señal de elementos diferentes de una banda de frecuencia particular y aplica pesos complejos digitales a las componentes de señal de elementos diferentes antes de sumar las señales ponderadas para crear los haces puntuales. Las señales de canal combinadas y de haz conformado son producidas luego como salida por los conformadores de haz digitales (14a), (14b), (14c), (14d). Las señales de canal de haz conformado pueden ser procesadas adicionalmente en un enlace de comunicación de transmisión. Por ejemplo, el enlace de comunicación de transmisión también puede incluir conformadores de haz.

Debido a la limitada gama dinámica de los componentes del procesador de señales digitales (10), una señal interferente puede hacer que una antena receptora de elementos en fase convencional (6) funcione incorrectamente. Un conformador de haz digital tiene típicamente una gama de 50 dB pero son posibles diferentes gamas. Una señal interferente con una potencia de señal fuera de la gama del conformador de haz puede, por lo tanto, saturar el conformador de haz digital y hacer que la agrupación de elementos en fase funcione incorrectamente. Por otra parte, una señal interferente también puede saturar la sección de entrada del procesador de señales digitales (por ejemplo el ADC (12)) y de ese modo hacer que el sistema resulte inoperativo en un punto anterior a los conformadores de haz adaptables (14).

De acuerdo con realizaciones de la invención, la exposición del procesador de señales digitales (10) a la señal interferente puede reducirse proporcionando una antena de elementos en fase (15) con una capa de conformación de haz analógica (16) antes del procesador de señales digitales (10), tal como se muestra en la figura 3. La capa de conformación de haz analógica proporciona una red de conformadores de haz analógicos que crean regiones de directividad casi cero o nulos en la dirección de la señal interferente para hacer que la antena deje de captar la señal interferente. Los números de referencia iguales en la figura 3 indican partes iguales a las de la figura 2.

La antena (15) de acuerdo con algunas realizaciones de la invención puede ser una antena agrupación de radiación directa (DRA). Sin embargo, debería entenderse que pueden usarse otros tipos de antenas de elementos en fase. La antena de elementos en fase (15) de acuerdo con algunas realizaciones de la invención comprende una pluralidad de elementos de antena (7) dispuestos en una configuración bidimensional. Los elementos de antena pueden estar configurados en una configuración plana. El tamaño de elemento está relacionado con la frecuencia de operación y con el tamaño angular del área sobre la cual se necesita que barran los haces. Como ejemplo, un elemento de antena en una antena adecuada para proporcionar cobertura terrestre desde un satélite en una órbita geostacionaria puede tener un diámetro igual a entre 2 y 3 longitudes de onda de la señal procesada. En consecuencia, para señales de aproximadamente 8 GHz, el diámetro de un elemento sería aproximadamente 100 mm. La apertura de un elemento puede ser de cualquier forma adecuada. Las agrupaciones pueden estar dispuestas en una retícula triangular o cuadrada. Sin embargo, se contemplan otras configuraciones adecuadas y elementos de otros tamaños. Los elementos podrían estar dispuestos, por ejemplo, en agrupaciones dispersas o aperiódicas. Las señales recibidas por los elementos de antena (7) se proporcionan a una pluralidad de amplificadores de bajo ruido (8). Las señales amplificadas se proporcionan luego a la red de conformación de haz analógica (16) y la red de conformación de haz analógica conforma el haz de las señales para producir uno o más nulos que corresponden a la dirección de las señales interferentes. Las señales de haz conformado se proporcionan desde las salidas (17) de la capa de conformación de haz analógica, con componentes reducidas o sin componentes de la señal interferente, hasta una pluralidad de convertidores reductores (9) y las señales reducidas se proporcionan al procesador de señales digitales (10) para que el haz sea conformado digitalmente tal como se describe con respecto a la figura 3. Existe al menos un conformador de haz (14a), (14b), (14c), (14d) en el procesador de señales digitales (10) para cada canal de frecuencia. Puede proporcionarse más de un conformador de haz para uno o más canales de frecuencia para permitir la reutilización de frecuencia.

Cabe destacar que, en algunas realizaciones, el número de puertos de salida (17) de la capa de conformación de haz analógica y el número de entradas (11) al procesador de señales digitales es igual que el número de elementos de antena. Cada entrada (11) al procesador de señales digitales está conectada a un DAC separado (12), un demultiplexor separado (13) y uno o más conformadores de haz (14a), (14b), (14c), (14d). Los conformadores de

haz (14a), (14b), (14c), (14d) también reciben señales procedentes de las otras entradas (11). En consecuencia, puede considerarse que cada entrada (11) corresponde a al menos un “punto de control” separado para determinar pesos de conformación de haz. La antena de elementos en fase de acuerdo con la invención puede, por lo tanto, proporcionar al menos un punto de control de conformación de haz digital para cada elemento de antena. En consecuencia, la capa de conformación de haz analógica no reduce el número de puntos de control para la red de conformación de haz digital. Más específicamente, en las realizaciones de este documento el número de entradas al procesador de señales digitales es igual al número de elementos de antena, el número de entradas a cada uno, o al menos alguno, de los conformadores de haz digitales (14a), (14b), (14c) y (14d) también puede ser igual al número de elementos de antena. En otras palabras, un conformador de haz digital puede estar configurado para poder combinar un número de señales igual al número de elementos de antena. Como resultado, la capacidad de barrido de la antena puede no reducirse por la red de conformación de haz analógica y se mantiene una flexibilidad total para controlar la antena. En cambio, el propósito de la capa de conformación de haz analógica es eliminar la interferencia que de otro modo pudiera saturar los conformadores de haz digitales y otros componentes del procesador de señales digitales. Tal como se describirá en más detalle más adelante, cuando la capa de conformación de haz analógica opera para generar nulos, puede que no se use una pequeña proporción de las salidas y entradas. Sin embargo, cuando no se requieren nulos, el número de salidas y entradas usadas puede ser igual que el número de elementos de antena y una señal procedente de un solo elemento de antena puede recibirse en cada entrada (11) al procesador de señales digitales (10). En otras palabras, la capa de conformación de haz analógica puede estar configurada para que sea transparente de modo que la red de conformación de haz digital esté sólo conectada eficazmente a la agrupación de elementos de antena.

A continuación se describirán los detalles de la capa de conformación de haz analógica (16). La capa de conformación de haz analógica separa la agrupación de elementos de antena (7) en una pluralidad de subagrupaciones superpuestas (18), tal como se muestra en la figura 4. Cada subagrupación comprende un subconjunto de todos los elementos de antena. Todos los elementos de antena, aparte de algunos elementos de antena en los bordes de la antena, participan en más de una subagrupación. Cada señal de elemento de antena se divide en un número de porciones que corresponden al número de subagrupaciones a las cuales pertenece el elemento de antena. Cada porción de señal es ponderada en amplitud y fase y todas las porciones de señal de elemento ponderadas para una subagrupación particular se suman para proporcionar una señal combinada para cada subagrupación. Se contempla que en algunas realizaciones, se aplica el mismo conjunto de pesos a cada subagrupación. En otras realizaciones, se usan diferentes conjuntos de pesos para cada subagrupación. Los pesos aplicados dentro de la subagrupación se seleccionan para generar los nulos necesarios para evitar captar señales interferentes. El patrón de radiación conformado por la subagrupación proporciona una envolvente a los patrones que pueden ser conformados por la antena de elementos en fase general de modo que el patrón de subagrupación cubre una región con áreas de directividad cero de las cuales no se reciben señales.

En algunas realizaciones, los conjuntos de pesos para crear los nulos pueden determinarse en una ubicación con base en tierra, por ejemplo la estación terrestre (2), basándose en información acerca de las señales interferentes y sus orígenes. Las instrucciones para aplicar los conjuntos de pesos determinados pueden enviarse al satélite de comunicación desde un centro de control en tierra.

Dados los conjuntos de pesos para las subagrupaciones, entonces pueden determinarse los pesos complejos para el conformador de haz digital para generar los haces puntuales. Los pesos complejos se determinan de modo que exista un gradiente de fase uniforme a través del conjunto de subagrupaciones superpuestas y de modo que los patrones de subagrupación se sumen coherentemente en la dirección requerida. La selección de pesos complejos para la generación de haces puntuales se comprenderá por parte del experto en la materia y no se describirá en detalle en este documento. Tal como se menciona anteriormente, si un canal de frecuencia se reutiliza en más de un haz puntual, puede proporcionarse más de un conformador de haz digital para ese canal de frecuencia y cada conformador de haz digital conforma un haz separado.

Con referencia a la figura 4, en un ejemplo, la apertura de la agrupación de elementos en fase puede comprender 64 elementos de antena y los elementos de antena pueden dividirse en subagrupaciones de 4 elementos cada una. Las subagrupaciones se superponen y cada elemento participa en múltiples subagrupaciones. Tal como se indica para el elemento (7') en la figura 4, si cada subagrupación comprende cuatro elementos, un elemento puede participar en cuatro subagrupaciones diferentes.

Cada una de las subagrupaciones que comprende cuatro elementos puede estar configurada para producir tres nulos separados simultáneamente. Con el fin de generar cuatro nulos, cada subagrupación tendría que comprender cinco elementos. En otras palabras, cada subagrupación tendría que incluir un elemento más que el número de nulos que la subagrupación está dispuesta para producir. Si sólo se requiere que la agrupación de elementos en

fase cree un nulo, las subagrupaciones sólo tienen que incluir dos elementos cada uno.

En algunas configuraciones de agrupación, las subagrupaciones de dos elementos pueden tener un efecto no buscado sobre el patrón en otras direcciones distintas de la dirección deseada ya que un nulo de dos elementos puede, en alguna configuración de agrupación, generar un nulo lineal perpendicular a la línea que une los elementos. El efecto no deseado puede evitarse si no todas las subagrupaciones de 2 elementos están orientadas de la misma manera. Alternativamente o además, el efecto no deseado puede evitarse si al menos algunas de las agrupaciones están compuestas de más de dos elementos.

- 10 En algunas realizaciones, las subagrupaciones pueden reorganizarse si se requieren más o menos nulos. En otras realizaciones, las subagrupaciones están cableadas. Se contempla que cuando las subagrupaciones están cableadas las subagrupaciones están dispuestas para ocupar un número de nulos apropiado para la aplicación en la cual se usa la antena. Si la antena está sometida a señales interferentes procedentes de un número de direcciones superior al número máximo de nulos que pueden ser generados por las agrupaciones, los conformadores de haz digitales todavía pueden funcionar incorrectamente. Para impedir que los conformadores de haz digitales funcionen incorrectamente, los amplificadores de bajo ruido (8) pueden usarse para simplemente atenuar la señal que va del amplificador de bajo ruido al conformador de haz digital. Por supuesto, esto tendría como resultado una relación de nivel de señal a ruido reducida y una sensibilidad reducida de la cabina útil del satélite.
- 15 20 Con referencia a la figura 5, se muestra una vista en perspectiva de los componentes de la capa de conformación de haz analógica (16) y una pluralidad de elementos de antena, (7a) a (7f). Los amplificadores de bajo ruido (8) se han omitido del diagrama por claridad. También se han omitido por claridad los divisores de señal para dividir la señal procedente del amplificador de bajo ruido en un número de señales que corresponde al número de elementos en cada subagrupación. La capa de conformación de haz analógica (16) comprende una pluralidad de dispositivos de ponderación de amplitud y fase (19a), (19a'), (19b''), (19b''') y una pluralidad de dispositivos sumadores (20a), (20b), (20c), (20d) para sumar las contribuciones de elementos ponderadas para proporcionar la salida global de la subagrupación. Los dispositivos de ponderación de amplitud y fase y el dispositivo sumador para una subagrupación particular constituyen el conformador de haz analógico (16a), (16b) para esa subagrupación. Tal como puede verse en la figura 5, en la capa de conformación de haz analógica, cada señal de elemento es dividida en cuatro componentes y cada componente es ponderada en su dispositivo de ponderación de amplitud y fase respectivo. Las componentes ponderadas procedentes de cuatro elementos de una subagrupación se suman luego en el dispositivo de suma asociado con esa subagrupación. La salida del dispositivo de suma se proporciona a los convertidores reductores (no mostrados en la figura 5). Debería comprenderse que aunque en la figura 5 se muestra un solo dispositivo para ajustar tanto la fase como la amplitud, la fase y la amplitud pueden ajustarse en dispositivos separados.

Ajustando la fase de cada señal de contribución con respecto a la fase de las otras señales de contribución, puede crearse el nulo. La figura 6 muestra una manera de establecer la fase dentro de una subagrupación para crear un nulo, donde la fase de cada señal de elemento en una dirección de las agujas del reloj está desplazada 90 grados o  $\pi/2$ . Si la señal procedente de uno de los elementos de una subagrupación tiene una fase  $\Phi_1 = X$  grados con respecto a una referencia, la fase de la señal procedente del siguiente elemento en una dirección de las agujas del reloj se establece en  $\Phi_2 = X + \pi/2 \pmod{2\pi}$ , la fase de la señal procedente del tercer elemento se establece en  $\Phi_3 = X + \pi \pmod{2\pi}$  y la fase de la señal procedente del cuarto elemento se establece en  $\Phi_4 = X + 3\pi/2 \pmod{2\pi}$ . Si  $x$  es igual a 0 grados,  $\Phi_2$  es igual a 90 grados,  $\Phi_3$  es igual a 180 grados, y  $\Phi_4$  es igual a 270 grados. Si las fases respectivas se establecieran tal como se muestra en el ejemplo de la figura 6, el nulo se crearía en el eje de puntería. Cambiando las fases respectivas de las señales procedentes de los diferentes elementos de las subagrupaciones, el nulo puede alejarse del eje de puntería. El patrón de la subagrupación, incluyendo el nulo, puede orientarse aplicando un gradiente de fase adicional a través del mismo, como comprendería un experto en la materia.

- 50 Debería comprenderse que cuando no se requiere la formación de nulos, los dispositivos de ponderación de fase y amplitud se establecen de modo que sólo una de las contribuciones de señal de elemento tiene una amplitud no cero. En consecuencia, de nuevo con referencia a la figura 5, el dispositivo de ponderación de amplitud y fase (19a) del conformador de haz analógico (16a) puede establecerse para que permita la porción de señal procedente del elemento de antena (7a) a través, mientras que los dispositivos de ponderación de amplitud (19a'), (19a'') y (19a''') pueden establecerse para que bloqueen las contribuciones de los elementos (7b), (7d) y (7e) respectivamente. Por otra parte, el dispositivo de ponderación de amplitud (19b) del conformador de haz analógico (16b) puede establecerse para que permita la señal procedente del elemento (7b) a través mientras que los dispositivos de ponderación de amplitud (19b'), (19b'') y (19b''') del conformador de haz analógico (16b) pueden establecerse para que bloqueen las contribuciones de los elementos de antena (7c), (7e) y (7f) respectivamente. En consecuencia, la

señal en cada salida corresponde a un solo elemento de antena. En otras palabras, los dispositivos de ponderación de amplitud y fase pueden establecerse de modo que la red de conformación de haz analógica (16) no afecte a las señales procedentes de los elementos de antena. Toda la conformación de haz se lleva a cabo entonces en la red de conformación de haz digital (14).

5

Las figuras 7a y 7b muestran un patrón de radiación con un nulo creado dentro de un haz puntual. Las figuras 7a y 7b ilustran cómo la capa de conformación de haz analógica no tiene un efecto perjudicial sobre los haces puntuales creados como parte de un patrón de radiación con un nulo. La intensidad del patrón de radiación se da en unidades de dBi (decibelio isótropo). La figura 7a muestra un patrón de radiación con el nulo y el haz puntual conformados en la red de conformación de haz digital. La figura 7b muestra un patrón de radiación con el nulo conformado en la red de conformación de haz analógica (16) y el haz puntual conformado en la red de conformación de haz digital (14). Resulta evidente a partir de las figuras 7a y 7b que con un nulo, la directividad del haz puntual no se ve afectada significativamente por la etapa anterior a la creación del nulo. Si el nulo está situado en la dirección de una señal interferente, la capa analógica puede usarse para bloquear la señal interferente para que no alcance el conformador de haz digital sin efecto perjudicial para la directividad global del haz puntual.

La figura 8a y la 8b muestran un patrón de radiación con dos nulos. La intensidad del patrón de radiación está dada en unidades de dBi (decibelio isótropo). Los nulos han sido conformados en la capa de conformación de haz digital en la figura 8a y en la capa analógica en la figura 8b. Como puede verse, la etapa anterior a la creación del nulo analógica tiene algún efecto sobre la directividad del haz puntual dentro del cual son conformados los nulos porque el procesamiento en la capa analógica hace que la región abarcada por el haz puntual se reduzca. Sin embargo, si los niveles de señal de las señales interferentes fueran suficientemente altos, una antena de elementos en fase convencional que sólo comprenda conformadores de haz digitales no habría podido recibir las señales buscadas ya que la señal interferente habría interferido el procesador digital. Una antena de elementos en fase que incluya una capa de conformación de haz analógica de acuerdo con la invención todavía podría recibir las señales pero desde un área reducida. En muchas aplicaciones, el área reducida sería más que suficiente para poder generar los haces requeridos.

Una razón para el haz puntual reducido cuando la capa analógica genera dos nulos es que cuanto mayores son las subagrupaciones requeridas, menor es el número de subagrupaciones completas que pueden formarse y menor es el número de señales de salida de subagrupación proporcionadas a los conformadores de haz digitales. Tal como se menciona anteriormente, una subagrupación debe incluir un elemento más que el número de nulos que está configurado para generar. Tal como se muestra con respecto a la figura 9a, en una apertura que comprende 64 elementos divididos en subagrupaciones de dos elementos, existe espacio para 8 subagrupaciones en una primera dimensión y siete subagrupaciones en una segunda dimensión, creando un total de 56 subagrupaciones de dos elementos. La última subagrupación de cada columna sólo comprendería un elemento que no sería suficiente para producir un nulo. En consecuencia, se proporcionarían 56 señales en lugar de 64 señales al procesador de señales digitales cuando las subagrupaciones están dispuestas para generar un nulo. El uso de 56 puntos de control del total de 64 puntos de control de la red de conformación de haz digital está suficientemente cerca del máximo de 64 puntos de control para que el patrón no se vea afectado significativamente por la etapa anterior a la creación de nulos.

Sin embargo, para subagrupaciones de 3 elementos, 4 elementos y más elementos, la reducción en el número de puntos de control usados tiene un efecto más evidente sobre el patrón de radiación. La figura 9b muestra una apertura de la antena de elementos en fase que tiene una pluralidad de subagrupaciones de 3 elementos dispuestos en una retícula triangular y la figura 9c muestra una apertura que tiene una pluralidad de subagrupaciones de 4 elementos dispuestos en una retícula cuadrada. Tanto para subagrupaciones de 3 elementos como subagrupaciones de 4 elementos, sólo pueden conformarse 49 subagrupaciones completas de 3 elementos o 4 elementos, como puede verse en las figuras 9b y 9c. Esto significa que en algunas realizaciones sólo se usan 49 del total de 64 puntos de control en la red de conformación de haz digital y sólo puede generarse como resultado un patrón de haz puntual reducido. En algunas realizaciones, este problema puede solucionarse incluyendo elementos adicionales en la antena.

Debería comprenderse que aunque el número de subagrupaciones usadas puede ser menor que el número de elementos de antena en algunas circunstancias, el número de salidas (17) disponibles de la capa de conformación de haz analógica y el número de entradas disponibles de la capa de conformación de haz digital todavía pueden ser iguales al número de elementos de antena. Algunas salidas (17) pueden estar conectadas a subagrupaciones que comprenden menos que el número requerido de elementos para producir el número de nulos para el cual está diseñada la red de conformación de haz analógica. Alternativamente, alguna salida (17) puede estar conectada directamente a elementos de antena. Las salidas pueden no usarse cuando la antena operada para producir nulos en

el patrón de radiación. Sin embargo, cuando no se requieren nulos en el patrón de radiación las salidas pueden permitir señales a través desde los elementos de antena respectivos hasta las redes de conformación de haz digital. Cuando no se requieren nulos, los pesos de conformación de haz analógica se establecen de modo que cada salida (17) de la red de conformación de haz analógica produce como salida una señal procedente de un solo elemento de antena. En otras palabras, cada entrada (11) al procesador de señales digitales recibe una señal procedente de un elemento de antena separado. En consecuencia, la capa de conformación de haz analógica está diseñada de modo que cuando no se requieren nulos, tiene poco o ningún efecto sobre el patrón de radiación.

La figura 10a y la 10b muestran un patrón de radiación con un nulo formado fuera de un haz puntual. La intensidad del patrón de radiación está dada en unidades de dBi (decibelio isótropo). Los nulos han sido conformados en la red de conformación de haz digital (14) en la figura 10a y en la red de conformación de haz analógica (16) en la figura 10b. Las flechas indican la ubicación del nulo. Como ya se mostró con respecto a la figura 8a y la 8b, el efecto del número ligeramente reducido de señales proporcionadas al procesador de señales digitales por la red de conformación de haz analógica, cuando la red de conformación de haz analógica está dispuesta para producir un solo nulo, no afecta significativamente al patrón de radiación.

Aunque se han descrito ejemplos específicos de la invención, el alcance de la invención se define por las reivindicaciones adjuntas y no se limita a los ejemplos. Por lo tanto, la invención podría implementarse de otras maneras, como se apreciaría por parte de los expertos en la materia.

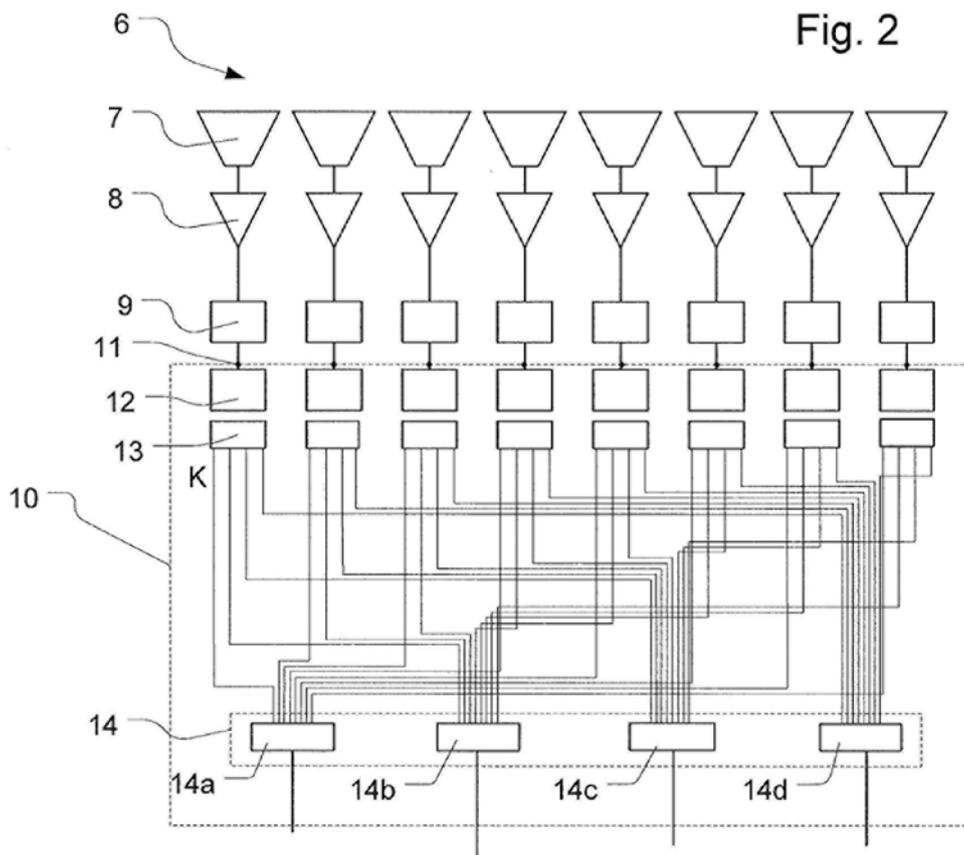
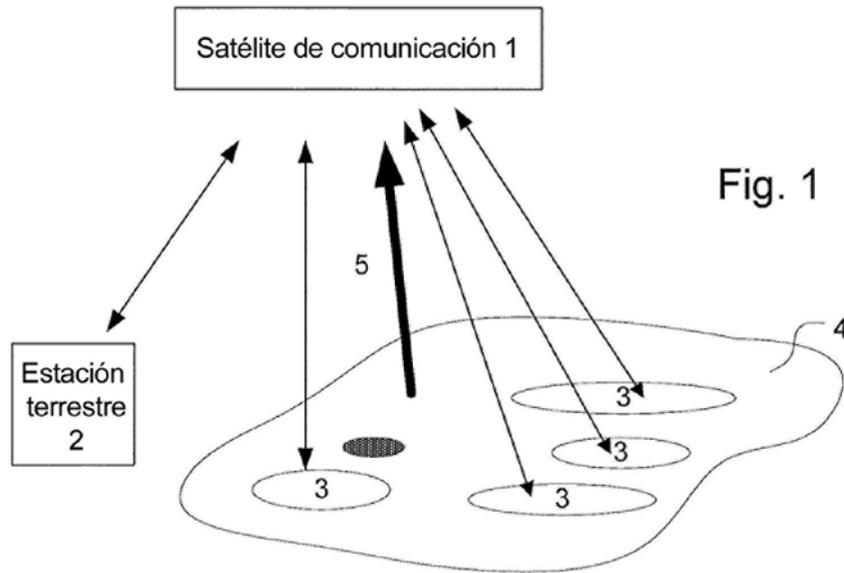
Debería comprenderse que aunque se ha mostrado una apertura de 64 elementos, la invención puede aplicarse a cualquier tamaño de la apertura y cualquier número de elementos en la apertura. Por otra parte, aunque se han mostrado elementos y agrupaciones de formas y configuración específicas, puede usarse cualquier forma, tamaño y configuración.

Por otra parte, la invención no se limita a una antena de agrupación de radiación directa. La invención puede implementarse en cualquier tipo de antena adecuada usando una agrupación de elementos de antena. En lugar de una antena de radiación directa, puede usarse una antena que usa reflectores. Por otra parte, la antena no tiene que usarse necesariamente en un satélite de comunicación. La invención puede usarse para reducir la exposición de los componentes de cualquier antena a señales interferentes.

**REIVINDICACIONES**

1. Una antena de elementos en fase (15) para proporcionar una pluralidad de haces de comunicación en una región geográfica predefinida,  
5  
comprendiendo la antena una pluralidad de elementos de antena (7), teniendo cada elemento de antena una señal de elemento de antena que tiene una relación de fase y una relación de amplitud con las otras señales de elemento; una disposición de procesamiento de señales digitales (10) para proporcionar una red de conformación de haz digital (14); y  
10 una red de conformación de haz analógica (16) configurada para aplicar pesos de conformación de haz analógica a señales recibidas desde dichos elementos de antena (7), donde los pesos de conformación de haz analógica se seleccionan para generar un nulo en el patrón de radiación dentro de la región geográfica predefinida en una dirección que corresponde a una señal interferente para reducir la exposición de la disposición de procesamiento de  
15 señales (10) a la señal interferente, y donde la red de conformación de haz digital está configurada para aplicar pesos de conformación de haz digital a señales recibidas desde dicha red de conformación de haz analógica (16) para cada uno de dichos haces de comunicación de modo que el patrón de radiación compuesto de la antena proporciona dichos haces de comunicación.
- 20 2. Una antena de elementos en fase (15) de acuerdo con la reivindicación 1, donde dichos elementos de antena (7) están separados en una pluralidad de subagrupaciones superpuestas (18), comprendiendo cada subagrupación un subconjunto de todos los elementos de antena (7), estando configurada dicha red de conformación de haz analógica (16) para asignar a elementos de cada subagrupación pesos de conformación de  
25 haz de subagrupación (18) respectivos para crear dicho nulo y estando configurada dicha red de conformación de haz digital para asignar a cada subagrupación (18) pesos de conformación de haz para dicho al menos un haz de comunicación para producir dicho al menos un haz de comunicación.
3. Una antena de elementos en fase (15) de acuerdo con la reivindicación 2, donde dicha red de conformación de haz analógica está configurada para crear más de un nulo en el patrón de radiación.  
30
4. Una antena de elementos en fase (15) de acuerdo con la reivindicación 3, donde cada subagrupación (18) comprende más de dos elementos (7).
5. Una antena de elementos en fase (15) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4,  
35 donde cada uno de una pluralidad de elementos de antena (7), excepto los elementos de antena en los bordes de la antena de elementos en fase (15), participa en un número de subagrupaciones igual al número de elementos por subagrupación.
6. Una antena de elementos en fase (15) de acuerdo con la reivindicación 5, donde la red de conformación de haz analógica (16) comprende un número de puertos de salida (17) y el procesador de señales digitales (10) comprende un número de puertos de entrada (11), estando conectado cada subagrupación (18) a un puerto de salida (17) y estando conectado cada puerto de salida (17) a un puerto de entrada separado (11) del procesador de señales digitales y donde el número de puertos de salida (17) de la red de conformación de haz analógica es igual al número de elementos de antena de la antena de elementos en fase.  
45
7. Una antena de elementos en fase (15) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 6, donde la red de conformación de haz digital (14) comprende al menos un punto de control para cada elemento de antena (7).
- 50 8. Una antena de elementos en fase (15) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 7, donde dicha red de conformación de haz analógica (16) comprende medios de ponderación de fase y de ponderación de amplitud conectados a cada elemento de antena (7) para aplicar pesos de conformación de haz a señales procedentes de los elementos de antena (7) y un dispositivo de suma para cada subagrupación (18) para sumar las señales ponderadas.  
55
9. Una antena de elementos en fase (15) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 8 comprende además medios de conversión analógica a digital (12) entre la red de conformación de haz analógica (16) y la red de conformación de haz digital (14).
- 60 10. Una antena de elementos en fase (15) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 9,

- que comprende además una pluralidad de demultiplexores de frecuencia (13), estando configurado cada demultiplexor para demultiplexar la salida de una subagrupación (18) en una pluralidad de canales de frecuencia y donde la red de conformación de haz digital (14) comprende al menos un conformador de haz digital para cada uno de la pluralidad de canales de frecuencia, estando conectado cada conformador de haz digital para recibir señales de canal de frecuencia respectivas procedentes de cada salida de subagrupación (18) y estando dispuesto para aplicar un peso complejo a cada una de dichas señales de canal de frecuencia respectivas y para sumar las señales de canal ponderadas para proporcionar una señal de salida de canal.
- 5 11. Una antena de elementos en fase (15) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 10, donde dichos elementos de antena (7) están dispuestos en dos dimensiones y cada subagrupación (18) se extiende en las dos dimensiones.
- 10 12. Un sistema de comunicación por satélite que comprende una antena de elementos en fase (15) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores.
- 15 13. Un procedimiento de operación de una antena de elementos en fase (15) para proporcionar una pluralidad de haces de comunicación en una región geográfica predefinida, comprendiendo dicha antena de elementos en fase una pluralidad de elementos de antena (7), teniendo cada elemento de antena una señal de elemento de antena que tiene una relación de fase y una relación de amplitud con las otras señales de elemento, una disposición de procesamiento de señales digitales (10) para proporcionar una red de conformación de haz digital (14), y una red de conformación de haz analógica (16), comprendiendo el procedimiento:
- 20 asignar, en la red de conformación de haz analógica, pesos de conformación de haz analógica a señales recibidas desde dichos elementos de antena (7) para generar un nulo dentro de la región geográfica predefinida en una dirección que corresponde a la señal interferente para reducir la exposición de la disposición de procesamiento de señales digitales a la señal interferente, proporcionar señales de salida desde dicha red de conformación de haz analógica (16) a la red de conformación de haz digital (14); y
- 25 asignar pesos de conformación de haz digital, en la red de conformación de haz digital (14), para cada uno de dichos haces de comunicación a dichas señales de salida de dicha red de conformación de haz analógica (16) de modo que el patrón de radiación compuesto de la antena proporciona dichos haces de comunicación.
- 30 14. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 13, que comprende además
- 35 separar dichos elementos de antena (7) en una pluralidad de subagrupaciones superpuestas (18), comprendiendo cada subagrupación un subconjunto de todos los elementos de antena, donde asignar pesos de conformación de haz a dichas señales recibidas desde dichos elementos de antena (7) comprende asignar a elementos de cada subagrupación (18) pesos de subagrupación respectivos, donde proporcionar señales de salida desde dicha red de conformación de haz analógica (16) comprende sumar
- 40 señales ponderadas procedentes de elementos de cada subagrupación (18) para proporcionar una señal de salida para cada subagrupación a la red de conformación de haz digital (14), y donde asignar pesos de conformación de haz a dichas señales de salida comprende asignar a cada subagrupación (18) pesos de conformación de haz respectivos para dicho al menos un haz de comunicación para proporcionar dicho al menos un haz de comunicación.
- 45



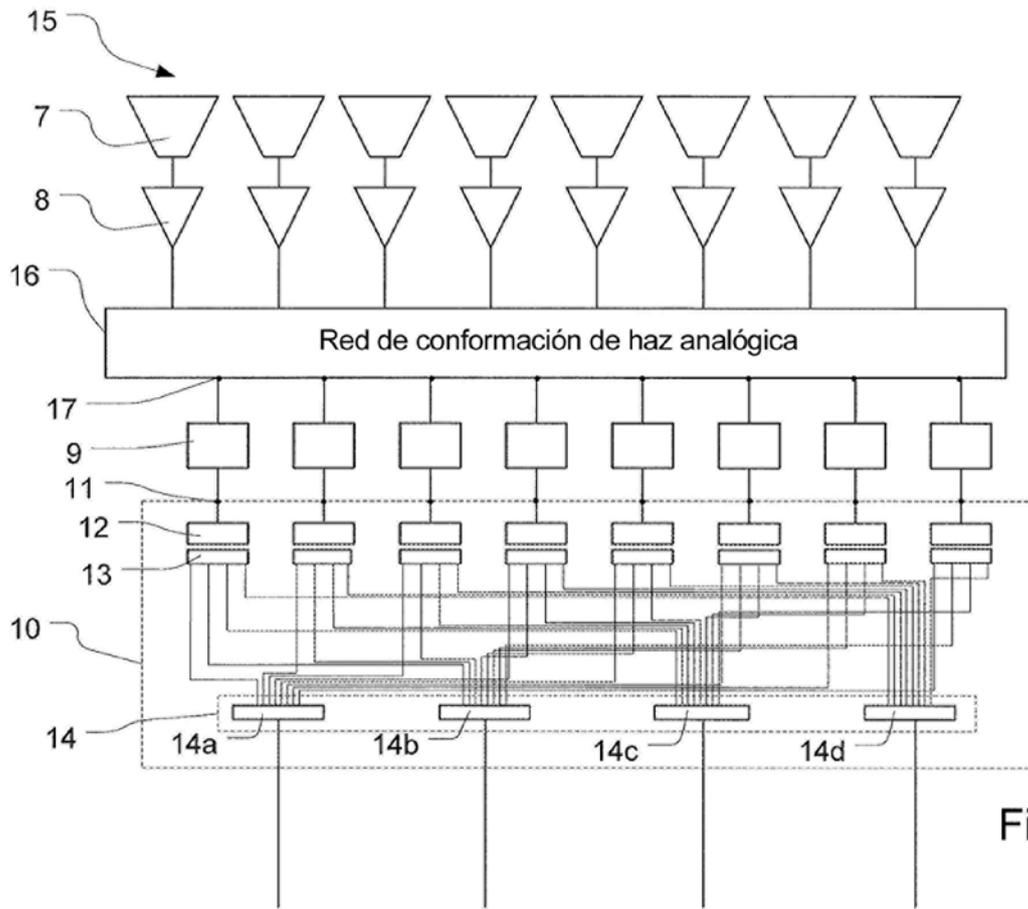


Fig. 3

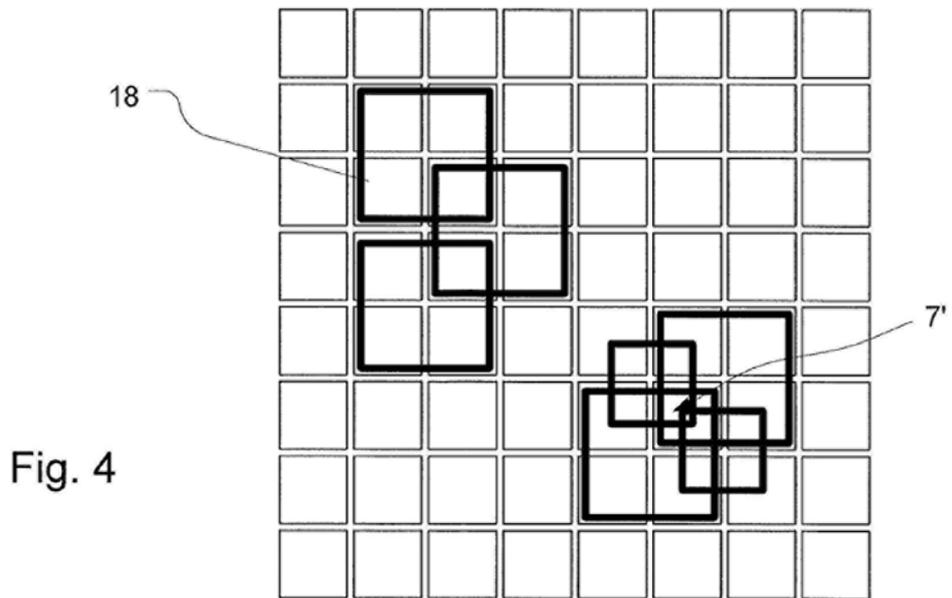


Fig. 4

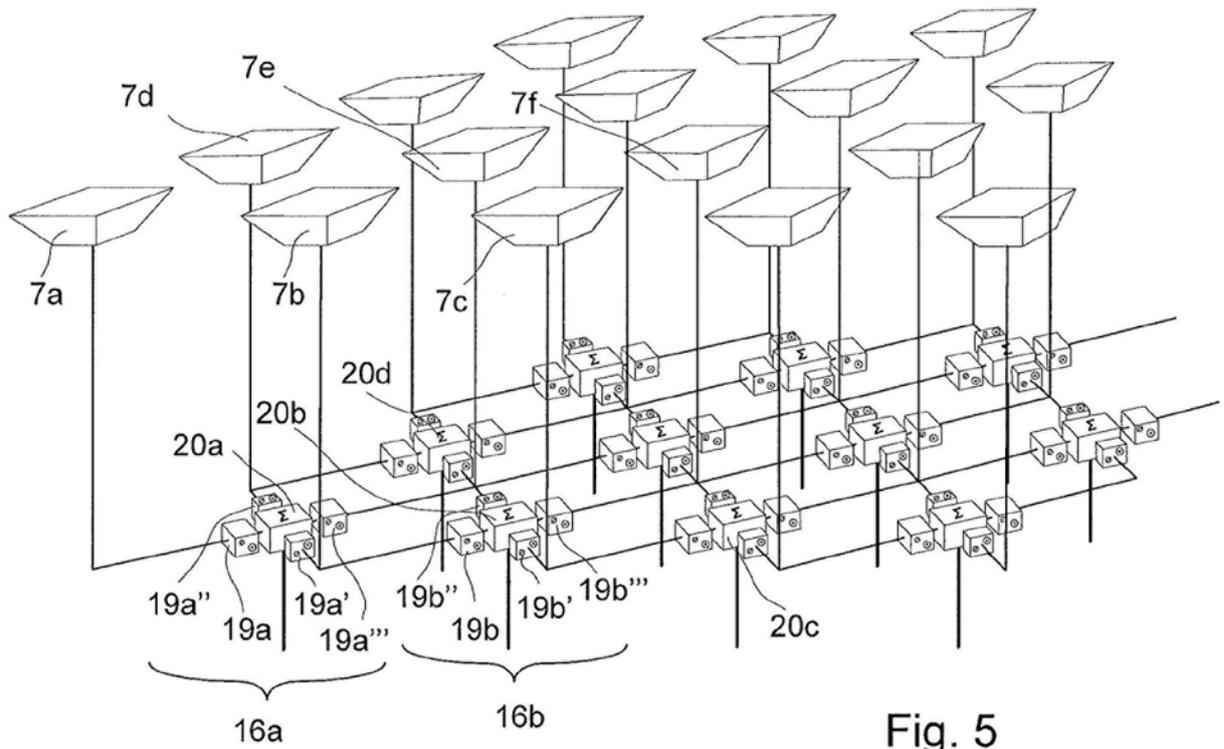


Fig. 5

|                               |                              |
|-------------------------------|------------------------------|
| $X$                           | $X + \pi/2$<br>(mod $2\pi$ ) |
| $X + 3\pi/2$<br>(mod $2\pi$ ) | $X + \pi$<br>(mod $2\pi$ )   |

Fig. 6

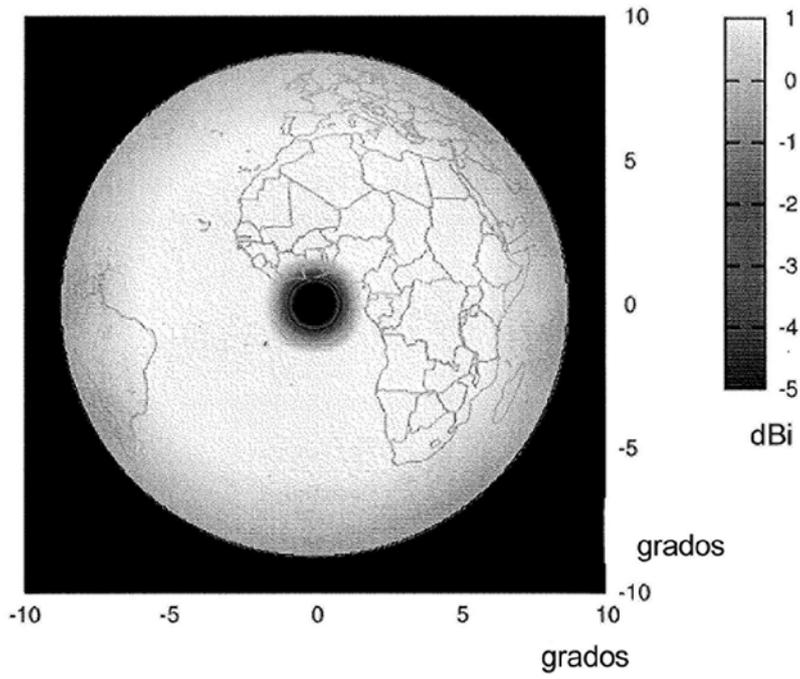


Fig. 7a

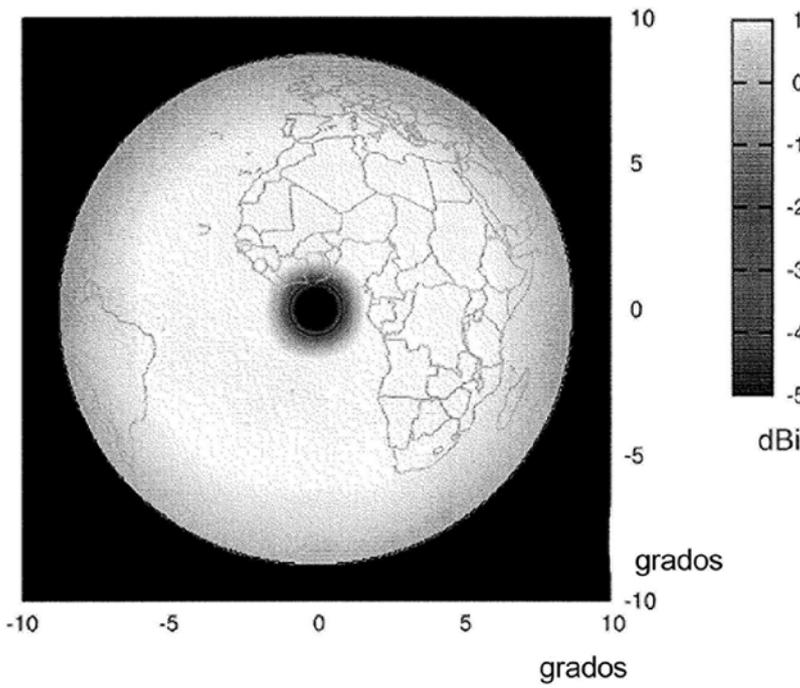


Fig. 7b

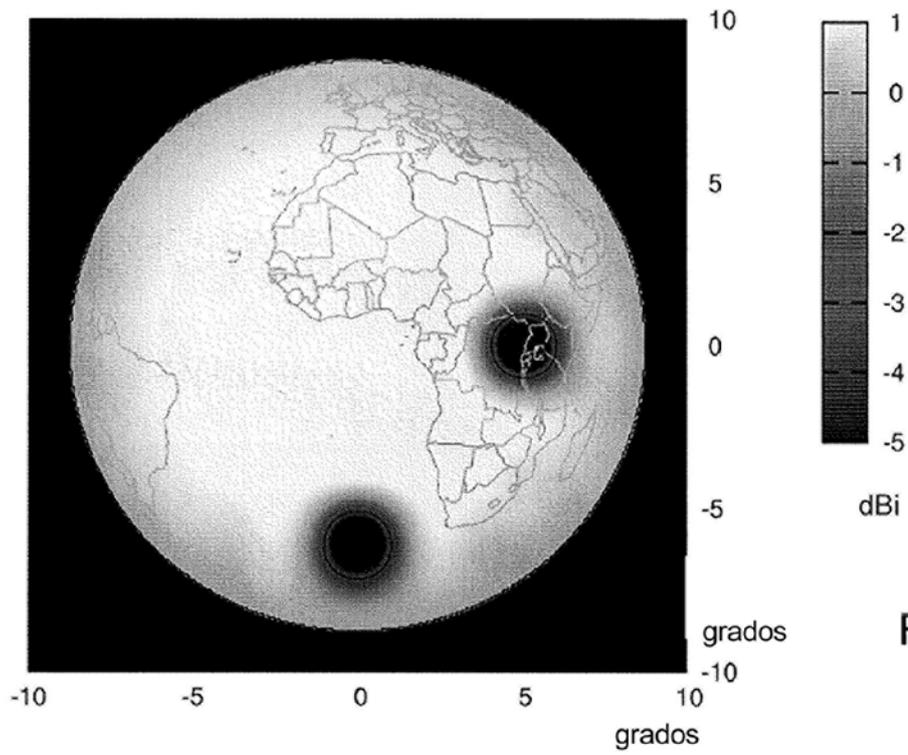


Fig. 8a

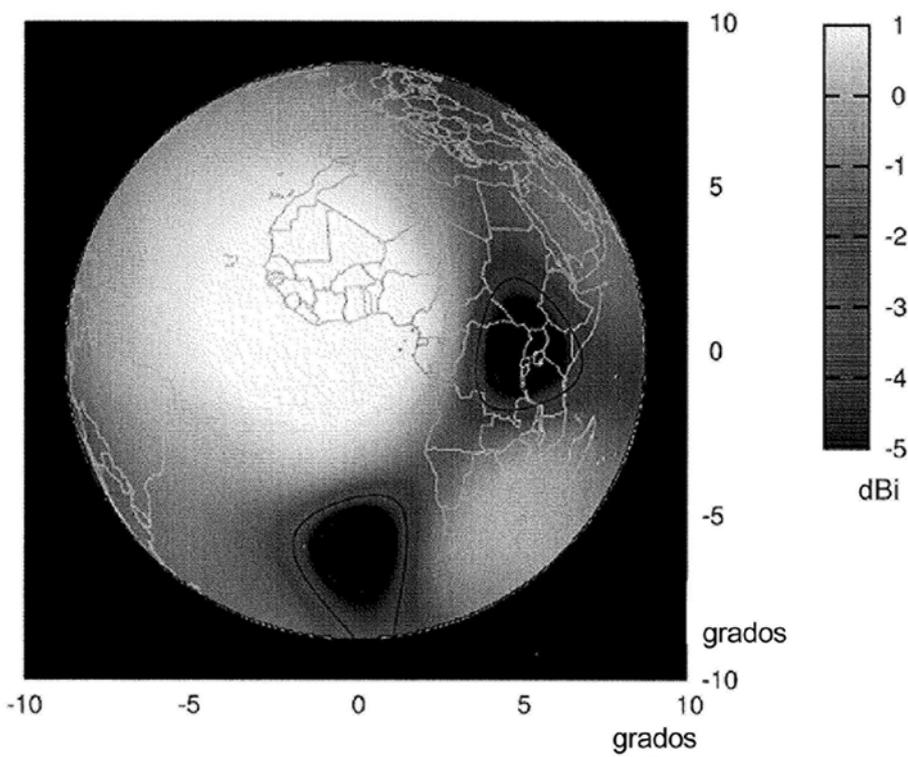


Fig. 8b

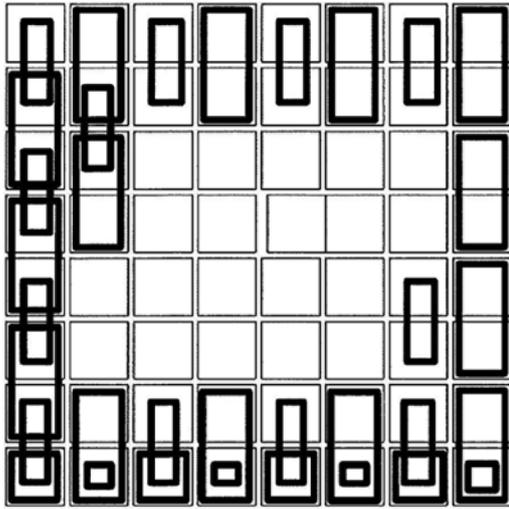


Fig. 9a

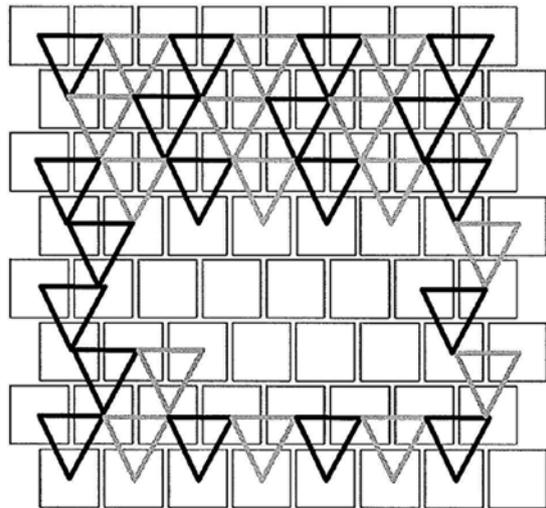


Fig. 9b

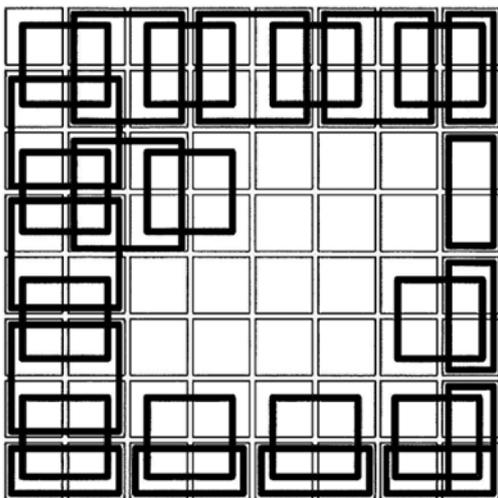


Fig. 9c

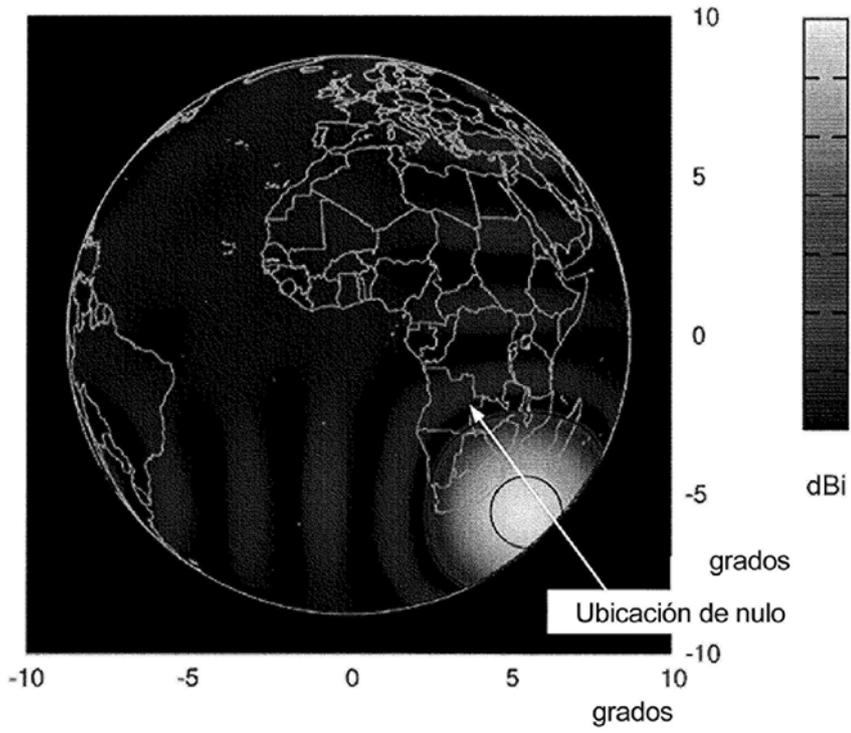


Fig. 10a

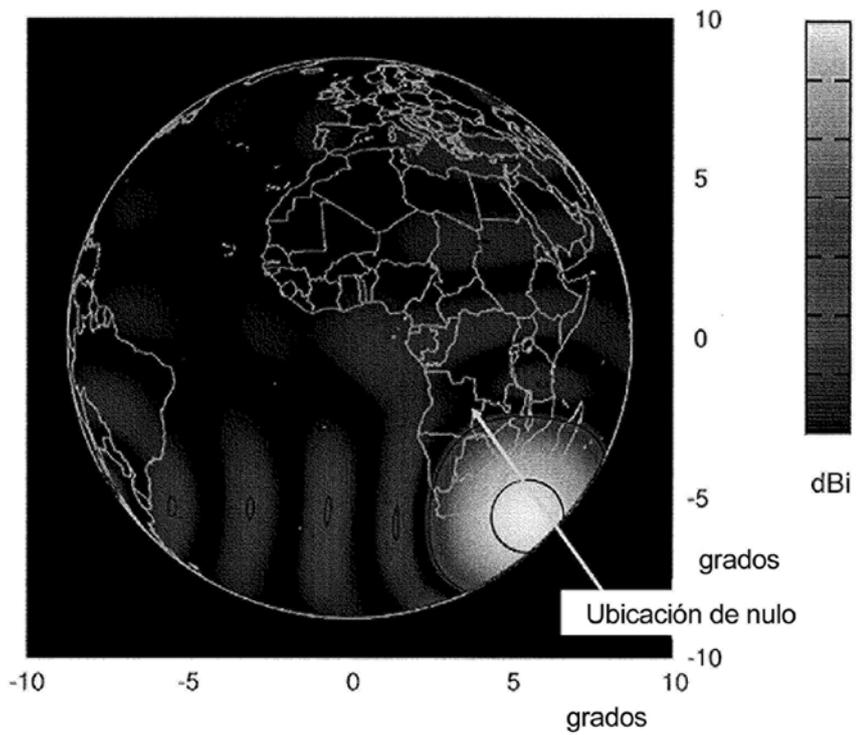


Fig. 10b