(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 769 323**

(51) Int. CI.:

***H04B 7/185*** (2006.01)
***H04B 7/204*** (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.01.2017 PCT/US2017/013518**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **20.07.2017 WO17124004**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.01.2017 E 17703844 (5)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.11.2019 EP 3298703**

(54) Título: **Formación de haces de antena terrestres para comunicaciones entre clústeres de nodos de acceso y terminales de usuarios enlazados por un relé como un satélite**

(30) Prioridad:

**13.01.2016 US 201662278368 P**
**23.02.2016 US 201662298911 P**
**23.03.2016 US 201662312342 P**
**29.03.2016 US 201662314921 P**
**08.04.2016 WO PCT/US2016/026815**
**07.12.2016 US 201662431416 P**

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
**25.06.2020**

(73) Titular/es:

**VIASAT, INC. (100.0%)**
**6155 El Camino Real**
**Carlsbad, CA 92009, US**

(72) Inventor/es:

**CRONIN, CHRISTOPHER;**
**MILLER, MARK;**
**DANKBERG, MARK;**
**BUER, KENNETH y**
**RUNYON, DONALD**

(74) Agente/Representante:

**DEL VALLE VALIENTE, Sonia**

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

Formación de haces de antena terrestres para comunicaciones entre clústeres de nodos de acceso y terminales de usuarios enlazados por un relé como un satélite

### Campo técnico

Los sistemas, métodos y aparatos descritos se refieren a la formación de haces de extremo a extremo en un sistema mediante el uso de un relé de extremo a extremo.

### Antecedentes

Los sistemas de comunicación inalámbrica, tales como los sistemas de comunicación por satélite, proporcionan un medio por el cual los datos, que incluyen audio, video y otros diversos tipos de datos, pueden comunicarse desde una ubicación a otra. La información se origina en una primera estación, tal como una primera estación terrestre, y se transmite a un relé inalámbrico, tal como un satélite de comunicaciones. La información recibida por el relé inalámbrico se retransmite a una segunda estación, tal como una segunda estación terrestre. En algunos sistemas de comunicaciones de relés inalámbricos, ya sea la primera o la segunda estación (o ambas) se montan en una embarcación, tal como una embarcación aérea, una embarcación marítima, o una embarcación terrestre. La información puede transmitirse en solo una dirección (*p. ej*., solo desde una primera estación terrestre a una segunda estación terrestre) o puede transmitirse en ambas direcciones (*p. ej*., además desde la segunda estación terrestre a la primera estación terrestre).

En un sistema de comunicaciones de relé inalámbrico en el cual el relé inalámbrico es un satélite, el satélite puede ser un satélite geoestacionario, en cuyo caso la órbita del satélite se sincroniza a la rotación de la Tierra, manteniendo el área de cobertura del satélite esencialmente estacionaria con respecto a la Tierra. En otros casos, el satélite está en una órbita alrededor de la Tierra, que provoca que el área de cobertura del satélite se mueva sobre la superficie de la Tierra mientras el satélite atraviesa su trayectoria orbital.

Las señales que se dirigen a o desde una primera estación pueden dirigirse mediante el uso de una antena que se conforma para enfocar la señal en un haz estrecho. De forma típica dichas antenas tienen un reflector con forma parabólica para enfocar el haz.

En algunos casos, un haz puede formarse electrónicamente al ajustar la ganancia y la fase (o tiempo de retardo) de señales que se transmiten, se reciben, o de ambas desde varios elementos de una antena de elementos de fase. El haz épuede dirigirse al seleccionar correctamente la fase y ganancia relativas transmitidas y/o recibidas por cada elemento de una antena de arreglo de fase. En la mayoría de los casos, toda la energía que se transmite desde una estación terrestre está destinada a ser recibida por un relé inalámbrico. De manera similar, la información recibida por la segunda estación se recibe de forma típica desde un relé inalámbrico a la vez. Por lo tanto, es normal que un haz de transmisión que se forma para transmitir la información al relé inalámbrico (ya sea por el uso de la formación de haz electrónica o por el uso de una antena con un reflector conformado) es relativamente estrecho para permitir que tanta transmisión de energía como sea posible se dirija al relé inalámbrico. Del mismo modo, un haz de recepción que se forma para recibir la información desde el relé inalámbrico es de forma típica estrecho para reunir la energía desde la dirección del relé inalámbrico con la mínima interferencia desde otras fuentes.

En muchos casos de interés, las señales que son transmitidas desde el relé inalámbrico a la primera y a la segunda estaciones no se dirigen a una sola estación. Más bien, el relé inalámbrico es capaz de transmitir señales sobre un área geográfica relativamente grande. Por ejemplo, en un sistema de comunicaciones por satélite, un satélite puede proporcionar servicio a la totalidad de los Estados Unidos continentales. En dicho caso, se dice que el satélite tiene un área de cobertura satelital que incluye la totalidad de los Estados Unidos continentales. Sin embargo, con el propósito de aumentar la cantidad de datos que pueden transmitirse a través de un satélite, la energía transmitida por el satélite se enfoca en los haces. Los haces pueden dirigirse a áreas geográficas en la Tierra.

US 2008/0051080 A1 describe métodos, sistemas y aparatos para la formación de haces terrestre de una carga de comunicaciones por satélite dentro de una red de comunicaciones por satélite.

### Resumen

Se expone una invención en las reivindicaciones adjuntas.

**Breve descripción de las figuras**

Los dibujos se proporcionan solo para propósitos de ilustración, y simplemente representan ejemplos. Estos dibujos se proporcionan para facilitar la comprensión del lector del método descrito y del aparato. No limitan la amplitud, alcance, o la aplicabilidad de la invención reivindicada. Para mayor claridad y facilidad de ilustración, estos dibujos no se hacen necesariamente a escala.

La Figura 1 es una ilustración de un ejemplo de un sistema de comunicación por satélite.

La Figura 2 es un diagrama que muestra un patrón de haces ilustrativo que abarca los Estados Unidos continentales.

La Figura 3 es una ilustración de un ejemplo del enlace directo de un sistema de comunicación por satélite en el cual el satélite tiene una capacidad de formación de haces integrada de elementos de fase de alimentación múltiple por haz.

La Figura 4 es una ilustración de un ejemplo del enlace directo de un sistema de comunicación por satélite que tiene formación de haces terrestre.

La Figura 5 es una ilustración de un ejemplo de un sistema de formación de haces extremo a extremo.

La Figura 6 es una ilustración de ejemplo de los trayectos de las señales para las señales en la dirección de retorno.

La Figura 7 es una ilustración de ejemplo de los trayectos de la señal en la dirección de retorno desde una terminal de usuario.

La Figura 8 es una ilustración simplificada de un ejemplo de modelo de la matriz del canal de retorno de extremo a extremo.

La Figura 9 es una ilustración de ejemplo de los trayectos de la señal en la dirección directa.

La Figura 10 es una ilustración del ejemplo de los trayectos de la señal en la dirección directa a una terminal de usuario ubicada dentro de un área de cobertura del haz de usuario.

La Figura 11 es una ilustración simplificada de un ejemplo de modelo de la matriz de canal directo de extremo a extremo.

La Figura 12 es una ilustración de un ejemplo de satélite de relé de extremo a extremo que admite datos directos y de retorno.

La Figura 13 es una ilustración de un ejemplo de un rango de frecuencias de enlace ascendente que se divide en dos porciones.

La Figura 14 es una ilustración de un ejemplo de relé de extremo a extremo que multiplexa el tiempo entre los datos directos y los datos de retorno.

La Figura 15 es un diagrama de bloques de componentes de un ejemplo de relé de extremo a extremo implementado como un satélite.

La Figura 16 es un diagrama de bloques de un ejemplo de transpondedor que incluye un desfasador.

La Figura 17 es un gráfico de ejemplo de patrones de la intensidad de señal de varios elementos de la antena.

La Figura 18 es una ilustración de ejemplo de los contornos de la intensidad de la señal de 3 dB para varios elementos de la antena.

La Figura 19 es una ilustración de ejemplo de los patrones de la intensidad de la señal de superposición de varios elementos de la antena.

Las Figuras 20A – 20E son una ilustración de ejemplo de los contornos de intensidad de la señal de 3 dB de superposición para varios elementos de la antena.

La Figura 21 es una ilustración de un ejemplo de enumeración de los 16 elementos de la antena y sus contornos de intensidad de señal de 3 dB de superposición.

La Figura 22 es una tabla que muestra un ejemplo de correlaciones de los elementos de la antena de recepción a los elementos de la antena de transmisión a través de los 16 transpondedores.

La Figura 23 es una ilustración de una sección transversal de un reflector de antena parabólica y un arreglo de elementos centrados en el punto focal de la parábola.

La Figura 24 es una ilustración de una sección transversal de un reflector de antena parabólica y un arreglo de elementos colocados lejos del punto focal de la parábola.

La Figura 25 es una ilustración de un ejemplo de un área de cobertura del relé (se muestra con un solo sombreado diagonal) y el área (se muestra con doble sombreado diagonal) definida por los puntos dentro del área de cobertura del relé que están contenidos, además, dentro de seis áreas de cobertura del elemento de la antena.

La Figura 26 es una ilustración de un ejemplo de patrón de antena del relé en el cual todos los puntos dentro del área de cobertura del relé están contenidos, además, dentro de al menos cuatro áreas de cobertura del elemento de la antena.

La Figura 27 es una ilustración de un ejemplo de la distribución de los access nodes (nodos de acceso - AN) y las áreas de cobertura del haz de usuario.

La Figura 28 es un gráfico ilustrativo de la capacidad del enlace directo y de retorno normalizada en función del número de AN desplegados.

La Figura 29 es un diagrama de bloques de un ejemplo de segmento terrestre 502 para un sistema de formación de haz de extremo a extremo.

La Figura 30 es un diagrama de bloques de un ejemplo de formador de haz directo/de retorno.

La Figura 31 es un diagrama de bloques de un ejemplo de formador de haz directo que comprende formadores de haz de retorno múltiples de intervalo de tiempo con multiplexación y desmultiplexación de dominio de tiempo.

La Figura 32 es una ilustración de un ejemplo simplificado del segmento terrestre que muestra el funcionamiento de un formador de haz directo de intervalo de tiempo.

La Figura 33 es un diagrama de bloques de un ejemplo del formador de haz de retorno que comprende formadores de haz de retorno múltiples de intervalo de tiempo con multiplexación y desmultiplexación de dominio de tiempo.

La Figura 34 es una ilustración de un ejemplo simplificado de segmento terrestre que muestra el funcionamiento de un formador de haz de retorno que emplea multiplexación de dominio de tiempo.

La Figura 35 es un diagrama de bloques de un ejemplo de un formador de haz directo/de retorno multibanda que emplea una subbanda de multiplexación y desmultiplexación.

La Figura 36 y la Figura 37 son ilustraciones de ejemplo de alineación de temporización para el enlace directo.

La Figura 38 es un diagrama de bloques de un ejemplo de AN.

La Figura 39 es un diagrama de bloques de parte de un ejemplo de un AN.

La Figura 40 es un diagrama de bloques de un ejemplo de AN 515 en el cual múltiples subbandas de frecuencia se procesan por separado.

La Figura 41 es una ilustración de un ejemplo de un sistema formador de haz de extremo a extremo para permitir distintos enlaces de usuario y áreas de cobertura de enlaces de alimentador.

La Figura 42 es una ilustración de un ejemplo de modelo de trayectos de señal para las señales que transportan los datos de retorno en el enlace de retorno de extremo a extremo.

La Figura 43 es una ilustración de un ejemplo de modelo de los trayectos de señal para las señales que transportan datos directos en el enlace directo de extremo a extremo.

Las Figuras 44A y 44B son una ilustración de un ejemplo del trayecto de señal directa y del trayecto de señal de retorno, respectivamente.

Las Figuras 45A, 45B, 45C, 45D, 45E, 45F y 45G son ilustraciones de los ejemplos de áreas de cobertura visible del relé de extremo a extremo.

Las Figuras 46A y 46B son una ilustración de un ejemplo de un área de cobertura terrestre del relé de extremo a extremo y de un área de cobertura de América del Norte, respectivamente.

Las Figuras 47A y 47B son diagramas de bloques de un ejemplo de trayecto de señal directa y de la señal de retorno, respectivamente, cada una con activación selectiva de los subsistemas de la antena de enlace de usuario múltiples.

Las Figuras y 48A 48B son una ilustración de un ejemplo de un área de cobertura del relé de extremo a extremo que incluye áreas de cobertura del usuario múltiples activadas selectivamente.

Las Figuras 49A y 49B son diagramas de bloques de un ejemplo de trayecto de señal directa y de la señal de retorno, respectivamente, cada una con activación selectiva de los subsistemas de la antena de enlace de usuario múltiples y del subsistema de la antena de enlace de retorno múltiple.

Las Figuras 50a, 50B y 50C ilustran ejemplos de una o más áreas de cobertura del usuario con múltiples áreas de cobertura de nodos de acceso.

Las Figuras 51A y 51B muestran trayectos de señal directa y de retorno ilustrativos, respectivamente, cada uno tiene activación selectiva de múltiples arreglos de elementos de antena de enlace de usuario y múltiples arreglos de elementos de antena de enlace de alimentador.

Las Figuras 52A y 52B muestran trayectos de señal de recepción/transmisión directos y de retorno ilustrativos para el uso simultáneo de múltiples clústeres de AN, respectivamente.

Las Figuras 53A y 53B ilustran transpondedores ilustrativos que permiten el acoplamiento selectivo entre múltiples elementos constituyentes de enlace de alimentador y un solo elemento constituyente de enlace de usuario.

Las Figuras 54A y 54B ilustran los transpondedores de enlace directo y de retorno, respectivamente.

Las Figuras 55A, 55b, y 55C ilustran transpondedores de lazo cerrado ilustrativos.

La Figura 56A ilustra un relé de extremo a extremo que incluye uno o más reflectores.

La Figura 56B ilustra un subsistema de antena con múltiples clústeres de alimentación múltiple

La Figura 57 ilustra un subsistema de antenas que incluye un reflector compuesto.

La Figura 58 muestra un sistema de relé de extremo a extremo con porciones dispuestas sobre una o más plataformas mar adentro (*p. ej*., fija o flotante).

Las Figuras 59A y 59B son ilustraciones de áreas de cobertura visibles ilustrativas del relé de extremo a extremo que admiten diferentes rangos de frecuencia.

Las Figuras 60A y 60B muestran trayectos ilustrativos de señal de recepción/transmisión directo/de retorno que admiten múltiples bandas de frecuencia.

Las Figuras 61A y 61B muestran trayectos ilustrativos de señal de recepción/transmisión directo/de retorno que admiten múltiples bandas de frecuencia.

La Figura 62 muestra un arreglo de elementos de antena ilustrativo con subconjuntos intercalados espacialmente de elementos que constituyen la antena.

Las Figuras 63A y 63B son ilustraciones de asignaciones de frecuencia ilustrativas.

Las Figuras 64A y 64B son ilustraciones de asignaciones de frecuencia ilustrativas.

Las Figuras 65A y 64B son ilustraciones de asignaciones de frecuencia ilustrativas.

Las Figuras 66A y 66B muestran trayectos de señal de recepción/transmisión directos/de retorno ilustrativos.

Los designadores de referencia (*p. ej*., 100) se usan en la presente memoria para referirse a los aspectos de los dibujos. Los aspectos similares o parecidos se muestran de forma típica mediante el uso de números parecidos. Un grupo de elementos similares o parecidos pueden mencionarse en conjunto por un solo designador de referencia (*p. ej*., 200), mientras que los elementos individuales del grupo pueden mencionarse por el designador de referencia con una letra adjunta (*p. ej*., 200a, 200b).

Las figuras no se destinan a ser exhaustivas o a limitar la invención reivindicada a la forma descrita precisa. El aparato y el método descritos pueden llevarse a la práctica con la modificación y alteración, y que la invención está limitada solo por las reivindicaciones y equivalentes de estas.

**Descripción detallada**

Esta descripción detallada se organiza como sigue. Primero, se describe una introducción a los sistemas de comunicación de relé inalámbricos mediante el uso de comunicación por satélite y la formación de haces. Segundo, se describe la formación de haces de extremo a extremo generalmente y en el nivel del sistema mediante el uso de la formación de haces de extremo a extremo del satélite como un ejemplo, aunque la aplicación de la formación de haces de extremo a extremo no se limita a las comunicaciones por satélite. Tercero, se describe el funcionamiento de los datos directos y de retorno en el contexto de la formación de haces de extremo a extremo. Cuarto, se describen los relés de extremo a extremo y sus antenas mediante el uso de un satélite de comunicaciones como un ejemplo. A continuación, se describen las redes terrestres para formar los haces de extremo a extremo, que incluyen los aspectos relacionados, tales como la ecualización de retardo, la eliminación de degradación del enlace de alimentador y el cálculo de la ponderación del haz. Finalmente, se describe la formación de haces de extremo a extremo con las áreas de cobertura del enlace de usuario y el enlace de alimentador distintas, así como también los sistemas con múltiples áreas de cobertura.

**Comunicación por satélite**

La Figura 1 es una ilustración de un ejemplo de un concentrador y un sistema 100 de comunicación por satélite de distribución radial. El satélite sirve como un ejemplo de un relé inalámbrico. Aunque muchos de los ejemplos que se describen a lo largo de esta descripción en el contexto de un satélite o un sistema de comunicación por satélite, dichos ejemplos no se destinan a limitarse al satélite; cualquier otro relé inalámbrico adecuado puede usarse, y funciona de un modo similar. El sistema 100 comprende una estación 101 terrestre de la Tierra, un satélite 103 de comunicación, y una fuente de transmisión terrestre, tal como una terminal 105 de usuario. Un área de cobertura satelital puede definirse ampliamente como aquella área de la cual, y/o a la cual, ya sea de una fuente de transmisión de la Tierra, o un receptor de la Tierra, tal como una estación terrestre de la Tierra o una terminal de usuario, puede comunicarse a través del satélite. En algunos sistemas, el área de cobertura para cada enlace (p. ej., el área de cobertura del enlace ascendente directo, el área de cobertura del enlace descendente directo, el área de cobertura del enlace ascendente de retorno, y el área de cobertura del enlace descendente de retorno) pueden ser diferentes. El área de cobertura del enlace ascendente directo y el área de cobertura del enlace ascendente de retorno se denominan en conjunto área de cobertura satelital del enlace ascendente. De manera similar, el área de cobertura del enlace descendente directo, y el área de cobertura del enlace descendente de retorno se denominan en conjunto área de cobertura satelital del enlace descendente. Mientras que el área de cobertura satelital es activa solo para un satélite que está en servicio (p. ej., en una órbita de servicio), el satélite puede considerarse que tiene (p. ej., puede diseñarse para tener) un patrón de la antena del satélite que es independiente de la ubicación relativa del satélite con respecto a la Tierra. Es decir, el patrón de la antena del satélite es un patrón de distribución de la energía transmitida de una antena de un satélite (ya sea transmitida de o recibida por la antena del satélite). El patrón de la antena del satélite ilumina (transmite a, o recibe de) un área de cobertura satelital particular, cuando el satélite está en una órbita de servicio. El área de cobertura satelital se define por el patrón de la antena del satélite, una posición orbital y actitud para la cual se diseña el satélite, y un umbral de ganancia de la antena dado. En general, la intersección de un patrón de la antena (en una ganancia de antena eficaz particular, p. ej., 3 dB, 4 dB, 6 dB 10 dB de ganancia pico) con una región física de interés particular (p. ej., un área sobre o cerca de la superficie de la Tierra) define el área de cobertura para la antena. Las antenas pueden diseñarse para proveer un patrón de la antena particular (y/o de área de cobertura) y dichos patrones de la antena pueden determinarse computacionalmente (p. ej., por análisis o simulación) y/o medirse experimentalmente (p. ej., en un rango de prueba de la antena o en el uso real).

Mientras una terminal 105 de usuario se muestra en la figura por motivos de simplicidad, de forma típica existen muchas terminales 105 de usuario en el sistema. El sistema 100 de comunicación por satélite funciona como un sistema de punto a multipunto. Es decir, la estación terrestre 101 dentro del área de cobertura satelital puede enviar información a, y recibir información desde, cualquiera de las terminales 105 de usuario dentro del área de cobertura satelital. Sin embargo, las terminales 105 de usuario solo se comunican con la estación terrestre 101. La estación terrestre 101 recibe los datos enviados desde una red 107de comunicación, modula los datos mediante el uso de un módem 109 del enlace de alimentador y transmite los datos al satélite 103 en un enlace 111 ascendente de alimentación directo. El satélite 103 retransmite estos datos directos a las terminales 105 de usuario en el enlace 113 descendente de usuario directo (algunas veces llamado enlace descendente de servicio directo). En algunos casos, la comunicación de la dirección directa de la estación terrestre 101 se destina para varias de las terminales 105 de usuario (p. ej., la información se difunde a las terminales 105 de usuario). En algunos casos, la comunicación directa desde la estación terrestre 101 se destina para una sola terminal 105 de usuario (p. ej., la difusión a una terminal 105 de usuario particular). Las terminales 105 de usuario transmiten los datos de retorno al satélite 103 en un enlace 115 ascendente de retorno de usuario (denominado algunas veces enlace ascendente de retorno de servicio). El satélite 103 retransmite los datos de retorno a la estación terrestre 101 en un enlace 117 descendente de retorno de alimentación. El módem d109 el enlace de alimentador demodula el dato de retorno, el cual se envía a

la red 107 de comunicación. Esta capacidad del enlace de retorno se comparte, generalmente, por un número de terminales 105 de usuario.

La Figura 2 es un diagrama que muestra un ejemplo de una configuración de las áreas de cobertura del haz de un satélite para dar servicio a los Estados Unidos continentales. Se muestran setenta haces en la configuración ilustrativa. Un primer haz 201 cubre aproximadamente dos tercios del estado de Washington. Un segundo haz 203 adyacente al primer haz 201 cubre un área inmediata al este del primer haz 201. Un tercer haz 205 cubre aproximadamente Oregón al sur del primer haz 201. Un cuarto haz 207 cubre un área de aproximadamente al sudeste del primer haz 201. De forma típica, existe cierto grado de superposición entre los haces adyacentes. En algunos casos, se usa un multicolor (p. ej., patrón de reutilización de dos, tres o de cuatro colores). En un ejemplo de un patrón de cuatro colores, los haces 201, 203, 205, 207 se ubican individualmente en una combinación única de frecuencia (p. ej., un rango de frecuencias o rangos o uno o más canales) y/o la polarización de la antena (p. ej., en algunos casos una antena puede configurarse para transmitir señales con una right-hand circular polarization [polarización circular derecha – RHCP] o una left-hand circular polarization [polarización circular izquierda – LHCP]; están disponibles otras técnicas de polarización). En consecuencia, puede existir relativamente poca interferencia mutua entre las señales transmitidas en diferentes haces 201, 203, 205, 207. Estas combinaciones de la frecuencia y de la polarización de la antena puede entonces reutilizarse en el patrón de repetición reutilizable de “cuatro colores” no superpuestos. En algunas situaciones, la capacidad de comunicación deseada puede lograrse mediante el uso de un solo color. En algunos casos, puede usarse el tiempo de distribución entre los haces y/u otras técnicas para mitigar la interferencia.

Dentro de algunos límites, enfocar los haces en pequeñas áreas e incrementar de esta manera el número de haces, incrementa la capacidad de los datos del satélite al permitir una mayor oportunidad de reutilización de la frecuencia. Sin embargo, incrementar el número de haces puede incrementar la complejidad del sistema, y en muchos casos, la complejidad del satélite.

La complejidad en el diseño de un satélite de forma típica resulta en un tamaño mayor, más peso, y mayor consumo de energía. Los satélites son caros para lanzar a la órbita. El costo de lanzamiento de un satélite se determina en parte por el peso y el tamaño de los satélites. Además, existen límites absolutos en el peso y el tamaño de un satélite si el satélite se va a lanzar mediante el uso de la tecnología de cohetes disponibles actualmente. Esto conduce a las compensaciones entre las características que pueden diseñarse en un satélite. Además, se limita la cantidad de energía que puede proporcionarse a los componentes de un satélite. Por lo tanto, el peso, el tamaño, y el consumo de energía son parámetros a tener en cuenta en el diseño de un satélite.

A lo largo de esta descripción, el término elemento de la antena de recepción se refiere a un transductor físico que convierte una señal electromagnética en una señal eléctrica y el término elemento de la antena de transmisión se refiere a un transductor físico que lanza una señal electromagnética cuando se excita por una señal eléctrica. El elemento de antena puede incluir una bocina, una bocina polarizada por septum (p. ej., que puede funcionar como dos elementos combinados con diferentes polarizaciones), una bocina multibanda multipuerto (p. ej., banda doble 20 GHz/30 GHz con polarización doble LHCP/RHCP), una ranura con respaldo de cavidad, una F invertida, una guía de onda con ranuras, una Vivaldi, una Helicoidal, un lazo, un parche o cualquier otra configuración del elemento de la antena o combinación de los subelementos interconectados. Un elemento de la antena tiene un patrón de antena correspondiente, el cual describe cómo varía la ganancia de la antena en función de la dirección (o ángulo). Además, un elemento de la antena tiene un área de cobertura que corresponde a un área (p. ej., una parte de la superficie terrestre) o volumen (p. ej., una parte de la superficie terrestre más espacio aéreo por encima de la superficie) sobre la cual el elemento de la antena proporciona un nivel deseado de ganancia (p. ej., dentro de 3 dB, 6 dB, 10 dB u otro valor relativo a una ganancia de pico del elemento de la antena). El área de cobertura del elemento de la antena puede modificarse por varias estructuras tales como un reflector, una superficie selectiva de frecuencia, una lente, un radomo y lo similar. Algunos satélites, que incluyen aquellas descritas aquí, pueden tener varios transpondedores, cada uno capaz de recibir y transmitir las señales independientemente. Cada transpondedor se acopla a elementos de la antena (p. ej., un elemento de recepción y un elemento de transmisión) para formar un trayecto de señal de recepción/transmisión que tiene un patrón de radiación diferente (patrón de la antena) de los otros trayectos de señal de recepción/transmisión para crear haces únicos que pueden ubicarse en diferentes áreas de cobertura del haz. Es común que un solo trayecto de señal de recepción/transmisión se comparta a través de múltiples haces mediante el uso de multiplexores de entrada y/o salida. En ambos casos, el número de haces simultáneos que pueden formarse se limita, generalmente, por el número de trayectos de señales de recepción/transmisión que se despliegan en el satélite.

**Formación de haces**

La formación de haces para un enlace de comunicación puede ejecutarse al ajustar la fase de la señal (o el tiempo de retardo), y algunas veces la amplitud de la señal, de las señales transmitidas y/o recibidas por múltiples elementos de uno o más conjuntos de antenas con áreas de cobertura superpuestas. En algunos casos, algunos o todos los elementos de la antena se disponen como un arreglo de elementos integrados de recepción y/o transmisión que ayudan a activar la formación de haces de extremo a extremo, como se describe más adelante. Para las transmisiones (desde los elementos de transmisión de uno o más conjuntos de antena), se ajustan las fases relativas, y algunas veces las amplitudes, de las señales transmitidas, de manera que la energía transmitida por los elementos de la antena de transmisión se superpondrá de manera constructiva en la ubicación deseada. Este ajuste de fase/amplitud se

conoce comúnmente como “aplicar ponderaciones de haz” a las señales transmitidas. Para la recepción (por los elementos de recepción de uno o más conjuntos de antena), se ajustan las fases relativas, y a veces las amplitudes, de las señales recibidas (es decir, se aplican ponderaciones de haz iguales o diferentes) de manera que la energía recibida de una ubicación deseada por los elementos de la antena de recepción se superpondrá de manera constructiva en aquellos elementos de la antena de recepción. En algunos casos, el formador de haz calcula las ponderaciones de haz de los elementos de antena deseados. El término formación de haces puede referirse en algunos casos a la aplicación de las ponderaciones de haz. Los formadores de haz adaptables incluyen la función de calcular dinámicamente las ponderaciones de haz. Calcular las ponderaciones de haz puede requerir el descubrimiento directo o indirecto de las características del canal de comunicación. Los procesos de cálculo de la ponderación de haz y la aplicación de la ponderación de haz pueden ejecutarse en los mismos o en diferentes elementos del sistema.

Los haces de la antena pueden dirigirse, formarse selectivamente, y/o reconfigurarse de cualquier otra manera al aplicar diferentes ponderaciones de haz. Por ejemplo, el número de haces activos, el área de cobertura de los haces, el tamaño de los haces, la ganancia relativa de los haces, y otros parámetros pueden variarse con el tiempo. Dicha versatilidad es deseable en ciertas situaciones. Las antenas de formación de haces pueden formar generalmente haces relativamente estrechos. Los haces estrechos pueden permitir a las señales transmitidas en un haz distinguirse de las señales transmitidas por otros haces (p. ej., para evitar la interferencia). En consecuencia, los haces estrechos pueden permitir reutilizar la frecuencia y la polarización en un mayor grado que cuando se forman haces más grandes. Por ejemplo, los haces que se forman estrechamente pueden servir dos áreas de cobertura discontinuas que no se superponen. Cada haz puede usar tanto una polarización derecha y una polarización izquierda. Una mayor reutilización puede incrementar la cantidad de datos transmitidos y/o recibidos.

Algunos satélites usan la on-board beamforming (formación de haces integrada - OBBF) para dirigir electrónicamente un arreglo de elementos de antena. La Figura 3 es una ilustración de un sistema 300 de satélite en el cual el satélite 302 tiene una capacidad de formación de haces integrada de elementos de fase de multi-feed per beam (alimentación múltiple por haz - MFPB). En este ejemplo, las ponderaciones de haz se calculan en el centro de cálculo terrestre y después se transmiten al satélite o se almacenan previamente en el satélite para su aplicación (no se muestra). El enlace directo se muestra en la Figura 3, aunque esta arquitectura puede usarse para los enlaces directos, los enlaces de retorno, o los enlaces directo y los de retorno. La formación de haces puede emplearse sobre el enlace de usuario, el enlace alimentador, o ambos. El enlace directo es el trayecto de señal de una pluralidad de gateways (puertas de enlace - GW) 304 a una o más de una pluralidad de terminales de usuario dentro de una o más áreas 306 de cobertura de haz puntual. El satélite 302 tiene un arreglo 307de la antena de recepción, un arreglo 309 de la antena de transmisión, un convertidor descendente (D/C) y el módulo 311 de ganancia, un formador 313 de haz de recepción, y un formador 315 de haz de transmisión. El satélite 302 puede formar haces tanto en el enlace 308 de alimentador como en el enlace 310 de usuario. Cada uno de los *L* elementos del arreglo 307 de recepción recibe las *K* señales de los *K* GW 304. Para cada uno de los haces del enlace de alimentador que se van a crear (p. ej., un haz por GW 304), se aplica una ponderación de haz diferente (p. ej., se hace un ajuste de fase/amplitud) por el formador de haz 313 de recepción para cada señal recibida por los *L* elementos del arreglo de la antena de recepción (del arreglo de la antena 307 de recepción). En consecuencia, para los *K* haces que se forman mediante el uso de un arreglo de la antena 307 de recepción que tiene *L* elementos de la antena de recepción, se aplican diferentes vectores de ponderación de haz de longitud *L* a las *L* señales recibidas por los *L* elementos del arreglo de antena. El formador 313 de haz de recepción dentro del satélite 302 ajusta la fase/amplitud de las señales recibidas por los *L* elementos del arreglo de antena para crear *K* señales del haz de recepción. Cada uno de los *K* haces de recepción se enfocan para recibir una señal desde una GW 304. En consecuencia, el formador 313 de haz de recepción genera señales del haz de recepción al D/C y al módulo 311 de ganancia. Una de estas señales del haz de recepción se forma para la señal recibida desde cada GW 304 de transmisión.

El D/C y el módulo 311 de ganancia convierte cada una de las *K* señales del haz de recepción y ajusta la ganancia adecuadamente. Las *K* señales se generan desde el D/C y el módulo 311 de ganancia y se acoplan al formador 315 de haz de transmisión. El formador 315 de haz de transmisión aplica un vector de *L* ponderaciones a cada una de las *K* señales para un total de *L* x *K* ponderaciones del haz de transmisión para formar *K* haces en el enlace 310 descendente de usuario.

En algunos casos, una importante capacidad de procesamiento puede ser necesaria dentro del satélite para controlar la fase y la ganancia de cada elemento de la antena que se usa para formar los haces. Dicha intensidad de procesamiento incrementa la complejidad del satélite. En algunos casos, los satélites pueden funcionar con ground-based beamforming (formación de haces terrestres - GBBF) para reducir la complejidad de los satélites mientras que aun proporcionan la ventaja de formar haces estrechos electrónicamente.

La Figura 4 es una ilustración de un ejemplo de un sistema 400 de comunicación por satélite que tiene GBBF directa. La GBBF se ejecuta en el enlace 317 de usuario directo a través de un arreglo de *L* elementos similar al descrito anteriormente. Las fases/amplitudes de las señales transmitidas en el enlace 317 de usuario se ponderan de tal manera que se forman los haces. El enlace 319 de alimentador usa un esquema de Single Feed per Beam (Alimentación simple por haz - SFPB) en el cual cada elemento de la antena de transmisión y recepción de una antena 324 se dedica a un haz de enlace de alimentador.

Antes de la transmisión desde una GW o GW 304, para cada uno de los *K* haces de enlace de alimentador directos, un formador 321 de haz de transmisión aplica uno de los *K* vectores de ponderación de haz respectivos, cada uno de longitud *L*, a cada una de las *K* señales a transmitir. Determinar los *K* vectores de las *L* ponderaciones y aplicarlos a las señales permite que se formen haces directos en la tierra para el enlace 317 descendente directo del usuario. En el enlace 319 ascendente de alimentación, cada una de las *L* señales diferentes se multiplexa en una señal frequency division multiplexed (multiplexada por división de frecuencia - FDM) por un multiplexor 323 (o similar). Cada señal FDM se transmite por las GW 304 a uno de los elementos de la antena de recepción en la antena 324 en el enlace 319 de alimentador. Un receptor FDM 325 en el satélite 327 recibe las señales de la antena 324. Un convertidor 326 analógico a digital (A/D) convierte las señales analógicas recibidas a señales digitales. Un procesador 328 de canal digital desmultiplexa las señales FDM, cada una de las cuales se ponderó adecuadamente por el formador 321 de haz para la transmisión a través de uno de los *L* elementos de un arreglo de elementos de la antena de transmisión de una antena 329 de transmisión. El procesador 328 de canal digital envía las señales a un convertidor 331 digital a analógico (D/A) para convertirlo de vuelta a la forma analógica. Las salidas analógicas del D/A 331 se convierten y se amplifican por un up-converter (convertidor ascendente - U/C) y una etapa 330 de ganancia y se transmiten por el elemento asociado de la antena 329 de transmisión. Un proceso complementario ocurre a la inversa para los haces de retorno. Nótese que, en este tipo de sistema, el enlace de alimentador FDM requiere *L* veces más ancho de banda que los haces de usuario lo que lo hace poco práctico para sistemas con amplios anchos de banda de datos o sistemas que tienen un gran número de elementos *L*.

**Sistemas de formación de haces de extremo a extremo**

Los sistemas de formación de haces de extremo a extremo en la presente memoria forman haces de extremo a extremo a través de un relé de extremo a extremo. Un sistema de formación de haces de extremo a extremo puede conectarse a las terminales de usuario con fuentes/sumideros de datos. En contraste con los sistemas de formación de haces descritos anteriormente, en un sistema de formación de haces de extremo a extremo, las ponderaciones de haz se calculan en un central processing system (sistema de procesamiento central - CPS) y las ponderaciones de haz de extremo a extremo se aplican dentro de la red terrestre (en lugar de aplicarse en un satélite). Las señales dentro de los haces de extremo a extremo se transmiten y reciben en un arreglo de access nodes (nodos de acceso - AN), los cuales pueden ser satellite access node (nodo de acceso satelital - SAN). Como se describió anteriormente, cualquier tipo adecuado de relés de extremo a extremo puede usarse en un sistema de formación de haces de extremo a extremo, y los diferentes tipos de AN pueden usarse para comunicarse con diferentes tipos de relés de extremo a extremo. El término “central” se refiere al hecho de que el CPS es accesible para los AN que se involucran en la transmisión y/o recepción de la señal, y no se refiere a una ubicación geográfica en la cual reside el CPS. Un formador de haz dentro de un CPS calcula un conjunto de ponderaciones de haz de extremo a extremo que tiene en cuenta: (1) los trayectos del enlace ascendente de la señal inalámbrica hasta el relé de extremo a extremo; (2) los trayectos de la señal de recepción/transmisión a través del relé de extremo a extremo; y (3) los trayectos del enlace descendente de la señal inalámbrica bajan desde el relé de extremo a extremo. Las ponderaciones de haz pueden representarse matemáticamente como un arreglo. Como se mencionó anteriormente, los sistemas de satélite OBBF y GBBF tienen dimensiones de vector de ponderación de haz establecidas por el número de elementos de la antena en el satélite. En contraste, los vectores de ponderación de haz de extremo a extremo tienen dimensiones establecidas por el número de AN, no por el número de elementos en el relé de extremo a extremo. En general, el número de AN no es igual a la cantidad de elementos de la antena en la transmisión de extremo a extremo. Además, los haces formados de extremo a extremo no terminan en cualquier elemento de la antena de recepción o transmisión del relé de extremo a extremo. Más bien, los haces formados de extremo a extremo se retransmiten eficazmente, debido a que los haces de extremo a extremo tienen trayectos de señal de enlace ascendentes, trayectos de señal de relé (vía satélite u otro relé de extremo a extremo adecuado), y trayectos de señal descendentes.

Debido a que la formación de haces de extremo a extremo toma en cuenta tanto el enlace de usuario como el enlace de alimentador (así como también el relé de extremo a extremo) únicamente un solo conjunto de ponderaciones de haz se necesita para formar los haces de usuario de extremo a extremo deseados en una dirección particular (p. ej., los haces directos de usuario o los haces de usuario de retorno). Por lo tanto, un conjunto de ponderaciones de haz directo de extremo a extremo con (de aquí en adelante denominado simplemente como ponderaciones de haz directo) resulta en las señales transmitidas desde los AN, a través del enlace ascendente directo, a través del relé de extremo a extremo, y a través del enlace descendente directo que se combinan para formar los haces directos de usuario de extremo a extremo (de aquí en adelante denominado como haces directos de usuario). Por el contrario, las señales transmitidas desde los usuarios de retorno a través del enlace ascendente de retorno, a través del relé de extremo a extremo, y el enlace descendente de retorno tiene ponderaciones de haz de retorno de extremo a extremo (de aquí en adelante, denominado como ponderaciones de haz de retorno) aplicadas para formar los haces de usuario de retorno de extremo a extremo (de aquí en adelante denominados como haces de usuario de retorno). En algunas condiciones, puede ser muy difícil o imposible distinguir entre las características del enlace ascendente y el enlace descendente. En consecuencia, los haces del enlace de alimentador formados, la directividad del haz de usuario formada, y la relación del enlace ascendente individual y el portador de enlace descendente a interferencia (C/I) ya no podrá tener su rol tradicional en el diseño del sistema, mientras los conceptos de proporción de señal a ruido (Es/No) del enlace ascendente y enlace descendente y el C/I de extremo a extremo aún pueden ser relevantes.

La Figura 5 es una ilustración de un ejemplo del sistema 500 de formación de haces de extremo a extremo. El sistema 500 incluye: un segmento terrestre 502; un relé 503 de extremo a extremo; y una pluralidad de terminales

517 de usuario. El segmento terrestre 502 comprende las *M* AN 515, propagadas geográficamente sobre un área de cobertura de AN. Los AN 515 cooperan en la transmisión de las señales 521 de enlace ascendente directo para formar haces 519 de usuario y las señales 527 de enlace descendente de retorno se procesan colectivamente para recuperar las transmisiones 525 del enlace ascendente de retorno. Un conjunto de AN 515 que está dentro de un área de AN distinta (*p. ej*., separado geográficamente o de otra manera configurado ortogonalmente) y cooperan para realizar formaciones de haces de extremo a extremo para haces directos de usuario y/o de retorno se denominan en la presente memoria "clúster AN". En algunos ejemplos, múltiples clústeres de AN en diferentes áreas de AN pueden también cooperar. Los clústeres AN pueden denominarse también "granjas de AN" o "granjas SAN." Los AN 515 y las terminales 517 de usuario, pueden mencionarse en conjunto como receptores terrestres, transmisores terrestres o transceptores terrestres, en dependencia de la funcionalidad particular en discusión, debido a que se ubican en, o cerca de, la Tierra y ambos transmiten y reciben señales. En algunos casos, las terminales 517 de usuario y/o los AN 515 pueden ubicarse en embarcaciones aéreas, embarcaciones marítimas o montarse en embarcaciones terrestres, etcétera. En algunos casos, las terminales 517 de usuario pueden distribuirse geográficamente. Los AN 515 pueden distribuirse geográficamente. Los AN 515 proporcionan señales a través de una red 518 de distribución hasta un CPS 505 dentro de un segmento terrestre 502. El CPS 505 se conecta a la fuente de datos (no se muestra), tal como, por ejemplo, Internet, un vídeo de cabecera u otro tipo de entidad.

Las terminales 517 de usuario pueden agruparse con otras terminales 517 de usuario cercanas (p. ej., como se ilustra por medio de las terminales 517a y 517b de usuario). En algunos casos, estos grupos de terminales 517 de usuario reciben servicio del mismo haz de usuario y, por lo tanto, residen dentro de la misma área 519 de cobertura geográfica del haz de usuario de directo y/o de retorno. Una terminal 517 de usuario está dentro de un haz de usuario si la terminal 517 de usuario está dentro del área de cobertura servida por ese haz de usuario. Aunque solo una de dichas áreas 519 de cobertura del haz de usuario se muestra en la Figura 5 con más de una terminal 517 de usuario, en algunos casos, un área 519 de cobertura del haz de usuario puede tener cualquier número adecuado de las terminales 517 de usuario. Además, la ilustración de la Figura 5 no pretende indicar el tamaño relativo de las diferentes áreas 519 de cobertura del haz de usuario. Es decir, las áreas 519 de cobertura del haz de usuario pueden ser de aproximadamente el mismo tamaño. De manera alternativa , las áreas 519 de cobertura del haz de usuario pueden ser de varios tamaños, con algunas áreas 519 de cobertura del haz de usuario mucho mayor que otras. En algunos casos, el número de AN 515 no es igual a la cantidad de áreas 519 de cobertura del haz usuario.

El relé 503 de extremo a extremo retransmite señales de forma inalámbrica entre las terminales 517 de usuario y un número de nodos de acceso a la red, tales como los AN 515 que se muestran en la Figura 5. El relé 503 de extremo a extremo tiene una pluralidad de trayectos de señal. Por ejemplo, cada trayecto de señal puede incluir al menos un elemento de la antena de recepción, al menos un elemento de la antena de transmisión, y al menos un transpondedor (como se describe detalladamente más adelante). En algunos casos, la pluralidad de elementos de la antena de recepción se dispone para recibir señales reflejadas por un reflector de recepción para formar un conjunto de la antena de recepción. En algunos casos, la pluralidad de elementos de la antena de transmisión se dispone para transmitir señales y, por lo tanto, para formar un arreglo de la antena de transmisión.

En algunos casos, el relé 503 de extremo a extremo se proporciona en un satélite. En otros casos, el relé 503 de extremo a extremo se proporciona en una embarcación aérea, un dirigible, una torre, una estructura autenticación o cualquier otra estructura adecuada o vehículo en el cual puede residir un relé 503 de extremo a extremo. En algunos casos, el sistema usa diferentes rangos de frecuencia (en la misma o en diferentes bandas de frecuencia) para los enlaces ascendentes y enlaces descendentes. En algunos casos, los enlaces de alimentador y los enlaces de usuario están en diferentes rangos de frecuencia. En algunos casos, el relé 503 de extremo a extremo actúa como un reflector pasivo o activo.

Como se describe en la presente memoria, varias características del relé 503 de extremo a extremo permiten la formación de haces de extremo a extremo. Una característica es que el relé 503 de extremo a extremo incluye múltiples transpondedores que, en el contexto de los sistemas de formación de haces de extremo a extremo, inducen trayectos múltiples entre los AN 515 y las terminales 517 de usuario. Otra característica es que las antenas (p. ej., uno o más subsistemas de antena) del relé 503 de extremo a extremo contribuyen a la formación de haces de extremo a extremo, de manera que se forman haces directos de usuario y/o de retorno cuando las señales debidamente ponderadas por haz se comunican a través del trayecto múltiple inducidas por el relé 503 de extremo a extremo. Por ejemplo, durante las comunicaciones directas, cada uno de los transpondedores múltiples recibe un compuesto superpuesto respectivo de (ponderados por haz) señales 521 de enlace ascendentes directas desde múltiples (p. ej., todas) AN 515 (mencionadas en la presente descripción como señales directas de entrada compuesta), y los transpondedores generan las señales compuestas correspondientes (mencionadas en la presente descripción como señales de enlace descendente directo). Cada una de las señales de enlace descendente directo puede ser un compuesto único de las señales 521 de enlace ascendente directo ponderado por haz, las cuales, cuando se transmiten por los elementos de antena de transmisión del relé 503 de extremo a extremo, se superponen para formar los haces 519 de usuario en las ubicaciones deseadas (p. ej., ubicaciones de recuperación dentro de los haces directos de usuario, en este caso). La formación de haces de retorno de extremo a extremo se permite de forma similar. Por lo tanto, el relé 503 de extremo a extremo puede causar múltiples superposiciones que se producen, permitiendo de esta manera la formación de haces de extremo a extremo sobre canales inducidos por trayectos múltiples.

**Datos de retorno**

La Figura 6 es una ilustración de un ejemplo de modelo de trayectos de señal para las señales que transportan los datos de retorno en el enlace de retorno de extremo a extremo. El dato de retorno es el dato que fluye desde las terminales 517 de usuario hasta los AN 515. En la Figura 6, las señales fluyen de derecha a izquierda. Las señales se originan con las terminales 517 de usuario. Las terminales 517 de usuario transmiten las señales 525 de enlace ascendente (las cuales tienen flujos de datos de usuario de retorno) hasta el relé 503 de extremo a extremo. Las señales 525 de enlace ascendente de retorno se reciben desde las terminales 517 de usuario en las *K* áreas 519 de cobertura del haz de usuario por un arreglo de *L* trayectos 1702 de señal de recepción/transmisión. En algunos casos, un área de cobertura de enlace ascendente para relé 503 de extremo a extremo se define por ese conjunto de puntos desde los cuales todos los *L* elementos 406 de la antena de recepción pueden recibir señales. En otros casos, el área de cobertura del relé se define por ese conjunto de puntos desde los cuales un subconjunto (p. ej., el número deseado más de 1, pero menos que todos) de los *L* elementos 406 de la antena de recepción pueden recibir señales. De manera similar, en algunos casos, el área de cobertura del enlace descendente se define por el conjunto de puntos al cual todos los *L* elementos 409 de la antena de transmisión pueden enviar señales de forma confiable. En otros casos, el área de cobertura del enlace descendente para el relé 503 de extremo a extremo se define como ese conjunto de puntos al cual un subconjunto de los elementos 409 de antena de recepción puede enviar señales de forma confiable. En algunos casos, el tamaño de los subconjuntos ya sea de los elementos 406 de antena de recepción o de los elementos 409 de antena de transmisión es al menos cuatro. En otros casos, el tamaño de los subconjuntos es 6, 10, 20, 100, o cualquier otro número que proporcione el rendimiento del sistema deseado.

Por motivos de simplicidad, algunos ejemplos se describen y/o ilustran como todos los *L* elementos 406 de la antena de recepción que reciben señales desde todos los puntos en el área de cobertura de enlace ascendente y/o todos los *L* elementos de la antena 409 de transmisión que transmiten hacia todos los puntos en el área de cobertura de enlace descendente. Estas descripciones no se destinan a requerir que todos los *L* elementos reciban y/o transmitan señales a un nivel de señal significativo. Por ejemplo, en algunos casos, un subconjunto de los *L* elementos 406 de la antena de recepción recibe una señal de enlace ascendente (p. ej., una señal 525 de enlace ascendente de retorno desde una terminal 517de usuario, o una señal 521 de enlace ascendente directo desde un AN 515), de manera que el subconjunto de elementos 406 de la antena de recepción recibe la señal de enlace ascendente a un nivel de señal que está cercano a un pico del nivel de la señal recibida de la señal de enlace ascendente (p. ej., sustancialmente no menor que el nivel de la señal que corresponde a la señal ascendente que tiene el nivel de señal más alto); otros de los *L* elementos 406 de la antena de recepción que no están en el subconjunto reciben la señal de enlace ascendente a un nivel más bajo apreciable (p. ej., muy por debajo del nivel de señal máximo recibido de la señal de enlace ascendente). En algunos casos, la señal recibida por cada elemento de la antena de un subconjunto está en un nivel de señal dentro de 10 db de un nivel de señal máximo recibido por cualquiera de los elementos 406 de la antena de recepción. En algunos casos, el subconjunto incluye al menos el 10 % de los elementos 406 de la antena de recepción. En algunos casos, el subconjunto incluye al menos 10 elementos 406 de la antena de recepción.

De manera similar, en el lado de la transmisión, un subconjunto de los *L* elementos 409 de la antena de transmisión transmite una señal de enlace descendente a un receptor terrestre (p. ej., una señal 527 de enlace descendente de retorno a un AN 515, o a una señal 522 de enlace descendente directo a una terminal 517 de usuario), de tal manera que el subconjunto de elementos 409 de la antena de transmisión transmite la señal de enlace descendente al receptor con un nivel de señal recibida que está cercana a un nivel de señal máximo transmitido de la señal de enlace descendente (p. ej., sustancialmente no menor que el nivel de la señal que corresponde a la señal de enlace descendente que tiene el mayor nivel de señal recibida); otros de los *L* elementos 409 de la antena de transmisión que no se encuentran en el subconjunto transmiten la señal de enlace descendente de tal manera que se recibe en un nivel más bajo apreciable (p. ej., muy por debajo del nivel máximo de la señal de enlace descendente transmitida). En algunos casos, el nivel de la señal está dentro de 3 dB de un nivel de señal que corresponde a una ganancia pico del elemento 409 de la antena de transmisión. En otros casos, el nivel de la señal está dentro de 6 dB de nivel de la señal que corresponde a una ganancia pico del elemento 409 de la antena de transmisión. En otros casos, el nivel de la señal está dentro de 10 dB de nivel de la señal que corresponde a una ganancia pico del elemento 409 de la antena de transmisión.

En algunos casos, la señal recibida por cada elemento 406 de la antena de transmisión se origina en la misma fuente (p. ej., una de las terminales 517 de usuario) debido a la superposición en el patrón de la antena de recepción de cada elemento de la antena de recepción. Sin embargo, en algunos casos, pueden existir puntos dentro del área de cobertura del relé de extremo a extremo en la cual se ubica una terminal de usuario y desde la cual no todos los elementos de la antena de recepción pueden recibir la señal. En algunos casos, puede existir un número significativo de elementos de la antena de recepción que no (o no pueden recibir) reciben la señal desde las terminales de usuario que están dentro del área de cobertura del relé extremo a extremo. Sin embargo, como se describe en la presente descripción, inducir la trayectoria múltiple por el relé 503 de extremo a extremo puede depender de la recepción de la señal por al menos dos elementos.

Como se muestra en la Figura 6 y se describe con más detalle más adelante, en algunos casos, un trayecto 1702 de señal de recepción/transmisión comprende un elemento 406 de la antena de recepción, un transpondedor 410, y un

elemento 409 de la antena de transmisión. En dichos casos, las señales 525 de enlace ascendente de retorno se reciben por cada uno de una pluralidad de transpondedores 410 a través del elemento 406 de la antena de recepción respectivo. La emisión de cada trayecto 1702 de señal de recepción/transmisión es una señal 527 de enlace descendente de retorno que corresponde a un compuesto respectivo de señales de enlace ascendente de retorno recibidas. La señal de enlace descendente de retorno se crea por el trayecto 1702 de señal de transmisión/recepción. La señal 527 de enlace descendente de retorno se transmite al arreglo de *M* AN 515. En algunos casos, los AN 515 se colocan en ubicaciones distribuidas geográficamente (p. ej., ubicaciones de recepción o de recuperación) a lo largo del área de cobertura del relé de extremo a extremo. En algunos casos, cada uno de los transpondedores 410 se acopla a uno de los elementos 406 respectivos de la antena de recepción con uno de los elementos 409 respectivos de la antena de transmisión. En consecuencia, existen *L* diferentes maneras para obtener una señal desde una terminal 517 de usuario ubicado en un área 519 de cobertura de haz de usuario hasta un AN particular 515. Esto crea *L* trayectos entre una terminal 517 de usuario y un AN 515. Los *L* trayectos entre una terminal 517 de usuario y un AN 515 se denominan en colectivo canal 1908 de trayectos múltiples de retorno de extremo a extremo (ver la Figura 8). En consecuencia, la recepción de la señal 525 de enlace ascendente de retorno desde una ubicación de transmisión dentro de un área 519 de cobertura del haz de usuario, a través de los *L* transpondedores 410, crea *L* señales 527de enlace descendente de retorno, en donde cada una se transmite desde uno de los transpondedores 410 (es decir, a través de los trayectos de comunicación colocadas). Cada canal 1908 de trayectos múltiples de retorno de extremo a extremo se asocia con un vector en la matriz de radiación de enlace ascendente $\mathbf{A_r}$, la matriz de carga útil **E**, y un vector en el matriz de radiación de enlace descendente $\mathbf{C_t}$. Debe mencionarse que, debido a los patrones de cobertura del elemento de la antena, en algunos casos, algunos de los *L* trayectos pueden tener relativamente poca energía (p. ej., 6 dB, 10 dB, 20 dB, 30 dB, o cualquier otra relación de energía menor que otros trayectos). Una superposición 1706 de las señales 527 de enlace descendente de retorno se recibe en cada uno de los AN 515 (p. ej., en las *M* ubicaciones de recepción o de recuperación distribuidas geográficamente). Cada señal 527 de enlace descendente de retorno comprende una superposición de una pluralidad de las señales 527 de enlace descendente de retorno transmitidas, lo que resulta en una señal de retorno compuesta respectiva. Las señales de retorno compuestas se acoplan al formador 531 de haz de retorno (ver las Figuras 5 y 29).

La Figura 7 ilustra un ejemplo de enlace 523 de retorno de extremo a extremo de una terminal 517 de usuario que se ubica dentro de un área 519 de cobertura del haz hasta los AN 515. La señal 525 de enlace ascendente de retorno transmitida desde la terminal 517 de usuario se recibe por el arreglo de *L* elementos 406 de la antena de recepción en el relé 503 de extremo a extremo (p. ej., o se recibe por un subconjunto de los *L* elementos 406 de la antena de recepción).

**Ar** es la matriz de radiación de enlace ascendente de retorno *L* x *K*. Los valores de la matriz de radiación de enlace ascendente de retorno modelan el trayecto de señal desde una ubicación de referencia en el área 519 de cobertura del haz de usuario hasta los elementos 406 de la antena de recepción del relé de extremo a extremo. Por ejemplo, $\mathbf{Ar_{L,1}}$ es el valor de un elemento de la matriz de radiación de enlace ascendente de retorno (es decir, la amplitud y la fase del trayecto) desde una ubicación de referencia en la 1.º área de cobertura 519 del haz de usuario hasta el $L^{ésimo}$ elemento de la antena de recepción. En algunos casos, todos los valores en la matriz de radiación de enlace ascendente de retorno **Ar** pueden no ser cero (p. ej., existe un trayecto de señal significativa desde la ubicación de referencia hasta cada uno de los elementos de antena de recepción del conjunto de antena de recepción).

**E** (dimensión *L* x *L*) es la matriz de carga útil y proporciona el modelo (amplitud y fase) de los trayectos desde los elementos 406 de la antena de recepción hasta los elementos 409 de la antena de transmisión. Una “carga útil” del relé 503 de extremo a extremo, como se usa en la presente descripción, incluye generalmente el conjunto de componentes del relé 503 de extremo a extremo que afectan, y/o que se ven afectados por, las comunicaciones de señal según se reciben por, se retransmiten a través de, y se transmiten desde el relé 503 de extremo a extremo. Por ejemplo, una carga útil del relé de extremo a extremo puede incluir elementos de la antena, reflectores, transpondedores, etcétera; pero el relé de extremo a extremo puede incluir además baterías, células solares, sensores, y/u otros componentes no considerados en la presente memoria como parte de la carga útil (debido a que no afectan a las señales cuando se opera con normalidad). La consideración del conjunto de los componentes como una carga útil puede permitir modelar matemáticamente el impacto total del relé de extremo a extremo como una sola matriz de carga útil **E**). La trayectoria predominante desde cada elemento 406 de la antena de recepción a cada elemento 409 de la antena de transmisión correspondiente se modela por el valor que permanece en la diagonal de la matriz de carga útil **E**. Suponiendo que no existe señal de diafonía entre los trayectos de señales de recepción/transmisión, los valores fuera de la diagonal de la matriz de la carga útil son cero. En algunos casos, la diafonía puede no ser cero. Aislar los trayectos de señal entre sí minimizará la diafonía. En algunos casos, debido a que la diafonía es insignificante, la matriz de carga útil **E** puede estimarse por una matriz diagonal. En algunos casos, los valores fuera de la diagonal (o cualquier otro valor adecuado) de la matriz de carga útil puede tratarse como cero, incluso en donde existe alguna señal de impacto que corresponde a esos valores, para reducir la complejidad matemática, y/o por otras razones.

**Ct** es la matriz de radiación de enlace descendente de retorno *M* x *L*. Los valores de la matriz de radiación de enlace descendente de retorno modelan los trayectos de la señal desde los elementos 409 de la antena de transmisión hasta los AN 515. Por ejemplo, $\mathbf{Ct_{3,2}}$ es el valor de la matriz de radiación de enlace descendente de retorno (p. ej., la ganancia y la fase del trayecto) desde el segundo elemento $409_b$ de la antena de transmisión hasta el tercer AN $515_c$. En algunos casos,

la totalidad de los valores de la matriz de radiación de enlace descendente **Ct** puede no ser cero. En algunos casos, algunos de los valores de la matriz de radiación de enlace descendente **Ct** son esencialmente cero (p. ej., el patrón de antena establecido por los elementos 409 de la antena de transmisión correspondientes del arreglo de antena de transmisión es tal que el elemento 409 de la antena de transmisión no transmite señales útiles para algunos de los AN 515).

Como puede observarse en la Figura 7, el canal de trayectos múltiples de retorno de extremo a extremo desde una terminal 517 de usuario en un área 519 de cobertura del haz de un usuario particular hasta un AN 515 particular es la suma de los *L* trayectos diferentes. El canal de trayectos múltiples de retorno de extremo a extremo tiene trayectos múltiples inducidos por los *L* trayectos únicos a través del transpondedor 410 en el relé de extremo a extremo. Al igual que con muchos canales de trayectos múltiples, las amplitudes y las fases de los trayectos pueden acumularse favorablemente (constructivamente) para producir una gran ganancia de canal extremo a extremo o desfavorablemente (destructiva) para producir una baja ganancia de canal de extremo a extremo. Cuando el número de diferentes trayectos, *L*, entre una terminal de usuario y un AN es grande, la ganancia de canal de extremo a extremo puede tener una distribución Rayleigh de la amplitud. Con esa distribución, no es inusual ver algunas ganancias de canal de extremo a extremo desde una determinada terminal 517 de usuario a un AN particular 515 que son 20 dB o más por debajo del nivel promedio de ganancia de canal desde una terminal 517 de usuario hasta un AN 515. Este sistema de formación de haces de extremo a extremo induce intencionalmente un entorno de trayectos múltiples para la trayectoria de extremo a extremo desde cualquier terminal de usuario hasta cualquier AN.

La Figura 8 es una ilustración simplificada de un ejemplo de modelo de todos los canales de trayectos múltiples de retorno de extremo a extremo desde las áreas 519 de cobertura del haz de usuario hasta los AN 515. Existen dichos canales de trayectos múltiples de retorno de extremo a extremo *M* x *K* en el enlace de retorno de extremo a extremo (es decir, *M* de cada una de las *K* áreas 519 de cobertura del haz de usuario). Los canales 1908 conectan las terminales de usuario en un área 519 de cobertura del haz de usuario a un AN 515 sobre las *L* diferentes trayectos 1702 de señal de recepción/transmisión, cada trayectoria de acceso que pasa a través de cada una de las *L* diferentes trayectos de señal de recepción/transmisión (y los transpondedores asociados) del relé. Mientras este efecto se denomina “trayectoria múltiple” en la presente descripción, esta trayectoria múltiple difiere del trayecto múltiple convencional (p. ej., en un sistema de radio móvil o de multiple-input multiple-output [entrada múltiple salida múltiple – MIMO]), como los trayectos múltiples en la presente memoria se inducen intencionalmente (y, como se describe en la presente memoria, se ven afectados) por los trayectos de señales de transmisión/recepción. Cada uno de los canales de trayectos múltiples de retorno de extremo a extremo *M* x *K* que se originan desde una terminal 517 de usuario determinado dentro de un área 519 de cobertura del haz de usuario particular puede modelarse por un canal de trayectoria múltiple de retorno de extremo a extremo. Cada canal de trayectos múltiples de retorno de extremo a extremo está desde una ubicación de referencia (o recuperación) dentro del área 519 de cobertura del haz de usuario hasta uno de los AN 515.

Cada uno de los canales 1908 de trayectos múltiples de retorno de extremo a extremo *M* x *K* pueden modelarse individualmente para calcular un elemento correspondiente de una matriz de canal de retorno *M* x *K* **Hret**. La matriz de canal de retorno **Hret** tiene *K* vectores, cada uno tiene una dimensionalidad igual a *M*, de manera que cada vector modela las ganancias de canal de retorno de extremo a extremo para comunicaciones de múltiples trayectos entre una ubicación de referencia en una de las *K* áreas de cobertura del haz de usuario respectivas y los *M* AN 515. Cada uno de los canales de trayectos múltiples de retorno de extremo a extremo se acopla a uno de los *M* AN 515 con una ubicación de referencia dentro de uno de los *K* haces de usuario de retorno a través de los *L* transpondedores 410 (ver la Figura 7). En algunos casos, solo se usa un subconjunto de los *L* transpondedores 410 en el relé 503 de extremo a extremo para crear el canal de trayectos múltiples del relé de extremo a extremo (p. ej., solo se considera que un subconjunto está en el trayecto de señal al contribuir energía significativa para el canal de trayectos múltiples de retorno de extremo a extremo). En algunos casos, el número de haces de usuario *K* es mayor que el número de transpondedores *L* que está en el trayecto de señal del canal de trayectos múltiples de retorno de extremo a extremo. Además, en algunos casos, el número de AN, *M*, es mayor que el número de transpondedores *L* que está en el trayecto de señal del canal 1908 de trayectos múltiples de retorno de extremo a extremo. En un ejemplo, el elemento $\mathbf{Hret}_{4,2}$ de la matriz de canal de retorno **Hret** se asocia con el canal desde una ubicación de referencia en la segunda área 1903 de cobertura del haz de usuario hasta el cuarto AN 1901. La matriz **Hret** modela el canal de extremo a extremo como el producto de las matrices **Ct** x **E** x **A**r (ver la Figura 6). Cada elemento en **Hret** modela la ganancia de extremo a extremo de un canal 1908 de trayectos múltiples de retorno de extremo a extremo. Debido a la naturaleza de trayectoria múltiple del canal, el canal puede sujetarse a un desvanecimiento profundo. Pueden formarse haces de usuario de retorno por el CPS 505. El CPS 505 calcula las ponderaciones del haz de retorno basado en el modelo de estos trayectos de señal *M* x *K* y forma los haces de usuario de retorno al aplicar las ponderaciones del haz de retorno a la pluralidad de señales de retorno compuestas, calculándose cada ponderación para cada canal de trayectos múltiples de retorno de extremo a extremo que acopla las terminales 517 de usuario en un área de cobertura del haz de usuario con uno de la pluralidad de los AN 515. En algunos casos, las ponderaciones del haz de retorno se calculan antes de recibir la señal de retorno compuesta. Existe un enlace de retorno de extremo a extremo desde cada una de las *K* áreas de cobertura 519 del haz de usuario hasta los *M* AN 515. La ponderación (es decir, la fase/amplitud relativa compleja) de cada una de las señales recibidas por los *M* AN 515 permite que esas señales se combinen para formar un haz de usuario de retorno mediante el uso de la capacidad de formación de haces

del CPS 505 dentro del segmento terrestre 502. El cálculo de la matriz de ponderación de haz se usa para determinar cómo ponderar cada canal 1908 de trayectos múltiples de retorno de extremo a extremo, para formar la pluralidad de haces de usuario de retorno, como se describe con más detalle más adelante. Los haces de usuario no se forman al ajustar directamente la fase y la amplitud relativas de las señales transmitidas por un elemento de la antena del relé de extremo a extremo con respecto a la fase y amplitud de las señales transmitidas por los otros elementos de la antena del relé de extremo a extremo. Más bien, los haces de usuario se forman al aplicar las ponderaciones asociadas con la matriz de canal *M* x *K* a las *M señales* AN. Es la pluralidad de AN que proporciona la diversidad de trayectos de recepción, un único transmisor (terminal de usuario) para múltiples receptores (AN), para permitir la transmisión satisfactoria de información desde cualquier terminal de usuario en presencia del canal de trayectos múltiples inducido intencionalmente.

**Datos directos**

La Figura 9 es una ilustración de un ejemplo de modelo de trayectos de señales para las señales que transportan datos en el enlace 501 directo de extremo a extremo. Los datos directos son los datos que fluyen desde los AN 515 hasta las terminales 517 de usuario. Las señales en esta figura fluyen de derecha a izquierda. Las señales se originan con los *M* AN 515, que se ubican en la huella del relé 503 de extremo a extremo. Existen *K* áreas 519 de cobertura del haz de usuario. Las señales de cada AN 515 se retransmiten por los *L* trayectos 2001 de las señales de recepción/transmisión.

Los trayectos 2001 de las señales de recepción/transmisión transmiten una señal retransmitida a las terminales 517 de usuario en las áreas 519 de cobertura del haz de usuario. En consecuencia, pueden existir *L* diferentes maneras para obtener una señal desde un AN 515 particular para una terminal 517 de usuario ubicado en un área 519 de cobertura del haz de usuario. Esto crea *L* trayectos entre cada AN 515 y cada terminal 517 de usuario. Debe mencionarse que, debido a los patrones de cobertura del elemento de la antena, algunos de las *L* trayectos pueden tener menos energía que otros trayectos.

La Figura 10 ilustra un ejemplo de enlace 501 directo de extremo a extremo que se acopla a una pluralidad de nodos de acceso en ubicaciones distribuidas geográficamente con una terminal 517 de usuario en un haz de usuario (p. ej., ubicado en una ubicación de recuperación dentro de un área 519 de cobertura del haz de usuario) a través de un relé 503 de extremo a extremo. En algunos casos, la señal de datos directos se recibe en un formador de haz antes de generar las señales de enlace ascendente directo. Una pluralidad de señales de enlace ascendente directo se genera en el formador de haz y se comunica con la pluralidad de AN 515. Por ejemplo, cada AN 515 recibe una única (haz ponderado) señal de enlace ascendente generada según las ponderaciones de haz correspondientes a ese AN 515. Cada AN 515 tiene una salida que transmite una señal de enlace ascendente a través de uno de los enlaces ascendentes *M*. Cada señal de enlace ascendente comprende una señal de datos directos asociada con el haz directo de usuario. La señal de datos directos se “asocia con” el haz directo de usuario, debido a que se destina a recibirse por las terminales 517 de usuario servidas por el haz de usuario. En algunos casos, la señal de datos directos comprende dos o más flujos de datos de usuario. Los flujos de datos de usuario pueden multiplexarse por división de tiempo o por multiplexación por división de frecuencia, etcétera. En algunos casos, cada flujo de datos de usuario es para la transmisión a una o más de una pluralidad de terminales de usuario dentro del mismo haz de usuario.

Como se explica con mayor detalle más adelante, cada señal de enlace ascendente directo se transmite de una manera sincronizada en el tiempo por su AN 515 de transmisión respectivo. Las señales 521 de enlace ascendente directo transmitidas desde el AN 515 se reciben por una pluralidad de transpondedores 410 en el relé 503 de extremo a extremo a través de los elementos 406 de antena de recepción en el relé 503 de extremo a extremo. La superposición 550 de las señales 521 de enlace ascendente directo recibidas desde ubicaciones distribuidas geográficamente crea una señal 545 directa de entrada compuesta. Cada transpondedor 410 recibe al mismo tiempo una señal 545 directa de entrada compuesta. Sin embargo, cada transpondedor 410 recibirá las señales con la temporización ligeramente diferente debido a las diferencias en la ubicación del elemento 406 de la antena de recepción asociadas con cada transpondedor 401.

**Cr** es la matriz de radiación de enlace ascendente directo *L x M*. Los valores de la matriz de radiación de enlace ascendente directo modelan el trayecto de señal (amplitud y fase) desde los AN 515 hasta los elementos 406 de la antena de recepción. **E** es la matriz de carga útil *L* x *L* y proporciona el modelo de los trayectos de la señal del transpondedor desde los elementos 406 de la antena de recepción hasta los elementos 409 de la antena de transmisión. La ganancia del trayecto directa desde cada elemento 406 de la antena de recepción a través de uno de una pluralidad de transpondedores correspondiente hasta cada elemento 409 de la antena correspondiente se modela por los valores diagonales de la matriz de carga útil. Como se observó anteriormente en relación con el enlace de retorno, suponiendo que existe diafonía entre los elementos de antena, los elementos fuera de la diagonal de la matriz de la carga útil son cero. En algunos casos, la diafonía puede no ser cero. Aislar los trayectos de señal entre sí minimizará la diafonía. En este ejemplo, cada uno de los transpondedores 410 se acopla con uno de los elementos 406 de la antena de recepción respectivos con uno de los elementos 409 de la antena de transmisión. En consecuencia, la señal 522 de enlace descendente generada desde cada uno de los transpondedores 410 se transmite por cada una de la pluralidad de transpondedores 410 (ver la Figura 9) a través de los elementos 409 de la antena de transmisión, de tal manera que las señales 522 de enlace descendente directo forman un haz directo de usuario (al superponer de forma constructiva y destructiva en ubicaciones geográficas de recuperación deseadas para formar el haz). En algunos casos,

una pluralidad de haces de usuario se forma, correspondiendo cada una de ellas a un área 519 de cobertura geográfica de haz de usuario que sirve un conjunto de terminales 517 de usuario respectivo dentro del área 519 de cobertura del haz de usuario. La trayectoria desde el primer elemento 409a de la antena de transmisión (ver la Figura 10) hasta una ubicación de referencia (o de recuperación) en la primera área 519 de cobertura del haz de usuario se suministra en el valor $\mathbf{At_{11}}$ de la matriz de radiación de enlace descendente directo. Como se mencionó con respecto al enlace de retorno, este sistema de formación de haces de extremo a extremo induce intencionalmente un entorno de trayectos múltiples de extremo a extremo desde cualquier AN 515 hasta cualquier terminal 517 de usuario. En algunos casos, un subconjunto de los elementos 409 de la antena de transmisión transmite señales 522 de enlace descendente directo con energía significante hasta una terminal 517 de usuario. La terminal 517 de usuario (o, más generalmente, una ubicación de referencia o de recuperación en el área 519 de cobertura del usuario para la recepción y/o recuperación) recibe la pluralidad de señales 522 de enlace descendente directo y recupera, al menos una parte de la señal de datos directa de la pluralidad de señales 522 de enlace descendente directo recibidas. Las señales 522 de enlace descendente directo transmitidas pueden recibirse por la terminal 517 de usuario en un nivel de señal que está dentro de 10 dB de un nivel de señal máximo desde cualquiera de las otras señales transmitidas por los elementos 409 de la antena de transmisión de dentro del subconjunto. En algunos casos, el subconjunto de elementos de la antena de transmisión incluye al menos el 10 % de la pluralidad de elementos de antena de transmisión presentes en el relé 503 de extremo a extremo. En algunos casos, los subconjuntos de elementos de la antena de transmisión incluyen al menos 10 elementos de la antena de transmisión, independientemente de que muchos de los elementos 409 de la antena de transmisión están presentes en el relé 503 de extremo a extremo. En un caso, la recepción de la pluralidad de señales de enlace descendente directo comprende la recepción de una superposición 551 de la pluralidad de señales de enlace descendente directo.

La Figura 11 es una ilustración simplificada de un modelo de todos los canales 2208 de trayectos múltiples directos de extremo a extremo desde los *M* AN 515 hasta las *K* áreas 519 de cobertura del haz de usuario. Como se muestra en la Figura 11, existe un canal 2208 de trayectos múltiple directo de extremo a extremo que acopla cada AN 515 con cada área 519 de cobertura del haz de usuario. Cada canal 2208 de un AN 515 hasta un área 519 de cobertura del haz del usuario tiene trayectos múltiples inducidos como un resultado de los *L* trayectos únicos desde el AN 515 a través de la pluralidad de transpondedores hasta el área 519 de cobertura del haz de usuario. Como tal, los canales de trayectos múltiples *K* x *M* 2208 pueden modelarse individualmente y el modelo de cada uno sirve como un elemento de una matriz del canal directo *K* x *M* **Hfwd**. La matriz del canal directo **Hfwd** tiene *M* vectores, cada uno tiene una dimensionalidad igual a *K*, de manera que cada vector modela las ganancias directas de extremo a extremo para comunicaciones de trayectos múltiples entre uno de los *M* AN 515 respectivos y las ubicaciones de referencia (o de recuperación) en las *K* áreas de cobertura del haz de usuario. Cada canal directo de trayectos múltiples de extremo a extremo acopla uno de los *M* AN 515 con las terminales 517 de usuario servidos por uno de los *K* haces directos de usuario a través de los *L* transpondedores 410 (ver la Figura 10). En algunos casos, solo un subconjunto de los *L* transpondedores 410 en el relé 503 de extremo a extremo se usan para crear el canal directo de trayectos múltiples de extremo a extremo (es decir, están en el trayecto de señal del canal directo de trayectos múltiples de extremo a extremo). En algunos casos, el número de haces de usuario *K* es mayor que el número de los transpondedores *L* que están en el trayecto de señal del canal directo de trayectos múltiples de extremo a extremo. Además, en algunos casos, el número de AN, *M*, es mayor que el número de los transpondedores *L* que están en el trayecto de señal del canal directo de trayectos múltiples de extremo a extremo.

**Hfwd** puede representar el enlace directo de extremo a extremo como el producto de las matrices **A**t x **E** x **Cr**. Cada elemento en **Hfwd** es la ganancia directa de extremo a extremo debido a la naturaleza de trayectos múltiples del trayecto y puede sujetarse a un desvanecimiento profundo. Puede calcularse una ponderación de haz adecuada para cada una de la pluralidad de canales 2208 directos de trayectos múltiples de extremo a extremo por el CPS 505 dentro del segmento terrestre 502 para formar haces directos de usuario desde el conjunto de los *M* AN 515 hasta cada área 519 de cobertura del haz de usuario. La pluralidad de AN 515 proporciona diversidad de trayectos de transmisión, al usar múltiples transmisores (AN) para un solo receptor (terminal de usuario), para permitir la transmisión satisfactoria de información para cualquier terminal 517 de usuario en presencia del canal de trayectos múltiples inducido intencionalmente.

**Datos directos y de retorno combinados**

La Figura 12 ilustra un ejemplo de relé de extremo a extremo que admite ambas comunicaciones directas y de retorno. En algunos casos, los mismos trayectos de señal del relé de extremo a extremo (p. ej., conjunto de elementos de la antena de recepción, los transpondedores, y los elementos de la antena de transmisión) pueden usarse para el enlace 501 directo de extremo a extremo y el enlace 523 de retorno de extremo a extremo. Algunos otros casos incluyen transpondedores de enlace directo y transpondedores de enlace de retorno, los cuales pueden o no compartir elementos de la antena de recepción y transmisión. En algunos casos, el sistema 1200 tiene una pluralidad de AN y terminales de usuario que se ubican en la misma región 1208 geográfica general (que puede ser, por ejemplo, un estado particular, todo un país, una región, toda un área visible, o cualquier otra región 1208 geográfica adecuada). Un solo relé 1202 de extremo a extremo (dispuesto en un satélite o en cualquier otro relé de extremo a extremo) recibe señales 521 de enlace ascendente directo desde los AN y transmite señales 522 de enlace descendente directo a las terminales de usuario. En momentos alternos, o en frecuencias alternas, el relé

1202 de extremo a extremo recibe además las señales 525 de enlace ascendente de retorno desde las terminales de usuario y transmite señales 527 de enlace descendente de retorno hasta los AN. En algunos casos, el relé 1202 de extremo a extremo se comparte entre datos directos y de retorno mediante el uso de técnicas tales como la duplicación de dominio de tiempo, duplicación de dominio de frecuencia, y lo similar. En algunos casos, la duplicación de dominio de tiempo entre los datos directos y de retorno usan el mismo rango de frecuencia: el dato directo se transmite durante diferentes (no superpuestos) intervalos de tiempo que aquellos usados para transmitir los datos de retorno. En algunos casos, con la duplicación de dominio de frecuencia, se usan diferentes frecuencias para los datos directos y los datos de retorno, permitiendo de esta manera, la trasmisión al mismo tiempo sin interferencia de los datos directos y de retorno.

La Figura 13 es una ilustración de un rango de frecuencia de enlace ascendente y que se divide en dos porciones. La parte (izquierda) de frecuencia más baja del rango de enlace ascendente se asigna al enlace ascendente directo y la parte (derecha) de frecuencia superior del rango se asigna al enlace ascendente de retorno. El rango de enlace ascendente puede dividirse en múltiples porciones ya sea de datos directos o de retorno.

La Figura 14 es una ilustración de los datos directos y los datos de retorno que se multiplexan por división de tiempo. Se muestra un período de trama de datos en el cual el dato directo se transporta durante el primer intervalo de tiempo de la trama, mientras que el dato de retorno se transporta durante el último intervalo de tiempo de la trama. El relé de extremo a extremo recibe desde uno o más nodos de acceso durante un primer (directo) intervalo de tiempo de recepción y desde una o más terminales de usuario durante un segundo (retorno) intervalo de tiempo de recepción que no se superpone al primer intervalo de tiempo de recepción. El relé de extremo a extremo transmite a una o más terminales de usuario durante un primer (directo) intervalo de tiempo de transmisión y a uno o más nodos de acceso durante un segundo (retorno) intervalo de tiempo de transmisión que no se superpone al primer intervalo de tiempo de recepción. La trama de datos puede repetirse o puede cambiar dinámicamente. La trama puede dividirse en porciones múltiples (p. ej., no contiguas) para los datos directos y de retorno.

**Satélites de formación de haces de extremo a extremo**

En algunos casos, el relé 503 de extremo a extremo se implementa en un satélite, de tal manera que el satélite se usa para retransmitir las señales desde los AN (los cuales pueden mencionarse como satellite access nodes [nodos de acceso satelital – NAS] en dichos casos) hasta las terminales de usuario y viceversa. En algunos casos, el satélite está en órbita geoestacionaria. Un ejemplo de satélite que funciona como un relé de extremo a extremo tiene un arreglo de elementos de la antena de recepción, un arreglo de elementos de la antena de transmisión, y un número de transpondedores que conectan los elementos de la antena de recepción con los elementos de la antena de transmisión. Los arreglos tienen un gran número de elementos de la antena con las áreas de cobertura del elemento de la antena de superposición, similares a las antenas de elementos de fase de enlace único tradicionales. Son las áreas de cobertura del elemento de la antena superpuestas en los elementos de la antena de transmisión y en los elementos de antena de recepción las que crean el entorno de trayectos múltiples descrito anteriormente. En algunos casos, los patrones de antena establecidos por los elementos de la antena correspondientes, y aquellos que resultan en las áreas de cobertura del elemento de la antena superpuestas (p. ej., los patrones de antena del haz de componentes superpuestos), son idénticos. Para el propósito de esta descripción, el término “idéntico” significa que se sigue esencialmente la misma distribución de energía sobre un conjunto determinado de puntos en el espacio, que toma el elemento de la antena como el punto de referencia para ubicar los puntos en el espacio. Es muy difícil que sean perfectamente idénticas. Por lo tanto, los patrones que tienen desviaciones relativamente pequeñas desde un patrón al otro están dentro del alcance de patrones “idénticos”. En otros casos, los patrones de antena del haz de componente de recepción pueden no ser idénticos, y de hecho pueden ser significativamente diferentes. Dichos patrones de la antena pueden resultar en áreas de cobertura de elementos de la antena superpuestas, sin embargo, aquellas áreas de cobertura resultantes no serán idénticas.

Los tipos de antena incluyen, pero no se limitan a, reflectores alimentados en red, arreglos confocales, arreglos de radiación directa y otras formas de arreglos de antena. Cada antena puede ser un sistema que incluye componentes ópticos adicionales para ayudar en la recepción y/o transmisión de señales, tal como uno o más reflectores. En algunos casos, un satélite incluye componentes que ayudan en la alineación de la temporización del sistema en la calibración de la formación de haces.

La Figura 15 es un diagrama de un ejemplo de satélite 1502 que puede usarse como un relé 503 de extremo a extremo. En algunos casos, el satélite 1502 tiene un arreglo de antena 401 de transmisión del reflector alimentado y un arreglo de antena 402 de recepción del reflector alimentado. La antena 402 de recepción comprende un reflector de recepción (no se muestra) y un arreglo de elementos 406 de la antena de recepción. Los elementos 406 de la antena de recepción se iluminan por el reflector de recepción. La antena 401 de transmisión comprende un reflector de transmisión (no se muestra) y un arreglo de elementos 409 de la antena de transmisión. Los elementos 409 de la antena de transmisión se

disponen para iluminar el reflector de transmisión. En algunos casos, el mismo reflector se usa para recibir y transmitir. En algunos casos, un puerto del elemento de la antena se usa para recibir y otro puerto para la transmisión. Algunas antenas tienen la capacidad para distinguir entre señales de diferentes polarizaciones. Por ejemplo, un elemento de la antena puede incluir cuatro puertos de onda guía para la recepción de la right-hand circular polarization (polarización circular derecha - RHCP), la recepción de la left-hand circular polarization (polarización circular izquierda - LHCP), la transmisión RHCP, y la transmisión LHCP, respectivamente. En algunos casos, las polarizaciones duales pueden usarse para incrementar la capacidad del sistema; en otros casos, una sola polarización puede usarse para disminuir la interferencia (p. ej., con otros sistemas mediante el uso de una polarización diferente).

El satélite 1502 ilustrativo comprende, además, una pluralidad de transpondedores 410. Un transpondedor 410 conecta la salida desde un elemento 406 de la antena de recepción hasta la entrada de un elemento 409 de la antena de transmisión. En algunos casos, el transpondedor 410 amplifica la señal recibida. Cada elemento de la antena de recepción genera una única señal recibida. En algunos casos, una subconjunto de elementos 406 de la antena de recepción recibe una señal de un transmisor terrestre, tales como ya sea una terminal 517 de usuario en el caso de una señal de enlace de retorno o un AN 515 en el caso de una señal de enlace de directo. En algunos de estos casos, la ganancia de cada elemento de la antena de recepción en el subconjunto para la señal recibida está dentro de un rango relativamente pequeño. En algunos casos, el rango es de 3 dB. En otros casos, el rango es de 6 dB. En otros casos, el rango es de 10 dB. En consecuencia, el satélite recibirá una señal en cada una de la pluralidad de los elementos 406 de la antena de recepción del satélite, la señal de comunicación que se origina desde un transmisor terrestre, de manera que un subconjunto de elementos 406 de la antena de recepción recibe la señal de comunicación en un nivel de señal de que no es sustancialmente menor que un nivel de señal que se corresponde con una ganancia de pico del elemento 406 de la antena de recepción.

En algunos casos, al menos 10 transpondedores 410 se proporcionan dentro del satélite 1502. En otro caso, al menos 100 transpondedores 410 se proporcionan en el satélite 1502. En aún otro caso, el número de transpondedores por polaridad puede estar en el rango de 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512, 1024 o en números intermedios o mayores. En algunos casos, el transpondedor 410 incluye un low noise amplifier (amplificador de bajo ruido - LNA) 412, un convertidor de frecuencia y los filtros asociados 414 y un power amplifier (amplificador de intensidad - PA) 420. En algunos casos en los cuales la frecuencia de enlace ascendente y la frecuencia de enlace descendente son iguales, el transpondedor no incluye un convertidor de frecuencia. En otros casos, la pluralidad de elementos de antena de recepción funciona a una primera frecuencia. Cada elemento 406 de la antena de recepción se asocia con un transpondedor 410. El elemento 406 de la antena de recepción se acopla a la entrada del LNA 412. En consecuencia, el LNA amplifica independientemente la señal única recibida proporcionada por el elemento de la antena de recepción asociado con el transpondedor 410. En algunos casos, la salida del LNA 412 se acopla al convertidor 414 de frecuencia. El convertidor 414 de frecuencia convierte la señal amplificada a la segunda frecuencia.

La salida del transpondedor se acopla a uno de los elementos de la antena de transmisión asociados. En estos ejemplos, existe una relación uno a uno entre un transpondedor 410, un elemento 406 de la antena de recepción asociado, y un elemento 409 de la antena de transmisión asociado, de manera tal que la salida de cada elemento 406 de la antena de recepción se conecta a la entrada de uno y solo un transpondedor y la intensidad de salida de un transpondedor se conecta a la entrada de uno y solo un elemento de la antena de transmisión.

La Figura 16 es una ilustración de un ejemplo de transpondedor 410. El transpondedor 410 puede ser un ejemplo de un transpondedor de un relé 503 de extremo a extremo, como se describió anteriormente (p. ej., el satélite 1502 de la Figura 15). En este ejemplo, el transpondedor incluye un desfasador 418 además del low noise amplifier (amplificador de bajo ruido - LNA) 412, el convertidor de frecuencia y los filtros asociados 414, y el power amplifier (amplificador de intensidad - PA) del transpondedor 410. Como se ilustra en la Figura 16, el transpondedor 410 ilustrativo puede acoplarse, además, con un controlador 427 de desfase. Por ejemplo, el controlador 427 de desfase puede acoplarse (directa o indirectamente) con cada uno de algunos o todos los transpondedores de un relé 503 de extremo a extremo, de manera que el controlador 427 de desfase puede ajustar individualmente las fases para cada transpondedor. Los desfasadores pueden ser útiles para la calibración, por ejemplo, como se expone más adelante.

**Antenas**

Para crear el entorno de trayectoria múltiple, las áreas de cobertura del elemento de la antena pueden superponerse con las áreas de cobertura del elemento de la antena de al menos otro elemento de la antena de la misma polaridad, frecuencia, y tipo (transmisión o recepción, respectivamente). En algunos casos, una pluralidad de patrones de antena del haz de componente de recepción, operable en la misma polarización de recepción y frecuencia de recepción (p. ej., que tienen al menos una parte en común de la frecuencia de recepción), se superponen entre sí. Por ejemplo, en algunos casos, al menos el 25 % de los patrones de antena del haz de componente de recepción, operables en la misma polarización de recepción y frecuencia de recepción (p. ej., que tienen al menos una parte en común de la frecuencia de recepción), se superponen con al menos otros cinco patrones de antena del haz de componente de recepción de los elementos de la antena de recepción. De manera similar, en algunos casos, al menos el 25 % de los patrones de antena del haz de componente de transmisión, operables en la misma frecuencia de polarización de recepción y frecuencia de recepción (p. ej., que tienen al menos una parte en común de la frecuencia de transmisión), se superponen con al menos otros cinco patrones de antena del haz de componente de transmisión. La cantidad de superposición variará de sistema a

sistema. En algunos casos, al menos uno de los elementos 406 de la antena de recepción tiene patrones de antena del haz de componente que se superponen con los patrones de antena de otros elementos 406 de la antena de recepción operable en la misma frecuencia de recepción (p. ej., que tienen en común al menos una parte de la frecuencia de recepción), y la misma polarización de recepción. Por lo tanto, al menos algunos de la pluralidad de elementos de la antena de recepción pueden recibir las mismas señales desde la misma fuente. De manera similar, al menos uno de los elementos 409 de la antena de transmisión tiene un patrón de antena del haz de componente que se superpone con los patrones de antena de otros elementos 409 de la antena de transmisión operables en la misma frecuencia de transmisión (p. ej., que tienen en común al menos una parte de la frecuencia de transmisión) y polarización de transmisión. Por lo tanto, al menos algunas de la pluralidad de elementos de la antena de transmisión son capaces de transmitir señales que tienen la misma frecuencia a la misma polarización al mismo receptor. En algunos casos, los patrones de antena del haz de componente superpuestos pueden tener ganancias que difieren en menos de 3 dB (o cualquier otro valor adecuado) a lo largo de un área geográfica común. Los elementos de la antena, ya sea de recepción o transmisión, pueden tener un patrón de antena del haz de componente amplio, y por lo tanto un área de cobertura de la antena relativamente amplio. En algunos casos, las señales transmitidas por un transmisor terrestre, tal como una terminal 517 de usuario o un nodo 515 de acceso se reciben por todos los elementos 406 de la antena de recepción del relé de extremo a extremo (p. ej., un satélite). En algunos casos, un subconjunto de los elementos 406 recibe las señales de un transmisor terrestre. En algunos casos, el subconjunto incluye al menos el 50 % de los elementos de la antena de recepción. En otros casos, el subconjunto incluye al menos 75 % de los elementos de la antena de recepción. En aún otros casos, el subconjunto incluye al menos 90 % (p. ej., hasta e incluye todos) de los elementos de la antena de recepción. Diferentes subconjuntos de elementos 406 de recepción pueden recibir señales de diferentes transmisores terrestres. De manera similar, en algunos casos, un subconjunto de los elementos 409 transmite señales que pueden recibirse por una terminal 517 de usuario. En algunos casos, el subconjunto incluye al menos 50 % de los elementos de antena de transmisión. En otros casos, el subconjunto incluye al menos 75 % de los elementos de antena de transmisión. En aún otros casos, el subconjunto incluye al menos 90 % (p. ej., hasta e incluye todos) de los elementos de antena de transmisión. Diferentes subconjuntos de los elementos 409 pueden transmitir señales que se reciben por diferentes terminales de usuario. Además, las terminales de usuario pueden estar dentro de varias áreas 519 de cobertura de haz de usuario formadas. Para los propósitos de esta invención, un patrón de antena es un patrón de distribución de energía transmitida a, o recibida desde, una antena. En algunos casos, la energía puede irradiarse directamente desde/hasta el elemento de antena. En otros casos, la energía de uno o más elementos de antena de transmisión puede reflejarse en uno o más reflectores que forman el patrón de elemento de la antena. De manera similar, un elemento de recepción puede recibir energía directamente, o después de que la energía se ha reflejado fuera de uno o más reflectores. En algunos casos, las antenas pueden hacerse de varios elementos, cada una tiene un patrón de antena del haz de componente que establece un área de cobertura del elemento de la antena. De manera similar, todas o un subconjunto de elementos de la antena de recepción y transmisión que reciben y transmiten señales a los AN 515 pueden superponerse, de tal manera que una pluralidad de elementos de la antena de recepción recibe señales desde el mismo AN 515 y/o una pluralidad de elementos de la antena de transmisión transmite señales al mismo AN 515.

La Figura 17 es una ilustración de los patrones de antena del haz de componente producidos por varios elementos de la antena (ya sea elementos 406 de la antena, o elementos 409 de la antena de transmisión) que se intersecan en los puntos de 3 dB. El patrón 1301 de antena del haz de componente de un primer elemento de la antena tiene una ganancia de antena del haz de componente pico a lo largo de la referencia de puntería 1303. El patrón 1301 de antena del haz de componente se muestra para atenuar aproximadamente 3 dB antes de que se interseca con el patrón 1305 de antena del haz de componente. Debido a que cada par de dos patrones de antena del haz de componente se superpone alrededor de la línea 1307 3 dB para una parte relativamente pequeña del patrón de antena del haz de componente, los elementos de la antena que producen estos patrones de antena del haz de componente se consideran para no superponerse.

La Figura 18 muestra los contornos 3901, 3902, 3903 de la antena de 3 dB ideales de varios elementos 406, 409 con la ganancia máxima designada con la letra ‘x’. Los contornos 3901, 3902, 3903 se denominan en la presente memoria como “idealizados” porque los contornos se muestran como circulares por motivos de simplicidad. Sin embargo, los contornos 3901, 3902, 3903 no necesitan ser circulares. Cada contorno indica el lugar en el cual la señal transmitida o recibida es 3 dB por debajo del nivel pico. Fuera del contorno, la señal es más de 3 dB por debajo del pico. Dentro del contorno, la señal es inferior a 3 dB por debajo del pico (es decir, dentro de 3 dB del pico). En un sistema en el cual el área de cobertura de un patrón de antena del haz de componente de recepción son todos los puntos para los cuales la ganancia de antena del haz de componente de recepción está dentro de 3 dB de la ganancia de antena del haz de componente de recepción de pico, el área dentro del contorno se denomina como el área de cobertura del elemento de antena. El contorno de la antena de 3 dB para cada elemento 406, 409 no se superpone. Esto es, solo una parte relativamente pequeña del área dentro del contorno 3901 de la antena de 3 dB se superpone con el área que está dentro de los patrones 3902, 3903 de antena de 3 dB adyacentes.

La Figura 19 es una ilustración de los patrones 1411, 1413, 1415 de antena de varios elementos de la antena (ya sea los elementos 406 de antena de recepción o los elementos 409 de la antena de transmisión). En contraste con los patrones de antena del haz de componente de la Figura 17, los patrones de antena del haz de componente ilustrados en la Figura 19 se intersecan 1417 por encima de la línea 1307 de 3 dB.

La Figura 20A a través de la Figura 20E ilustra los contornos de antena de 3 dB para varios elementos 406, 409 de la antena con el punto central del haz (ganancia pico) designado con la letra 'x'. La Figura 20A muestra el contorno 1411 de antena particular de un primer elemento 406 de antena. La Figura 20B muestra los contornos 1411, 1413 de la antena de 3 DB para dos elementos particulares 406. La Figura 20C muestra los contornos de la antena de 3 DB para tres elementos 406. La Figura 20D muestra los contornos de la antena de 3 DB para los cuatro elementos 406 de la antena. La Figura 20E muestra los contornos de la antena de 3 DB para un arreglo de 16 elementos 406 de la antena. Los contornos de la antena de 3 DB se muestran para superponer 1418 (p. ej., se muestran dichos 16 contornos de antena de 3 DB). Los elementos de la antena ya sea en la antena de recepción o transmisión pueden disponerse en cualquiera de una variedad de configuraciones diferentes. Por ejemplo, si los elementos tienen un cuerno de alimentación generalmente circular, los elementos pueden disponerse en una configuración de estructura de tipo panal de abeja para empaquetar los elementos en una pequeña cantidad de espacio. En algunos casos, los elementos de la antena se alinean en filas horizontales y columnas verticales.

La Figura 21 es un ejemplo de ilustración de las posiciones relativas de los contornos de la antena de recepción de 3 dB asociadas con los elementos 406 de la antena de recepción. Los centros del haz del elemento 406 se numeran 1 – 16, con el elemento $406_4$ identificado por el número '4' hasta la parte superior izquierda del indicador central del haz 'x'. En algunos casos, puede haber más de 16 elementos 406 de la antena de recepción. Sin embargo, por motivos de simplicidad, solo se muestran 16 en la Figura 21. Un arreglo correspondiente de elementos 409 de la antena de transmisión y sus contornos de antena de 3 dB asociados tendrán un aspecto similar al de la Figura 21. Por lo tanto, por motivos de simplicidad, solo se muestra el arreglo de elementos 406 de la antena. El área 2101 en el centro está donde todas las áreas de cobertura del elemento de la antena se superponen.

En algunos casos, al menos un punto dentro del área de cobertura del relé (p. ej., área de cobertura de un satélite) queda dentro del contorno de la antena 3 dB de los haces del componente de varios elementos 406 de la antena. En dicho caso, al menos un punto está dentro del contorno de la antena de 3 dB de al menos 100 elementos 406 de la antena diferentes. En otro caso, al menos el 10 % del área de cobertura del relé queda dentro de los contornos de la antena de 3 DB de al menos 30 elementos de antena diferentes. En otro caso, al menos el 20 % del área de cobertura del relé permanece dentro de los contornos de la antena de 3 dB de al menos 20 elementos de la antena diferentes. En otro caso, al menos el 30 % del área de cobertura del relé permanece dentro de los contornos de la antena de 3 dB de al menos 10 elementos de la antena diferentes. En otro caso, al menos el 40 % del área de cobertura del relé queda dentro de los contornos de antena de 3 DB de al menos ocho elementos de antena diferentes. En otro caso, al menos el 50 % del área de cobertura del relé queda dentro de los contornos de la antena de 3 dB de al menos cuatro elementos de antena diferentes. Sin embargo, en algunos casos, más de una de estas relaciones puede ser cierta.

En algunos casos, el relé de extremo a extremo tiene un área de cobertura de relé (p. ej., el área de cobertura del satélite) en la cual al menos el 25 % de los puntos en el área de cobertura del relé de enlace ascendente están dentro (p. ej., del alcance) de las áreas de cobertura superpuestas de al menos seis elementos 406 de antena de recepción. En algunos casos, el 25 % de los puntos dentro del área de cobertura del relé de enlace ascendente están dentro (p. ej., del alcance) de las áreas de cobertura superpuestas de al menos cuatro elementos 406 de antena de recepción. En algunos casos, el relé de extremo a extremo tiene un área de cobertura en la cual al menos el 25 % de los puntos en el área de cobertura del relé de enlace descendente está dentro (p. ej., del alcance) de las áreas de cobertura superpuestas de al menos seis elementos 409 de antena de transmisión. En algunos casos, el 25 % de los puntos dentro del área de cobertura del relé de enlace descendente están dentro (p. ej., del alcance) de las áreas de cobertura superpuestas de al menos cuatro elementos 409 de antena de transmisión.

En algunos casos, la antena 402 de recepción puede ser puntiaguda aproximadamente en la misma área de cobertura que la antena 401 de transmisión, de tal manera que algunas áreas de cobertura de los elementos de antena de recepción pueden naturalmente corresponder a las áreas de cobertura de los elementos de antena de transmisión particulares. En estos casos, los elementos 406 de antena de recepción pueden asignarse a sus elementos 409 de antena de transmisión correspondientes a través de los transpondedores 410, que devengan áreas de cobertura del elemento de antena de transmisión y recepción similares para cada trayecto de señal de recepción/transmisión. En algunos casos, sin embargo, puede ser ventajoso para asociar los elementos 406 de antena a los elementos 409 de antena que no corresponden a la misma área de cobertura del haz de componente. En consecuencia, la asociación de los elementos 406 de antena de la antena 402 de recepción a los elementos 409 de la antena 401 de transmisión puede permutarse aleatoriamente (o de cualquier otra manera). Dicha permutación incluye el caso que conlleva que los elementos 406 de antena de recepción no se correlacionen con los elementos 409 de la antena de transmisión en la misma ubicación relativa dentro del arreglo o que tienen la misma área de cobertura. Por ejemplo, cada elemento 406 de la antena de recepción dentro del arreglo del elemento de antena de recepción puede asociarse con el mismo transpondedor 410 como con el elemento 409 de antena de transmisión ubicado en la ubicación de espejo del arreglo del elemento de antena de transmisión. Cualquier otra permutación puede usarse para correlacionar los elementos 406 de antena de recepción con los elementos 409 de antena de transmisión según una permutación (p. ej., emparejar cada elemento 406 de antena con el mismo transpondedor al cual se acopla un elemento 409 de antena de transmisión

según una permutación particular del elemento 406 de antena de recepción y el elemento 409 de antena de transmisión).

La Figura 22 es una tabla 4200 que muestra ejemplos de correlación de los elementos 406 de la antena de recepción con los elementos 409 de la antena de transmisión a través de los 16 transpondedores 410. Cada transpondedor 410 tiene una entrada que se acopla exclusivamente con un elemento de antena de recepción y una salida 406 que se acopla exclusivamente con un elemento 409 de antena de transmisión asociado (p. ej., existe una relación uno a uno entre cada elemento 406 de la antena de recepción, uno transpondedores 410 y un elemento 409 de la antena de transmisión). En algunos casos, otros elementos de la antena, de recepción, los transpondedores y elementos de la antena de transmisión pueden estar presentes en relé de extremo a extremo (p. ej., el satélite) que no se configuran en una relación uno a uno (y no funcionan como una parte del sistema de formación de haces de extremo a extremo).

La primera columna 4202 de la tabla 4200 identifica un transpondedor 410. La segunda columna 4204 identifica un elemento 406 de la antena de recepción al cual se acopla el transpondedor 410 de la primera columna. La tercera columna 4206 de la tabla 4200 identifica un elemento 409 de la antena de transmisión asociado al cual se acopla la salida del transpondedor 410. Cada elemento 406 de la antena de recepción se acopla a la entrada del transpondedor 410 identificado en la misma fila de la tabla 4200. De manera similar, cada elemento 409 de la antena de transmisión se acopla a la salida del transpondedor 410 identificado en la misma fila de la tabla 4200. La tercera columna de la tabla 4200 muestra un ejemplo de correlación directa en la cual cada elemento 406 de la antena de recepción del arreglo de la antena de recepción se acopla al mismo transpondedor 410 como el elemento 409 de antena de transmisión en la misma ubicación relativa dentro del arreglo de antena de transmisión. La cuarta columna 4208 de la tabla 4200 muestra un ejemplo de correlación entrelazada en el cual el primer elemento 406 de la antena de recepción se acopla al primer transpondedor 410 hasta el décimo elemento 409 de la antena de transmisión. El segundo elemento 406 de la antena de recepción se acopla con el segundo transpondedor 410 y con el noveno elemento 409 de antena de transmisión, y así sucesivamente. Algunos casos tienen otras permutaciones, que incluyen una correlación aleatoria en la cual el emparejamiento particular del elemento 406 de la antena de recepción y el elemento 409 de transmisión con un transpondedor 410 se seleccionan aleatoriamente.

La correlación directa, la cual intenta mantener las áreas de cobertura del elemento de antena de recepción y transmisión tan similar como sea posible para cada trayecto de señal de transmisión/recepción, generalmente produce la más alta capacidad total del sistema. Las permutaciones aleatorias y entrelazadas generalmente producen ligeramente menos capacidad, pero proporcionan un sistema más robusto frente a las interrupciones de los AN, las interrupciones de la fibra en la red terrestre, o pérdida de trayectos de la señal de recepción/transmisión debido a un error electrónico en el relé de extremo a extremo (p. ej., en uno o más transpondedores). Las permutaciones aleatorias y entrelazadas permiten que se usen los AN no redundantes de menor costo. Las permutaciones aleatorias y entrelazadas proporcionan además menor variación entre la capacidad en el mejor rendimiento del haz y la capacidad en el peor rendimiento del haz. Además, las permutaciones aleatorias y entrelazadas pueden ser más útiles para hacer funcionar inicialmente el sistema con solo una fracción de los AN que resulta solo en una fracción de la capacidad total que está disponible, pero sin pérdidas en el área de cobertura. Un ejemplo de esto es una presentación incremental de los AN, en donde el sistema se operó inicialmente con solo el 50 % de los AN desplegados. Esto puede proporcionar menos de la capacidad total, mientras que aún permite el funcionamiento sobre la totalidad del área de cobertura. A medida que incrementa la demanda, más AN pueden desplegarse para incrementar la capacidad hasta que se logra la capacidad total, con todos los AN activos. En algunos casos, un cambio en la composición de los AN resulta en un cálculo de las ponderaciones de los haces. Un cambio en la composición puede incluir el cambio de la cantidad o las características de uno o más AN. Esto puede requerir un cálculo de las ganancias de retorno y/o directas de extremo a extremo.

En algunos casos, la antena es una antena de reflector alimentado por red con un reflector parabólico. En otros casos, el reflector no tiene una forma parabólica. Un arreglo 406 de elementos de la antena de recepción puede disponerse para recibir señales reflejadas por el reflector. De manera similar, un arreglo de elementos 409 de antena de transmisión puede disponerse para formar un arreglo para iluminar el reflector. Una manera de proporcionar elementos con patrones de antena del haz de componente de superposición es tener los elementos 406, 409 desenfocados (poco definidos) como consecuencia del plano focal del reflector que está detrás (o delante de) del arreglo de elementos 406, 409 (es decir, el arreglo de la antena de recepción que se ubica fuera del plano focal del reflector de recepción).

La Figura 23 es una ilustración de una sección transversal de un reflector 1521 parabólico de alimentación central. Un punto focal 1523 queda en un plano focal 1525 que es normal al eje central 1527 del reflector 1521. Las señales recibidas que chocan con el reflector 1521 paralelas al eje central 1527 se enfocan sobre el punto focal 1523. Del mismo modo, las señales que se transmiten desde un elemento de antena ubicado en el punto focal y que chocan con el reflector 1521 se reflejarán en un haz enfocado desde el reflector 1521 paralelas al eje central 1527. Una disposición de este tipo se emplea con frecuencia en los sistemas de Alimentación Única por Haz para maximizar la directividad de cada haz y minimizar la superposición con haces formados por las fuentes adyacentes.

La Figura 24 es una ilustración de otro reflector parabólico 1621. Al ubicar los elementos 1629 de antena (ya sea los elementos de la antena de recepción o los elementos 406, 409, 3416, 3419, 3426, 3429 de la antena de transmisión) fuera del plano focal (p. ej., delante del plano focal 1625 del reflector 1621), la trayectoria de las señales transmitidas 1631 que chocan con el reflector 1621 no serán paralelas entre sí según se reflejan fuera del reflector 1621, lo que resulta en un mayor ancho del haz que en el caso enfocado. En algunos casos, se usan los reflectores que tienen formas diferentes a los parabólicos. Dichos reflectores pueden resultar, además, en el desenfoque de la antena. El sistema de formación de haces de extremo a extremo puede usar este tipo de antenas desenfocadas para crear la superposición en el área de cobertura de los elementos de antena adyacentes y, por lo tanto, proporcionar un gran número de trayectos de recepción/transmisión útil para las ubicaciones de haz determinadas en el área de cobertura del relé.

En un caso, se establece un área de cobertura del relé, en el cual el 25 % de los puntos dentro del área de cobertura están dentro de las áreas de cobertura del elemento de antena de al menos seis patrones de antena del haz de componentes cuando el relé de extremo a extremo se despliega (p. ej., un relé de satélite de extremo a extremo en una órbita de servicio). De manera alternativa , el 25 % de los puntos dentro del área de cobertura del relé están dentro de las áreas de cobertura del elemento de antena de al menos cuatro elementos de la antena de recepción. La Figura 25 es una ilustración de un ejemplo de área de cobertura del relé (para un relé de satélite de extremo a extremo, mencionada, además como área de cobertura de un satélite) 3201 (se muestra con un único enlace de sombreado diagonal) y el área 3203 (se muestra con el doble sombreado diagonal) definida por los puntos dentro del área de cobertura del relé 3201 que están contenidos, además, dentro de las seis áreas 3205, 3207, 3209, 3211, 3213, 3215 de cobertura de los elementos de antena. El área 3201 de cobertura y las áreas 3205, 3207, 3209, 3211, 3213, 3215 de cobertura del elemento de antena pueden ser las áreas de cobertura del elemento de antena de recepción o las áreas de cobertura del elemento de antena de transmisión y pueden asociarse solo con el enlace directo o solo con el enlace de retorno. El tamaño de las áreas 3205, 3207, 3209, 3211, 3213, 3215 de cobertura del elemento de antena se determina por el rendimiento deseado a proporcionarse por el sistema. Un sistema que es más tolerante a errores puede tener áreas de cobertura del elemento de antena que son mayores que las de un sistema que es menos tolerante. En algunos casos, cada área 3205, 3207, 3209, 3211, 3213, 3215 de cobertura del elemento de antena son todos los puntos para los cuales la ganancia de antena del haz de componente está dentro de 10 dB de la ganancia de antena del haz de componente pico para el elemento de antena que establece el patrón de antena del haz de componente. En otros casos, cada área 3205, 3207, 3209, 3211, 3213, 3215 de cobertura del elemento de antena son todos los puntos para los cuales la ganancia de antena del haz de componente está dentro de 6 dB de la ganancia de antena del haz de componente pico. En aún otros casos, cada área 3205, 3207, 3209, 3211, 3213, 3215 de cobertura del elemento de antena son todos puntos para los cuales la ganancia de antena del haz de componente está dentro de 3 dB de la ganancia de antena del haz de componente pico. Incluso cuando un relé de extremo a extremo aún no se ha desplegado (p. ej., un relé de satélite de extremo a extremo no está en una órbita de servicio, el relé de extremo a extremo aún tiene patrones de antena del haz de componente que conforman la definición anterior. Es decir, las áreas de cobertura del elemento de antena que corresponden a un relé de extremo a extremo en órbita pueden calcularse de los patrones de antena del haz de componente aun cuando el relé de extremo a extremo no está en una órbita de servicio. El relé de extremo a extremo puede incluir elementos de antena adicionales que no contribuyan a la formación de haces y por lo tanto no tienen las características mencionadas anteriormente.

La Figura 26 es una ilustración de un relé de extremo a extremo (p. ej., un satélite) el patrón 3300 de la antena en el cual todos los puntos dentro de un área 3301 de cobertura de relé (p. ej., el área de cobertura de un satélite) están contenidos, además, dentro de al menos cuatro áreas 3303, 3305, 3307, 3309 de cobertura de los elementos de antena. Otros elementos de antena pueden existir en el relé de extremo a extremo y puede tener áreas 3311 de cobertura del elemento de antena que contienen menos que todos los puntos dentro del área 3301 de cobertura del relé.

El sistema puede funcionar en cualquier espectro adecuado. Por ejemplo, un sistema de formación de haces de extremo a extremo puede funcionar en la C, L, S, X, V, Ka, Ku, u otra banda o bandas adecuadas. En algunos de dichos sistemas, los medios de recepción funcionan en la C, L, S, X, V, Ka, Ku, u otra banda o bandas adecuadas. En algunos casos, el enlace ascendente directo y el enlace ascendente de retorno puede funcionar en el mismo rango de frecuencia (p. ej., en el área adyacente de 30 GHz); y el enlace descendente de retorno y el enlace descendente directo pueden funcionar en un rango de frecuencias que no se superponen (p. ej., en el área adyacente de 20 GHz). El sistema de extremo a extremo puede usar cualquier ancho de banda adecuado (p. ej., 500 MHz, 1 GHz, 2 GHz, 3,5 GHz, etcétera). En algunos casos, los enlaces directo y de retorno usan los mismos transpondedores.

Para ayudar a la alineación de la temporización del sistema, las longitudes de los trayectos entre los *L* transpondedores se configuran para coincidir con los retardos de tiempo del trayecto de señal en algunos casos, por ejemplo, a través de la selección de longitud de cable adecuada. El relé de extremo a extremo (p. ej., un satélite) en algunos casos tiene un generador 426 de baliza del relé (p. ej., una baliza del satélite) dentro de un módulo 424 de soporte de calibración (ver la Figura 15). El generador 426 de baliza genera una señal de baliza del relé. El relé de extremo a extremo transmite la señal de la baliza del relé para facilitar aún más la alineación

de la temporización del sistema, así como también la calibración del enlace de alimentador de soporte. En algunos casos, la señal de baliza del relé es una secuencia pseudoaleatoria (conocida como PN), tal como una señal de espectro de difusión de secuencia directa PN que se mueve a una alta tasa de chip (p. ej., 100, 200, 400, o 800 millones de chips por segundo (Mcps), o cualquier otro valor adecuado). En algunos casos, una baliza de relé polarizado linealmente (p. ej., un satélite), que puede recibirse por las antenas RHCP y LHCP, se transmite a través de una amplia área de cobertura por una antena, tal como una bocina de antena (no se muestra) o se acoplan en uno o más de los transpondedores 410 para la transmisión a través del elemento 409 de antena de transmisión asociado. En un ejemplo de sistema, los haces se forman en canales múltiples de 500 MHz de ancho a lo largo de la banda Ka, y un código de PN Mcps 400 se filtra o se forma de impulsos para ajustarse dentro de un canal de 500 MHz de ancho de banda. Cuando se usan los canales múltiples, el mismo código de PN puede transmitirse en cada uno de los canales. El sistema puede emplear una baliza para cada canal, o una baliza para dos o más canales.

Debido a que puede existir un gran número de trayectos de señal de recepción/transmisión en un relé de extremo a extremo, puede no requerirse la redundancia de trayectos de señal de recepción/transmisión. El sistema puede aún rendir muy cerca de su nivel anterior de rendimiento ante un error en un trayecto de señal de recepción/transmisión, aunque la modificación de los coeficientes de formación de haces puede usarse para dar cuenta de la pérdida.

**Redes terrestres**

La red terrestre de un ejemplo de sistema de formación de haces de extremo a extremo contiene un número de estaciones terrestres de access nodes (nodos de acceso - AN) distribuidas geográficamente señaladas en un relé de extremo a extremo. Mirando primero al enlace directo, un Central Processing System (Sistema de procesamiento central - CPS) calcula ponderaciones de haz para la transmisión de datos de usuario e interactúa con los AN a través de una red de distribución. El CPS interactúa, además, con las fuentes de datos que se suministran a las terminales de usuario. La red de distribución puede implementarse de diversas maneras, por ejemplo, mediante el uso de una infraestructura de cable de fibra óptica. La temporización entre el CPS y los SAN puede ser determinista (p. ej., mediante el uso de canales de circuitos conmutados) o no determinista (p. ej., mediante el uso de una red de conmutación por paquetes). En algunos casos, el CPS se implementa en un único sitio, por ejemplo, mediante el uso de application specific integrated circuits (circuitos integrados específicos de aplicación a medida - ASIC) para manejar el procesamiento de señales. En algunos casos, el CPS se implementa en procesos de manera distribuida, por ejemplo, mediante el uso de técnicas de computación en nube.

Volviendo al ejemplo de la Figura 5, el CPS 505 puede incluir una pluralidad de módems 507 de enlace de alimentador. Para el enlace directo, cada uno de los módems 507 de enlace de alimentador recibe flujos 509 de datos directos de usuario desde varias fuentes de datos, tal como la Internet, un video de cabecera (no se muestra), etcétera. Los flujos 509 de datos directos de usuario recibidos se modulan por los módems 507 en las señales 511 de haz directo. En algunos casos, *K* puede estar en el rango de 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512, 1024 o números intermedios o mayores. Cada una de las *K* señales de haz directo lleva los flujos de datos directos a transmitirse en uno de los *K* haces directos de usuario. En consecuencia, si *K* = 400, entonces existen 400 señales 511 de haz directo, cada una a transmitirse sobre uno de los 400 haces directos de usuario asociados hasta un área 519 de cobertura de haz directo. Las *K* señales 511 de haz directo se acoplan a un formador de haz directo.

Si los *M* AN 515 están presentes en el segmento terrestre 502, entonces la salida del generador de haces directo son *M* señales 516 directas del nodo de acceso específico, comprendiendo cada una de ellas señales de haz directo ponderadas que corresponden a algunas o a todas las *K* señales 511 de haz directo. El formador de haz directo puede generar las *M* señales 516 directas del nodo de acceso específico basado en un producto matricial de la matriz de ponderación del haz directo *K* x *M* con las *K* señales de datos directos. Una red 518 de distribución distribuye cada una de las señales directas del nodo de acceso específico hasta uno de los *M* AN 515 correspondiente. Cada AN 515 transmite una señal 521 de enlace ascendente directo que comprende una señal 516 directa del nodo de acceso específico respectiva. Cada AN 515 transmite su respectiva señal 521 de enlace ascendente directo para retransmitir a una o más (p. ej., hasta e incluye todas) áreas de cobertura de haz directo de usuario a través de uno o más (p. ej., hasta e incluye todos) de los trayectos de señales de transmisión/recepción del relé de extremo a extremo. Los transpondedores 410, 411 dentro del relé 503 de extremo a extremo reciben una señal directa de entrada compuesta que comprende una superposición 550 de señales 521 de enlace ascendente directo transmitidas por una pluralidad (p. ej., hasta e incluye todos) de AN 515. Cada transpondedor (p. ej., cada trayecto de señal de recepción/transmisión a través del relé) retransmite la señal directa de entrada compuesta como una respectiva señal de enlace descendente directo a las terminales 517 de usuario a lo largo del enlace descendente directo.

La Figura 27 es una ilustración de un ejemplo de distribución de los AN 515. Cada uno de los círculos numerados más pequeños representa la ubicación de un AN 515. Cada uno de los círculos más grandes indica un área 519 de cobertura de haz de usuario. En algunos casos, los AN 515 se separan casi uniformemente sobre el área de cobertura del relé 503 de extremo a extremo. En otros casos, los AN 515 pueden distribuirse de manera no uniforme sobre toda el área de cobertura. En otros casos, los AN 515 pueden distribuirse de manera uniforme o no uniforme sobre una o más

subregiones del área de cobertura del relé. Por lo general, el rendimiento del sistema es el mejor cuando los AN 515 se distribuyen de manera uniforme sobre toda el área de cobertura. Sin embargo, las consideraciones pueden determinar compromisos en la colocación del AN. Por ejemplo, puede colocarse un 515 basado en la cantidad de interferencia, de la lluvia, o de otras condiciones ambientales, el costo de estado real, el acceso a la red de distribución, etcétera. Por ejemplo, para un sistema de relé de extremo a extremo basado en satélite que es sensible a la lluvia, pueden colocarse más de los AN 515 en áreas que son menos probables a experimentar desvanecimiento inducido por lluvia (p. ej., el oeste de los Estados Unidos). Como otro ejemplo, los AN 515 pueden colocarse más densamente en regiones de lluvia alta (p. ej., en el sureste de los Estados Unidos) para proporcionar alguna ganancia de diversidad para contrarrestar los efectos del deterioro por la lluvia. Los AN 515 pueden ubicarse a lo largo de las rutas de fibra para reducir la distribución de costos asociados con los AN 515.

El número de AN 515, *M*, es un parámetro seleccionable que puede seleccionarse basado en diversos criterios. Pueden resultar menos AN en un segmento terrestre de menor costo y más simple, y de costos operativos más bajos para la red de distribución. Puede resultar más AN en una mayor capacidad del sistema. La Figura 28 muestra una simulación de la capacidad de enlace directo y de retorno normalizada en función de la cantidad de AN desplegados en un ejemplo de sistema. La capacidad normalizada es la capacidad con los *M* AN dividida por la capacidad obtenida con el mayor número de AN en la simulación. La capacidad aumenta mientras el número de AN aumenta, pero no aumenta sin límites. Tanto las capacidades del enlace directo y del enlace de retorno se aproximan a un límite asintótico mientras el número de AN se incrementa. Esta simulación se ejecutó con elementos de la antena de transmisión y recepción *L*= 517 y con los AN distribuidos uniformemente sobre el área de cobertura, pero este comportamiento asintótico de la capacidad puede observarse a otros valores para *L* y otras distribuciones espaciales de AN. Las curvas, como se ilustran en la Figura 28, pueden ser útiles en la selección del número de AN, *M*, a desplegar y para entender cómo la capacidad del sistema puede desfasarse mientras los AN se despliegan gradualmente, como se describió anteriormente.

La Figura 29 es un diagrama de bloques de un ejemplo de segmento terrestre 502 para un sistema de formación de haces de extremo a extremo. La Figura 29 puede ilustrar, por ejemplo, el segmento terrestre 502 de la Figura 5. El segmento terrestre 502 comprende el CPS 505, la red 518 de distribución, y los AN 515. El CPS 505 comprende la interfaz 524 de señal de haz, el formador 513 de haz directo/de retorno, la interfaz 536 de distribución, el generador 910 de ponderación del haz.

Para el enlace directo, la interfaz 524 de la señal de haz obtiene forward beam signals (señales de haz directo - FBS) 511 asociadas con cada uno de los haces directos de usuario. La interfaz 524 de la señal de haz puede incluir un multiplexor 526 de datos de haz directo y un modulador 528 de flujo de datos de haz directo. El multiplexor 526 de datos de haz directo puede recibir flujos 509 de datos directos de usuario que comprende datos directos para la transmisión a las terminales 517de usuario. Los flujos 509 de datos directos de usuario pueden comprender, por ejemplo, paquetes de datos (p. ej., los paquetes TCP, los paquetes UDP, etcétera) para la transmisión a las terminales 517 de usuario a través del sistema 500 de formación de haces de extremo a extremo de la Figura 5. El multiplexor 526 de datos de haz directo agrupa (p. ej., multiplexa) los flujos 509 de datos directos de usuario según sus respectivas áreas de cobertura de haz directo de usuario para obtener los flujos 532 de datos de haz directo. El multiplexor 526 de datos de haz directo puede usar, por ejemplo, multiplexación de dominio de tiempo, multiplexación de dominio de frecuencia, o una combinación de técnicas de multiplexación para generar flujos 532 de datos de haz directos. El modulador 528 de flujo de datos de haz directo puede modular los flujos 532 de datos directos según uno o más esquemas de modulación (p. ej., correlacionar los datos de bits con los símbolos de modulación) para crear las señales 511 de haz directo, las cuales se pasan al formador 513 de haz directo/de retorno. En algunos casos, el modulador 528 puede multiplexar por frecuencia señales moduladas múltiples para crear una señal 511 de haz de portadores múltiples. La interfaz 524 de señal de haz puede implementar, por ejemplo, la funcionalidad de módems 507 de enlace de alimentador descritos con referencia a la Figura 5.

El formador 513 de haz directo/de retorno puede incluir el formador 529 de haz directo y el formador 531 de haz de retorno. El generador 910 de ponderación de haz genera una matriz 918 de ponderación de haz directo *M* x *K*. Las técnicas para la generación de la matriz 918 de ponderación de haz directo *M* x *K* se describen con más detalle, más adelante. El formador 529 de haz directo puede incluir un multiplicador de matriz que calcula las *M* señales 516 directas específicas del nodo de acceso. Por ejemplo, este cálculo puede basarse en un producto matricial de la matriz 918 de ponderación de haz directo *M* x *K* y un vector de las *K* señales 511 de haz directo. En algunos ejemplos, cada una de las *K* señales 511 de haz directo, puede asociarse con una de las *F* subbandas de frecuencia directa. En este caso, el formador 529 de haz directo puede generar muestras de las *M* señales 516 directas de nodo de acceso específico, para cada una de las subbandas *F* de frecuencia directa (p. ej., la implementación efectiva de la operación del producto matricial para cada una de las *F* subbandas para los subconjuntos respectivos de las *K* señales 511 de haz directo. La interfaz 536 de distribución distribuye (p. ej., a través de la red 518 de distribución) las *M* señales 516 directas del nodo de acceso específico hacia los respectivos AN 515.

Para el enlace de retorno, la interfaz 536 de distribución obtiene las señales 907 de retorno compuestas desde los AN 515 (p. ej., a través de la red 518 de distribución). Cada señal de datos de retorno de las terminales 517 de usuario puede incluirse en múltiples señales 907 de retorno compuestas (p. ej., una y todas). El generador 910 de ponderación de haz genera una matriz 937 de ponderación de haz de retorno *K* x *M*. Las técnicas para generar la

matriz 937 de ponderación de haz de retorno *K* x *M* se describen con mayor detalle más adelante. El formador 531 de haz retorno calcula las *K* señales 915 de haz de retorno para las *K* áreas de cobertura de haz de usuario de retorno. Por ejemplo, este cálculo puede basarse en un producto matricial de una matriz 937 de ponderación de haz de retorno y un vector de las respectivas señales 907 de retorno compuestas. La interfaz 524 de la señal de haz puede incluir un demodulador 552 de señal de haz de retorno y un desmultiplexor 554 de datos de haz de retorno. El demodulador 552 de señal de haz de retorno puede demodular cada una de las señales de haz de retorno para obtener los *K* flujos 534 de datos de haz de retorno, asociados con las *K* áreas de cobertura de haz de usuario de retorno. El desmultiplexor 554 de datos de haz de retorno puede desmultiplexar cada uno de los *K* flujos 534 de datos de haz de retorno en los respectivos flujos 535 de datos de usuario de retorno asociados con las señales de datos de retorno, transmitidas desde las terminales 517 de usuario. En algunos ejemplos, cada uno de los haces de usuario de retorno puede asociarse con una de las R subbandas de frecuencia de retorno. En este caso, el formador 531 de haz de retorno puede generar los respectivos subconjuntos de las señales 915 de haz de retorno, asociados con cada una de las R subbandas de frecuencia de retorno (p. ej., la implementación efectiva de la operación del producto matricial para cada una de las *R* subbandas de frecuencia de retorno para generar los respectivos subconjuntos de las señales 915 de haz de retorno).

La Figura 30 es un diagrama de bloques de un ejemplo de formador 513 de haz directo/ de retorno. El formador 513 de haz directo/de retorno comprende un formador 529 de haz directo, un módulo 945 de sincronización directo, un formador 531 de haz de retorno, y un módulo 947 de sincronización. El módulo 945 de sincronización directo asocia cada una de las *M* señales 516 directas de nodo de acceso específico con una marca de tiempo (p. ej., multiplexa la marca de tiempo con la señal directa de nodo de acceso específico, en una señal directa de nodo de acceso específico multiplexada) que indica cuando se desea que la señal llegue al relé de extremo a extremo. De esta manera, los datos de las *K* señales 511 de haz directo, que se dividen en un módulo 904 de división dentro del formador 529 de haz directo, pueden transmitirse en el momento adecuado por cada uno de los AN 515. El módulo 947 de sincronización alinea las señales recibidas en base a las marcas de tiempo. Las muestras de las *M* composite return signals (señales de retorno compuestas - CRS) 907 de los AN, se asocian con las marcas de tiempo que indican cuando se transmiten las muestras particulares desde el relé de extremo a extremo. Las consideraciones y generación de sincronización de las marcas de tiempo se describen en mayor detalle más adelante.

El formador 529 de haz directo tiene una entrada 925 de datos, una entrada 920 de ponderaciones de haz y una salida 923 de nodo de acceso. El formador 529 de haz directo aplica los valores de una matriz de ponderación de haz *M* x *K* a cada una de las *K* señales 511 de datos directas para generar las *M* señales 521 directas de nodo de acceso específico, cada una de las cuales tiene *K* señales de haz directo ponderadas. El formador 529 de haz directo puede incluir un módulo 904 de división y *M* módulos 533 de ponderación y suma directos. El módulo 904 de división divide (p. ej., duplica) cada una de las *K* señales 511 de haz directo en *M* grupos 906 de señales de haz directo *K*, un grupo 906 para cada uno de los *M* módulos 533 de ponderación y suma directos. En consecuencia, cada módulo 533 de ponderación y suma directo recibe todas las *K* señales 511 de datos directas.

El generador 917 de ponderación de haz directo genera una matriz 918 de ponderación de haz directo *M* x *K*. En algunos casos, la matriz 918 de ponderación de haz directo, se genera basada en una matriz de canal en la que los elementos se estiman de las ganancias directa de extremo a extremo para cada uno de los *K* x *M* canales multitrayectos directos de extremo a extremo, para formar una matriz de canal directa, como se describe más adelante. Las estimaciones de ganancia de extremo a extremo se realizan en un módulo estimador de canal 919. En algunos casos, el estimador de canal tiene un almacenamiento 921 de datos de canal, que almacena los datos relativos a diversos parámetros de los canales multitrayectos de extremo a extremo, como se describe con más detalle, más adelante. El estimador 919 de canal produce una señal estimada de ganancia de extremo a extremo, para permitir que el generador 917 de ponderación de haz directo genere la matriz 918 de ponderación de haz directo. Cada uno de los módulos 533 de ponderación y suma se acoplan para recibir a los vectores respectivos de las ponderaciones de la formación de haces de la matriz 918 de ponderación de haz directo (solo una conexión de este tipo se muestra en la Figura 30 para simplificar). El primer módulo 533 de ponderación y suma aplica una ponderación igual al valor de elemento 1,1 de la matriz 918 de ponderación de haz directo *M* x *K* a la primera de las *K* señales 511 de haz directo (descrita con más detalles más adelante). Una ponderación igual al valor del elemento 1,2 de la matriz 918 de ponderación del haz directo *M* x *K* se aplica a la segunda de las *K* señales 511 de haz directo. Las otras ponderaciones de la matriz se aplican de manera similar, a través de la $K^{ésima}$ señal 511 de haz directo, que se pondera con el valor igual al elemento 1,*K* de la matriz 918 de ponderación de haz directo *M* x *K*. Cada una de las *K* señales 903 de haz directo ponderadas se suman entonces y se producen a partir del primer módulo 533 de ponderación y suma como una señal 516 directa de nodo de acceso específico. La señal 516 directa de nodo de acceso específico producida por el primer módulo 533 de ponderación y suma se acopla entonces al módulo 945 de sincronización. El módulo 945 de sincronización produce la señal 516 directa de nodo de acceso específico al primer AN 515 a través de una red 518 de distribución (ver la Figura 5). De manera similar, cada uno de los otros módulos 533 de ponderación y suma reciben las *K* señales 511 de haz directo, y ponderan y suman las *K* señales 511 de haz directo. Las salidas de cada uno de los *M* módulos 533 de ponderación y suma se acoplan a través de la red 518 de distribución a los *M* AN 515 asociados, de forma que la salida del $m^{ésimo}$ módulo de ponderación y suma se acopla con el $m^{ésimo}$ AN 515. En algunos casos, la vibración y el retardo no uniforme a través de la red de distribución, así como algunas otras consideraciones de sincronización, se manejan por parte del módulo 945 de sincronización mediante la

asociación de una marca de tiempo con el dato. Los detalles de un ejemplo de técnica de sincronización se proporcionan más adelante con respecto a las figuras 36 y 37.

Como consecuencia de las ponderaciones de haz aplicadas por los formadores 529 de haz en el segmento terrestre 502, las señales que se transmiten desde los AN 515 a través del relé 503 de extremo a extremo, forman los haces de usuario. El tamaño y la ubicación de los haces que son capaces de formarse, pueden ser una función de la cantidad de AN 515 que se despliegan, el número y los patrones de antenas de los elementos de antena de relé a través de los cuales pasa la señal, la ubicación de los relés 503 de extremo a extremo y/o la separación geográfica de los AN 515.

Con referencia ahora al enlace 523 de retorno de extremo a extremo que se muestra en la Figura 5, una terminal 517 de usuario dentro de una de las áreas 519 de cobertura del haz de usuario, transmite las señales hasta el relé 503 de extremo a extremo. Las señales se retransmiten entonces hacia abajo, a los segmentos terrestres 502. Las señales se reciben por los AN 515.

Con referencia nuevamente a la Figura 30, las *M* señales 527 de enlace descendente de retorno se reciben por los *M* AN 515 y se acoplan como señales 907 de retorno compuestas, desde los *M* AN 515 a través de la red 518 de distribución y se reciben en una entrada 931 de nodo de acceso del formador 531 de haz de retorno. El módulo 947 de sincronización alinea las señales de retorno compuestas de los *M* AN 515 con cada una y produce las señales alineadas en el tiempo hacia el formador 531 de haz de retorno. Un generador 935 de ponderación de haz de retorno genera las ponderaciones de haz de retorno como una matriz 937 de ponderación de haz de retorno *K* x *M*, basado en la información almacenada en el almacenamiento 941 de datos del canal, dentro de un estimador 943 de canal. El formador 531 de haz de retorno tiene una entrada 939 de ponderaciones de haz a través de la cual el formador 531 de haz de retorno recibe la matriz 937 de ponderación de haz de retorno. Cada una de las *M* señales 907 de retorno compuestas del AN, se acopla con uno de los *M* módulos 539 divisores y de ponderación dentro del formador 531 de haz de retorno. Cada módulo 539 divisor y de ponderación, divide la señal alineada en el tiempo en *K* copias 909. Los módulos 539 divisores y de ponderación, ponderan cada una de las *K* copias 909 mediante el uso del elemento *k, m* de la matriz 937 de ponderación de haz de retorno *K* x *M*. Otros detalles adicionales relacionados con la matriz de ponderación de haz de retorno *K x M*, se proporcionan más adelante. Cada conjunto de las *K* señales 911 de retorno compuestas ponderadas se acopla entonces con un módulo 913 de combinación. En algunos casos, el módulo 913 de combinación combina la $k^{ésima}$ señal 911 de retorno compuesta ponderada, producida por cada módulo 539 divisor y de ponderación. El formador 531 de haz de retorno tiene una salida 933 de señal de datos de retorno que produce las *K* señales 915 de haz de retorno, cada una de las cuales tiene las muestras asociadas con uno de los *K* haces 519 de usuario de retorno (p. ej., las muestras recibidas a través de cada uno de los *M* AN). Cada una de las *K* señales 915 de haz de retorno puede tener muestras de una o más terminales 517 de usuario. Las *K* señales 915 de haz de retorno formadas, alineadas y combinadas, se acoplan con los módems 507 de enlace de alimentador (ver la Figura 5). Nótese que el ajuste de sincronización de retorno puede realizarse después de la ponderación y división. De manera similar, para el enlace directo, el ajuste de sincronización directo puede realizarse antes de la formación de haces.

Como se describió anteriormente, el formador 529 de haz directo puede realizar las operaciones del producto matricial en las muestras de entrada de las *K* señales 511 de haz directo para calcular las *M* señales 516 directas de nodo de acceso específico en tiempo real. A media que el ancho de banda del haz se incrementa (p. ej., para admitir una duración de símbolo más corta) y/o *K* y *M* se tornan grandes, la operación del producto matricial se torna computacionalmente intensa y puede exceder las capacidades de un nodo de cómputo simple (p. ej., un único servidor de cómputo, etc.). Las operaciones del formador 531 de haz de retorno son de manera similar, computacionalmente intensas. Se pueden usar varios métodos para la partición de los recursos de cómputo de múltiples nodos de cómputo en el formador 513 de haz directo/ de retorno. En un ejemplo, el formador 529 de haz directo de la Figura 30 puede particionarse en módulos 533 de suma y ponderación separados para cada uno de los *M* AN 515, los que pueden distribuirse en diferentes nodos de cómputo. Generalmente, las consideraciones para las implementaciones incluyen el costo, consumo de energía, capacidad de escalado con respecto a *K*, *M* y el ancho de banda, la disponibilidad del sistema (*p. ej.*, debido a un error en un nodo, *etc.*), la posibilidad de actualización, y la latencia del sistema. El ejemplo anterior es por filas (o columnas). El caso contrario es posible. Otras maneras de agrupar las operaciones matriciales pueden considerarse (p. ej., dividir en cuatro con [1.1 a *K*/2,*M*/2], [...], calculadas individualmente y sumadas).

En algunos casos, el formador 513 de haz directo/ de retorno puede incluir una arquitectura de multiplexado de dominio del tiempo para procesar las operaciones de ponderación de haz mediante los formadores de haz de intervalo de tiempo. La Figura 31 es un diagrama de bloques de un ejemplo de formador 529 de haz directo que comprende múltiples formadores de haz de intervalo de tiempo directos con multiplexado y desmultiplexado en el dominio del tiempo. El formador 529 de haz directo incluye un desmultiplexor 3002 de señal de haz directo, *N* formadores 3006 de haz de intervalo de tiempo directos, y un multiplexor 3010 de señal de nodo de acceso directo.

El desmultiplexor 3002 de señal de haz directo recibe las señales 511 de haz directo y desmultiplexa las *K* señales 511 de haz directo en las entradas 3004 de intervalo de tiempo directas para la entrada a los formadores 3006 de haz de intervalo de tiempo directos. Por ejemplo, el desmultiplexor 3002 de señal de haz directo envía un primer subconjunto de muestras de dominio temporal para las *K* señales 511 de haz directo hacia un primer formador 3006

de haz de intervalo de tiempo directo, el cual genera las muestras asociadas con las *M* señales directas de nodo de acceso específico que corresponden con el primer subconjunto de muestras de dominio temporal. El formador 3006 de haz de intervalo de tiempo directo produce muestras asociadas con las *M* señales directas de nodo de acceso específico para el primer subconjunto de muestras de dominio temporal, mediante su salida 3008 de intervalo de tiempo directa hacia el multiplexor 3010 de señal de nodo de acceso directo. El formador 3006 de haz de intervalo de tiempo directo puede producir las muestras asociadas con cada una de las *M* señales directas de nodo de acceso específico con la información de tiempo de sincronización (p. ej., el índice de intervalo de tiempo correspondiente, etc.) que se usa por los nodos de acceso para provocar (p. ej., mediante la corrección previa) las respectivas señales directas de nodos de acceso específicos para sincronizarse cuando se reciban por el relé de extremo a extremo. El multiplexor 3010 de la señal de nodo de acceso directo multiplexa los subconjuntos de las muestras de dominio temporal de las *M* señales directas de nodo de acceso específico recibidas mediante las *N* salidas 3008 de intervalo de tiempo directas para generar las *M* señales 516 directas de nodo de acceso específico. Cada uno de los formadores 3006 de haz de intervalo de tiempo directos, puede incluir un almacenamiento de datos, un almacenamiento de matriz de haz y un procesador de ponderación de haz que implementa la operación del producto matricial. Esto significa que, uno de los formadores 3006 de haz de intervalo de tiempo directo puede implementar el cómputo matemático equivalente al módulo 904 de división y a los módulos 533 de ponderación y suma que se muestran para el formador 529 de haz directo de la Figura 30, durante el procesamiento de las muestras del índice de intervalo de tiempo. La actualización de la matriz de ponderación de haz puede realizarse gradualmente. Por ejemplo, los almacenamientos de la matriz de ponderación de haz para los formadores de haz de intervalo de tiempo directo pueden actualizarse durante el tiempo en espera en una rotación de los índices *t* de intervalo de tiempo a través de los N formadores 3006 de haz de intervalo de tiempo directos. De manera alternativa , cada formador de haz de intervalo de tiempo directo puede tener dos almacenamientos que pueden usarse en una configuración de ping pong (p. ej., uno puede actualizarse mientras el otro se usa). En algunos casos, los almacenamientos múltiples pueden usarse para almacenar las ponderaciones de haz correspondientes a los múltiples patrones de haz de usuario (p. ej., las áreas múltiples de cobertura de usuario). Los almacenamientos de ponderación de haz y los almacenamientos de datos para los formadores 3006 de haz de intervalo de tiempo directos, pueden implementarse como cualquier tipo de memoria o almacenamiento que incluya random access memory (memoria de acceso aleatorio - RAM) estática o dinámica. El procesamiento de ponderación de haz puede implementarse en un application specific integrated circuit (circuito integrado específico de aplicación - ASIC) y/o en un field programmable gate array (arreglo de puertas programables de campo - FPGA), y pueden incluir uno o más núcleos de procesamiento (p. ej., en un entorno de cómputo de nube). De manera adicional o alternativa, el almacenamiento de ponderación de haz, el almacenamiento de datos y el procesador de ponderación de haz, pueden integrarse dentro de un componente.

La Figura 32 ilustra un ejemplo de un segmento terrestre de simplificado que muestra la operación de un formador 529 de haz de intervalo de tiempo directo. En el ejemplo de la Figura 32, el formador 529 de haz recibe cuatro señales de haz directo (p. ej., *K*= 4), genera las señales directas de nodo de acceso específico para los cinco AN (p. ej., M=5) y tiene tres formadores de haz de intervalo de tiempo directos (p. ej., N=3). Las señales de haz directo se denotan por FBk:t, en donde *k* es el índice de la señal de haz directo y t es el índice de intervalo de tiempo (p. ej., que corresponde con un subconjunto de muestras de dominio temporal). El desmultiplexor 3002 de la señal del haz directo recibe cuatro subconjuntos de las muestras de dominio temporal de las señales de haz directo asociadas con cuatro haces directos de usuario y desmultiplexa cada señal de haz directo, de forma que una entrada 3004 de intervalo de tiempo directa incluya, para un índice t de intervalo de tiempo en particular, los subconjuntos de las muestras de dominio temporal de cada una de las señales 511 del haz directo. Por ejemplo, los subconjuntos de dominio del tiempo pueden ser una muestra única, un bloque continuo de muestras o un bloque discontinuo de muestras (p. ej., intercaladas) como se describe más adelante. Los formadores 3006 de haz de intervalo de tiempo directos generan (p. ej., basados en las señales 511 de haz directo y en la matriz 918 de ponderación de haz directo) cada una de las *M* señales directas de nodo de acceso específico para el índice t de intervalo de tiempo, denotado por AFm:t. Por ejemplo, los subconjuntos de dominio del tiempo FB1:0, FB2:0, FB3:0, y FB4:0 para el índice de intervalo de tiempo *t*=0 son entradas al primer formador de haz de intervalo de tiempo directo TSBF[1] 3006, lo cual genera las muestras correspondientes de las señales directas de nodo de acceso específico AF1:0, AF2:0, AF3:0, AF4:0, y AF5:0 en una salida 3008 de intervalo de tiempo directa. Para los subsecuentes valores de índice de intervalo de tiempo t=1, 2, los subconjuntos de las muestras de dominio temporal de las señales 511 de haz directo, se desmultiplexan por el desmultiplexor 3002 de señal de haz directo para la entrada al segundo y al tercer formadores 3006 de haz directo de intervalo de tiempo, lo que genera las señales directas de nodo de acceso específico asociadas con los correspondientes índices t de intervalo de tiempo en las salidas 3008 de intervalo de tiempo directas. La Figura 32 muestra, además, que en el valor del índice de intervalo de tiempo t=3, el primer formador de haz de intervalo de tiempo directo genera las señales directas de nodo de acceso específico asociadas con el índice 3 correspondiente de intervalo de tiempo. La operación del producto matricial realizada por cada uno de los formadores 3006 de haz de intervalo de tiempo directos para un valor de índice de intervalo de tiempo t, puede demorar más que el tiempo real de un subconjunto de muestras de dominio temporal (p. ej., la cantidad de muestras S multiplicada por la frecuencia de muestreo $t_s$). Sin embargo, cada formador 3006 de haz de intervalo de tiempo directo puede procesar solo un subconjunto de muestras de dominio temporal cada N índices t de intervalo de tiempo. El multiplexor 3010 de señal de nodo de acceso directo recibe las salidas 3030 de intervalo de tiempo directas desde cada formador 3006 de haz de intervalo de tiempo directo y multiplexa los subconjuntos de las muestras de dominio temporal para generar las *M* señales 516 directas de nodos de acceso específico para la distribución a los respectivos AN.

La Figura 33 es un diagrama de bloques de un ejemplo de formador 531 de haz de retorno que comprende múltiples formadores de haz de intervalo de tiempo de retorno con multiplexado y desmultiplexado en el dominio del tiempo. El formador 531 de haz de retorno incluye un desmultiplexor 3012 de señal compuesta de retorno, *N* formadores 3016 de haz de intervalo de tiempo de retorno, y un multiplexor 3020 de señal de haz de retorno. El desmultiplexor 3012 de señal compuesta de retorno recibe las *M* señales 907 de retorno compuestas (p. ej., desde los *M* AN) y desmultiplexa las *M* señales 907 de retorno compuestas en las entradas 3014 de intervalo de tiempo de retorno para la entrada a los *N* formadores 3016 de haz de intervalo de tiempo de retorno. Cada uno de los formadores 3016 de haz de intervalo de tiempo de retorno produce las *K* señales 915 de haz de retorno para los correspondientes subconjuntos de las muestras de dominio temporal, mediante las respectivas 3018 de intervalo de tiempo de retorno a los multiplexores 3020 de señal de haz de retorno. El multiplexor 3020 de señal de haz de retorno multiplexa los subconjuntos de las muestras de dominio temporal para las *K* señales de haz de retorno recibidas mediante las *N* salidas 3018 de intervalo de tiempo de retorno para generar las *K* señales 915 de haz de retorno. Cada uno de los formadores 3016 de haz de intervalo de tiempo de retorno, puede incluir un almacenamiento de datos, un almacenamiento de matriz de haz y un procesador de ponderación de haz que implementan la operación del producto matricial. Esto significa que, cada uno de los formadores 3016 de haz de intervalo de tiempo de retorno pueden implementar el cómputo matemático equivalente a los módulos 539 de división y ponderación y al módulo 913 de combinación que se muestran para los formadores 531 de haz de retorno de la Figura 30, durante el procesamiento de las muestras de un índice de intervalo de tiempo. Como se describió anteriormente con los formadores de haz de intervalo de tiempo directos, la actualización de la matriz de ponderación del haz puede realizarse de forma incremental mediante la utilización de una configuración de almacenamiento de ponderación de haz de ping pong (p. ej., uno puede actualizarse mientras el otro se utiliza). En algunos casos, los almacenamientos múltiples pueden usarse para almacenar las ponderaciones de haz correspondientes a los múltiples patrones de haz de usuario (p. ej., las áreas múltiples de cobertura de usuario). Los almacenamientos de ponderación de haz y los almacenamientos de datos para los formadores 3016 de haz de intervalo de tiempo de retorno pueden implementarse como cualquier tipo de memoria o almacenamiento que incluya random memory access (memoria de acceso aleatorio - RAM) estática o dinámica. El procesamiento de ponderación de haz puede implementarse en un application specific integrated circuit (circuito integrado específico de aplicación - ASIC) y/o en un field programmable gate array (arreglo de puertas programables de campo - FPGA), y pueden incluir uno o más núcleos de procesamiento. De manera adicional o alternativa, el almacenamiento de ponderación de haz, el almacenamiento de datos y el procesador de ponderación de haz, pueden integrarse dentro de un componente.

La Figura 34 ilustra un ejemplo de un segmento terrestre simplificado que muestra la operación de un formador 531 de haz de retorno que emplea la multiplexación de dominio del tiempo. En el ejemplo de la Figura 33, el formador 531 de haz de retorno recibe cinco señales de retorno compuestas (p. ej., *M*=5), genera las señales de haz de retorno para los cuatro haces de usuario de retorno (p. ej., *K*=5) y tiene tres formadores de haz de intervalo de tiempo (p. ej., *N*=3). Las señales de retorno compuestas se denotan por RCm:t, en donde *m* es el índice de AN y *t* es el índice de intervalo de tiempo (p. ej., que corresponde con un subconjunto de muestras de dominio temporal). El desmultiplexor 3012 de señal compuesta de retorno recibe cuatro subconjuntos de las muestras de dominio temporal de las señales de retorno compuestas desde los cinco AN y desmultiplexa cada una de las señales de retorno compuestas, de forma que una entrada 3014 de intervalo de tiempo de retorno incluya, para un índice t de intervalo de tiempo en particular, los correspondientes subconjuntos de las muestras de dominio temporal de cada una de las señales 907 de retorno compuestas. Por ejemplo, los subconjuntos de dominio del tiempo pueden ser una muestra única, un bloque continuo de muestras o un bloque discontinuo de muestras (p. ej., intercaladas) como se describe más adelante. Los formadores 3016 de haz de intervalo de tiempo de retorno generan (p. ej., basados en las señales 907 de retorno compuestas y en la matriz 937 de ponderación de haz de retorno) cada una de las *K* señales de haz de retorno para el índice *t* de intervalo de tiempo, denotado por RBk:t. Por ejemplo, los subconjuntos de las muestras de dominio temporal RC1:0, RC2:0, RC3:0, RC4:0 y RC5:0 para el índice de intervalo de tiempo t=0, son las entradas de un primer formador 3016 de haz de intervalo de tiempo de retorno, el cual genera las muestras correspondientes de las señales de haz de retorno RB1:0, RB2:0, RB3:0 y RB4:0 en una salida 3018 de intervalo de tiempo de retorno. Para los subsecuentes valores de índice de intervalo de tiempo t=1, 2, los subconjuntos de las muestras de dominio temporal de las señales 907 de retorno compuestas se desmultiplexan por el desmultiplexor 3012 de señal compuesta de retorno para la entrada a un segundo y a un tercer formador 3016 de haz de intervalo de tiempo de retorno, respectivamente, lo que genera las muestras para las señales de haz de retorno asociadas con los correspondientes índices t de intervalo de tiempo en las salidas 3018 de intervalo de tiempo de retorno. La Figura 34 muestra, además, que en un valor de índice de intervalo de tiempo t=3, el primer formador de haz de intervalo de tiempo de retorno genera las muestras de las señales de haz de retorno asociadas con el correspondiente índice 3 de intervalo de tiempo. La operación del producto matricial realizada por cada formador 3016 de haz de intervalo de tiempo de retorno para un valor t de índice de intervalo de tiempo, puede tomar más tiempo que el tiempo real del subconjunto de muestras de dominio temporal (p. ej., la cantidad de muestras S multiplicada por la frecuencia de muestreo $t_S$). Sin embargo, cada formador 3016 de haz de intervalo de tiempo de retorno puede procesar solo un subconjunto de muestras de dominio temporal cada N índices t de intervalo de tiempo. El multiplexor 3020 de señal de haz de retorno recibe las salidas 3018 de intervalo de tiempo de retorno desde cada uno de los formadores 3016 de haz de intervalo de tiempo de retorno y multiplexa los subconjuntos de domino del tiempo de las muestras para generar las *K* señales 915 de haz de retorno.

Aunque las figuras 31-34 ilustran la misma cantidad *N* de formadores 3006 de haz de intervalo de tiempo directos que los formadores 3016 de haz de intervalo de tiempo de retorno, algunas implementaciones pueden tener mayor o menor formadores 3006 de haz de intervalo de tiempo directos que formadores 3016 de haz de intervalo de tiempo de retorno. En algunos ejemplos, el formador 529 de haz directo y/o el formador 531 de haz de retorno pueden tener capacidad de reserva para robustez a los errores del nodo. Por ejemplo, si cada formador 3006 de haz de intervalo de tiempo directo toma $t_{FTS}$ para procesar un conjunto de muestras para un índice t de intervalo de tiempo que tiene una duración $t_D$ de intervalo de tiempo en tiempo real, en donde $t_{FTS}=N \cdot t_D$, el formador 529 de haz directo puede tener *N*+*E* formadores 3006 de haz de intervalo de tiempo directos. En algunos ejemplos, cada uno de los N+E formadores 3006 de haz de intervalo de tiempo directos se usan durante el funcionamiento, con cada formador 3006 de haz de intervalo de tiempo directo que tiene una capacidad efectiva extra de E/N. Si un formador 3006 de haz de intervalo de tiempo directo falla, las operaciones pueden trasladarse a otro formador 3006 de haz de intervalo de tiempo directo (p. ej., mediante el ajuste de cómo se direccionan las muestras del domino del tiempo (o grupos de muestras) a través de la multiplexación y desmultiplexación del dominio del tiempo). De este modo, el formador 529 de haz directo puede tolerar hasta E formadores 3006 de haz de intervalo de tiempo directos que fallen antes de que se impacte el funcionamiento del sistema. Adicionalmente, la capacidad extra permite el mantenimiento y la actualización del sistema de los formadores de haz de intervalo de tiempo mientras el sistema se encuentra en funcionamiento. Por ejemplo, la actualización de los formadores de haz de intervalo de tiempo puede realizarse de manera incremental debido a que el sistema es tolerante a un rendimiento diferente entre los formadores de haz de intervalo de tiempo. Pueden intercalarse las muestras de datos asociadas con un índice t de intervalo de tiempo. Por ejemplo, un primer índice $t_0$ de intervalo de tiempo puede asociarse con las muestras 0, P, 2P,... (S-1)*P, mientras que un segundo índice $t_1$ de intervalo de tiempo puede asociarse con las muestras 1, P+1, 2P+1... (S-1)*P+1, etc., en donde S es la cantidad de muestras en cada conjunto de muestras, y P es la duración del intercalado. El intercalado puede, además, hacer al sistema más robusto a los errores del formador de haz de intervalo de tiempo, debido a que cada bloque de formador de haz de intervalo de tiempo de las muestras se separa en el tiempo ya que los errores debido a bloques perdidos se distribuyen en el tiempo, de manera similar a la ventaja del intercalado en la corrección del error directo. De hecho, los errores distribuidos provocados por el fallo del formador de haz de intervalo de tiempo pueden provocar efectos similares al ruido y no resultar en algún error de dato de usuario, especialmente si se emplea la codificación de error directo. Aunque se han ilustrado ejemplos en donde N=3, otros valores de N pueden usarse y no es necesario que N tenga alguna relación en particular con *K* o con *M*.

Como se describió anteriormente, el formador 529 de haz directo y el formador 531 de haz de retorno que se ilustran en las figuras 31 y 33, respectivamente, pueden realizar una multiplexación y una desmultiplexación en el dominio del tiempo para la formación de haces de intervalo de tiempo para una subbanda de canal o frecuencia. Las múltiples subbandas pueden procesarse de manera independiente mediante la utilización de una capa adicional de conmutación mux/demux de subbanda. La Figura 35 es un diagrama de bloques de un ejemplo de un formador 513 de haz directo/de retorno multibanda, que emplea la multiplexación y la desmultiplexación de subbanda. El formador 513 de haz directo/ de retorno multibanda puede admitir subbandas directas *F* y subbandas de retorno *R*.

El formador 513 de haz directo/de retorno multibanda incluye formadores 3026 de haz de subbanda directos *F*, formadores 3036 de haz de subbanda de retorno *R* y un multiplexor/desmultiplexor 3030 de subbanda. Por ejemplo, las señales 511 de haz directo pueden dividirse en subbandas directas *F*. Cada una de las subbandas directas *F* pueden asociarse con un subconjunto de áreas de cobertura de haz directo de usuario *K*. Esto significa que, las áreas de cobertura de haz directo de usuario *K* pueden incluir múltiples subconjuntos de áreas de cobertura de haz directo de usuario asociadas con diferentes (p. ej., diferente frecuencia y/o polarización, etc.) subbandas de frecuencia, en donde las áreas de cobertura de haz directo de usuario dentro de cada subconjunto pueden no superponerse (p. ej., en los contornos de señal de 3 dB, etc.). Por lo tanto, cada una de las entradas 3024 del formador de haz de subbanda directo puede incluir un subconjunto $K_1$ de señales 511 de haz directo. Cada uno de los formadores 3026 de haz directo *F* pueden incluir la funcionalidad del formador 529 de haz directo, generar las salidas 3028 del formador de haz de subbanda directo que comprende las señales directas de nodo de acceso específico *M* asociadas con el subconjunto de las señales 511 de haz directo (p. ej., un producto matricial de las $K_1$ señales de haz directo con una matriz de ponderación de haz directo *M* x $K_1$). Por lo tanto, cada uno de los AN 515 puede recibir múltiples señales directas de nodo de acceso específico asociadas con diferentes subbandas de frecuencia (p. ej., por cada una de las subbandas directas *F*). Los AN pueden combinar (p. ej., sumar) las señales en las diferentes subbandas en las señales del enlace ascendente directo, como se describe con más detalle más adelante. De manera similar, los AN 515 pueden generar múltiples señales 907 de retorno compuestas para las R diferentes subbandas de retorno. Cada una de las subbandas de retorno *R* puede asociarse con un subconjunto de las áreas de cobertura de haz de usuario de retorno *K*. Esto significa que, las áreas de cobertura de haz de usuario de retorno pueden incluir múltiples subconjuntos de áreas de cobertura de haz de usuario de retorno asociadas con diferentes subbandas de frecuencia, en donde las áreas de cobertura de haz de usuario de retorno dentro de cada uno de los subconjuntos pueden no superponerse (p. ej., en contornos de señal de 3 dB, etc.). El multiplexor/ desmultiplexor 3030 de subbanda puede dividir las señales 907 de retorno compuestas en las R entradas 3034 de formadores de haz de retorno de subbandas. Cada uno de los formadores 3036 de haz de subbandas de retorno, pueden generar una salida 3038 de formador de haz de subbanda de retorno, que puede incluir las señales 915 de haz de retorno para un subconjunto de los haces de usuario de retorno (p. ej., los módems 507 de enlace de alimentador o el demodulador de señal de haz de retorno, etc.). En algunos ejemplos, el formador 513 de haz directo/de retorno multibanda puede admitir polarizaciones múltiples (p. ej., right-hand

circular polarization [polarización circular de la mano derecha – RHCP], left-hand circular polarization [polarización circular de la mano izquierda – LHCP], etc.), que en algunos casos puede doblar de manera efectiva la cantidad de subbandas.

En algunos casos, la multiplexación y desmultiplexación de intervalo de tiempo para el formador 529 de haz directo y para el formador 531 de haz de retorno (p. ej., desmultiplexor 3002 de señal de haz, multiplexor 3010 de señal de nodo de acceso directo, desmultiplexor 3012 de señal compuesta de retorno, multiplexor 3020 de señal de haz de retorno) y la multiplexación/desmultiplexación de subbanda (multiplexor/desmultiplexor 3030 de subbanda) puede realizarse mediante la conmutación de paquetes (p. ej., conmutación de Ethernet, etc.). En algunos casos, la conmutación de subbanda y de intervalo de tiempo pueden realizarse en los mismos nodos de conmutación o en un orden diferente. Por ejemplo, una arquitectura de conmutación de tejido puede usarse en donde cada nodo de tejido de conmutador puede acoplarse con un subconjunto de AN 515, los formadores 3006 de haz de intervalo de tiempo directos, los formadores 3016 de haz de intervalo de tiempo de retorno o los módems 507 de enlace de alimentador. Una arquitectura de conmutación de tejido puede permitir, por ejemplo, que cualquier AN se conecte (p. ej., mediante conmutadores y/o interconexiones de tejido de conmutación) con cualquier formador de haz de intervalo de tiempo directo o formador de haz de intervalo de tiempo de retorno en una arquitectura plana jerárquicamente, de baja latencia. En un ejemplo, puede implementarse un sistema que admita $K \leq 600$, $M \leq 600$ y un ancho de banda de 500 MHz (p. ej., por subbanda) con catorce subbandas para los enlaces directo y de retorno, mediante una plataforma de conmutador de interconexión comercialmente disponible con puertos 2048 10GigE.

**Nivelación de retardo**

En algunos casos, las diferencias en los retardos de propagación en cada uno de los trayectos entre el relé 503 de extremo a extremo y el CPS 505 son insignificantes. Por ejemplo, sobre el enlace de retorno, cuando se recibe la misma señal (p. ej., los datos hacia o desde un usuario determinado) por los múltiples AN 515, cada instancia de la señal puede llegar al CPS esencialmente alineada con cada una de las otras instancias de la señal. Del mismo modo, cuando la misma señal se transmite a una terminal 517 de usuario a través de varios AN 515, cada instancia de la señal puede llegar a la terminal 517 del usuario esencialmente alineado con cada una de las otras instancias de la señal. En otras palabras, las señales pueden alinearse en tiempo y fase con la precisión suficiente para que las señales se combinen coherentemente, de forma que los efectos de la formación de haces y los retardos de trayectos sean pequeños en relación con la tasa de símbolo. Como ejemplo ilustrativo, si la diferencia en las demoras de los trayectos es de 10 microsegundos, el ancho de banda de la formación de haces puede estar sobre el orden de las decenas de kHz y puede usarse una señal de ancho de banda estrecho, tal como, por ejemplo, ≈10 ksps con una pequeña posibilidad de degradación en el funcionamiento. La frecuencia de señalización de 10 ksps tiene una duración de símbolo de 100 microsegundos, y un retardo de propagación de 10 microsegundos solo es la décima parte de la duración del símbolo. En estos casos, para los fines del análisis del sistema, puede suponerse que señales recibidas por el relé de extremo a extremo en un instante, se retrasmitirán y se trasmitirán en el mismo tiempo esencialmente, como se describió anteriormente.

En otros casos, puede haber una diferencia significativa en el retardo de propagación con respecto al intervalo de señalización (duración del símbolo transmitido) de las señales transmitidas desde los elementos 409 de antena de transmisión a los AN 515. La trayectoria que las señales toman desde cada uno de los AN 515 a través de la red 518 de distribución puede contener variaciones de retardo significativas. En estos casos, puede emplearse la nivelación de retardo para coincidir con los retardos del trayecto.

Para las señales de enlace de retorno de extremo a extremo, recibidas a través de la red 518 de distribución por los CPS 505, las señales pueden alinearse en el tiempo mediante la utilización de una señal de baliza de relé transmitida dese el relé de extremo a extremo, por ejemplo, una baliza PN como se describió anteriormente. Cada uno de los AN 515 puede marcar temporalmente la señal de retorno compuesta mediante la utilización de la señal de baliza como una referencia. Por lo tanto, los diferentes AN 515 pueden recibir la misma señal en momentos diferentes, pero las señales recibidas en cada AN 515 pueden tener una marca de tiempo para permitir que el CPS 505 las alinee en el tiempo. El CPS 505 puede almacenar las señales para que se realice la formación de haces mediante la combinación de las señales que tienen la misma marca de tiempo.

Regresando a las Figuras 33 y 34, la nivelación de retardo para el enlace de retorno puede realizarse por la desmultiplexación de las señales de retorno compuestas a los formadores 3016 de haz de intervalo de tiempo de retorno. Por ejemplo, cada AN puede dividir la señal de retorno compuesta en conjuntos de muestras asociadas con los índices t de intervalo de tiempo, los que pueden incluir muestras intercaladas de la señal de retorno compuesta. Los índices t de intervalo de tiempo pueden determinarse en base a la señal de baliza de relé. Los AN pueden enviar los subconjuntos de muestras multiplexadas con los índices t de intervalo de tiempo correspondientes (p. ej., como una señal de retorno compuesta multiplexada) al formador 531 de haz de retorno, que puede servir como una información temporizada de sincronización del enlace de retorno. Los subconjuntos de muestras de cada uno de los AN pueden desmultiplexarse (*p. ej.*, a través de la conmutación), y un formador 3016 de haz de intervalo de tiempo de retorno puede recibir los subconjuntos de las muestras para cada AN para un índice t de intervalo de tiempo (para una de las subbandas, en algunos casos). Mediante el desarrollo del producto matricial de la matriz de ponderación de haz de

retorno y los subconjuntos de muestras para cada una de las *M* señales de retorno compuestas asociadas con el índice t de intervalo de tiempo, el formador 3016 de haz de intervalo de tiempo de retorno puede alinear las señales retransmitidas por el relé de extremo a extremo al mismo tiempo para aplicar la matriz de ponderación de haz de retorno.

Para el enlace directo, el formador 513 de haz dentro del CPS 505 puede generar una marca de tiempo que indica cuando cada señal directa de nodo de acceso específico, transmitida por los AN 515, se desea que llegue al relé 503 de extremo a extremo. Cada AN 515 puede transmitir una señal 2530 de baliza de nodo de acceso, por ejemplo, una señal PN de lazo invertido. Cada una de dichas señales pueden enlazarse de manera invertida y transmitirse de manera invertida a los AN 515 mediante el relé 503 de extremo a extremo. Los AN 515 pueden recibir tanto la señal de baliza de relé como las señales de baliza de nodo de acceso retransmitidas (enlazadas de manera invertida), desde cualquiera o de todos los AN. La sincronización recibida de la señal de baliza de nodo de acceso con relación a la sincronización recibida de la señal de baliza de relé, indica cuándo llega la señal de baliza de nodo de acceso al relé de extremo a extremo. Al ajustar la sincronización de la señal de baliza de nodo de acceso de manera que, después de la transmisión por parte del relé de extremo a extremo, esta llega al AN al mismo tiempo que la señal de baliza de relé llega al AN, se fuerza a que la señal de baliza de nodo de acceso llegue al relé de extremo a extremo sincronizado con la baliza de relé. Al tener a todos los AN en la realización de esta función, esto permite que todas las señales de baliza de nodo de acceso lleguen al relé de extremo a extremo sincronizadas con la baliza de transmisión. La etapa final en el proceso consiste en tener cada AN que transmite sus señales directas de nodo de acceso específico sincronizadas con sus señales de baliza de nodo de acceso. Esto puede realizarse con las marcas de tiempo como se describe posteriormente. De manera alternativa , el CPS puede manejar la nivelación de retardo al enviar las respectivas señales directas de nodo de acceso específico, compensadas por las respectivas compensaciones de dominio del tiempo a los AN (p. ej., en donde la sincronización mediante la red de distribución es determinista). En algunos casos, el rango de frecuencias de enlace de alimentador puede ser diferente del rango de frecuencias de enlace de usuario. Cuando el rango de frecuencias de enlace descendente del enlace de alimentador (p. ej., un rango de frecuencias en la banda V) no se superpone con el rango de frecuencias descendente de enlace de usuario (p. ej., un rango de frecuencias en la banda Ka), y los AN están dentro del área de cobertura de usuario, los AN pueden incluir antenas y receptores que funcionan a lo largo del rango de frecuencias descendente de enlace de usuario para recibir las señales de baliza de nodo de acceso retransmitidas a través de los trayectos de señal de recepción/transmisión del relé de extremo a extremo. En tal caso, el relé de extremo a extremo puede incluir un primer generador de baliza del relé que genera una primera señal de baliza del relé en el rango de frecuencias descendente de enlace de usuario para admitir la sincronización del enlace de alimentador. El relé de extremo a extremo puede incluir además un segundo generador de baliza del relé que genera una segunda señal de baliza del relé en el rango de frecuencias de enlace descendente del enlace de alimentador para admitir la eliminación de las deficiencias del enlace de alimentador de las señales de enlace descendente de retorno.

La Figura 36 es una ilustración de las secuencias PN usadas para alinear la sincronización del sistema. El eje horizontal de la figura representa el tiempo. Una secuencia $NA_1$ PN 2301 de los circuitos 2303 se transmiten en la señal de baliza de nodo de acceso desde el primer AN. El tiempo relativo de llegada de esta secuencia al relé de extremo a extremo, se representa por medio de la secuencia PN 2305. Existe un desplazamiento de tiempo de la secuencia PN 2305 con respecto a la secuencia $NA_1$ PN 2301, debido al retardo de propagación desde el AN hasta el relé de extremo a extremo. Una secuencia 2307 de baliza PN de relé se genera dentro, y se transmite desde, el relé de extremo a extremo en una señal de baliza de relé. Un circuito PN de la secuencia 2307 de baliza PN de relé en el tiempo $T_0$ 2315 se alinea con un circuito PN 2316 de la señal $NA_1$ PN 2305 recibida en el tiempo $T_0$. El circuito PN 2316 de la señal recibida $NA_1$ PN 2305, se alinea con el circuito PN 2315 de la baliza PN 2307 de relé cuando la sincronización de transmisión $NA_1$ se ajusta por la cantidad adecuada. La secuencia PN 2305 se enlaza desde el relé de extremo a extremo y la secuencia PN 2317 se recibe en el $NA_1$. Una secuencia PN 2319 transmitida desde el relé de extremo a extremo en la baliza PN del relé, se recibe en el $NA_1$. Note que las secuencias PN 2317, 2319 están alineadas en el $NA_1$ lo que indica que se alinearon en el relé de extremo a extremo.

La Figura 37 muestra un ejemplo de un $NA_2$ que no ha ajustado adecuadamente la sincronización de la secuencia PN generada en el $NA_2$. Note que la secuencia PN 2311 generada por el $NA_2$ se recibe en el relé de extremo a extremo que se muestra como la secuencia 2309 con una compensación por una cantidad *dt* desde la secuencia PN 2307 de la baliza PN de relé. Esta compensación se debe a un error de sincronización utilizado para generar la secuencia en el $NA_2$. Nótese, además, que la llegada de la secuencia $NA_2$ PN 2321 en $NA_2$ se compensa desde la llegada de la secuencia PN de la baliza PN del relé en $NA_2$ 2323 por la misma cantidad *dt*. El procesamiento de la señal en $NA_2$ observará este error y puede realizar una corrección a la sincronización de la transmisión por medio del ajuste de la sincronización por una cantidad *dt* para alinear con las secuencias PN 2321, 2323.

En las Figuras 36 y 37 se usó la misma velocidad de circuito PN para la baliza PN de relé y todas las señales AN (lazo) PN para facilitar la ilustración del concepto. Los mismos conceptos de sincronización pueden aplicarse con diferentes frecuencias de circuitos PN. Regresando a las Figuras 31 y 32, los índices t de intervalo de tiempo pueden usarse para sincronizar las señales directas de nodos de acceso específicos recibidas desde cada uno de los AN en el relé de extremo a extremo. Por ejemplo, los índices t de intervalo de tiempo pueden multiplexarse con las señales 516 directas de nodos de acceso específicos. Cada AN puede transmitir muestras de señales directas de nodo de acceso específico con un índice t de intervalo de tiempo en particular, alineado con la correspondiente información de sincronización en la secuencia

PN de los circuitos transmitidos en las señales de baliza de nodo de acceso respectivo. Debido a que las señales de baliza de nodo de acceso respectivas se han ajustado para compensar los respectivos retardos de trayectoria y desplazamientos de fase entre los AN y el relé de extremo a extremo, las muestras asociadas con el índice t de intervalo de tiempo llegarán al relé de extremo a extremo con la sincronización adecuada y la fase alineada correctamente con respecto a la otra.

En los casos en donde los AN reciban sus propias señales de baliza de nodo de acceso, es posible el retorno de lazo de las señales de baliza de nodo de acceso mediante el uso del mismo hardware de comunicación de relé de extremo a extremo, que transporta, además, los datos de comunicaciones en la dirección directa. En estos casos, las ganancias relativas y/o fases de los transpondedores en el relé de extremo a extremo, pueden ajustarse como se describe más adelante.

La Figura 38 es un diagrama de bloques de un ejemplo de AN 515. El AN 515 comprende un receptor 4002, un elemento 4024 de ajuste de la sincronización y fase recibidas, un demodulador 2511 de señal de baliza de relé, un multiplexor 4004, una interfaz 4006 de red, un controlador 2523, un desmultiplexor 4060, un compensador 4020 de fase y sincronización de la transmisión y un transmisor 4012. La interfaz 4006 de red puede conectarse, por ejemplo, al CPS 505 mediante un puerto 4008 de red.

En el enlace de retorno, el receptor 4002 recibe una señal de enlace 527 descendente de retorno. La señal 527 de enlace descendente de retorno puede incluir, por ejemplo, una composición de las señales de enlace ascendente de retorno mediante el relé de extremo a extremo (*p. ej.*, mediante múltiples trayectos de señal de recepción/ transmisión, etc.) y la señal de baliza de relé. El receptor 4002 puede realizar, por ejemplo, una conversión hacia abajo y el muestreo. El demodulador 2511 de señal de baliza de relé puede demodular la señal de baliza de relé en la señal 907 de retorno compuesta digital para obtener la información 2520 de sincronización de transmisión. Por ejemplo, el demodulador 2511 de señal de baliza de relé puede realizar una demodulación para recuperar la sincronización de circuito asociada con el código PN de relé y generar las marcas de tiempo correspondientes al tiempo de la transmisión desde el relé de extremo a extremo para las muestras de la señal 527de retorno compuesta digitalizada. El multiplexor 4004 puede multiplexar la información 2520 de sincronización de transmisión con las muestras de la señal de retorno compuesta digitalizada (p. ej., para formar una señal de retorno compuesta multiplexada) para enviar al CPS 505 (p. ej., mediante la interfaz 4006 de red). La multiplexación de la información 2520 de sincronización puede incluir la generación de los subconjuntos de las muestras que corresponden con los índices t de intervalo de tiempo para el envío al CPS 505. Por ejemplo, el multiplexor 4004 puede producir los subconjuntos de muestras asociadas con cada índice t de intervalo de tiempo para la entrada a la arquitectura del formador de haz de intervalo de tiempo de retorno descrita anteriormente con referencia a las figuras 33, 34 y 35. El multiplexor 4004 puede incluir un dispositivo 4044 de entrelazado para entrelazar las muestras para cada subconjunto de muestras, en algunos casos.

En el enlace directo, la interfaz 4006 de red puede obtener una señal 4014 de entrada AN (*p. ej.*, mediante un puerto 4008 de red). El desmultiplexor 4060 puede desmultiplexar una señal 4014 de entrada AN para obtener la señal 516 directa de nodo de acceso específico y la información 4016 de sincronización de transmisión de señal directa que indica la sincronización de transmisión para la señal 516 directa de nodo de acceso específico. Por ejemplo, la señal 516 directa de nodo de acceso específico puede comprender la información de sincronización de transmisión de la señal directa (*p. ej.*, multiplexada con las muestras de datos, etc.). En un ejemplo, la señal 516 directa del nodo de acceso específico comprende unos conjuntos de muestras (*p. ej.*, en paquetes de datos), en donde cada conjunto de muestras se asocia con un índice *t* de intervalo de tiempo. Por ejemplo, cada conjunto de muestras puede ser muestras de la señal 516 directa de nodo de acceso específico generadas según la arquitectura de la formación de haces de intervalo de tiempo directa que se describió anteriormente con referencia a las Figuras 31, 32 y 35. El desmultiplexor 4060 puede incluir un dispositivo de desentrelazado 4050 para desentrelazar las muestras asociadas con los índices *t* de intervalo de tiempo.

El compensador 4020 de fase y sincronización de la transmisión puede recibir y almacenar la señal 516 directa de nodo de acceso específico y producir las muestras 4022 de señal de enlace ascendente directo para la transmisión del transmisor 4012 en un tiempo adecuado como señal 521 de enlace ascendente directo. El transmisor 4012 puede realizar la conversión digital a analógica y la conversión ascendente para producir la señal 521 de enlace ascendente directo. Las muestras 4022 de la señal de enlace ascendente directo pueden incluir la señal 516 directa de nodo de acceso específico y una señal 2530 de baliza de nodo de acceso (*p. ej.*, la señal PN de lazo de retroceso), la cual puede incluir la información de sincronización de transmisión (*p. ej.*, la información de sincronización de circuito de código PN, la información de sincronización de trama, *etc.*). El compensador 4020 de fase y sincronización de la transmisión puede multiplexar la señal 516 directa de nodo de acceso específico con la señal 2530 de baliza de nodo de acceso, de forma que la información 4016 de fase y sincronización de transmisión de la señal directa, se sincronice con la correspondiente información de fase y sincronización de la transmisión en la señal 2530 de baliza de nodo de acceso.

En algunos ejemplos, la generación de la señal 2530 de baliza de nodo de acceso, se realiza localmente en el AN 515 (p. ej., en el generador 2529 de señal de baliza de nodo de acceso). De manera alternativa , la generación de la señal 2530 de baliza de nodo de acceso puede realizarse en un componente separado (p. ej., un CPS 505) y enviarse al AN 515 (p. ej., mediante la interfaz 4006 de red). Como se describió anteriormente, la señal 2530 de baliza de nodo de acceso puede usarse para compensar la señal 521 de enlace ascendente en cuanto a

diferencias de trayectos y desplazamientos de fases entre el AN y el relé de extremo a extremo. Por ejemplo, la señal 2530 de baliza de nodo de acceso puede transmitirse en la señal 521 de enlace ascendente directo y retransmitirse por el relé de extremo a extremo para recibirse de regreso en el receptor 4002. El controlador 2523 puede comparar la información 4026 de fase y de sincronización de la transmisión obtenida (*p. ej.*, mediante demodulación, *etc.*) desde la señal de baliza de nodo de acceso retransmitida con la información 4028 de fase y sincronización recibidas, obtenida (*p. ej.*, mediante demodulación, *etc.*) a partir de la señal de baliza de relé. El controlador 2523 puede generar un ajuste 2524 de sincronización y fase para la entrada al compensador 4020 de sincronización y fase de transmisión, para ajustar la señal 2530 de baliza de nodo de acceso para compensar el retardo de trayectoria y los desplazamientos de fase. Por ejemplo, la señal 2530 de baliza de nodo de acceso puede incluir una información de sincronización de trama y de código PN (*p. ej.*, uno o más bits de un número de trama, *etc.*). El compensador 4020 de fase y sincronización de transmisión puede, por ejemplo, ajustar la información de sincronización de la trama para la compensación aproximada del retardo de trayectoria (*p. ej.*, la información de sincronización de trama de salida en la señal de baliza de nodo de acceso, de manera que la señal de baliza de nodo de acceso retransmitida tendrá la información de sincronización de trama retransmitida aproximadamente alineada con la información correspondiente de sincronización de trama en la señal de baliza de relé, cambio en el cual, el circuito del código PN se considera el LSB, etc.). De manera adicional o alternativa, el compensador 4020 de fase y de sincronización de transmisión puede realizar los ajustes de fase y sincronización para las muestras 4022 de la señal de enlace ascendente directo para compensar las diferencias de fase y sincronización entre la información 4026 de fase y sincronización de la transmisión y la información 4028 de fase y sincronización recibida. Por ejemplo, en donde la señal 2530 de baliza de nodo de acceso se genera basándose en un oscilador local, las diferencias de sincronización o fase entre el oscilador local y la señal de baliza de relé recibida pueden corregirse mediante los ajustes de fase y sincronización a las muestras 4022 de la señal de enlace ascendente directo. En algunos ejemplos, la demodulación de la señal de baliza de nodo de acceso se realiza localmente en el AN 515 (p. ej., en el demodulador 2519 de señal de baliza de nodo de acceso). De manera alternativa , la demodulación de la señal de baliza de nodo de acceso puede realizarse en un componente separado (*p. ej.*, un CPS 505) y la información 4026 retransmitida de fase y sincronización de la transmisión, puede obtenerse en otra señalización (*p. ej.*, a través de la interfaz 4006 de red). Por ejemplo, el desvanecimiento profundo puede dificultar la recepción y la demodulación de la señal de baliza de nodo de acceso retransmitida propia del AN, sin la transmisión en una potencia mayor que otra señalización, lo que puede reducir la demanda de potencia para las señales de comunicación. Por lo tanto, la combinación de la recepción de la señal de baliza de nodo de acceso retransmitida desde múltiples AN 515, puede incrementar la potencia recibida efectiva y la precisión de demodulación para la señal de baliza de nodo de acceso retransmitida. Por lo tanto, la demodulación de la señal de baliza de nodo de acceso desde un único AN 515 puede realizarse mediante la utilización de las señales de enlace descendente recibidas en múltiples AN 515. La demodulación de la señal de baliza de nodo de acceso puede realizarse en el CPS 505, basado en las señales 907 de retorno compuestas, las cuales pueden incluir, además, información de señal para las señales de baliza de nodo de acceso a partir de la mayoría o de todos los AN 515. Si se desea, la formación de haces de extremo a extremo para las señales de baliza de nodo de acceso puede realizarse tomando en cuenta los enlaces ascendentes de baliza de nodo de acceso (p. ej., **Cr**), relé de bucle (p. ej., **E**) y/o los enlaces descendentes de baliza de nodo de acceso (p. ej., **Ct**).

**Eliminación de deficiencias del enlace alimentador**

Además de la nivelación del retardo de los trayectos de la señal al relé de extremo a extremo a partir de todos los AN, los desplazamientos de fase inducidos por los enlaces alimentadores pueden eliminarse antes de la formación de haces. El desplazamiento de fase de cada enlace entre el relé de extremo a extremo y las *M* AN, será diferente. Las causas para los desplazamientos de fase diferentes para cada enlace incluyen, sin limitarse, a la longitud de trayectoria de propagación, las condiciones atmosféricas como centelleo, el desplazamiento de la frecuencia Doppler y los diferentes errores del oscilador del AN. Estos desplazamientos de fase son generalmente diferentes para cada AN y varían en el tiempo (debido al centelleo, al desplazamiento Doppler y a la diferencia en los errores del oscilador del AN). Al eliminar las deficiencias dinámicas del enlace del alimentador, la velocidad a la que las ponderaciones del haz se adaptan puede ser menor que una alternativa donde las ponderaciones de haz se adaptan lo suficientemente rápido para rastrear la dinámica del enlace del alimentador.

En la dirección de retorno, las deficiencias del enlace descendente del alimentador a un AN son comunes tanto para la baliza PN del relé como para las señales de datos del usuario (p. ej., las señales del enlace descendente de retorno). En algunos casos, la demodulación coherente de la baliza PN de relé, proporciona la información de canal que se usa para eliminar la mayoría o todas estas deficiencias de la señal de datos de retorno. En algunos casos, la señal de baliza PN de relé es una secuencia PN conocida que se transmite de forma continua y se localiza en banda con los datos de comunicaciones. La equivalent (or effective) isotropically radiated power (potencia radiada isotrópica equivalente [o efectiva] - EIRP) de esta señal PN en banda, se configura de tal manera que la interferencia de los datos de comunicaciones no sea más grande que un máximo nivel aceptable. En algunos casos, un proceso de eliminación de deficiencias del enlace alimentador para el enlace de retorno involucra la demodulación y el rastreo coherente de la sincronización y fase recibidas de la señal de baliza PN de relé. Por ejemplo, el demodulador 2511 de señal de baliza de relé puede determinar los ajustes 2512 de fase y sincronización de la recepción para compensar las deficiencias del enlace del alimentador, mediante la

comparación de la señal de baliza PN de relé con una señal de referencia local (p. ej., un oscilador local o PLL). Las diferencias de fase y sincronización recuperadas se eliminan entonces de la señal de enlace descendente de retorno (p. ej., mediante el ajuste 4024 de fase y sincronización de la recepción), por lo tanto, se eliminan las deficiencias del enlace del alimentador de la señal de comunicaciones (p. ej., las señales 527 de enlace descendente de retorno). Después de que se eliminan las deficiencias del enlace del alimentador, las señales del enlace de retorno de un haz tendrán un error común de frecuencia en todos los AN y, por lo tanto, será adecuado para la formación de haces. El error común de frecuencia puede incluir sin limitarse, a las contribuciones de los errores de frecuencia de terminal de usuario, Doppler de enlace ascendente de terminal de usuario, error de frecuencia de traslado de frecuencia de relé de extremo a extremo y error de frecuencia de baliza PN de relé.

En la dirección directa, la señal de baliza de nodo de acceso de cada AN puede usarse para ayudar a eliminar las deficiencias de enlace ascendente del alimentador. Las deficiencias del enlace ascendente del alimentador se impondrán sobre los datos de comunicaciones del enlace directo (p. ej., la señal de nodo de acceso específica) así como la señal de baliza de nodo de acceso. La demodulación coherente de la señal de baliza de nodo de acceso puede usarse para recuperar las diferencias de fase y sincronización de la señal de baliza de nodo de acceso (p. ej., con relación a la señal de baliza de relé). Las diferencias de fase y sincronización recuperadas se eliminan de la señal de baliza de nodo de acceso transmitida de forma que la señal de baliza de nodo de acceso llega en fase con la señal de baliza de relé.

En algunos casos, el proceso de eliminación del enlace del alimentador directo es un phase locked loop (lazo cerrado de fase - PLL) con el retardo de trayectoria desde el AN hasta el relé de extremo a extremo y de regreso dentro de la estructura del lazo. En algunos casos, el retardo de ida y vuelta desde el AN hasta el relé de extremo a extremo y de regreso al AN, puede ser significativo. Por ejemplo, un satélite geosíncrono, que funciona como un relé de extremo a extremo, generará un retardo de ida y vuelta de aproximadamente 250 milisegundos (ms). Para mantener este lazo estable en presencia de un retardo grande, puede usarse un ancho de banda de lazo muy pequeño. Para un retardo de 250 ms, el ancho de banda de lazo cerrado PLL puede ser, de forma típica, menor de un Hz. En dichos casos, pueden usarse osciladores de alta estabilidad, tanto en el satélite como en el AN, para mantener el bloqueo de fase confiable, como se indica mediante el bloqueo 2437 en la Figura 39 (ver más adelante).

En algunos casos, la señal de baliza de nodo de acceso es una señal de ráfaga que se transmite solo durante los intervalos de calibración. Durante el intervalo de calibración, los datos de comunicaciones no se transmiten para eliminar esta interferencia a la señal de baliza de nodo de acceso. Puesto que no se transmiten datos de comunicaciones durante el intervalo de calibración, la potencia transmitida de la señal de baliza de nodo de acceso puede ser grande, en comparación con lo que se requeriría si se transmite durante los datos de comunicación. Esto se debe a que no existe ninguna preocupación por causar interferencia con los datos de comunicaciones (los datos de comunicaciones no están presentes en este momento). Esta técnica permite una fuerte signal-to-noise ratio (relación de señal a ruido - SNR) para la señal de baliza de nodo de acceso, cuando esta se transmite durante el intervalo de calibración. La frecuencia de ocurrencia de los intervalos de calibración es el recíproco del tiempo transcurrido entre los intervalos de calibración. Dado que cada intervalo de calibración proporciona una muestra de la fase al PLL, esta frecuencia de calibración es la frecuencia de muestreo de este PLL de tiempo discreto. En algunos casos, la frecuencia de muestreo es lo suficientemente alta para admitir el ancho de banda de lazo cerrado del PLL con una cantidad insignificante de suavizado. El producto de la frecuencia de calibración (frecuencia de muestreo de lazo) y el intervalo de calibración representan la fracción de tiempo en que el relé de extremo a extremo no puede usarse para datos de comunicaciones sin interferencia adicional a partir de la señal de sonda para el sondeo del canal. En algunos casos, se usan valores inferiores a 0,1 y en algunos casos se usan valores inferiores a 0,01.

La Figura 39 es un diagrama de bloques de un ejemplo de un transceptor 2409 de AN. La entrada 2408 al transceptor 2409 de AN recibe las señales de enlace de retorno de extremo a extremo, recibidas por el AN 515 (p. ej., para una entre una pluralidad de subbandas de frecuencia). La entrada 2408 se acopla a la entrada 2501 de un convertidor (D/C) 2503 descendente. La salida del D/C 2503 se acopla a un convertidor 2509 analógico a digital (A/D). La salida del A/D 2509 se acopla a un elemento 2515 de ajuste de tiempo Rx y/o un elemento 2517 de ajuste de fase Rx. El elemento 2515 de ajuste de tiempo Rx y el elemento 2517 de ajuste de fase Rx pueden ilustrar aspectos del elemento 4024 de ajuste de fase y sincronización de recepción de la Figura 38. El D/C 2503 es un convertidor descendente en cuadratura. Por consiguiente, el D/C 2503 produce una salida en fase y en cuadratura hacia el A/D 2509. Las señales recibidas pueden incluir señales de comunicaciones (p. ej., una compuesta de las señales de enlace ascendente de retorno transmitidas por las terminales de usuario), señales de baliza de nodo de acceso (p. ej., transmitidas desde el mismo AN y/u otros AN) y una señal de baliza de relé. Las muestras digitales se acoplan a un demodulador 2511 de la señal de baliza de relé. El demodulador 2511 de la señal de baliza de relé demodula la señal de baliza de relé. Además, el demodulador 2511 de la señal de baliza de relé genera una señal 2513 de control de tiempo y una señal 2514 de control fase, para eliminar las deficiencias del enlace del alimentador basadas en la señal de baliza de relé recibida. Dichas deficiencias incluyen Doppler, un error de frecuencia de AN, efectos de centelleo, cambios de la longitud del trayecto, etc. Al realizar una demodulación coherente de la señal de baliza de relé, puede usarse un phase locked loop (lazo cerrado de fase - PLL) para corregir la mayoría o todos estos errores. Por medio de la corrección de errores en la señal de baliza de relé, los errores correspondientes en las señales de comunicación y en las señales de baliza de nodo de acceso en el enlace alimentador, se corrigen también (p. ej., ya que estos errores son comunes en la señal de baliza de relé, las señales de baliza de nodo de acceso y las señales

de comunicaciones). Después de eliminar las deficiencias del enlace del alimentador, la señal de comunicación de enlace de retorno de extremo a extremo desde una terminal 517 de usuario tienen nominalmente el mismo error de frecuencia en cada uno de los *M* AN 515. Esos errores comunes incluyen el error de frecuencia de terminal de usuario, el Doppler de enlace de usuario, el error de traslado de frecuencia de relé de extremo a extremo, y el error de frecuencia de señal de baliza de relé.

Las muestras digitales, con las deficiencias de enlace del alimentador eliminadas, se acoplan a un multiplexor 2518, que puede ser un ejemplo del multiplexor 4004 de la Figura 38. El multiplexor 2518 asocia (p. ej., marcas de tiempo) las muestras con la información 2520 de sincronización de relé a partir del demodulador 2511 de señal de baliza de relé. La salida del multiplexor 2518 se acopla al puerto 2410 de salida del transceptor 2409 del AN. El puerto 2410 de salida se acopla al multiplexor 2413 y a través de la interfaz 2415 (ver la Figura 40) al CPS 505. El CPS 505 puede usar después las marcas de tiempo asociadas con las muestras digitales recibidas para alinear las muestras digitales recibidas desde cada uno de los AN 515. De manera adicional o alternativa, la eliminación de las deficiencias del enlace del alimentador puede realizarse en el CPS 505. Por ejemplo, las muestras digitales de las señales de enlace de retorno de extremo a extremo con la señal de baliza de relé integrada, puede enviar desde el AN 15 al CPS 505, y el CPS 505 puede usar la información de tiempo de sincronización (p. ej., señal de baliza de relé integrada) en cada una de las señales de retorno compuestas, para determinar los ajustes respectivos para las respectivas señales de retorno compuestas para compensar las deficiencias del canal de enlace descendente.

Una señal 2530 de baliza de nodo de acceso puede generarse localmente mediante un generador 2529 de señal de baliza de nodo de acceso. Un demodulador 2519 de señal de baliza de nodo de acceso, demodula la señal de baliza de nodo de acceso mediante el AN 515 (p. ej., después de retransmitirse por el relé de extremo a extremo y recibirse en la entrada 2408). El demodulador 2511 de señal de baliza de relé proporciona la señal 2521 de información de fase y sincronización de relé recibida con un controlador 2523. El controlador 2523 recibe además una señal 2525 de información de fase y sincronización de la transmisión retransmitida a partir del demodulador 2519 de señal de baliza de nodo de acceso. El controlador 2523 compara la información de fase y sincronización de relé recibida con la información de fase y sincronización de transmisión retransmitida y genera una señal 2527 de ajuste de tiempo aproximada. La señal 2527 de ajuste de tiempo aproximada se acopla con el generador 2529 de señal de baliza de nodo de acceso. El generador 2529 de señal de baliza de nodo de acceso genera la señal 2530 de baliza de nodo de acceso con una información de sincronización de la transmisión integrada para transmitirse desde el AN 515 al relé 503 de extremo a extremo. Como se mencionó en la descripción anterior, la diferencia entre la información de fase y de sincronización (integrada en la señal de baliza) y la información de fase y sincronización de la transmisión (integrada en la señal de baliza de nodo de acceso) se usa para ajustar la información de fase y sincronización de la transmisión con la información de fase y sincronización de relé recibida. El tiempo aproximado se ajusta por la señal 2527 al generador 2529 de señal de baliza de nodo de acceso y el tiempo preciso se ajusta por la señal 2540 al dispositivo de ajuste 2539 de tiempo Tx. Con la información 2525 de fase y sincronización de transmisión retransmitida desde el demodulador 2519 de señal de baliza de nodo de acceso sincronizada con la información 2521 de fase y sincronización de relé recibida, el generador 2529 de señal de baliza de nodo de acceso genera las marcas 2531 de tiempo que asisten en la sincronización de la señal de baliza 2530 de nodo de acceso y la señal directa de nodo de acceso específico desde el CPS 505 que se transmite. Esto significa que, las muestras de datos desde el CPS 505 se reciben sobre el puerto 2423 de entrada junto con las marcas 2535 de tiempo que indican cuando las muestras de datos asociados se desean que lleguen al relé 503 de extremo a extremo. Un módulo 2537 de suma, alineación en el tiempo y de almacenamiento, almacena las muestras de datos acoplados a partir del CPS 505 y las suma con las muestras del generador 2529 de señal de baliza de nodo de acceso con base en las marcas 2535, 2531 de tiempo. Las muestras PN y las muestras de datos de conmutación con tiempos idénticos, como se indica por las marcas de tiempo, se suman entre sí. En este ejemplo, las señales de haz múltiple ($x_k(n) * b_k$) se suman entre sí en el CPS 505 y la señal directa de nodo de acceso específico que comprende un compuesto de las señales de haz múltiples se envían al AN mediante el CPS 505.

Cuando se alinean adecuadamente por los AN, las muestras de datos llegan al relé 503 de extremo a extremo en el tiempo deseado (p. ej., el mismo tiempo que las mismas muestras de datos que llegan de los otros AN). El dispositivo de ajuste 2539 de la transmisión realiza los ajustes de tiempo preciso en base a una señal 2540 de salida de controlador de tiempo preciso a partir del módulo 2523 de controlador de tiempo. El dispositivo 2541 de ajuste de fase de transmisión realiza los ajustes de fase a la señal en respuesta a una señal 2542 de control de fase generada por el demodulador 2519 de señal de baliza de nodo de acceso. El dispositivo 2539 de ajuste de tiempo de transmisión y el dispositivo 2541 de ajuste de fase, por ejemplo, pueden ilustrar aspectos del compensador 4020 de fase y sincronización de la transmisión de la Figura 38.

La salida del dispositivo 2541 de ajuste de fase de transmisión se acopla a la entrada de un convertidor 2543 digital a analógico (D/A). La salida analógica en cuadratura del D/A 2543 se acopla a un up-converter (convertidor en ascenso - U/C) 2545 para transmitirse a través de los HPA 2433 (ver Figura 40) hacia el relé 503 de extremo a extremo. La señal 2547 de control de amplitud proporcionada por el demodulador 2519 de señal de baliza de nodo de acceso, proporciona retroalimentación de amplitud al U/C 2545 para compensar los detalles como el desvanecimiento de lluvia de enlace ascendente.

En algunos casos, el código PN utilizado por cada AN para la señal 2530 de baliza de nodo de acceso es diferente que el que se usa en cada uno de los otros AN. En algunos casos, los códigos PN en las señales de baliza de nodo de acceso son cada uno diferentes del código PN de relé que se usa en la señal de baliza de relé. En consecuencia, cada AN 515 puede ser capaz de distinguir su propia señal de baliza de nodo de acceso de los de los otros AN 515. Los AN 515 pueden distinguir sus propias señales de baliza de nodo de acceso de la señal de baliza de relé.

Como se describió previamente, la ganancia de extremo a extremo desde cualquier punto en el área de cobertura hacia cualquier otro punto en el área es un canal de múltiples trayectos con *L* trayectos diferentes que pueden dar como resultado desvanecimientos muy profundos para algunos canales de punto a punto. La diversidad de transmisión (enlace directo) y la diversidad de recepción (enlace de retorno) son muy eficaces para disminuir los desvanecimientos profundos y para permitir que trabajen los sistemas de comunicaciones. Sin embargo, para las señales de baliza de nodo de acceso, la diversidad de transmisión y de recepción, no está presente. Como resultado, el enlace punto a punto de una señal de lazo en retroceso, que es la transmisión de la señal desde un AN de regreso al mismo AN, puede experimentar que las ganancias de extremo a extremo sean muy inferiores al promedio. Pueden ocurrir valores de 20 dB por debajo del promedio con un gran número de trayectos de señal de recepción/transmisión (*L*). Estas ganancias de extremo a extremo un poco bajas dan como resultado una menor SNR para estos AN y pueden hacer que el cierre de enlace sean un desafío. En consecuencia, en algunos casos, se usan ganancias de antenas más alta en los AN. De manera alternativa , con referencia al transpondedor del ejemplo de la Figura 16, el dispositivo 418 de ajuste de fase puede incluirse en cada uno de los trayectos de la señal de transmisión/recepción. El dispositivo 418 de ajuste de fase puede ajustarse individualmente por el controlador 427 de desplazamiento de fase (p. ej., bajo el control de un enlace de telemetry, tracking, and command (Telemetría, rastreo y comando - TT&C) desde un centro de control terrestre). Ajustar las fases relativas puede ser efectivo en el incremento de las ganancias de extremo a extremo de los trayectos de lazo de retorno de baja ganancia. Por ejemplo, un objetivo puede consistir en elegir las configuraciones de desplazamiento de fase para incrementar el valor de la ganancia de lazo en el peor de los casos (ganancias de un AN de regreso a ella misma). Nótese que la selección de las fases por lo general no varía la distribución de las ganancias, cuando se evalúan para todos los puntos en el área hacia todos los otros puntos en el área de cobertura, pero puede incrementar las ganancias de los trayectos de lazo de baja ganancia.

Para detallar, debe considerarse el conjunto de ganancias de cada uno de los *M* AN 515 hacia todos los otros AN 515. Existen $M^2$ ganancias, de las cuales, solo *M* de ellas son trayectos de lazo. Considérese dos distribuciones de ganancia, la primera es la distribución total de todos los trayectos ($M^2$) que pueden estimarse mediante la compilación de un histograma de todos los $M^2$ trayectos. Para los AN distribuidos uniformemente sobre toda el área de cobertura, esta distribución puede ser representativa de la distribución de la ganancia de extremo a extremo desde cualquier punto hacia cualquier otro punto en el área de cobertura. La segunda distribución es la distribución de ganancia de lazo (distribución de lazo) que puede estimarse mediante la compilación de un histograma de solo los *M* trayectos de lazo. En muchos casos, la selección personalizada, de las configuraciones de fase de trayecto de señal de transmisión/recepción (y, opcionalmente, los ajustes de ganancia) no proporcionan un cambio significativo a la distribución total. Este es especialmente el caso con un mapeo de transmisión aleatorio o intercalado para recibir elementos. Sin embargo, en la mayoría de los casos, la distribución de lazo puede mejorarse con la selección personalizada (en contraposición a los valores aleatorios) de las configuraciones de fase (y opcionalmente de las ganancias). Esto se debe a que el conjunto de ganancias de lazo consta de *M* trayectos (a diferencia de los $M^2$ trayectos totales) y el número de grados de libertad en los ajustes de fase y ganancia es *L*. Frecuentemente *L* está en el mismo orden que *M*, lo que permite una mejora significativa en las ganancias de lazo bajo con una selección de fase personalizada. Otra forma de ver esto es que, en la selección de fase personalizada, no es necesario eliminar las ganancias de extremo a extremo bajas, sino más bien moverlas a partir del conjunto de ganancias de lazo (*M* miembros en el conjunto) al conjunto de ganancias de no lazo ($M^2$-*M* miembros). Para valores no triviales de M, el conjunto más grande es frecuentemente más grande que el anterior.

Un AN 515 puede procesar una o más subbandas de frecuencia. La Figura 40 es un diagrama de bloques de un ejemplo de AN 515 en el cual múltiples subbandas de frecuencia se procesan por separado. En el enlace 523 de retorno de extremo a extremo (ver Figura 5), el AN 515 recibe las señales 527 de enlace descendente de retorno a partir del relé 503 de extremo a extremo a través del low noise amplifier (amplificador de ruido bajo - LNA) 2401. Las señales amplificadas se acoplan a partir del LNA 2401 a un divisor 2403 de potencia. El divisor 2403 de potencia divide la señal en múltiples señales de salida. Cada señal es la salida en uno de los puertos 2405, 2407 de salida del divisor 2403 de potencia. Uno de los puertos 2407 de salida puede proporcionarse como un puerto de prueba. Los otros puertos 2405 se acoplan a una entrada 2408 de uno de los correspondientes transceptores 2409 de AN múltiples (solo se muestra uno). Los transceptores 2409 de AN procesan las señales recibidas en las correspondientes subbandas. El transceptor 2409 de AN realiza varias funciones, descritas en detalle anteriormente. Las salidas 2410 de los transceptores 2409 de AN se acoplan a los puertos 2411 de entrada de un multiplexor 2413 de subbanda. Las salidas se combinan en el multiplexor 2413 de subbanda y salen a una interfaz 2415 de red de distribución. La interfaz 2415 proporciona una interfaz para los datos desde/hacia los AN 515 hacia/desde el CPS 505, sobre la red de distribución (ver la Figura 5). El procesamiento de las subbandas de frecuencia puede ser ventajoso en la reducción de los requerimientos de rendimiento en los componentes de RF utilizados para implementar el relé de extremo a extremo y el AN. Por ejemplo, mediante la división de 3,5 GHz de ancho de banda (p. ej., como el que puede usarse en un sistema de banda Ka) en siete subbandas, cada subbanda tiene un ancho

de solo 500 MHz. Esto significa que, cada una de las señales directas de nodo de acceso específico puede incluir múltiples subbandas asociadas con las diferentes subbandas (p. ej., asociadas con los diferentes subconjuntos de las áreas de cobertura de haz directo de usuario) y los transceptores 2409 de AN pueden convertir hacia arriba las señales secundarias a diferentes frecuencias portadoras. Esta división de ancho de banda puede permitir que se utilicen componentes de tolerancia inferiores, ya que las variaciones de fase y amplitud entre las diferentes subbandas pueden compensarse por las ponderaciones de formación de haces separados, calibración, etc. para las diferentes subbandas. Por supuesto, otros sistemas pueden usar diferentes números de subbandas y/o puertos. Algunos casos, puede usar una sola subbanda y puede no incluir todos los componentes mostrados en la presente descripción (p. ej., al omitir el divisor 2403 de potencia y el multiplexor 2413).

En el enlace 501 directo de extremo a extremo, se reciben datos del CPS 505 por la interfaz 2415. Los datos recibidos se acoplan a una entrada 2417 de un desmultiplexor 2419 de subbanda. El desmultiplexor 2419 de subbandas divide los datos en múltiples señales de datos. Las señales de datos se acoplan desde los puertos 2421 de salida del desmultiplexor 2419 de las subbandas a los puertos 2423 de entrada de los transceptores 2409 de AN. Los puertos 2425 de salida de los transceptores 2409 de AN se acoplan a los puertos 2427 de entrada del módulo sumador 2429. El módulo sumador 2429 suma las señales de salida de los siete transceptores 2409 de AN. Un puerto 2431 de salida del módulo sumador 2429 acopla la salida del módulo sumador 2429 al puerto 2433 de entrada de un high power amplifier (amplificador de alta potencia - HPA) 2435. La salida del HPA 2435 se acopla a una antena (no se muestra) que transmite las señales de salida al relé 503 de extremo a extremo. En algunos casos, un oscilador 2437 ultra estable se acopla a los transceptores 2409 de AN para proporcionar una fuente de frecuencia de referencia estable.

**Cálculo de la ponderación del haz**

Otra vez con referencia a la Figura 8, que es un ejemplo de la descripción de las señales en el enlace de retorno, puede usarse un modelo matemático del enlace de retorno de extremo a extremo para describir el vínculo como:

$$\begin{aligned}\mathbf{y} &= \mathbf{Bret}\left[\mathbf{Ct}\ \mathbf{E}\left(\mathbf{Ar}\ \mathbf{x}+\mathbf{n}_{\mathbf{ul}}\right)+\mathbf{n}_{\mathbf{dl}}\right] \\ &= \mathbf{Bret}\left[\mathbf{Hret}\ \mathbf{x}+\mathbf{Ct}\ \mathbf{E}\mathbf{n}_{\mathbf{ul}}+\mathbf{n}_{\mathbf{dl}}\right]\end{aligned} \qquad \text{EC. 1}$$

en donde,

**x** es el vector columna *K* x 1 de la señal transmitida. En algunos casos, la magnitud al cuadrado de cada elemento en **x** se define como una unidad (potencia de transmisión igual). En algunos casos, este no será siempre el caso.

**y** es el vector columna *K* x 1 de la señal recibida después de la formación de haces.

**Ar** es la matriz de radiación de enlace ascendente de retorno *L* x *K*. El elemento $a_{lk}$ contiene la ganancia y fase del trayecto desde una posición de referencia, situada en un haz *K* al *l*ésimo (la letra “ele”) elemento 406 de antena de recepción en el arreglo Rx. En algunos casos, los valores de la matriz de radiación de enlace de retorno ascendente se almacenan en el almacenamiento 941 de datos del canal (ver Figura 30).

**E** es la matriz de carga útil *L* x *L*. El elemento $\boldsymbol{e_{ij}}$ define la ganancia y la fase de la señal del *j*ésimo elemento 406 de antena en el arreglo de recepción hacia un *i*ésimo elemento 409 de antena en el arreglo de transmisión. En algunos casos, aparte de una diafonía incidental entre los trayectos (que resulta del aislamiento finito de la electrónica), la matriz **E** es una matriz diagonal. La matriz **E** puede normalizarse de tal manera que la suma de la magnitud al cuadrado de todos los elementos de la matriz es *L*. En algunos casos, los valores de la matriz de carga útil se almacenan en el almacenamiento 941 de datos del canal (ver Figura 29).

**Ct** es la matriz de radiación de enlace descendente de retorno *M* x *L*. El elemento $c_{ml}$ contiene la ganancia y la fase del trayecto a partir del *l*ésimo (la letra “ele”) elemento de antena en el arreglo Tx con un *m*ésimo AN 515 desde una cantidad de *M* AN 515. En algunos casos, los valores de la matriz de radiación de enlace de retorno descendente se almacenan en el almacenamiento 941 de datos del canal (ver Figura 29).

**Hret** es la matriz de canal de retorno *M* x *K*, que es igual al producto de **Ct** x **E** X **Ar**.

$\mathbf{n}_{ul}$ es un vector de ruido *L* x 1 de ruido gaussiano complejo. La covarianza del ruido del enlace ascendente es $\mathbf{E}\left[\mathbf{n}_{ul}\mathbf{n}_{ul}^{H}\right]=2\sigma_{ul}^{2}\mathbf{I}_{L}$. $\mathbf{I}_{L}$ es la Matriz de identidad *L* x *L*.

$\sigma^2$ es la varianza del ruido. $\sigma_{ul}^2$ se experimenta en el enlace ascendente, mientras que $\sigma_{dl}^2$ se experimenta en el enlace descendente.

$\mathbf{n_{dl}}$ es un vector de ruido *M X* 1 de ruido gaussiano complejo. La covarianza del ruido del enlace descendente es $\mathbf{E}[\mathbf{n_{dl}}\mathbf{n_{dl}^H}] = 2\sigma_{dl}^2\mathbf{I_M}$. $\mathbf{I_M}$ es la matriz de identidad *M* x *M*.

**Bret** es la matriz *K* x *M* de las ponderaciones de haz de enlace de retorno de extremo a extremo.

Los ejemplos se describieron anteriormente de forma general (p. ej., con referencia a las figuras 6 - 11) de una manera que asume ciertas similitudes entre los canales multitrayectos de extremo a extremo directo y de retorno. Por ejemplo, las matrices de canal de retorno y directa se describieron anteriormente con referencia a *M, K,* **E** y otros modelos. Sin embargo, estas descripciones pretenden solo simplificar la descripción para agregar mayor claridad y no pretenden limitar los ejemplos solo a los casos con configuraciones idénticas en las direcciones de retorno y directa. Por ejemplo, en algunos casos, los mismos transpondedores se usan tanto para el tráfico directo como el de retorno, y la matriz de carga útil **E** puede ser la misma tanto como para la formación de haces de extremo a extremo de retorno como directa (y los cálculos correspondientes de ponderación de haz), en consecuencia. En otros casos, diferentes transpondedores se usan para el tráfico directo y de retorno y una matriz de carga útil directa (**Efwd**) y una matriz de carga útil de retorno (**Eret**) pueden usarse para modelar los canales multitrayectos de extremo a extremo correspondientes y para calcular las ponderaciones de haz correspondientes. De manera similar, en algunos casos, los mismos *M* AN 515 y las *K* terminales 517 de usuario se consideran parte de tanto los canales multitrayectos de extremo a extremo de retorno como directo. En otros casos, *M* y *K* pueden referirse a diferentes subconjuntos de AN 515 y/o terminales 517 de usuario y/o cantidades distintas de AN 515 y/o terminales 517 de usuario, en las direcciones de retorno y directas.

Las ponderaciones de haz pueden calcularse de varias maneras para satisfacer los requerimientos del sistema. En algunos casos, éstos se calculan después del despliegue del relé de extremo a extremo. En algunos casos, la matriz de carga útil **E** se mide antes del despliegue. En algunos casos, las ponderaciones de haz se calcularon con el objetivo de aumentar la signal to interference plus noise (señal a interferencia más ruido - SINR) de cada haz, y puede calcularse de la siguiente manera:

$$\mathbf{Bret} = \left(\mathbf{R}^{-1}\mathbf{H}\right)^{\mathbf{H}}$$
$$\mathbf{R} = 2\sigma_{\mathrm{dl}}^2\mathbf{I_M} + 2\sigma_{\mathrm{ul}}^2\mathbf{C_t}\mathbf{E}\mathbf{E}^{\mathbf{H}}\mathbf{C_t^H} + \mathbf{H}\mathbf{H}^{\mathbf{H}} \quad \text{EC. 2, 3}$$

en donde **R** es la covarianza de la señal recibida y **(*)$^{H}$** es el operador de la transpuesta conjugada (Hermitiano).

El elemento *k*, *m* de la matriz **Bret** de ponderación de haz de retorno *K* x *M*, proporciona los ponderaciones para formar el haz al *m$^{ésimo}$* AN 515 desde una terminal de usuario en el *k$^{ésimo}$* haz de usuario. En consecuencia, en algunos casos, cada una de las ponderaciones de haz de retorno que se usan para formar los haces de retorno de usuario, se calcula mediante la estimación de ganancias de retorno de extremo a extremo (es decir, los elementos de la matriz de canal **Hret**) para cada uno de los canales multitrayectos de extremo a extremo (p. ej., cada uno de los canales de multitrayectoria de retorno de extremo a extremo).

La EC. 2 es válida en donde **R** es la covarianza de la señal recibida como se proporciona en la EC. 3. Por lo tanto, cuando todas las matrices de las EC. 1, 2 y 3 se conocen, las ponderaciones de haz utilizadas para formar los haces de extremo a extremo pueden determinarse directamente.

Este conjunto de ponderaciones de haz reduce el error medio cuadrático entre **x** y **y**. Se incrementa, además, la signal to noise plus interference ratio (relación de la señal con el ruido más interferencia - SINR) de extremo a extremo para cada una de las *K* señales 525 de enlace de retorno de extremo a extremo (que se originan a partir de cada uno de los *K* haces).

El primer término $2\sigma_{dl}^2\mathbf{I_M}$ en la EC. 3 es la covarianza del ruido de enlace descendente (el cual no se correlaciona). El primer término $2\sigma_{ul}^2\mathbf{C_t}\mathbf{E}\mathbf{E}^{\mathbf{H}}\mathbf{C_t^H}$ en la EC. 3 es la covarianza del ruido de enlace ascendente (que se correlaciona en los AN). El tercer término **HH$^{H}$** en la EC. 3 es la covarianza de la señal. Mediante el ajuste de la varianza del ruido de enlace ascendente a cero e ignorando el último término (**HH$^{H}$**), resulta un conjunto de ponderaciones que incrementan la relación de la señal con el ruido de enlace descendente, mediante la alineación de fase de las señales recibidas de cada uno de los *M* AN 515. Mediante el ajuste de la varianza de ruido de enlace descendente a cero e ignorando el 3$^{er}$ término, resulta en un conjunto de ponderaciones que incrementan la SINR del enlace ascendente. Mediante el ajuste de tanto la varianza de ruido de enlace descendente como del ascendente a cero, resulta en un receptor no correlacionado que incrementa la relación de portadora a interferencia (C/I).

En algunos casos, las ponderaciones de haz se normalizan para realizar la suma de la magnitud al cuadrado de cualquiera de las filas de la suma **Bret** a la unidad.

En algunos casos, la solución para la EC. 2 se determina mediante un conocimiento *previo* de las matrices **Ar**, **Ct**, y **E**, así como las variaciones de los vectores de ruido $\mathbf{n_{ul}}$ y $\mathbf{n_{dl}}$. El conocimiento de los valores de elemento de las matrices puede obtenerse durante las mediciones realizadas durante la fabricación y prueba de los componentes relevantes del relé de extremo a extremo. Esto puede funcionar bien para sistemas en donde no se espera que los valores en las matrices cambien significativamente durante el funcionamiento del sistema. Sin embargo, para algunos sistemas, en especial los que operan en las bandas de frecuencia superiores, dichas expectativas pueden no estar presentes. En dichos casos, las matrices **Ar**, **Ct** y **E** pueden estimarse después del despliegue de un artefacto (tal como un satélite) en los cuales se dispone el relé de extremo a extremo.

En algunos casos, en los que la información *previa* no se usa para establecer las ponderaciones, la solución a la EC. 2 puede determinarse mediante la estimación de los valores de **R** y **H**. En algunos casos, las terminales 517 de usuario designadas en el centro de cada área 519 de cobertura de haz de usuario transmite señales conocidas x durante los periodos de calibración. El vector recibido en AN 515 es:

$$\mathbf{u = H\,x + Ct\,E\,n_{ul} + n_{dl}} \qquad \text{EC. 4}$$

En un ejemplo, el CPS 505 estima los valores de **R** y **H** basados en las relaciones siguientes:

$$\hat{\mathbf{R}} = \sum \mathbf{u}\mathbf{u}^{\mathbf{H}} \qquad \text{EC. 5}$$

$$\hat{\mathbf{H}} = [\hat{\mathrm{p}}_1, \hat{\mathrm{p}}_2, \ldots \hat{\mathrm{p}}_{\mathrm{K}}] \qquad \text{EC. 6}$$

$$\hat{\mathrm{p}}_{\mathrm{K}} = \sum \mathbf{u}\tilde{x}_k^* \qquad \text{EC. 7}$$

$\hat{\mathbf{R}}$ es una estimación de la matriz de covarianza **R**, $\hat{\mathbf{H}}$ es una estimación de la matriz del canal **H** y $\hat{\mathbf{H}}$ es una estimación del vector de correlación, $\tilde{\mathbf{H}}$ es el conjugado de los *k*$^{ésimos}$ componentes del vector transmitido con el error de frecuencia introducido por la transmisión de enlace ascendente. En algunos casos, no se transmite ningún dato de comunicaciones durante el período de calibración. Es decir, únicamente las señales de calibración que se conocen por los AN se transmiten en el enlace de retorno de extremo a extremo durante el período de calibración para permitir que se determine el valor de $\hat{\mathbf{H}}$ a partir del vector **u** recibido mediante el uso de la ecuación anterior. Esto a su vez permite la determinación del valor de $\hat{\mathbf{H}}$. Tanto la estimación de la matriz de covarianza $\hat{\mathbf{R}}$ como la estimación de la matriz de canal $\hat{\mathbf{H}}$ se determinan en base a las señales recibidas durante el periodo de calibración.

En algunos casos, el CPS 505 puede estimar la matriz de covarianza $\hat{\mathbf{R}}$ mientras estén presentes los datos de comunicaciones (p. ej., incluso cuando se desconoce **x**). Esto puede observarse en el hecho de que $\hat{\mathbf{R}}$ se determina en base únicamente a la señal recibida **u**. Sin embargo, el valor de $\hat{\mathbf{R}}$ se estima en base a las señales recibidas durante un período de calibración, en el que solo se transmiten señales de calibración en el enlace de retorno.

En algunos casos, las estimaciones tanto de la matriz de canal $\hat{\mathbf{H}}$ como de la matriz de covarianza $\hat{\mathbf{H}}$ se realizan mientras se transmiten los datos de comunicaciones en el enlace de retorno. En este caso, la matriz de covarianza $\hat{\mathbf{H}}$ se estima como se mencionó anteriormente. Sin embargo, el valor de **x** se determina mediante la demodulación de la señal recibida. Una vez que se conoce el valor de **x**, la matriz de canal puede estimarse como se mencionó anteriormente en la EC. 6 y la EC. 7.

Los componentes de interferencia y de señal de la señal después de la formación de haces, están contenidos en el vector **Bret H x**. Las potencias de la interferencia y de señal para cada uno de los haces, están contenidas en la matriz *K* x *K* **Bret H**. La potencia en el *k*$^{ésimo}$ elemento diagonal de **Bret H**, es la potencia de señal deseada del haz *k*. La suma de la magnitud al cuadrado de todos los elementos en la fila *k* excepto los elementos de la diagonal, es la potencia de interferencia en un haz *k*. Por lo tanto, C/I para el haz *k* es:

$$\left(\frac{\mathrm{C}}{\mathrm{I}}\right)_{\mathrm{k}} = \frac{\left|\mathrm{s}_{\mathrm{kk}}\right|^2}{\sum_{\mathrm{j}\neq\mathrm{k}} \left|\mathrm{s}_{\mathrm{kj}}\right|^2} \qquad \text{EC. 8}$$

en donde $s_{kj}$ son los elementos de **Bret H**. El ruido del enlace ascendente está contenido en el vector **Bret Ct En$_{ul}$**, que tiene una matriz de covarianza de *K* x *K* de $2\sigma_{ul}^2 \mathbf{Bret Ct E E^H Ct^H Bret^H}$. El *k*$^{ésimo}$ elemento de la

diagonal de la matriz de covarianza contiene la potencia de ruido de enlace ascendente en un haz *k*. La relación de la señal de enlace ascendente a ruido para un haz *k* se calcula entonces como:

$$\left( \frac{S}{N_{ul}} \right)_k = \frac{|s_{kk}|^2}{t_{kk}} \quad \text{EC. 9}$$

donde $t_{kk}$ es el $k^{ésimo}$ elemento de la diagonal de la matriz de covarianza del enlace ascendente. El ruido del enlace descendente está contenido en el vector **Bret** $\mathbf{n_{dl}}$, que tiene una covarianza de $2\sigma_{dl}^2\mathbf{I_K}$ en virtud de las ponderaciones de haz normalizadas. Por lo tanto, la relación señal de enlace descendente a ruido es:

$$\left( \frac{S}{N_{dl}} \right)_k = \frac{|s_{kk}|^2}{2\sigma_{dl}^2} \quad \text{EC. 10}$$

El SINR de extremo a extremo es la combinación de las EC. 8 - 10:

$$SINR_k = \left[ \left( \frac{C}{I} \right)_k^{-1} + \left( \frac{S}{N_{ul}} \right)_k^{-1} + \left( \frac{S}{N_{dl}} \right)_k^{-1} \right]^{-1} \quad \text{EC. 11}$$

Las ecuaciones anteriores describen como calcular el SINR de extremo a extremo dado para la matriz de carga útil E. La matriz de carga útil puede construirse por medio de una elección inteligente de la ganancia y las fases de cada uno de los elementos de E. La ganancia y la fase de los elementos de la diagonal de E que optimizan alguna métrica útil (que generalmente, es una función de los *K* SINR de haz como se calculó anteriormente) pueden seleccionarse e implementarse mediante el ajuste del elemento de desplazamiento 418 de fase en cada uno de los *L* transpondedores 411. Las funciones utilitarias de candidato incluyen sin limitarse a, la suma de los SINR $_K$ (total SINR), la suma de Log(1+$SINR_k$) (proporcional al rendimiento total) o potencia total en el matriz del canal, H. En algunos casos, la mejora en la utilidad de la función mediante la personalización de las ganancias y las fases es muy pequeña e insignificante. Este es el caso cuando se usan las asignaciones aleatorias o intercaladas de los elementos de antena. En algunos casos, la función utilitaria puede mejorarse por una cantidad no trivial, mediante la selección personalizada de la ganancia y la fase de la señal de recepción/ transmisión.

Regresando a la Figura 9, puede usarse un modelo matemático de un enlace 501 directo de extremo a extremo para describir el enlace 501 como:

$$\begin{aligned} y &= \mathbf{At\,E}\left[\mathbf{Cr\,Bfwd\,x} + n_{ul}\right] + n_{dl} \\ &= \mathbf{Hfwd\ Bfwd\ x} + \mathbf{AE}\,n_{ul} + n_{dl} \end{aligned} \quad \text{EC. 12}$$

en donde,

**x** es el vector columna *K* x 1 de la señal transmitida. La magnitud al cuadrado de cada elemento en **x** se define como una unidad (igual potencia de señal). En algunos casos, la desigualdad de la potencia de transmisión puede lograrse mediante la selección de las ponderaciones de haz directo.

**y** es el vector columna de la señal recibida *K* x 1.

**Cr** es la matriz de radiación de enlace ascendente directo *L* x *M*. El elemento $c_{lm}$ contiene la ganancia y la fase del trayecto 2002 desde el $m^{ésimo}$ AN 515 hasta el $l^{ésimo}$ (letra “ele”) elemento 406 de antena del arreglo de antenas Rx en el relé 503 de extremo a extremo. En algunos casos, los valores de la matriz de radiación de enlace ascendente directo se almacenan en el almacenamiento 921 de datos del canal (ver Figura 29).

**E** es la matriz de carga útil *L* x *L*. El elemento $e_{ij}$ define la ganancia y la fase de la señal desde el *j*$^{ésimo}$ elemento de antena del arreglo de recepción hasta el *i*$^{ésimo}$ elemento de antena del arreglo de transmisión. Aparte de una diafonía incidental entre los trayectos (que resulta del aislamiento finito de la electrónica), la matriz E es una matriz diagonal. En algunos casos, la matriz **E** puede normalizarse de tal manera que la suma de la magnitud al cuadrado de todos los elementos de la matriz es *L*. En algunos casos, los valores de la matriz de carga útil se almacenan en el almacenamiento 921 de datos del canal (ver Figura 29).

**At** es la matriz de radiación de enlace descendente directo *K* x *L*. El elemento $a_{kl}$ contiene la ganancia y la fase del trayecto desde el elemento de antena *L* (letra "ele") en el arreglo Tx del relé 503 de extremo a extremo hacia una ubicación de referencia en el haz de usuario *k*. En algunos casos, los valores de la matriz de radiación de enlace descendente directo se almacenan en el almacenamiento 921 de datos del canal (ver Figura 29).

**Hfwd** es la matriz de canal directa *K* x *M*, que es igual al producto $\mathbf{A_t E C_r}$.

$\mathbf{n_{ul}}$ es un vector de ruido gaussiano complejo *L* x 1. La covarianza del ruido de enlace ascendente es:

$$E\left[\mathbf{n}_{ul}\mathbf{n}_{ul}^{H}\right] = 2\sigma_{ul}^{2}\mathbf{I}_{L},$$

en donde $\mathbf{I_L}$ es la matriz de identidad *L* x *L*.

$\mathbf{n_{dl}}$ es un vector de ruido *K* x 1 de ruido gaussiano complejo. La covarianza del ruido de enlace descendente es:

$$E\left[\mathbf{n}_{dl}\mathbf{n}_{dl}^{H}\right] = 2\sigma_{dl}^{2}\mathbf{I_K},$$

en donde $\mathbf{I_K}$ es la matriz identidad *K* x *K*.

**Bfwd** es la matriz de las ponderaciones de haz *K* x *M* de las ponderaciones de haz de enlace directo de extremo a extremo.

Las ponderaciones de haz para un haz de usuario *k* son los elementos en la columna *k* de **Bfwd**. A diferencia del enlace de retorno, el C/I para el haz *k* no se determina por las ponderaciones de haz para el haz *k*. Las ponderaciones de haz para el haz *k* determinan la signal to noise ratio (tasa de señal al ruido - SNR) del enlace ascendente y la SNR del enlace descendente, así como la potencia de la portadora (C) en C/I. Sin embargo, la potencia de interferencia en el haz *k* se determina por las ponderaciones de haz para todos los otros haces, excepto para un haz *k*. En algunos casos, la ponderación de haz para un haz *k* se selecciona para aumentar la SNR. Además, dichas ponderaciones de haz aumentan la C/I para el haz *k*, dado que C se incrementa. Sin embargo, la interferencia puede generarse para los otros haces. Por lo tanto, a diferencia del caso del enlace de retorno, las ponderaciones de haz óptimas no se calculan con base a un haz por haz (independiente de otros haces).

En algunos casos, las ponderaciones de haz (que incluyen las matrices de radiación y carga útil utilizadas para calcularlas) se determinan después del despliegue del relé de extremo a extremo. En algunos casos, la matriz de carga útil **E** se mide antes del despliegue. En algunos casos, puede calcularse un conjunto de ponderaciones de haz mediante la interferencia generada en el resto de los haces por un haz *k* y contarlo como la interferencia en el haz *k*. Aunque es posible que este enfoque no calcule las ponderaciones de haz óptimas, puede usarse para simplificar el cálculo de la ponderación. Esto permite que se determinen un conjunto de ponderaciones para cada haz independiente de todos los otros haces. Las ponderaciones de haz directo resultantes se calculan de manera similar a las ponderaciones de haz de retorno:

$$\mathbf{Bfwd} = \mathbf{H}^{\mathbf{H}}\,\mathbf{R}^{-1}, \text{ en donde,} \qquad \text{EC. 13}$$

$$\mathbf{R} = 2\sigma_{dl}^{2}\mathbf{I_K} + 2\sigma_{ul}^{2}\mathbf{A t E E}^{\mathbf{H}}\,\mathbf{At}_{\mathbf{t}}^{\mathbf{H}} + \mathbf{H}\,\mathbf{H}^{\mathbf{H}} \qquad \text{EC. 14}$$

El primer término

$$2\sigma_{dl}^{2}\mathbf{I_K}$$

en la EC. 14 es la covarianza del ruido de enlace descendente (no correlacionados). El segundo término

$$2\sigma_{ul}^2 \mathbf{At}\,\mathbf{EE}^{\mathbf{H}}\mathbf{At}^{\mathbf{H}}$$

es la covarianza del ruido de enlace ascendente (que se correlaciona en los AN). El tercer término **HH** $^{H}$ es la covarianza de la señal. Al configurar la varianza del ruido de enlace ascendente a cero e ignorar el último término (**HH**$^{H}$) resulta en un conjunto de ponderaciones que incrementan la razón de ruido de enlace descendente a señal por la alineación de fase de las señales recibidas en los *M* AN 515. Mediante el ajuste de la varianza de ruido de enlace descendente a cero e ignorando el 3$^{er}$ término, resulta en un conjunto de ponderaciones que incrementan la SNR del enlace ascendente. Mediante el ajuste de tanto la variancia de ruido de enlace descendente como del ascendente a cero, resulta en un receptor no correlacionado que incrementa la relación C/I. Para el enlace directo, el ruido del enlace descendente y la interferencia generalmente predominan. Por lo tanto, estos términos son, por lo general, útiles en el cálculo de ponderación de haz. En algunos casos, el segundo término en la EC. 14 (ruido de enlace ascendente) es insignificante en comparación con el primer término (ruido de enlace descendente). En dichos casos, el segundo término puede ignorarse en los cálculos de covarianza, para simplificar aún más los cálculos mientras se mantienen un conjunto de ponderaciones de haz que incrementan la SINR de extremo a extremo.

Al igual que con el enlace de retorno, las ponderaciones de haz pueden normalizarse. Para las ponderaciones de haz de transmisor con igual potencia disponible para todas las señales de enlace directo *K*, cada columna de **Bfwd** puede escalarse de forma que la suma de la magnitud al cuadrado de los elementos en cualquier columna sumará la unidad. Compartir la misma potencia proporcionará a cada una de las señales la misma fracción de la potencia total de AN (potencia total desde todas los AN disponibles hacia la señal $x_k$). En algunos casos, para los enlaces directos, se implementa una distribución desigual de la potencia entre las señales de enlace directo. En consecuencia, en algunos casos, algunas de las señales de haz obtienen más que la distribución igualitaria de la potencia total de AN. Esto puede ser útil para distribuir la SINR en todos los haces o para proporcionarle a los haces más importante mayor SINR que a los haces menos importantes. Para crear las ponderaciones de haz para distribuciones desiguales de potencia, la matriz de ponderación de haz de igual potencia *M* x *K*, **Bfwd**, se multiplica posteriormente por una matriz diagonal *K x K*, **P**, de ahí la nueva **Bfwd = Bfwd P**. Dejar

$$\mathbf{P} = Diag.\ \left(\sqrt{p_k}\right),$$

después, los valores cuadrados del *k$^{ésimo}$* elementos de la diagonal representan la potencia distribuida en la señal de usuario $x_k$. La matriz de distribución de potencia **P** se normaliza de forma que la suma o el cuadrado de los elementos de la diagonal sea igual a *K* (los elementos de la diagonal no principal son cero).

En algunos casos, la solución para la EC. 13 se determina mediante un conocimiento *previo* de las matrices **At**, **Cr**, y **E**, así como las variaciones de los vectores de ruido $\mathbf{n_{ul}}$ y $\mathbf{n_{dl}}$. En algunos casos, el conocimiento de las matrices puede obtenerse durante las mediciones realizadas durante la fabricación y prueba de los componentes relevantes del relé de extremo a extremo. Esto puede funcionar bien para sistemas donde no se esperan que los valores en las matrices cambien significativamente a partir de lo medido durante el funcionamiento del sistema. Sin embargo, para algunos sistemas, en especial los que operan en las bandas de frecuencia superiores, esto puede no ser el caso.

En algunos casos en donde la información *previa* no se usa para establecer las ponderaciones, los valores de **R** y **H** para el enlace directo pueden estimarse para determinar la solución de la EC. 13. En algunos casos, los AN transmiten una sonda de prueba de canal durante los períodos de calibración. Las sondas de pruebas de canal pueden ser de diferentes tipos de señales. En un caso, se transmiten secuencias PN conocidas y ortogonales, diferentes, mediante cada AN. Las sondas de pruebas de canal pueden corregirse previamente en tiempo, frecuencia y/o fase para eliminar las deficiencias del enlace de alimentador (como se describió anteriormente). Todos los datos de comunicación pueden desactivarse durante el intervalo de calibración para reducir la interferencia a la sonda de pruebas de canal. En algunos casos, las sondas de pruebas de canal pueden ser las mismas señales que las que se usan para eliminar las deficiencias del enlace de alimentador.

Durante el intervalo de calibración, una terminal en el centro de cada haz puede designarse para recibir y procesar las sondas de prueba del canal. El vector *Kx1*, **u**, de las señales recibidas durante el periodo de calibración es $\mathbf{u=H\,x + At\,E\,n_{ul} + n_{dl}}$, en donde **x** es el vector *Mx1* de la sonda de prueba de canal transmitida. En algunos casos, cada terminal designada elimina primeramente el error de frecuencia incidental (que resulta del desplazamiento Doppler y el error de oscilador terminal) y luego correlaciona la señal resultante con cada una de las secuencias PN ortogonales conocidas de *M*. Los resultados de estas correlaciones son *M* números complejos (amplitud y fase) para cada terminal y estos resultados se transmiten de vuelta al CPS a través del enlace de retorno. Los *M* números complejos calculados por la

terminal en el centro del $k^{ésimo}$ haz pueden usarse para formar la $k^{ésima}$ fila de la matriz de canal, $\hat{\mathbf{H}}$. Mediante el uso de las mediciones de todas las terminales designadas de *K*, se obtiene un cálculo de la totalidad de la matriz del canal. En muchos casos, es útil combinar la medición de múltiples intervalos de calibración para mejorar la estimación de la matriz del canal. Una vez que se determina el estimado de la matriz de canal, un estimado de la matriz de covarianza, $\hat{\mathbf{R}}$, puede determinarse de la EC. 14 mediante el uso de un valor de 0 para el segundo término. Este puede ser una estimación muy exacta de la matriz de covarianza de ruido, si el enlace ascendente (el segundo término en la EC. 14) es insignificante en relación con el ruido de enlace descendente (el primer término en la EC. 14). Las ponderaciones de haz de enlace directo pueden calcularse entonces mediante el uso de los estimados de la matriz del canal y la matriz de covarianza en la EC. 13. En consecuencia, en algunos casos, el cálculo de las ponderaciones de haz comprende la estimación de las ganancias directas de extremo a extremo (es decir, los valores de los elementos de la matriz de canal **Hfwd**) para cada uno de los canales multitrayectos directos de extremo a extremo entre un AN 515 y una ubicación de referencia en un área de cobertura de haz de usuario. En otros casos, el cálculo de las ponderaciones de haz comprende la estimación de las ganancias directas de extremo a extremo para los canales multitrayectos directos de extremo a extremo *K* x *M* desde los *M* AN 515 a las ubicaciones de referencia dentro de las *K* áreas de cobertura de haz de usuario.

Los componentes de interferencia y de señal de la señal después de la formación de haces, están contenidos en el vector **H Bfwd x** (producto de **H**, **Bfwd**, **x**). Las potencias de la interferencia y de señal para cada uno de los haces, están contenidas en la matriz *K* x *K* **H Bfwd**. La potencia en el $k^{ésimo}$ elemento diagonal de **H Bfwd**, es la potencia de señal deseada del haz *k*. La suma de la magnitud al cuadrado de todos los elementos en la fila *k* excepto los elementos de la diagonal, es la potencia de interferencia en un haz *k*. Por lo tanto, C/I para el haz *k es*:

$$\left(\frac{C}{I}\right)_k = \frac{\left|s_{kk}\right|^2}{\sum_{j\neq k}\left|s_{kj}\right|^2} \quad \text{EC. 15}$$

en donde $s_{kj}$ son los elementos de **H B fwd**. El ruido del enlace ascendente está contenido en el vector $\mathbf{A_t E}\ \mathbf{n_{ul}}$, que tiene una matriz de covarianza de *K* x *K* de

$$2\sigma_{ul}^2 \mathbf{At\ EE^H At_t^H}.$$

El $k^{ésimo}$ elemento de la diagonal de la matriz de covarianza contiene la potencia de ruido de enlace ascendente en un haz *k*. La relación de la señal de enlace ascendente a ruido para un haz *k* se calcula entonces como:

$$\left(\frac{S}{N_{ul}}\right)_k = \frac{\left|s_{kk}\right|^2}{t_{kk}} \quad \text{EC. 16}$$

en donde $t_{kk}$ es el $k^{ésimo}$ elemento de la diagonal de la matriz de covarianza del enlace ascendente. El ruido del enlace descendente está contenido en el vector $\mathbf{n_{dl}}$, que tiene una covarianza de

$$2\sigma_{dl}^2 \mathbf{I_K}.$$

Por lo tanto, la relación señal de enlace descendente a ruido es:

$$\left(\frac{S}{N_{dl}}\right)_k = \frac{\left|s_{kk}\right|^2}{2\sigma_{dl}^2} \quad \text{EC. 17}$$

El SINR de extremo a extremo es la combinación de las EC. 15 - EC. 17:

$$SINR_k = \left[ \left( \frac{C}{I} \right)_k^{-1} + \left( \frac{S}{N_{ul}} \right)_k^{-1} + \left( \frac{S}{N_{dl}} \right)_k^{-1} \right]^{-1} \quad \text{EC. 18}$$

Las ecuaciones anteriores describen como calcular la SINR de extremo a extremo dada una matriz de carga útil **E**. La matriz de carga útil puede construirse mediante una opción inteligente de la ganancia y las fases de cada elemento de **E**. La ganancia y la fase de los elementos diagonales de **E** que optimizan alguna utilidad métrica (que es, generalmente, una función de la SINR del haz *K*, como se calculó anteriormente) puede seleccionarse e implementarse mediante la configuración del desplazamiento de fase 418 en cada uno de los *L* transpondedores 411. Las funciones utilitarias de candidato incluyen sin limitarse a, la suma de los SINR $_K$ (total SINR), la suma de Log(1+SINR$_k$) (proporcional al rendimiento total) o potencia total en la matriz del canal, H. En algunos casos, la mejora en la utilidad de la función mediante la personalización de las ganancias y las fases es muy pequeña e insignificante. Este es el caso cuando se usan las asignaciones aleatorias o intercaladas de los elementos de antena. En algunos casos, la función utilitaria puede mejorarse por una cantidad no trivial, mediante la selección personalizada de la ganancia y la fase de la señal de recepción/ transmisión.

**Áreas de cobertura diferentes**

Algunos ejemplos descritos anteriormente suponen que el relé 503 de extremo a extremo, se diseña para prestar servicio a una sola área de cobertura compartida tanto por las terminales 517 de usuario como por los AN 515. Por ejemplo, algunos casos describen un satélite que tiene un sistema de antenas que irradia un área de cobertura satelital y tanto los AN como las terminales de usuario se distribuyen geográficamente en toda el área de cobertura satelital (p. ej., como en la Figura 27). El número de haces que pueden formarse en el área de cobertura satelital, y los tamaños (de las áreas de cobertura del haz) de estos haces, pueden afectarse por los aspectos del diseño del sistema de antena, tal como cantidad y disposición de los elementos de antena, tamaño del reflector, etc. Por ejemplo, el realizar una capacidad muy grande, puede involucrar un despliegue de una cantidad de AN 515 más grande (p. ej., cientos) con la suficiente separación entre los AN 515 para permitir la formación de haces de extremo a extremo. Por ejemplo, como se mencionó anteriormente en relación con la Figura 28, el aumentar la cantidad de AN 515 puede aumentar la capacidad del sistema, aunque con rendimientos decrecientes a medida que la cantidad se incrementa. Cuando un subsistema de antenas admite tanto las terminales 517 de usuario, como los AN 515, lograr dicha implementación con suficiente separación entre los AN 515 puede forzar una distribución geográfica muy amplia de los AN (p. ej., a través de toda el área de cobertura satelital, como en la Figura 27). Prácticamente, lograr dicha distribución puede implicar colocar los AN 515 en lugares no deseados, tal como en áreas con pobre acceso a una red de alta velocidad (p. ej., una pobre infraestructura de fibra de regreso al CPS 505, uno o más océanos, etc.), múltiples ordenamientos jurídicos, en áreas altamente pobladas y/o costosas, etc. Por consiguiente, la colocación de un AN 515 frecuentemente implica varias negociaciones.

Algunos ejemplos de relé 503 de extremo a extremo se diseñan con múltiples subsistemas de antena, lo que permite separar el mantenimiento de dos o más áreas de cobertura diferentes a partir de un solo relé 503 de extremo a extremo. Como se describe más adelante, el relé 503 de extremo a extremo puede incluir por lo menos un primer subsistema de antena que brinda servicio a un área 3450 de cobertura de AN, y por lo menos un segundo subsistema de antenas que brindan servicio a un área 3460 de cobertura de usuario. Debido a que a las áreas 3460 de cobertura y área 3450 de AN se les proporciona servicio mediante diferentes subsistemas de antena, cada subsistema de antena puede diseñarse para satisfacer diferentes parámetros de diseño, y cada área de cobertura puede ser, al menos parcialmente distinta (p. ej., en la geografía, en tamaño y/o densidad del haz, en banda de frecuencia, etc.). Por ejemplo, la utilización de dicho enfoque del subsistema de múltiples antenas puede permitir que las terminales 517 de usuario se distribuyan sobre una superficie relativamente grande de áreas geográfica 3460 (p. ej., la totalidad de los Estados Unidos) para que reciba servicio mediante una gran cantidad de AN 515 distribuidas sobre un área geográfica relativamente pequeña (p. ej., una parte de los Estados Unidos). Por ejemplo, el área 3450 de AN puede ser una fracción (p. ej., inferior a la mitad, inferior a un cuarto, inferior a una quinta parte, inferior a una décima parte) del área 3460 de cobertura de usuario en un área física.

La Figura 41 es una ilustración de un ejemplo del sistema 3400 de formación de haces de extremo a extremo. El sistema 3400 es un sistema de formación de haces de extremo a extremo que incluye: una pluralidad de access nodes (nodos de acceso - AN) 515 distribuidos geográficamente; un relé 3403 de extremo a extremo; y una pluralidad de terminales 517 de usuario. El relé 3403 de extremo a extremo puede ser un ejemplo de un relé 503 de extremo a extremo descrito en la presente descripción. Los AN 515 se distribuyen geográficamente en un área 3450 de cobertura de AN, las terminales 517 de usuario se distribuyen geográficamente en un área 3460 de cobertura de usuario. El área 3450 de cobertura de AN y el área 3460 de cobertura de usuario, están dentro de un área 3403 de cobertura de relé de extremo a extremo, pero el área 3450 de cobertura de AN es diferente del área 3460 de cobertura de usuario. En otras palabras, el área 3450 de AN no es la misma que el área 3460 de cobertura de usuario, sino más bien tiene un área sustancial (no trivial) que no se superpone

con el área de cobertura de usuario (p. ej., más de un cuarto, la mitad, etc. del área 3450 de cobertura de AN). Por ejemplo, en algunos casos, al menos la mitad del área 3450 de cobertura de usuario no se superpone con el área 3460 de cobertura. Como se describió anteriormente (p. ej., en la Figura 5), los AN 515 pueden proporcionar señales a través de una red 518 de distribución hacia un CPS 505 dentro de un segmento terrestre 502, y el CPS 505 puede conectarse a la fuente de datos.

El relé 3403 de extremo a extremo incluye un subsistema 3410 separado de antena de enlace de alimentador y un subsistema 3420 de antena de enlace de usuario. Cada subsistema 3410 de antena de enlace de alimentador y subsistema 3420 de antena de enlace de usuario puede admitir la formación de haces de extremo a extremo. Por ejemplo, como se describe más adelante, cada subsistema de antena puede tener su(s) propio(s) arreglo(s) de elementos de antena cooperativos, su propio reflector(es), etc. El subsistema 3410 de antena de enlace de alimentador puede incluir un arreglo 3415 de elementos 3416 de recepción constituyentes de enlace de alimentador cooperativos y un arreglo 3415 de elementos 3419 de transmisión constituyentes de enlace de alimentador cooperativos. El subsistema 3420 de antena de enlace de usuario puede incluir un arreglo 3425 de elementos 3426 de recepción constituyentes de enlace de usuario cooperativos y un arreglo 3425 de elementos 3429 de transmisión constituyentes de enlace de usuario cooperativos. Los elementos constituyentes son "cooperativos" en el sentido de que el arreglo de dichos elementos constituyentes tiene características que realizan su respectivo subsistema de antena adecuado para la utilización en un sistema de formación de haces. Por ejemplo, un elemento 3426 de recepción constituyente de enlace de usuario dado puede recibir una composición superpuesta de las señales 525 de enlace ascendente de retorno a partir de múltiples áreas 519 de cobertura de haz de usuario (p. ej., todas) de una manera que contribuye a la formación de los haces de usuario de retorno. Un elemento 3429 de transmisión constituyente del enlace de usuario puede transmitir una señal 522 de enlace descendente directo en una manera que se superpone con las transmisiones correspondientes a partir de otros elementos 3429 de transmisión constituyentes de enlace de usuario para formar algunos de todos los haces directos de usuario. Un elemento 3416 de recepción constituyente de enlace de alimentador puede recibir una composición superpuesta de señales 521 de enlace ascendente directo a partir de múltiples AN 515 (p. ej., todas) en una manera que contribuye a la formación de haces directos de usuario (p. ej., mediante la inducción de múltiples trayectos en el relé 3403 de extremo a extremo). Un elemento 3419 de transmisión constituyente de enlace de alimentador dado puede transmitir una señal 527 de enlace descendente de retorno de una manera que se superponga con las transmisiones correspondientes de otros elementos 3419 de transmisión constituyentes de enlace del alimentador para contribuir a la formación de algunos o todos los haces de usuario de retorno (p. ej., al permitir que los AN 515 reciban las señales de retorno compuestas que pueden ponderarse en relación al haz para formar los haces de usuario de retorno).

El relé 3403 de extremo a extremo ilustrativo incluye una pluralidad de transpondedores 3430 de enlace directo y una pluralidad de transpondedores 3440 de enlace de retorno. Los transpondedores pueden ser de cualquier tipo de trayecto de señal de tubería doblada entre los subsistemas de antena. Cada transpondedor 3430 de enlace directo se acopla con uno de los respectivos elementos 3416 de recepción constituyentes de enlace del alimentador con uno de los respectivos elementos 3429 de transmisión constituyentes del enlace de usuario. Cada transpondedor 3440 de enlace de retorno se acopla con uno de los respectivos elementos 3426 de recepción constituyentes de enlace de usuario con uno de los respectivos elementos 3419 de transmisión constituyentes del enlace del alimentador. Algunos ejemplos descritos tienen una correspondencia de uno a uno entre elemento 3426 de recepción constituyente de enlace de usuario y un elemento 3419 de transmisión constituyente de enlace del alimentador (o viceversa), o que cada elemento 3426 de recepción constituyente de enlace de usuario se acopla con "un y solo un" elemento 3419 de transmisión constituyente de enlace de alimentador (o viceversa), o lo similar. En algunos de estos casos, un lado de cada transpondedor se acopla a un único elemento de recepción y el otro lado del transpondedor se acopla con un único elemento de transmisión. En otros de estos casos, uno o ambos lados de un transpondedor puede acoplarse selectivamente (p. ej., mediante un conmutador u otros medios, como se describió anteriormente) con uno de múltiples elementos. Por ejemplo, el relé 3403 de extremo a extremo puede incluir un subsistema 3410 de antena de enlace de alimentador y dos subsistemas 3420 de antena de enlace de usuario; y cada transpondedor puede acoplarse, en un lado, a un solo elemento de enlace de alimentador, y acoplarse selectivamente, en el otro lado, ya sea a un único elemento de enlace de usuario del primer subsistema 3420 de antena de enlace de usuario o a un único elemento de enlace de usuario del segundo subsistema 3420 de antena de enlace de usuario. En dicho casos de acoplamiento selectivo, cada lado de cada transpondedor puede considerarse en cualquier momento dado (p. ej., para una transacción relacionada con una señal en particular) como un acoplamiento con "un y solo un" elemento o lo similar.

Para las comunicaciones directas, las transmisiones desde los AN 515 pueden recibirse (mediante los enlaces 521 ascendentes del alimentador) mediante los elementos 3416 de recepción constituyentes del enlace del alimentador, retransmitidos por los transpondedores 3430 de enlace directo a los elementos 3429 de transmisión constituyentes de enlace de usuario a las terminales 517 de usuario en el área 3460 de cobertura de usuario. Para las comunicaciones de retorno, las transmisiones desde las terminales 517 de usuario pueden recibirse mediante los elementos de recepción constituyentes de enlace de usuario, transmitidas por los transpondedores de enlace de retorno 3440 a los elementos 3419 de transmisión constituyentes del enlace de alimentador y transmitidas por los elementos 3419 de transmisión constituyentes del enlace alimentador a los AN 515 en el área 3450 de cobertura de AN (mediante las señales 527 de enlace descendente del alimentador). La trayectoria completa de la señal desde un AN 515 hacia una terminal 517 de usuario mediante el relé 3403 de extremo a extremo se referencia como el enlace 501 directo de extremo a extremo; y la trayectoria completa de la señal desde una terminal 517 de usuario hacia un AN 515 mediante el relé 3403 de extremo a extremo se referencia

como el enlace 523 de retorno de extremo a extremo. Como se describe en la presente descripción, el enlace 501 directo de extremo a extremo y el enlace de retorno de extremo a extremo pueden incluir cada uno, canales de multitrayectos múltiples para las comunicaciones de enlace y retorno.

En algunos casos, cada una de la pluralidad de nodos de acceso geográficamente distribuidos (p. ej., los AN 515) tiene una salida de señal 521 de enlace ascendente directo ponderado por haz de extremo a extremo. El relé 3403 de extremo a extremo (p. ej., el relé 3403 de extremo a extremo) comprende un arreglo 3415 de elementos 3416 de recepción constituyentes de enlace de alimentador cooperativos en comunicación inalámbrica con los AN 515 distribuidos, un arreglo 3425 de elementos 3419 de transmisión constituyentes de enlace de usuario cooperativo en comunicación inalámbrica con la pluralidad de terminales 517 de usuario, y una pluralidad de transpondedores 3430 de enlace directo. Los transpondedores 3430 de enlace directo son transpondedores “de tubería doblada” (o sin procesamiento), de manera que cada transpondedor envía una señal que corresponde a la señal que se recibe con poco o ningún procesamiento. Por ejemplo, cada transpondedor 3430 de enlace directo puede amplificar y/o traducir la frecuencia de su señal recibida, pero no realiza un procesamiento más complejo (p. ej., no hay demodulación y/o modulación, no hay formación de haces integrados, etc.). En algunos casos, cada transpondedor 3430 de enlace directo acepta una entrada en una primera banda de frecuencia (p. ej., LHCP de 30 GHz) y emite a una segunda banda de frecuencia (p. ej., RHCP de 20 GHz), y cada transpondedor 3440 de enlace de retorno acepta una entrada en la primera banda de frecuencia (p. ej., RHCP de 30 GHz) y emite a la segunda banda de frecuencia (p. ej., LHCP de 20 GHz). Puede usarse cualquier combinación adecuada de frecuencia y/o polarización, y el enlace de usuario y el enlace de alimentador pueden usar el mismo o diferentes rangos de frecuencias. Como se usa en la presente memoria, un rango de frecuencias se refiere a un conjunto de frecuencias usadas para la transmisión/recepción de la señal y puede ser un intervalo contiguo o incluir múltiples intervalos no contiguos (*p. ej*., de manera que un rango de frecuencias dado puede contener frecuencias desde más de una banda de frecuencia, una banda de frecuencia dada puede contener múltiples rangos de frecuencias, *etc*.). Cada transpondedor 3430 de enlace directo se acopla entre un elemento respectivo de los elementos 3416 de recepción constituyentes de enlace de alimentador y un elemento respectivo de los elementos 3419 de transmisión constituyentes de enlace de usuario (p. ej., con una correspondencia de uno a uno). Los transpondedores 3430 de enlace directo convierten las superposiciones de una pluralidad de señales 521 de enlace ascendente directo ponderadas por haz a través de los elementos 3416 de recepción constituyentes de enlace de alimentador en las señales 522 de enlace descendente directo (p. ej., las señales directas de entrada compuestas). La transmisión de señales 522 de enlace descendente directo por los elementos 3429 de transmisión constituyentes de enlace de usuario contribuye a formar un haz de usuario delantero que presta servicios a al menos algunas de las pluralidades de terminales 517 de usuario. (*p. ej*., que puede agruparse en una o más áreas 519 de cobertura de haz de usuario para la transmisión a través de los haces directos de usuario con haz formado correspondiente). Como se describe en la presente memoria, las señales 521 de enlace descendente directo pueden ser ponderadas y sincronizadas por haz de extremo a extremo (p. ej., sincronizadas en fase, y, si se desea, sincronizadas en el tiempo) antes de la transmisión desde los AN 515, lo que puede permitir la superposición deseada de estas señales 521 a los elementos 3416 de recepción constituyentes de enlace de alimentador.

La transmisión de las señales 521 de enlace ascendente directo contribuye a formar el haz directo de usuario en el sentido de que la formación de haces es de extremo a extremo, como se describe en la presente memoria; la formación de haces es el resultado de múltiples etapas, que incluye calcular y aplicar los pesos adecuados a las señales 521 de enlace ascendente directo antes de la transmisión al relé desde los AN 515, inducir la recepción de trayectos múltiples por los múltiples transpondedores 3430 de enlace directo del relé 3403 de extremo a extremo, y transmitir las señales 522 de enlace descendente directo desde múltiples elementos 3429 de transmisión constituyentes de enlace de usuario. Aún, por motivos de simplicidad, algunas descripciones pueden referirse al haz directo a medida que se forma por la superposición de las señales 522 de enlace descendente directo. En algunos casos, cada una de la pluralidad de terminales 517 de usuario está en comunicación inalámbrica con el arreglo 3425 de elementos 3429 de transmisión constituyentes de enlace de usuario cooperativo para recibir un compuesto (p. ej., una superposición) de las señales 522 de enlace descendente directo transmitidas.

En algunos casos, el relé 3403 de extremo a extremo incluye, además, un arreglo 3425 de elementos 3426 de recepción constituyentes de enlace de usuario en comunicación inalámbrica con las terminales 517 de usuario, un arreglo 3415 de elementos 3419 de transmisión constituyentes de enlace de alimentador cooperativo en comunicación inalámbrica con los AN distribuidos 515, y una pluralidad de transpondedores 3440 de enlace de retorno. Los transpondedores 3440 de enlace de retorno pueden ser similares o idénticos al transpondedor 3430 de enlace directo (p. ej., transpondedores de tubería doblada), excepto que cada uno está acoplado entre un elemento respectivo de los elementos 3426 de recepción constituyentes de enlace de usuario y un elemento respectivo de los elementos 3419 de transmisión constituyentes de enlace de alimentador. La recepción de las señales 525 de enlace ascendente de retorno a través del arreglo de elementos 3426 de recepción constituyentes de enlace de usuario cooperativo forma señales 527 de enlace descendente de retorno en los transpondedores 3440 de enlace de retorno. En algunos casos, cada señal 527 de enlace descendente de retorno es una superposición respectiva de señales 525 de enlace descendente de retorno recibidas por un elemento 3426 de recepción constituyente de enlace de usuario a partir de múltiples terminales 517 de usuario (p. ej., de múltiples áreas 519 de cobertura de haz de usuario). En muchos de dichos casos, cada una de la pluralidad de terminales 517 de usuario está en comunicación inalámbrica con el arreglo de elementos 3426 de recepción constituyentes de enlace de usuario para transmitir una señal 525 de enlace ascendente de retorno respectiva a múltiples de los elementos 3426 de recepción constituyentes de enlace de usuario.

En algunos casos, las señales 527 de enlace descendente de retorno se transmiten por el elemento 3419 de transmisión constituyente de enlace de alimentador a los AN 515 distribuidos geográficamente. Como se describe en la presente memoria, cada AN 515 puede recibir un compuesto superpuesto de las señales 527 de enlace descendente de retorno transmitidas desde los elementos 3419 de transmisión constituyentes de enlace de alimentador. El compuesto superpuesto puede ser un ejemplo de superposición 1706 descrito con referencia a la figura 6. Las señales 527 de enlace descendente de retorno recibidas (denominadas como señales de recepción compuestas) pueden acoplarse a un formador 531 de haz de retorno, que puede combinar, sincronizar, pesar el haz, y realizar cualquier otro procesamiento adecuado. Por ejemplo, el formador 531 de haz de retorno puede pesar las superposiciones recibidas 1706 de las señales 527 de enlace descendente de retorno (es decir, aplicar pesos del haz de retorno a las señales de retorno compuestas) antes de combinar las señales. El formador 531 de haz de retorno puede sincronizar, además, las señales 1706 de retorno compuestas antes de combinar las señales para tener en cuenta al menos las diferencias respectivas de retardo del trayecto entre el relé 3403 de extremo a extremo y los AN 515. En algunos casos, la sincronización puede estar según una señal de baliza (recibida por uno o más o todos los AN 515).

Debido a la naturaleza de extremo a extremo de la formación de haces, la aplicación adecuada de pesos de haz de retorno por el formador 531 de haz de retorno permite la formación de los haces de usuario de retorno, a pesar de que el formador 531 de haz de retorno puede acoplarse al lado del enlace de alimentador de los canales de trayectos múltiples de extremo a extremo, y los haces de usuario pueden formarse en el lado del enlace de usuario de los canales de trayectos múltiples de extremo a extremo. En consecuencia, el formador 531 de haz de retorno puede referirse como que contribuye a la formación de los haces de usuario de retorno (un número de otros aspectos del sistema 3400 contribuye, además, a la formación de haces de retorno de extremo a extremo, tal como la inducción de trayectos múltiples por los transpondedores 3440 de enlace de retorno del relé 3403 de extremo a extremo). Sin embargo, el formador 531 de haz de retorno puede mencionarse como la formación de los haces de usuario de retorno por motivos de simplicidad.

En algunos casos, el relé 3403 de extremo a extremo incluye además un subsistema 3410 de antena de enlace de alimentador para iluminar un área 3450 de AN dentro del cual se distribuyen los AN 515. El subsistema 3410 de antena de enlace de alimentador comprende el arreglo 3415 de elementos 3416 de recepción constituyentes de enlace de alimentador cooperativos. En algunos casos, el relé 3403 de extremo a extremo incluye, además, un subsistema 3420 de antena de enlace de usuario para iluminar un área 3460 de cobertura de usuario dentro del cual la pluralidad de terminales 517 de usuario se distribuye geográficamente (p. ej., en una pluralidad de áreas 519 de cobertura de haz de usuario). El subsistema 3420 de antena de enlace de usuario comprende el arreglo de elementos 3429 de transmisión constituyentes de enlace de usuario cooperativos. En algunos casos, el subsistema 3420 de antena de enlace de usuario incluye un arreglo de recepción de enlace de usuario y un arreglo de transmisión de enlace de usuario (p. ej., arreglos separados semidúplex de los elementos constituyentes de enlace de usuario cooperativos). El arreglo de recepción de enlace de usuario y el arreglo de transmisión de enlace de usuario pueden intercalarse espacialmente (p. ej., para apuntar a un mismo reflector), separarse espacialmente (p. ej., para apuntar a los reflectores de recepción y transmisión, respectivamente), o disponerse de cualquier otra manera adecuada (*p. ej*., como se describe con referencia a la Figura 62). En otros casos, el subsistema 3420 de antena de enlace de usuario incluye los elementos dúplex (p. ej., cada elemento 3429 de transmisión constituyente de enlace de usuario comparte una estructura de radiación con un elemento 3426 de recepción constituyente de enlace de usuario respectivo). De manera similar, en algunos casos, el subsistema 3410 de antena de enlace de alimentador incluye un arreglo de recepción de enlace de alimentador y un arreglo de transmisión de enlace de alimentador, que puede estar espacialmente relacionado de cualquier manera adecuada y puede irradiar directamente, apuntar a un único reflector, apuntar a los reflectores de transmisión y recepción separados, etc. En otros casos, el subsistema 3410 de antena de enlace de alimentador incluye elementos dúplex. El subsistema 3410 de antena de enlace de alimentador y el subsistema 3420 de antena de enlace de usuario pueden tener los mismos o diferentes tamaños de abertura. En algunos casos, el subsistema 3410 de antena de enlace de alimentador y el subsistema 3420 de antena de enlace de usuario funcionan en una misma banda de frecuencia (p. ej., banda Ka, etc.). En algunos casos, el subsistema 3410 de antena de enlace de alimentador y el subsistema 3420 de antena de enlace de usuario funcionan en diferentes bandas de frecuencia (*p. ej*., el enlace de alimentador usa la banda V/W y la banda K/Ka, como se describe a continuación con referencia a las Figuras 64A, 64B, 65A o 65B).

En los ejemplos, tal como los ilustrados por la Figura 41, el área 3450 de cobertura de AN es distinta del área 3460 de cobertura de usuario. El área 3450 de cobertura de AN puede ser un área de cobertura única y contigua, o múltiples áreas de cobertura divididas. De manera similar (e independientemente de si el área 3450 de AN es única o múltiple), el área 3460 de cobertura de usuario puede ser un área de cobertura única y contigua, o múltiples áreas de cobertura divididas. En algunos casos, el área 3450 de AN es un subconjunto del área 3460 de cobertura de usuario. En algunos casos, al menos la mitad del área 3460 de cobertura de usuario no se superpone al área 3450 de AN. Como se describe más adelante, en algunos casos, el subsistema 3410 de antena de enlace de alimentador comprende, además, uno o más reflectores de enlace de alimentador, y el subsistema 3420 de antena de enlace de usuario comprende, además, uno o más reflectores de enlace de usuario. En algunos casos, el reflector de enlace de alimentador es significativamente más grande (p. ej., al menos dos veces el área física, al menos cinco veces, diez veces, cincuenta veces, ochenta veces, etc.) que el reflector de enlace de usuario. En algunos casos, el reflector de enlace de alimentador es aproximadamente la misma área física (p. ej., dentro de 5 %, 10 %, 25 %) que el reflector de enlace de usuario.

En algunos casos, el sistema 3400 funciona en el contexto de funciones de red terrestre, como se describe con referencia a la Figura 5. Por ejemplo, el relé 3403 de extremo a extremo se comunica con los AN 515, que se comunican con un CPS 505 a través de una red 518 de distribución. En algunos casos, el CPS 505 incluye un formador 529 de haz directo y/o un formador 531 de haz de retorno, por ejemplo, como se describe con referencia a la Figura 29. Como se describió anteriormente, el formador 529 de haz directo puede participar en la formación de haces de extremo a extremo directos mediante la aplicación de pesos del haz directo computarizados (p. ej., suministrados por un generador 918 de pesos del haz directo) a las señales 521 de enlace directo; y el formador 531 de haz de retorno puede participar en la formación de haces de extremo a extremo de retorno mediante la aplicación de pesos de haz de retorno computarizados (p. ej., suministrados por un generador 935 de ponderación de haz de retorno) a las señales 527 de enlace de retorno. Como se describió anteriormente, los pesos del haz directo de extremo a extremo y/o el conjunto de pesos de haz de retorno de extremo a extremo pueden calcularse según las ganancias de extremo a extremo estimadas para los canales de trayectos múltiples de extremo a extremo, cada canal de trayectos múltiples de extremo a extremo que acopla de manera comunicativa un AN respectivo de los AN 515 distribuidos con una ubicación respectiva en el área 3460 de cobertura de usuario (p. ej., una terminal 517 de usuario o cualquier ubicación de referencia adecuada) a través de una pluralidad respectiva de los transpondedores 3430 de tubería doblada de enlace directo y/o a través de una pluralidad respectiva de los transpondedores 3440 de tubería doblada de enlace de retorno. En algunos casos, aunque no se muestra, el relé 3403 de extremo a extremo incluye un transmisor de señal de baliza. El transmisor de señal de baliza puede implementarse como se describió anteriormente con referencia al generador de señal de baliza y al módulo 424 de soporte de calibración de la Figura 15. En algunos casos, la señal de baliza generada puede usarse de manera que la pluralidad de AN 515 distribuidos está en comunicación inalámbrica sincronizada en el tiempo con el relé 3403 de extremo a extremo (p. ej., con la pluralidad de elementos 3416 de recepción constituyentes de enlace de alimentador según la señal de baliza).

En algunos casos, el sistema 3400 incluye un sistema para formar una pluralidad de haces directos de usuario mediante el uso de formación de haces de extremo a extremo. Dichos casos incluyen medios para transmitir una pluralidad de señales 521 de enlace ascendente directo desde una pluralidad de ubicaciones geográficamente distribuidas, en donde la pluralidad de señales 521 de enlace ascendente directo se forma a partir de una combinación ponderada de una pluralidad de señales de haz de usuario, y en donde cada señal de haz de usuario corresponde a uno y solo un haz de usuario. Por ejemplo, la pluralidad de ubicaciones geográficamente distribuidas puede incluir una pluralidad de AN 515, y los medios para transmitir la pluralidad de señales 521 de enlace ascendente directo pueden incluir parte o la totalidad de un formador 529 de haz directo, una red 518 de distribución, y los AN 515 distribuidos geográficamente (en comunicación con el relé 3403 de extremo a extremo). Dichos casos pueden incluir, además, medios para retransmitir la pluralidad de señales 521 de enlace ascendente directo para formar una pluralidad de señales 522 de enlace descendente directo. Cada señal 521 de enlace descendente directo se crea mediante la amplificación de una única superposición de la pluralidad de señales 521 de enlace ascendente directo, y la pluralidad 522 de señales de enlace descendente directo se superpone para formar la pluralidad de haces de usuario, en donde cada señal de haz de usuario es dominante dentro del área 519 de cobertura de haz de usuario correspondiente. Por ejemplo, los medios para retransmitir la pluralidad de señales 521 de enlace ascendente directo para formar la pluralidad de señales 522 de enlace descendente directo pueden incluir el relé 3403 de extremo a extremo (en comunicación con una o más terminales 517 de usuario en las áreas 519 de cobertura de haz de usuario) con su pluralidad de trayectos de señal colocadas, que pueden incluir los transpondedores 3430 de enlace directo y los transpondedores 3440 de enlace de retorno.

Algunos de dichos casos incluyen el primer medio para recibir una primera superposición de la pluralidad de señales 522 de enlace descendente directo y recuperar una primera de la pluralidad de señales de haz de usuario. Dichos primeros medios pueden incluir una terminal 517 de usuario (p. ej., incluir una antena de la terminal de usuario, y un módem u otros componentes para recuperar las señales de haz de usuario de las señales de enlace descendente directo). Algunos de dichos casos incluyen, además, el segundo medio (p. ej., que incluye una segunda terminal 517 de usuario) para recibir una segunda superposición de la pluralidad de señales 522 de enlace descendente directo y recuperar una segunda de la pluralidad de señales de haz de usuario. . Por ejemplo, el primer medio de recepción se localiza dentro de una primera área 519 de cobertura de haz de usuario, y el segundo medio de recepción se localiza dentro de una segunda área 519 de cobertura de haz de usuario.

La Figura 42 es una ilustración de un modelo ilustrativo de trayectos de señal para señales que transportan datos de retorno en el enlace 523 de retorno de extremo a extremo. El modelo ilustrativo puede funcionar de manera similar al modelo descrito con referencia a las Figuras 6 – 8, excepto que el relé 3403 de extremo a extremo incluye los trayectos 3502 de señal de enlace de retorno dedicados para las comunicaciones de enlace de retorno. Cada trayecto 3502 de señal de enlace de retorno puede incluir un transpondedor 3440 de enlace de retorno acoplado (*p. ej.,* acoplado selectivamente) entre un elemento 3426 de recepción constituyente de enlace de usuario y un elemento 3419 de transmisión constituyente de enlace de alimentador. Las señales que se originan con las terminales 517 de usuario en *K* áreas 519 de cobertura de haz de usuario se transmiten (como señales 525 de enlace ascendente de retorno) hasta el relé 3403 de extremo a extremo, recibidas por un arreglo de *L* elementos 3426 de recepción constituyente de enlace de usuario, comunicadas a través de *L* trayectos 3502 de señal de enlace de retorno (*p. ej.*, mediante transpondedores 3440 de enlace de retorno) hasta los *L* elementos 3419 de transmisión constituyentes de enlace de alimentador correspondientes, y transmitidos por cada uno de los *L* elementos 3419 de transmisión constituyentes de enlace de alimentador a algunos o todos los *M* AN 515 (similares a lo que se muestra en la Figura 7). De esta

manera, los trayectos 3502 múltiples de señal de enlace de retorno (p. ej., los transpondedores 3440 de enlace de retorno) inducen los trayectos múltiples en las comunicaciones de enlace de retorno. Por ejemplo, la salida de cada trayecto 3502 de señal de enlace de retorno es una señal 527 de enlace descendente de retorno que corresponde a un compuesto recibido de las señales 525 de enlace ascendente de retorno transmitidas desde múltiples áreas 519 de cobertura de haz de usuario, y cada señal 527 de enlace descendente de retorno se transmite a algunos o todos los *M* AN 515 (p. ej., geográficamente distribuidos sobre un área 3450 de AN). Por lo tanto, cada AN 515 puede recibir una superposición 1706 de algunas o todas las señales 527 de enlace descendente de retorno, que pueden, a continuación, comunicarse con un formador 531 de haz de retorno. Como se describió anteriormente, hay *L* (o hasta *L*) maneras diferentes para que una señal pueda pasar de una terminal 517 de usuario ubicada en un área 519 de cobertura de haz de usuario a un AN particular 515. El relé 3403 de extremo a extremo crea de esta manera *L* trayectos entre una terminal 517 de usuario y un AN 515, mencionado colectivamente como un canal 1908 de trayectos múltiples de retorno de extremo a extremo (p. ej., similar a la Figura 8).

Los canales de trayectos múltiples de retorno de extremo a extremo pueden modelarse de la misma manera descrita anteriormente. Por ejemplo, **Ar** es la matriz de radiación de enlace ascendente de retorno *L* x *K*, **Ct** es la matriz de radiación de enlace ascendente de retorno *M* x *L*, y **Eret** es la matriz de carga útil de retorno *L* x *L* para los trayectos de los elementos 3426 de recepción constituyentes de enlace de usuario a los elementos 3419 de transmisión constituyentes de enlace de alimentador. Como se describió anteriormente, el canal de trayectos múltiples de retorno de extremo a extremo desde una terminal 517 de usuario en un área 519 de cobertura de haz de usuario particular hacia un AN 515 particular es el efecto neto de *L* trayectos diferentes de señal inducidos por *L* trayectos 3502 de señal de enlace de retorno únicos a través del relé 3403 de extremo a extremo. Con áreas 519 de cobertura de haz de usuario *K* y los *M* AN 515, puede haber *M* x *K* canales de trayectos múltiples de retorno de extremo a extremo inducidos en el enlace 523 de retorno de extremo a extremo (a través del relé 3403 de extremo a extremo), y cada uno puede modelarse individualmente para calcular un elemento correspondiente de una matriz del canal de retorno *M* x *K* **Hret** ($\mathbf{C_t}$ x **Eret** x **Ar**). Como se señaló anteriormente (p. ej., con referencia a las Figuras 6 – 8), no todos los AN 515, las áreas 519 de cobertura de haz de usuario, y/o transpondedores 3440 de enlace de retorno tienen que participar en los canales de trayectos múltiples de retorno de extremo a extremo. En algunos casos, el número de haces de usuario *K* es mayor que el número de transpondedores *L* en el trayecto de señal de los canales de trayectos múltiples de retorno de extremo a extremo; y/o el número de AN 515 *M*, es mayor que el número de transpondedores 3440 de enlace de retorno *L* en el trayecto de señal de los canales de trayectos múltiples de retorno de extremo a extremo. Como se describe con referencia a la Figura 5, el CPS 505 puede permitir la formación haces de usuario de retorno mediante la aplicación de pesos de haz de retorno a las señales 527 de enlace descendente de retorno recibidas (las señales recibidas, después de la recepción se denominan como señales 907 de retorno compuestas, como se explica más adelante). Los pesos de haz de retorno pueden calcularse en base al modelo de los trayectos de señal *M* x *K* para cada canal de trayectos múltiples de retorno de extremo a extremo que acopla las terminales 517 de usuario en un área 519 de cobertura de haz de usuario con una de la pluralidad de AN 515.

La Figura 43 es una ilustración de un ejemplo de modelo de los trayectos de señales para las señales que transportan datos en el enlace 501 directo de extremo a extremo. El modelo ilustrativo puede funcionar de manera similar al modelo descrito con referencia a las Figuras 9 – 11, excepto que el relé 3403 de extremo a extremo incluye los trayectos 3602 de señal de enlace directo dedicados para las comunicaciones de enlace directo. Cada trayecto 3602 de señal de enlace directo puede incluir un transpondedor 3430 de enlace directo acoplado entre un elemento 3416 de recepción constituyente de enlace de alimentador y un elemento 3429 de transmisión constituyente de enlace de usuario. Como se describió anteriormente, cada señal 521 de enlace ascendente directo es ponderada por el haz (p. ej., en un formador 529 de haz directo en el CPS 505 del segmento terrestre 502) antes de la transmisión de un AN 515. Cada AN 515 recibe una señal 521 de enlace ascendente directo única y transmite la señal 521 de enlace ascendente directo única a través de uno o más *M* enlaces ascendentes (p. ej., de manera sincronizada en el tiempo). Las señales 521 de enlace ascendente directo se reciben desde las ubicaciones geográficamente distribuidas (p. ej., desde los AN 515) por algunos o todos los transpondedores 3430 de enlace directo en una manera superpuesta que crea señales 545 directas de entrada compuestas. Los transpondedores 3430 de enlace directo reciben simultáneamente señales 545 directas de entrada compuesta, aunque con sincronización ligeramente diferente debido a las diferencias en las ubicaciones de cada elemento 3416 de recepción constituyente de enlace de alimentador receptor asociado con cada transpondedor 3430 de enlace directo. Por ejemplo, a pesar de que cada elemento 3416 de recepción constituyente de enlace de alimentador puede recibir un compuesto de la misma pluralidad de señales 521 de enlace ascendente directo, las señales 545 directas de entrada compuestas recibidas pueden ser ligeramente diferentes. Las señales 545 directas de entrada compuestas son recibidas por *L* transpondedores 3430 de enlace directo a través de los elementos 3416 de recepción constituyentes de enlace de alimentador respectivos, comunicados a través de *L* transpondedores 3430 de enlace directo a los *L* elementos 3429 de transmisión constituyente de enlace de usuario correspondientes, y transmitidos por los *L* elementos 3429 de transmisión constituyente de enlace de usuario a una o más de las *K* áreas 519 de cobertura de haz de usuario (p. ej., como señal 522 de enlace descendente directo, cada una que corresponde a una señal 545 respectiva de las señales directas de entrada compuestas recibidas). De esta manera, los trayectos 3602 múltiples de la señal de enlace directo (p. ej., transpondedores 3430 de enlace directo) inducen los trayectos múltiples en las comunicaciones de enlace directo. Como se describió anteriormente, existen *L* maneras diferentes (o hasta *L*) para que una señal pueda pasar de un AN 515 a una terminal 517 de usuario particular en un área 519 de cobertura de haz de usuario. El relé 3403 de extremo a extremo induce de esta manera trayectos múltiples de la señal (p. ej., hasta *L*) entre un AN 515 y una terminal 517 de usuario (o un

área 519 de cobertura de haz de usuario), que pueden mencionarse colectivamente como un canal 2208 de trayectos múltiples directas de extremo a extremo (p. ej., similar a la Figura 10).

Los canales 2208 de trayectos múltiples directos de extremo a extremo pueden modelarse de la misma manera descrita anteriormente. Por ejemplo, **Cr** es la matriz de radiación de enlace ascendente directo *L* x *M*, **At** es la matriz de radiación de enlace descendente directo *K* x *L*, y **Efwd** es la matriz de carga útil directa *L* x *L* para los trayectos de los elementos 3416 de recepción constituyentes de enlace de alimentador a los elementos 3429 de transmisión constituyente de enlace de usuario. En algunos casos, la matriz de carga útil directa **Efwd** y la matriz de carga útil de retorno **Eret** pueden ser diferentes para reflejar diferencias entre los trayectos 3602 de la señal de enlace directo y los trayectos 3502 de la señal de enlace de retorno. Como se describió anteriormente, el canal de trayectos múltiples directos de extremo a extremo de un AN particular 515 a una terminal 517 de usuario en un área de cobertura 519 de haz de usuario particular es el efecto neto de *L* diferentes trayectos de señal inducidos por *L* trayectos 3602 de señal de enlace directo únicos a través del relé 3403 de extremo a extremo. Con las *K* áreas 519 de cobertura de haz de usuario y los *M* AN 515, puede haber canales de trayectos múltiples directos de extremo a extremo *M* x *K* inducidos en el enlace 501 directo de extremo a extremo, y cada uno puede modelarse individualmente para calcular un elemento correspondiente de una matriz del canal directo *M* x *K* **Hfwd** (**At** x **Efwd** x **Cr**). Como se señaló con referencia a la dirección de retorno, no todos los AN 515, las áreas 519 de cobertura de haz de usuario, y/o transpondedores 3430 de enlace directo tienen que participar en los canales de trayectos múltiples directos de extremo a extremo. En algunos casos, el número de haces de usuario *K* es mayor que el número de transpondedores *L* en el trayecto de señal del canal de trayectos múltiples directas de extremo a extremo; y/o el número de AN 515 *M*, es mayor que el número de transpondedores 3430 de enlace directo *L* en el trayecto de señal del canal de trayectos múltiples directos de extremo a extremo. Como se describe con referencia a la Figura 5, puede calcularse un peso de haz adecuado para cada una de la pluralidad de canales de trayectos múltiples directos de extremo a extremo por el CPS 505 para formar los haces directos de usuario. El uso de múltiples transmisores (AN 515) a un solo receptor (terminal 517 de usuario) puede proporcionar diversidad de trayecto de transmisión para permitir la transmisión satisfactoria de información a cualquier terminal 517 de usuario en presencia del canal de trayectos múltiples inducido intencionalmente.

Las Figuras 41 – 43 describen relés 3403 de extremo a extremo implementados con los transpondedores 3430 de enlace directo separados y los transpondedores 3440 de enlace de retorno. Las Figuras 44A y 44B muestran una ilustración de un trayecto 3700 de señal directa ilustrativo (como el trayecto 3602 de señal directa de la Figura 43) y el trayecto 3750 de señal de retorno (como el trayecto 3502 de señal de retorno de la Figura 42), respectivamente. Como se describió anteriormente, el trayecto 3700 de señal directa incluye un transpondedor 3430 de enlace directo acoplado entre un elemento 3416 de recepción constituyente de enlace de alimentador y un elemento 3429 de transmisión constituyente de enlace de usuario. El trayecto 3750 de señal de retorno incluye un transpondedor 3440 de enlace de retorno acoplado entre un elemento 3426 de recepción constituyente de enlace de usuario y un elemento 3419 de transmisión constituyente de enlace de alimentador. En algunos casos, cada transpondedor 3430 de enlace directo y cada transpondedor 3440 de enlace de retorno es un transpondedor de polarización cruzada.

La Figura 63A ilustra una asignación 6300 del espectro de frecuencias ilustrativo según varias modalidades de la presente descripción. La asignación 6300 del espectro de frecuencias ilustrativo de la Figura 63A ilustra dos rangos 6325a y 6330a de frecuencia. Aunque se ilustra como separado, los rangos de frecuencias 6325a y 6330a pueden de manera alternativa estar adyacentes (*p. ej*., un intervalo contiguo). Como se ilustra en la Figura 63A, el transpondedor 3430 de enlace directo recibe una señal 6340a de enlace ascendente directo (*p. ej*., que puede ser un ejemplo de señal 521 de enlace ascendente directo de la Figura 41) en un rango 6330a de frecuencias del enlace ascendente con left-had circular polarization (polarización circular izquierda - LHCP) y emite una señal 6345a de enlace descendente directo (*p. ej*., que puede ser un ejemplo de señal 522 de enlace descendente directo de la Figura 41) en un rango 6325a de frecuencias de enlace descendente con una right-had circular polarization (polarización circular derecha - RHCP); y cada transpondedor 3440 de enlace de retorno recibe una señal 6350a de enlace ascendente de retorno (*p. ej*., que puede ser un ejemplo de la señal 525 de enlace ascendente de retorno de la Figura 41) en el rango 6330a de frecuencias de enlace ascendente con right-had circular polarization (polarización circular derecha - RHCP) y emite una señal 6355a de enlace descendente de retorno (*p. ej*., que puede ser un ejemplo de señal 527 de enlace descendente de retorno de la Figura 41) en el rango 6325a de frecuencias de enlace descendente con left-had circular polarization (polarización circular izquierda - LHCP). Uno de dichos casos (*es decir*, siguiendo las polarizaciones descritas en el ejemplo anterior) se ilustra siguiendo solo las líneas continuas de las Figuras 44A y 44B.

En otros casos, algunos o todos los transpondedores pueden proporcionar un par de trayectos de señal bipolar. Por ejemplo, siguiendo tanto las líneas continuas como discontinuas de las Figuras 44A y 44B, los transpondedores 3430 de enlace directo y los transpondedores 3440 de enlace de retorno pueden recibir señales 521 de enlace ascendente directo a la misma frecuencia o diferente frecuencia de enlace ascendente con ambas polarizaciones (LHCP y RHCP) y ambas pueden emitir señales 522 de enlace descendente directo a la misma frecuencia o diferente frecuencia de enlace descendente con ambas polarizaciones (RHCP y LHCP). Dichos casos pueden usar cualquier tipo adecuado de técnicas de mitigación de interferencia (*p. ej*., mediante el uso de división de tiempo, división de frecuencia, separación espacial, *etc.*) y puede permitir que múltiples sistemas funcionen en paralelo. Una de dicha implementación de división de frecuencia se muestra en la asignación 6301 de frecuencia ilustrativa de la Figura 63B. En la asignación 6301 de frecuencia ilustrativa, cada transpondedor 3430 de enlace directo recibe una

señal 6340b de enlace ascendente directo sobre una primera parte del rango 6330b de frecuencias de enlace ascendente (*p. ej*., mediante el uso de ambas polarizaciones) y emite una señal 6345b de enlace descendente directo sobre una primera parte de un rango 6325b de frecuencias de enlace descendente (*p. ej*., mediante el uso de ambas polarizaciones). En algunos casos, los anchos de banda de las primeras porciones y las segundas porciones de los rangos 6330b y 6325b de frecuencia puede ser iguales. En otros ejemplos, los anchos de banda de las primeras porciones y las segundas porciones pueden ser diferentes. Como un ejemplo, cuando el tráfico fluye a través del relé 3403 de extremo a extremo predominantemente en la dirección directa (representada por el enlace 501 directo ETE en la Figura 41), los anchos de banda de las primeras porciones de los rangos 6330b y 6325b de frecuencias usados para las comunicaciones de enlace directo pueden ser mayores (*p. ej*., significativamente mayores) que los anchos de banda de las segundas porciones usados para las comunicaciones de enlace de retorno.

En algunos casos, el relé 3403 de extremo a extremo incluye un gran número de transpondedores, tal como 512 transpondedores de enlace directo 3430 y 512 transpondedores 3440 de enlace de retorno (*p. ej*., 1.024 transpondedores en total). Otras implementaciones pueden incluir números más pequeños de transpondedores, tal como 10, o cualquier otro número adecuado. En algunos casos, los elementos de antena se implementan como estructuras dúplex, de manera que cada elemento de antena receptora comparte estructura con un elemento de antena transmisora respectivo. Por ejemplo, cada elemento de antena ilustrado puede implementarse como dos de cuatro puertos de guía de ondas de una estructura de radiación adaptada tanto para la transmisión como para la recepción de señales. En algunos casos, solo los elementos de enlace de alimentador, o solo los elementos de enlace de usuario, son dúplex. Otras implementaciones pueden usar diferentes tipos de polarización. Por ejemplo, en algunas implementaciones, los transpondedores pueden acoplarse entre un elemento de antena receptora y un elemento de antena transmisora de la misma polaridad.

Tanto el transpondedor 3430 de enlace directo ilustrativo como el transpondedor 3440 de enlace de retorno pueden incluir algunos o todos los LNA 3705, convertidores de frecuencia y filtros asociados 3710, amplificadores 3715 de canal, desfasadores 3720, amplificadores 3725 de potencia (p. ej., traveling wave tube amplifiers [amplificadores de tubo de ondas progresivas – TWTA], solid state power amplifiers (amplificadores de potencia de estado sólido - SSPA), etc.) y filtros 3730 de armónicos. En implementaciones bipolares, como se muestra, cada polo es su propio trayecto de señal con su propio conjunto de componentes del transpondedor. Algunas implementaciones pueden tener más o menos componentes. Por ejemplo, los convertidores de frecuencia y los filtros asociados 3710 pueden ser útiles en casos donde las frecuencias de enlace ascendente y descendente son diferentes. Como un ejemplo, cada transpondedor 3430 de enlace directo puede aceptar una entrada en una primera banda de frecuencia y puede emitir en una segunda banda de frecuencia; y cada transpondedor 3440 de enlace de retorno puede aceptar una entrada en la primera banda de frecuencia y puede emitir en la segunda banda de frecuencia.

En algunos casos, se usan múltiples subbandas (p. ej., siete subbandas de 500 MHz, como se describió anteriormente). Por ejemplo, en algunos casos, pueden proporcionarse transpondedores que funcionan sobre las mismas subbandas como se usa en una implementación de múltiples subbandas de la red terrestre, para permitir de manera eficaz múltiples sistemas de formación de haces de extremo a extremo independientes y paralelos a través de un único relé de extremo a extremo (cada sistema de formación de haces de extremo a extremo que funciona en una subbanda diferente). En dichos casos, cada transpondedor puede incluir múltiples convertidores de frecuencia y filtros asociados 3710, y/u otros componentes, dedicados al manejo de uno o más de las subbandas. El uso de múltiples subbandas de frecuencia puede permitir requisitos relajados sobre la amplitud y la respuesta de fase del transpondedor, ya que la red terrestre puede determinar por separado los pesos de haz usados en cada una de las subbandas, calibrar de manera eficaz la amplitud de banda de paso y variación de fase de los transpondedores. Por ejemplo, con los transpondedores directos y de retorno separados, y mediante el uso de 7 subbandas, puede usarse un total de 14 pesos de haz diferentes para cada haz (es decir 7 subbandas * 2 direcciones (directa y de retorno)). En otros casos, un sistema de formación de haces de extremo a extremo de gran ancho de banda puede usar múltiples subbandas en la red terrestre, pero puede pasar una o más (o todas) subbandas a través de los transpondedores de banda ancha (*p. ej*., se pasan 7 subbandas, cada una de 500 MHz de ancho a través de un transpondedor de ancho de banda de 3,5 GHz). En algunos casos, cada trayectoria del transpondedor incluye solo un LNA 3705, un amplificador 3715 de canal, y un amplificador 3725 de potencia. Algunas implementaciones del relé 3403 de extremo a extremo incluyen controladores de desplazamiento de fase y/u otros controladores que pueden establecer individualmente las fases y/u otras características de cada transpondedor como se describió anteriormente.

Los elementos de antena pueden transmitir y/o recibir señales en cualquier manera adecuada. En algunos casos, el relé 3403 de extremo a extremo tiene uno más reflectores alimentados por arreglos. Por ejemplo, el subsistema 3410 de antena de enlace de alimentador puede tener un reflector de enlace de alimentador tanto para transmitir como para recibir, o un reflector de transmisión de enlace de alimentador y un reflector de recepción de enlace de alimentador separados. En algunos casos, el subsistema 3410 de enlace de alimentador de la antena puede tener múltiples reflectores de enlace de alimentador para la transmisión o recepción, o ambos. De manera similar, el subsistema 3420 de antena de enlace de usuario puede tener un reflector de enlace de usuario tanto para transmitir como para recibir, o un reflector de transmisión de enlace de usuario y un reflector de recepción de enlace de usuario separados. En algunos casos, el subsistema 3420 de enlace de usuario puede tener múltiples reflectores de enlace de usuario para la transmisión o recepción, o ambos. En un caso ilustrativo, el subsistema 3410 de antena de

enlace de alimentador comprende un arreglo de estructuras de radiación, y cada estructura de radiación incluye un elemento 3416 de recepción constituyente de enlace de alimentador y un elemento 3419 de transmisión constituyente de enlace de alimentador. En dicho caso, el subsistema 3410 de antena de enlace de alimentador puede incluir, además, un reflector de enlace de alimentador que ilumina los elementos 3416 de recepción constituyentes de enlace de alimentador y se ilumina por los elementos 3419 de transmisión constituyentes de enlace de alimentador. En algunos casos, el reflector se implementa como múltiples reflectores, que pueden ser de diferentes formas, tamaños, orientaciones, etc. En otros casos, el subsistema 3410 de antena de enlace de alimentador y/o el subsistema 3420 de antena de enlace de usuario se implementa sin reflectores, por ejemplo, como un arreglo de radiación directa.

Como se describió anteriormente, lograr una distribución relativamente uniforme de AN 515 a través de un área de cobertura de usuario puede implicar colocar AN 515 en ubicaciones indeseables. Por lo tanto, la presente descripción describe técnicas para permitir que los AN 515 se distribuyan geográficamente dentro de un área 3450 de AN que es más pequeña (a veces considerablemente) que el área 3460 de cobertura de usuario. Por ejemplo, en algunos casos, el área del AN 3450 puede ser menor que la mitad, menor que una cuarta, menor que una quinta, o menor que una décima parte del área física del área 3460 de cobertura de usuario. Además, múltiples áreas 3450 de AN pueden usarse simultáneamente o pueden activarse para su uso en diferentes momentos. Como se describe en la presente memoria, estas técnicas incluyen el uso de diferentes tamaños de los reflectores, reflector compuesto, selectivamente acoplado de los transpondedores, un usuario diferente del vínculo por medio del enlace de los subsistemas de la antena, *etc.*

Como se describió anteriormente, separar el subsistema 3410 de antena de enlace de alimentador y el subsistema 3420 de antena de enlace de usuario puede permitir proporcionar servicio a una o más áreas 3450 de AN que son distintas de una o más áreas 3460 de cobertura de usuarios. Por ejemplo, el subsistema 3410 de antena de enlace de alimentador puede implementarse con un reflector que tiene un área física apreciablemente mayor que el reflector del área 3460 de cobertura de usuario. El reflector más grande puede permitir que un gran número de AN 515 se distribuya geográficamente en un área 3450 de cobertura de AN apreciablemente más pequeña, tal como en un pequeño subconjunto del área 3460 de cobertura de usuario. Se muestran algunos ejemplos en las Figuras 45A-45G. De manera alternativa , un área 3450 de AN que es un subconjunto del área de cobertura de usuario puede desplegarse mediante el uso de un único subsistema de antenas tanto para el enlace de alimentador como para el enlace de usuario mediante el uso de diferentes rangos de frecuencias para el enlace de alimentador y los enlaces de usuario. Por ejemplo, un área 3450 de AN, que es una cuarta parte del área de un área 3460 de cobertura de usuario, puede desplegarse mediante el uso de una frecuencia transportadora del enlace de alimentador que es aproximadamente el doble de la frecuencia transportadora del enlace de usuario. En un ejemplo, el usuario de enlace puede utilizar un rango de frecuencias (o rangos) en las bandas k/Ka (*p. ej*., aproximadamente 30 GHz), mientras que el rango de frecuencias de enlace de alimentador utiliza los rangos de frecuencia en las bandas V/W (*p. ej*., aproximadamente 60 GHz). En algunos casos, el área 3450 de AN será concéntrica con el área 3460 de cobertura de usuario.

La Figura 45A muestra un ejemplo de un relé 3403 de extremo a extremo (p. ej., un satélite) del área 3800 de cobertura de Tierra visible. En el relé 3403 de extremo a extremo ilustrativo, el subsistema 3410 de antena de enlace de alimentador incluye un reflector de enlace de alimentador de 18 metros, y el subsistema 3420 de antena de enlace de usuario incluye un reflector de enlace de usuario de 2 metros (p. ej., el área del reflector de enlace de alimentador es aproximadamente ochenta veces más grande que el área del reflector de enlace de usuario). Cada subsistema de antenas incluye, además, un arreglo de 512 elementos de recepción/transmisión constituyentes cooperativos. El relé 3403 de extremo a extremo ilustrativo puede incluir 512 transpondedores 3430 de enlace directo (p. ej., la formación de 512 trayectos 3700 de la señal directa como se muestra en la Figura 44A) y 512 transpondedores 3440 de enlace de retorno (p. ej., la formación de 512 trayectos 3750 de señal de retorno como se muestra en la Figura 44B). Desde una posición orbital geoestacionaria del relé 3403 de extremo a extremo, el subsistema 3420 de antena de enlace de usuario ilumina el área 3460 de cobertura de usuario que se extiende sustancialmente sobre el área 3800 de cobertura terrestre visible mientras que el reflector del enlace de alimentador ilumina un área 3450 de AN que es una fracción 3460del área de cobertura de usuario. Aunque el área 3450 de AN es un subconjunto pequeño del área 3460 de cobertura de usuario grande, puede admitirse una gran capacidad del sistema que incluye un gran número de haces de usuario mediante el uso de formaciones de haces de extremo a extremo con un gran número de AN 515 en el área 3450 de AN (*p. ej*., usado cooperativamente en un clúster AN). Por ejemplo, cientos AN 515 cooperativos pueden distribuirse geográficamente dentro de un área 3450 de AN mostrada en la Figura 45A como una región sombreada en la parte este de Estados Unidos. En un ejemplo, 597 AN 515 se distribuye geográficamente dentro de un área 3450 de AN.

La Figura 46A muestra la cobertura de la tierra visible con formadores de haces de extremo a extremo aplicados entre los AN 515 en el área 3450 de AN y el área 3460 de cobertura de usuario. El área 3460 de cobertura de usuario incluye 625 áreas 519 de cobertura de haz de usuario que proporciona servicio a las terminales 517 de usuario dentro del área 3800 de cobertura de la tierra visible.

La Figura 45B muestra un ejemplo de un relé 3403 de extremo a extremo (*p. ej*., un satélite) del área 3900 de cobertura Estados Unidos continental (CONUS). El relé 3403 de extremo a extremo ilustrativo es similar al ejemplo mostrado en la Figura 45A, excepto que el subsistema 3410 de antenas de enlace de alimentador usa un reflector de enlace de alimentador de 18 metros mientras que el subsistema 3420 de antena de enlace de usuario incluye un reflector de enlace de usuario de 5 metros (*p. ej*., el área del reflector de enlace de alimentador es aproximadamente treinta veces más grande que el área del reflector de enlace de usuario). El área 3450 de AN (*p. ej*., el área que contiene el clúster AN cooperativo) es la misma que la de la Figura 45A: una región que es un subconjunto pequeño del área 3460 de cobertura de usuario en la parte este de Estados Unidos que tiene, *p. ej*., 597 AN 515 distribuidos en esta.

La Figura 46B muestra el área 3900 de cobertura CONUS con formadores de haces de extremo a extremo aplicados entre los AN 515 en el área 3450 de AN y el área 3460de cobertura de usuario. El área 3460 de cobertura de usuario incluye 523 áreas 519 de cobertura de haz de usuario que proporcionan servicio a las terminales 517 de usuario dentro del área de cobertura CONUS.

Diversas ubicaciones relativas y geográficas del clúster AN se admiten en la presente invención. Como se describió en la presente memoria, un relé 3403 de extremo a extremo, como los ilustrados en las Figuras 49A y 49B, puede proporcionar un servicio de comunicaciones entre una o más áreas 3460 de cobertura de usuario y AN 515 localizadas en una o más áreas 3450 de AN. En algunos ejemplos, tal como el ejemplo ilustrado en la Figura 45B, el área 3450 de AN puede superponerse o ubicarse totalmente dentro del área 3460 de cobertura de usuario. De manera adicional o alternativa, un área 3450 de AN puede no superponerse con un área 3460 de cobertura de usuario como se ilustra en la Figura 45C. En algunos casos, dicha disposición puede requerir el uso de un mecanismo de lazo cerrado especial, que se describe a continuación con referencia a las Figuras 55A - 55C.

Como otro ejemplo de una posible disposición geográfica, el clúster AN (*p. ej*., el área 3450 de AN) puede superponerse al menos parcialmente con un área de demanda baja del área 3460de cobertura de usuario. Se muestra un ejemplo en la Figura 45D, en donde el área 3450 de AN se ubica en un área de demanda baja del área 3460 de cobertura de usuario. En algunos casos, un área de demanda baja puede determinarse en base a la demanda del servicio de comunicaciones por debajo de un umbral de demanda. Por ejemplo, el área de demanda baja puede tener una demanda promedio menor que una fracción (*p. ej*., la mitad, la cuarta parte, *etc.*) de la demanda promedio a través de otras áreas a las que se le proporcionó servicio del área 3460 de cobertura de usuario. Dicho despliegue puede admitir una capacidad del sistema aumentada en áreas de mayor demanda (*p. ej*., permitiendo que las porciones del espectro de frecuencias asociado con las comunicaciones del enlace de alimentador en el área de demanda baja se usen para los haces de usuario en las áreas de mayor demanda). Es decir, un ancho de banda del sistema dado (que pueden ser rangos de frecuencias contiguos o múltiples no contiguos) puede usarse en su mayor parte o completamente para proporcionar servicio a los haces de usuario en las áreas fuera del área de demanda baja, y pueden asignarse en su mayor parte a las comunicaciones del enlace de alimentador dentro del área de demanda baja, con los haces de usuario en el área de demanda baja asignados a una parte más pequeña (*p. ej*., menor que la mitad) del ancho de banda del sistema. Por tanto, en algunos casos, las comunicaciones del enlace de usuario en áreas de mayor demanda pueden usar al menos una parte de la misma banda de frecuencia usada para las comunicaciones del enlace de alimentador en un área de demanda baja en la cual se localiza el área 3450 de nodos de acceso. En este ejemplo, el área 3450 de AN está contenida completamente dentro del área 3460 de cobertura de usuario, aunque ambas pueden superponerse parcialmente solo en algunos casos.

En algunos casos, el clúster AN puede ubicarse dentro de (*p. ej*., en la superficie de) un cuerpo acuático (*p. ej*., un lago, el mar, o el océano). Se muestra un ejemplo en la Figura 45E, que muestra un área 3460 de cobertura de usuario que incluye los Estados Unidos y un área 3450 de AN ubicada fuera de la costa este de Estados Unidos. En algunos casos, el área de AN puede superponerse al menos parcialmente con una superficie (*p. ej*., algunos AN 515 pueden no ubicarse dentro del cuerpo acuático). Por tanto, el ejemplo descrito con respecto a la Figura 45E incluye un escenario en el cual solo un AN 515 se localiza dentro del cuerpo acuático, todos los AN 515 se localizan dentro del cuerpo acuático, o algunos números intermedios de AN 515 se localizan dentro del cuerpo acuático. Los beneficios de la localización de las partes o de todo el clúster AN en un cuerpo acuático incluyen la disponibilidad de grandes áreas para el clúster AN cerca de masas de tierra donde se desea la cobertura del usuario, la flexibilidad en la colocación de AN 515 dentro del área 3450 de AN, y la competencia reducida para el espectro. Por ejemplo, las consideraciones regulatorias tales como la interferencia y compartimiento de banda con otros servicios puede reducirse cuando un clúster AN no se ubica sobre un país o masa de tierra particular

Los AN 515 ubicados dentro del cuerpo acuático pueden ubicarse sobre las plataformas fijas o flotantes. Los ejemplos de plataformas fijas utilizadas para los AN 515 incluyen plataformas de aceite fijas, turbinas de viento fijas mar adentro, u otras plataformas instaladas sobre muelles. Los ejemplos de plataformas flotantes incluyen barcazas, boyas, plataformas petrolíferas marinas, turbinas de viento mar adentro flotantes, y lo similar. Algunas las plataformas fijas o flotantes pueden ya tener fuentes de energía, mientras que en otras plataformas fijas o flotantes dedicadas para su uso en un clúster AN pueden configurarse con la generación de energía (*p. ej*., un generador, generación de energía solar, turbinas eólicas, *etc.*). La distribución de las señales 521 directas específicas del nodo de acceso desde un formador 529 de haces a los AN 515 y las señales 1706 de retorno compuestas desde los AN 515 al formador 531 de haz pueden proporcionarse a través de una red 518 de distribución que incluye enlaces cableados o inalámbricos entre el

formador de haces o una plataforma de distribución y los AN 515. En algunos casos, la red 518 de distribución puede incluir un cable submarino acoplado con los formadores de haces y AN 515 distribuidos dentro del cuerpo acuático como se describió con referencia a la figura 45G. El cable submarino puede también proporcionar una fuente de energía. La red de distribución puede incluir de manera adicional o alternativa enlaces de RF inalámbricos (*p. ej*., enlaces de transmisión de datos de microondas) o enlaces ópticos de espacio libre. En algunos ejemplos, el formador de haces, un punto de distribución para el formador de haces, o la red 518 de distribución como un todo pueden localizarse dentro del cuerpo acuático. Por ejemplo, la Figura 58 muestra un CPS 505 dispuesto sobre una plataforma 5805 mar adentro (*p. ej*., fija o flotante) que comunica el tráfico a un nodo de red terrestre y se acopla a los AN 515 en el cuerpo acuático a través de una red 518 de distribución.

En algunos casos, al menos algunos AN 515 en el clúster AN pueden ser móviles (*p. ej*., pueden ubicarse en las plataformas móviles). Por ejemplo, los AN 515 dentro de un cuerpo acuático pueden ubicarse en barcos o barcazas, que pueden controlarse para reubicar la posición como se ilustra por la plataforma flotante 5805 en la Figura 58. De manera similar, los AN 515 terrestres pueden localizarse sobre las plataformas vehiculares mientras los AN 515 aéreos pueden localizarse sobre plataformas móviles tales como embarcaciones aéreas, globos, vehículos aéreos no tripulados, y lo similar. En algunos ejemplos, los AN 515 móviles, pueden utilizarse para optimizar la distribución de AN 515 dentro del área 3450 de AN. Por ejemplo, los AN 515 pueden reubicarse para una mejor distribución geográfica dentro del área 3450 de AN, o los AN 515 pueden reubicarse cuando falla uno o más AN 515 (*p. ej*., para redistribuir los AN 515 disponibles). Las ponderaciones de formaciones de haces pueden volver a calcularse para las nuevas posiciones y los AN 515 pueden volver a sincronizarse en tiempo y fase para ajustarse a las nuevas posiciones, como se describió anteriormente.

En algunos ejemplos, el área AN 3450 puede reubicarse mediante el uso de AN 515 móviles (*p. ej*., uno o más AN 515 en el clúster AN pueden ubicarse en plataformas móviles). Se muestra un ejemplo en la Figura 45F, que muestra un área 3450a de AN inicial que incluye múltiples AN 515 geográficamente distribuidos dentro de un área 3450a de AN. Por varias razones, el clúster AN puede reubicarse para estar dentro de una nueva área 3450b de AN. Por ejemplo, un clúster AN móvil de AN puede usarse para adaptarse a los cambios en la posición del relé 3403 de extremo a extremo. En un ejemplo, una posición u orientación orbital de un relé 3403 de extremo a extremo del satélite cambia debido a un cambio en el despliegue a un nuevo intervalo orbital o debido a un cambio o alineación orbital, y el cambio en el área 3450 del AN se adapta a la nueva posición u orientación orbital. Los AN 515 móviles pueden desplazarse hacia nuevas posiciones dentro de la nueva área 3450b de AN. Adicionalmente, mientras el clúster AN móvil se despliega como localizado dentro de un cuerpo acuático, parte o todos los AN 515 pueden localizarse en tierra (*p. ej*., los AN 515 móviles no necesitan localizarse en un cuerpo acuático). En algunos casos, uno o más AN 515 pueden ubicarse en una embarcación aérea (*p. ej*., un plano, un balón, un avión teledirigido, *etc*.). Además, mientras el ejemplo actual describe la primera y segunda área 3450a y 3450b de AN que son similares en cuanto al tamaño en diferentes ubicaciones, las áreas 3450 de AN en las diferentes ubicaciones pueden ser (*p. ej*., significativamente) diferentes (*p. ej*., debido a una diferencia en el intervalo de inclinación o adaptación de un conjunto de antenas sobre el relé de extremo a extremo). Como un ejemplo, las primera y segunda áreas 3450a y 3450b de AN pueden tener los mismos puntos centrales (o similares) pero tamaños físicos significativamente diferentes (*p. ej*., a través de una combinación de cambio de intervalo orbital y rejunte de la antena del relé de extremo a extremo).

Como un ejemplo, el clúster AN puede ubicarse inicialmente en una primera ubicación 3450a. Mientras está en la primera ubicación 3450a, cada AN 515 del clúster AN puede recibir una señal directa específica del nodo de acceso para la transmisión a través del relé 3403 de extremo a extremo a uno o más terminales de usuario en el área de cobertura de usuario 3460. En algunos aspectos, la señal directa específica del nodo de acceso puede recibirse desde un formador 529 de haz directo a través de una red 518 de distribución, que puede ser un espacio óptico de espacio libre o cualquier otro enlace adecuado. Como se consideró anteriormente, las señales directas de nodo de acceso específico pueden ponderarse adecuadamente por el formador 529 de haces antes de la recepción en el AN 515. Mientras está en la primera ubicación 3450a, cada AN 515 puede sincronizar una señal 521 de enlace ascendente directo para la recepción en el relé 3403 de extremo a extremo de manera que la señal 521 de enlace ascendente directo se alinea en fase y tiempo con otras señales 521 de enlace ascendente directo desde otros AN 515 en el clúster AN. La sincronización puede lograrse mediante el uso de cualquiera de las técnicas descritas en la presente descripción (*p. ej*., mediante balizas de relé).

Posteriormente, los clústeres AN (o partes de los mismos) pueden moverse a una segunda ubicación 3450b. El movimiento puede ser en respuesta a algunos estímulos (*p. ej*., un cambio en la ubicación del relé de extremo a extremo, patrones del tiempo, *etc*.). En la segunda ubicación 3450b, los AN 515 del clúster AN pueden obtener señales directas específicas del nodo de acceso ponderadas (*p. ej*., generadas mediante el uso de una matriz de ponderación de haz actualizada determinada en base a las nuevas ubicaciones de los AN 515 dentro de la nueva área 3450b de AN), sincronizar las transmisiones, y transmitir las señales 521 de enlace ascendente directo al relé 3403 de extremo a extremo. Si bien se describen como realizados en la segunda ubicación, una o más de estas etapas pueden llevarse a cabo antes de alcanzar la segunda ubicación.

En algunos casos, la ubicación y la forma del clúster AN pueden configurarse para aprovechar la infraestructura de red existente. Por ejemplo, como se muestra en la Figura 45G, el área 3450 de AN puede ubicarse cerca de un

cable 4551 submarino existente (*p. ej*., cable de fibra óptica utilizado en las comunicaciones por backbone de Internet, *etc.*). El cable 4551 submarino puede también proporcionar una fuente de energía. La red 518 de distribución (*p. ej*., entre AN) puede incluir de manera adicional o alternativa enlaces de RF inalámbrico (*p. ej*., enlaces de concentración de datos de microondas) o enlaces ópticos de espacio libre. En algunos ejemplos, el formador de haces, un punto de distribución del formador de haces, o la red 518 de distribución, como un todo, pueden ubicarse dentro del cuerpo acuático. Como se muestra en la Figura 45G, una o más áreas AN 3450 pueden conformarse (*p. ej*., utilizando un reflector con forma adecuada, *etc.*) de modo que se minimice la distancia total entre los AN 515 y el cable submarino 4551. El ejemplo de la Figura 45G muestra un área 3450 de AN con forma elíptica, aunque puede usarse cualquier forma adecuada. Además, aunque en la Figura 45G se muestra solo un área 3450 de AN, pueden existir múltiples áreas 3450 de AN (*p. ej*., ubicarse a lo largo del mismo cable submarino 4551 o de cables 4551 submarinos diferentes). Las múltiples áreas 3450 de AN pueden descontinuarse o superponerse al menos parcialmente.

**Múltiples áreas de cobertura**

En los relés 3403 de extremo a extremo ilustrativos descritos anteriormente, el subsistema 3420 de antena de enlace de usuario se describe como un solo subsistema de antenas (p. ej., con un solo reflector de enlace de usuario), y el subsistema 3410 de antena de enlace de alimentador se describe como un solo subsistema de antenas (p. ej., con un solo reflector de enlace de alimentador). En algunos casos, el subsistema 3420 de antena de enlace de usuario puede incluir uno o más subsistemas de antena (p. ej., dos o más subarreglos de elementos de antena constituyentes) asociados con uno o más reflectores de enlace de usuario, y el subsistema 3410 de antena de enlace de alimentador puede incluir uno o más subsistemas de antena asociados con uno o más reflectores de enlace de alimentador. Por ejemplo, algunos relés 3403 de extremo a extremo pueden tener un subsistema 3420 de antena de enlace de usuario que incluye una primera matriz de elementos de recepción/transmisión constituyentes de enlace de usuario asociados con un primer reflector de enlace de usuario (p. ej., cada elemento se dispone para iluminar, y/o que se ilumine por, el primer reflector de enlace de usuario) y un segundo conjunto de elementos de recepción/transmisión constituyentes de enlace de usuario asociados con un segundo reflector de enlace de usuario. En algunos casos, los dos reflectores de enlace de usuario son aproximadamente la misma área física (p. ej., dentro de 5 %, 10 %, 25 %, 50 %) entre sí. En algunos casos, un reflector de enlace de usuario es significativamente más grande (p. ej., al menos dos veces el área física) que el otro. Cada conjunto de los elementos de recepción/transmisión constituyentes de enlace de usuario, y su reflector de enlace de usuario asociado puede iluminar un área 3460 de cobertura de usuario distinta correspondiente. Por ejemplo, las múltiples áreas de cobertura de usuario pueden no superponerse, superponerse parcialmente, superponerse totalmente (p. ej., una cobertura de usuario más pequeña podría contenerse dentro de un área de cobertura de usuario más grande), etc. En algunos casos, las múltiples áreas de cobertura de usuario pueden activarse (iluminarse) al mismo tiempo. Otros casos, como se describe más adelante, pueden permitir la activación selectiva de las diferentes porciones de elementos de recepción/transmisión constituyentes de enlace de usuario, lo que activa de esta manera diferentes áreas de cobertura de usuario en diferentes momentos. De manera similar, la activación selectiva de diferentes porciones de los elementos de recepción/transmisión constituyentes de enlace de alimentador pueden activar diferentes áreas 3450 de AN en diferentes momentos. La conmutación entre múltiples áreas de cobertura puede combinarse con el CPS. Por ejemplo, la calibración de formación de haces, el cálculo del peso de haz y la aplicación del peso de haz puede producirse en dos formadores de haz paralelos, uno para cada uno de dos áreas de cobertura diferentes. El uso de pesos adecuados en los formadores de haz puede programarse para que corresponda con el funcionamiento del relé de extremo a extremo. Por ejemplo, la conmutación entre múltiples áreas de cobertura puede coordinarse para ocurrir a un límite de intervalo de tiempo si se emplean los formadores de haces de intervalo de tiempo.

Las Figuras 47A y 47B muestran un trayecto 4000 de señal directa ilustrativo y un trayecto 4050 de señal de retorno, respectivamente, cada uno tiene la activación selectiva de múltiples subsistemas 3420 de antena de enlace de usuario. El trayecto de señal directo 4000 (y otros trayectos de señal directos descritos en la presente descripción) puede ser un ejemplo de trayectos 3602 de señal directo descritos con referencia a la Figura 43. El trayecto 4050 de la señal de retorno (y otros trayectos de la señal de retorno descritos en la presente memoria) pueden ser un ejemplo del trayecto de la señal 3502 de retorno descrito con referencia a la Figura 42. Por ejemplo, cada trayecto 4000 de señal directo puede tener un transpondedor 3430 acoplado entre los elementos que constituyen la antena. Volviendo primero a la Figura 47A, el transpondedor 3430b de enlace directo es similar al descrito con referencia a la Figura 44A, excepto que el lado de salida del transpondedor 3430b de enlace directo se acopla de manera selectiva a uno de dos elementos 3429 de transmisión constituyentes de enlace de usuario, cada parte de un subsistema 3420 de antena de enlace de usuario separado (*p. ej*., cada parte 3425 de un arreglo separado de los elementos 3429 de transmisión constituyentes de enlace de usuario cooperativos). Como se describió anteriormente, el transpondedor 3430b de enlace directo puede incluir algunos o todos los LNA 3705a, los convertidores de frecuencia y los filtros asociados 3710a, los amplificadores 3715a de canal, los desfasadores 3720a, los amplificadores 3725a de potencia, y los filtros 3730a de armónicos.

El transpondedor 3430b de enlace directo de la Figura 47A incluye además los conmutadores 4010a (conmutadores de enlace directo) que acoplan de manera selectiva el transpondedor o bien a un primer elemento 3429a de transmisión constituyente de enlace de usuario (de un primer arreglo 3425a de elementos de antena de enlace de usuario) a través de un primer conjunto de amplificadores 3725a de potencia y los filtros de 3730a armónicos, o a un

segundo elemento 3429b de transmisión constituyente de enlace de usuario (de un segundo arreglo 3425b de elementos de antena de enlace de usuario) a través de un segundo conjunto de amplificadores 3725a de potencia y filtros 3730a de armónicos. Por ejemplo, en un primer modo de conmutación, el transpondedor 3430b de enlace directo forma de manera eficaz un trayecto de señal entre un elemento 3416 de recepción constituyente de enlace de alimentador y un primer elemento 3429a de transmisión constituyente de enlace de usuario; y en un segundo modo de conmutación, el transpondedor 3430b de enlace directo forma de manera eficaz un trayecto de señal entre el mismo elemento 3416 de recepción constituyente de enlace de alimentador y un segundo elemento 3429b de transmisión constituyente de enlace de usuario. Los conmutadores 4010a pueden implementarse mediante el uso de cualquier medio de conmutación adecuado, tal como un conmutador electromecánico, un relé, un transistor, *etc*. Aunque se muestran como conmutadores 4010a, otras implementaciones pueden usar cualquier otro medio adecuado para acoplar de manera selectiva la entrada del transpondedor 3430 de enlace directo a múltiples salidas. Por ejemplo, los amplificadores 3725a de potencia pueden usarse como conmutadores (*p. ej*., proporcionar una ganancia alta cuando están “encendidos” y ganancia cero (o pérdida) cuando están “apagados”). Los conmutadores 4010a pueden ser ejemplos de conmutadores que acoplan selectivamente una entrada a una de dos o más salidas.

En la Figura 47B, el transpondedor 3440b de enlace de retorno refleja funcionalmente el transpondedor 3430 de enlace directo de la Figura 47A. En lugar de acoplar de manera selectiva el lado de salida del transpondedor, como en el caso de enlace directo de la Figura 47A, el lado de entrada del transpondedor 3440b de enlace de retorno se acopla de manera selectiva a uno de dos elementos 3426 de recepción constituyentes de enlace de usuario. Nuevamente, cada elemento 3426 de recepción, puede ser parte de un arreglo separado de elementos 3426 de recepción constituyentes de enlace de usuario cooperativo, que pueden ser parte del mismo subsistema 3420 de antena de enlace de usuario, o de diferentes subsistemas 3420 de antena de enlace de usuario). Como se describió anteriormente (*p. ej*., en la Figura 44B), el transpondedor 3440 de enlace de retorno puede incluir algunos o todos los LNA 3705b, convertidores de frecuencia y filtros asociados 3710b, amplificadores 3715b de canal, desfasadores 3720b, amplificadores 3725b de potencia, y filtros 3730b de armónicos.

El transpondedor 3440b de enlace de retorno de la Figura 47B incluye, además, los conmutadores 4010b (conmutadores de enlace de retorno) que acoplan de manera selectiva el transpondedor o bien a un primer elemento 3426a de recepción constituyente de enlace de usuario (de un primer arreglo 3425a de elementos de antena de enlace de usuario) a través de un primer conjunto de LNA 3705b, o a un segundo elemento 3426b de recepción constituyente de enlace de usuario (de un segundo arreglo de elementos 3420b de antena de enlace de usuario) a través de un segundo conjunto de LNA 3705b. Por ejemplo, en un primer modo de conmutación, el transpondedor 3440b de enlace de retorno forma de manera eficaz un trayecto de señal entre un primer elemento 3426a de recepción constituyente de enlace de usuario y un elemento 3419 de transmisión constituyente de enlace de alimentador; y en un segundo modo de conmutación, el transpondedor 3440b de enlace de retorno forma de manera eficaz un trayecto de señal entre un segundo elemento 3426b de recepción constituyente de enlace de usuario y el mismo elemento 3419 de transmisión constituyente de enlace de alimentador. Los conmutadores 4010b pueden implementarse mediante el uso de cualquier medio de conmutación adecuado, tal como un conmutador electromecánico, un relé, un transistor, *etc*. Aunque se muestran como conmutadores 4010b, otras implementaciones pueden usar cualquier otro medio adecuado para acoplar de manera selectiva la salida del transpondedor 3440b de enlace directo a múltiples entradas. Por ejemplo, los amplificadores 3725b de potencia pueden usarse como conmutadores (*p. ej*., proporcionar una ganancia alta cuando están “encendidos” y ganancia cero (o pérdida) cuando están “apagados”). Los conmutadores 4010b pueden ser ejemplos de conmutadores que acoplan selectivamente una de dos o más entradas a una sola salida.

Los ejemplos del relé 3403 de extremo a extremo pueden incluir un controlador 4070 de conmutación para conmutar de manera selectiva algunos o todos los conmutadores 4010 (u otro medio de acoplamiento selectivo adecuado) según un programa de conmutación. Por ejemplo, el programa de conmutación puede almacenarse en un dispositivo de almacenamiento integrado del relé 3403 de extremo a extremo. En algunos casos, el programa de conmutación selecciona de manera eficaz qué arreglo 3425 de elementos de antena de enlace de usuario activar (*p. ej*., qué conjunto de haces de usuario se ilumina) en cada una de una pluralidad de intervalos de tiempo (*p. ej*., intervalo de tiempo). En algunos casos, la conmutación asigna igual tiempo a los múltiples arreglos 3425 de elementos de antena de enlace de usuario (*p. ej*., cada uno de los dos arreglos se activa durante aproximadamente la mitad del tiempo). En otros casos, la conmutación puede usarse para realizar los objetivos de capacidad compartida. Por ejemplo, un arreglo 3425 de elementos de antena de enlace de usuario puede asociarse a usuarios de mayor demanda y puede asignarse una mayor parte de tiempo en el programa, mientras que otro arreglo 3425 de elementos de antena de enlace de usuario puede asociarse a usuarios de menor demanda y puede asignarse una más pequeña de tiempo en el programa.

Las Figuras 48A y 48B muestran un ejemplo de áreas 4100 y 4150 de cobertura del relé 3403 de extremo a extremo que incluyen áreas 3460a y 3460b de cobertura de usuario múltiples, selectivamente activadas, respectivamente. El relé 3403 de extremo a extremo ilustrativo es similar al relé de las Figuras 38 y 39 excepto para la presencia de los diferentes subsistemas de antenas. En este ejemplo, el subsistema 3420 de antena de enlace de usuario incluye dos reflectores de enlace de usuario de 9 metros, y los transpondedores se configuran para activar de manera selectiva solo la mitad de las áreas 519 de cobertura de haces de usuario en cualquier momento dado (*p. ej*., los transpondedores se implementan como en las Figuras 47A y 47B). Por ejemplo, durante un primer intervalo de tiempo, como se muestra en la Figura 48A, el área 3460a de cobertura de usuario incluye 590 áreas 519 de cobertura de haz de usuario activas. Las áreas 519 de

cobertura de haz de usuario activas cubren de manera eficaz la mitad occidental de los Estados Unidos. El área 3450 de AN (clústeres de AN) es la misma que la de las Figuras 38 y 39: una región en el este de los Estados Unidos que tiene 597 AN 515 distribuidos en esta. Durante el primer intervalo de tiempo, el área 3450 de AN no se superpone con el área 3460a de cobertura de usuario activa. Durante un segundo intervalo de tiempo, como se muestra en la Figura 48B, el área 3460b de cobertura de usuario incluye otras 590 áreas 519 de cobertura de haz de usuario activas. Las áreas 519 de cobertura de haz de usuario activas en el segundo intervalo de tiempo cubren de manera eficaz la mitad oriental de los Estados Unidos. El área 3450 de AN no cambia. Sin embargo, durante el segundo intervalo de tiempo, el área 3450 de AN es superpuesta completamente por (es un subconjunto de) el área 3460b de cobertura de usuario activa. La capacidad puede asignarse de manera flexible a varias regiones (*p. ej.*, entre las áreas 3460 de cobertura del usuario del este y del oeste) ajustando dinámicamente la relación de tiempo asignada a los subsistemas 3420 de antena de enlace de usuario correspondientes.

Mientras que el ejemplo anterior ilustra dos áreas 3460 de cobertura de usuario de tamaño similar, pueden proporcionarse otros números de áreas 3460 de cobertura de usuario (p. ej., tres o más) y pueden ser de tamaños diferentes (p. ej., cobertura de la tierra, solo Estados Unidos continental, solo Estados Unidos, solo regional, etc.). En casos con múltiples áreas 3460 de cobertura de usuario, el área 3460 de cobertura de usuarios puede tener cualquier relación geográfica adecuada. En algunos casos, la primera y segunda áreas 3460 de cobertura de usuario se superponen parcialmente (p. ej., como se muestra en las Figuras 48A y 48B). En otros casos, una segunda área 3460 de cobertura de usuario puede ser un subconjunto de una primera área 3460 de cobertura de usuario (p. ej., como se muestra en las Figuras 45 y 46). En otros casos, la primera y segunda áreas de cobertura de usuario no se superponen (p. ej., se dividen).

En algunos casos, puede ser conveniente que el tráfico de determinadas regiones geográficas termine en sus respectivas regiones. La Figura 50A ilustra una primera área 3450a de AN en América del Norte usada para proporcionar servicio de comunicaciones a una primera área 3460a de cobertura de usuario en América del Norte, y una segunda área 3450b de AN para proporcionar servicio de comunicaciones a una segunda área 3460b de cobertura de usuario en América del Sur. En algunos casos, los AN dentro de la primera área 3450a de AN intercambian señales con un primer CPS (p. ej., ubicado dentro de o cerca del área 3450a de AN), y los AN dentro de la segunda área 3450a de AN intercambian señales con un segundo CPS (p. ej., ubicado dentro de o cerca del área 3450b de AN) que está separado y es distinto al primer CPS. Por ejemplo, el primer relé 3403 de extremo a extremo del AN como se muestra en las Figuras 49A y 49B puede admitir múltiples áreas de cobertura de usuario con múltiples áreas de AN como se ilustra en la Figura 50A. Cada combinación del área de AN y del área de cobertura de usuario puede emplear asignaciones 6300 o 6301 de frecuencia como se muestra en las Figuras 63A o 63B.

La Figura 49A muestra un ejemplo de trayecto 4900 de señal directa de un relé 3403 de extremo a extremo para admitir múltiples áreas de cobertura de usuario con múltiples áreas 3450 de AN. El trayecto 4900 de señal directa ilustrativo tiene un primer transpondedor 3430c de enlace directo acoplado entre un primer elemento 3416a de recepción constituyente de enlace de alimentador de un primer arreglo de elementos 3415a de antena del enlace de alimentador y un primer elemento 3429a de transmisión constituyente de enlace de usuario de un primer arreglo 3425a de elementos de antena del enlace de usuario. Además, el trayecto 4900 de señal directa ilustrativo tiene un segundo transpondedor 3430c de enlace directo acoplado entre un segundo elemento 3416b de recepción constituyente de enlace de alimentador de un segundo arreglo 3415b de elementos de antena del enlace de alimentador y un segundo elemento 3429b de transmisión constituyente de enlace de usuario de un segundo arreglo 3425b de elementos de antena del enlace de usuario. Como se describió anteriormente, el transpondedor 3430 de enlace directo puede incluir algunos o todos los LNA 3705a, convertidores de frecuencia y filtros asociados 3710a, amplificadores 3715a de canal, desfasadores 3720a, amplificadores 3725a de potencia, y filtros 3730a de armónicos.

La Figura 49B muestra un trayecto 4950 de señal de retorno de un relé 3403 de extremo a extremo para admitir múltiples áreas de cobertura de usuario con múltiples áreas 3450 de AN. El trayecto 4950 de señal de retorno ilustrativo tiene un primer transpondedor 3440c de enlace de retorno acoplado entre un primer elemento 3426a de recepción constituyente de enlace de usuario de un primer arreglo 3425a de elementos de antena del enlace de usuario y un primer elemento 3419a de transmisión constituyente de enlace de alimentador de un primer arreglo 3415a de elementos de antena del enlace de alimentador. Además, el trayecto 4950 de señal de retorno ilustrativo tiene un segundo transpondedor 3440c de enlace de retorno acoplado entre un segundo elemento 3426b de recepción constituyente de enlace de usuario de un segundo arreglo 3425b de elementos de antena del enlace de usuario y un segundo elemento 3419b de transmisión constituyente de enlace de alimentador de un segundo arreglo 3415b de elementos de antena del enlace de alimentador. Como se describió anteriormente cada uno de los transpondedores 3440 de enlace de retorno puede incluir algunos o todos los LNA 3705b, convertidores de frecuencia y filtros asociados 3710b, amplificadores 3715b de canal, desfasadores 3720b, amplificadores 3725b de potencia, y filtros 3730b de armónicos.

En algunos casos, los arreglos 3415a y 3415b de elementos de antena de enlace de alimentador son parte de subsistemas 3410 de antenas de enlace de alimentador separados. De manera alternativa , un único subsistema 3410 de antenas de enlace de alimentador puede incluir los arreglos 3415a y 3415b de elementos de antena de enlace de alimentador (*p. ej.*, a través del uso de un único reflector, como se describe con más detalle a continuación con referencia a las Figuras 56A y 56B). De manera similar, los arreglos 3425a y 3425b de elementos de antena de enlace de usuario

pueden ser parte del mismo subsistema 3420 de antena de enlace de usuario o separados. El trayecto 4900 de señal directa y el trayecto 4950 de señal de retorno de las Figuras 49A y 49B pueden usarse para admitir múltiples sistemas de formación de haces de extremo a extremo independientes mediante el uso de una carga única de relé de extremo a extremo. Por ejemplo, las formaciones de haces de extremo a extremo entre la primera área 3450a de AN y la primera área 3460a de cobertura de usuario mostradas en la Figura 50A pueden admitirse mediante un sistema formador de haces y de distribución, mientras un sistema formador de haces y de distribución separado e independiente admite formaciones de haces de extremo a extremo entre la segunda área 3450b de AN y la segunda área 3460b de cobertura de usuario. Las Figuras 49A y 49B ilustran ejemplos donde elementos de recepción constituyentes pueden ser los mismos que los elementos de transmisión constituyentes, y de este modo solo muestran una polarización en cada dirección. Sin embargo, otros ejemplos pueden emplear diferentes elementos de recepción constituyentes y elementos de transmisión constituyentes, y pueden utilizar múltiples polarizaciones en cada dirección.

Las Figuras 47A – 47B describen la selección del trayecto de señal del lado del enlace de usuario. Sin embargo, algunos casos incluyen alternativa o adicionalmente la conmutación del trayecto de señal en el lado del enlace de alimentador. La Figura 51A muestra un trayecto 5100 de señal directa ilustrativo que tiene la activación selectiva de múltiples arreglos 3425 de elementos de antena del enlace de usuario (que pueden ser parte del mismo o de subsistemas 3420 de antena de enlace de usuario diferentes) y múltiples arreglos 3415 de elementos de la antena del enlace de alimentador (que pueden ser parte del mismo o de subsistemas 3410 de antenas de enlace de alimentador diferentes). El trayecto de señal tiene un transpondedor 3430d de enlace directo acoplado entre los elementos de antena constituyentes. Como se describió anteriormente, el transpondedor 3430d de enlace directo puede incluir algunos o todos los LNA 3705a, los convertidores de frecuencia y los filtros asociados 3710a, los amplificadores 3715a de canal, los desfasadores 3720a, los amplificadores 3725a de potencia, y los filtros 3730a de armónicos. El lado de entrada del transpondedor 3430d de enlace directo se acopla de manera selectiva a uno de dos elementos 3416 de recepción constituyentes de enlace de alimentador (*p. ej*., mediante el uso de conmutadores 4010b, o cualquier otro medio de selección del trayecto adecuado). Cada elemento 3416 de recepción constituyente de enlace de alimentador puede ser parte de un arreglo 3415 separado de elementos de antenas de enlace de alimentador (*p. ej*., cada parte de un arreglo separado de elementos 3416de recepción constituyentes de enlace de alimentador cooperativo). El lado de salida del transpondedor 3430d de enlace directo se acopla de manera selectiva a uno de dos elementos de transmisión 3429 constituyentes de enlace de usuario (*p. ej*., mediante el uso de conmutadores 4010a, o cualquier otro medio de selección del trayecto adecuado). Cada elemento 3429 de transmisión constituyente de enlace de usuario puede ser parte de un arreglo 3425 separado de elementos de antena de enlace de usuario (*p. ej*., cada parte de un arreglo separado de elementos 3429 de transmisión constituyentes de enlace de usuario cooperativos). Uno o más controladores 4070 de conmutación (no se muestra) pueden incluirse en el relé 3403 de extremo a extremo para seleccionar entre algunos o todos los cuatro trayectos de señal posibles habilitados por el transpondedor 3430d de enlace directo. Por ejemplo, el controlador 4070 de conmutación puede operar el transpondedor 3430d de enlace directo según uno de varios nodos de conmutación, que pueden determinarse según qué áreas 3450 de AN se usan para admitir las áreas 3460 de cobertura de usuario. En un ejemplo, el controlador 4070 de conmutación aplica un primer modo de conmutación para que los conmutadores 4010 se acoplen a los transpondedores 3430d de enlace directo entre el primer arreglo 3415a de elementos de antena del enlace de alimentador y el primer arreglo 3425a de elementos de antena del enlace de usuario, y aplica un segundo modo de conmutación para que los conmutadores 4010 se acoplen a los transpondedores 3430d de enlace directo entre el segundo arreglo 3415b de elementos de antena del enlace de alimentador y el segundo arreglo 3425b de elementos de antena del enlace de usuario. De manera alternativa , un primer modo de conmutación para que los conmutadores 4010 puedan acoplarse a los transpondedores 3430d de enlace directo entre el primer arreglo 3415a de elementos de antena del enlace de alimentador y el segundo arreglo 3425b de elementos de antena del enlace de usuario, y un segundo modo de conmutación para que los conmutadores 4010 puedan acoplarse a los transpondedores 3430d de enlace directo entre el segundo arreglo 3415b de elementos de antena del enlace de alimentador y el primer arreglo 3425a de elementos de antena del enlace de usuario.

La Figura 51B muestra un trayecto 5150 de señal de retorno ilustrativo que tiene la activación selectiva de múltiples arreglos 3425 de elementos de antena de enlace de usuario (*p. ej*., que pueden ser parte del mismo o de diferentes subsistemas 3420de antena de enlace de usuario) y múltiples arreglos 3415 de elementos de antena de enlace de alimentador (*p. ej*., que pueden ser parte del mismo o de diferentes subsistemas 3410 de antenas de enlace de alimentador). El trayecto de señal tiene un transpondedor 3440d de enlace de retorno acoplado entre los elementos de antena constituyentes. Como se describió anteriormente, el transpondedor 3440d de enlace de retorno puede incluir algunos o todos los LNA 3705b, convertidores de frecuencia y filtros asociados 3710b, amplificadores 3715b de canal, desfasadores 3720b, amplificadores 3725b de potencia, y filtros 3730b de armónicos. El lado de entrada del transpondedor 3440d de enlace directo se acopla de manera selectiva a uno de dos elementos 3426a, 3426b de recepción constituyentes de enlace de usuario (*p. ej*., mediante el uso de conmutadores 4010b o cualquier otro medio de selección del trayecto adecuado). Cada elemento 3426a, 3426b de recepción de usuario puede ser parte de un arreglo 3425a, 3425b separado de elementos de antena de enlace de usuario (*p. ej*., cada parte de un arreglo separado de elementos 3426 de recepción constituyentes de enlace de usuario cooperativos). El lado de salida del transpondedor 3440d de enlace de retorno se acopla de manera selectiva a uno de dos elementos 3419a o 3419b de transmisión constituyentes de enlace de alimentador (*p. ej*., mediante el uso de conmutadores 4010a o cualquier otro medio

de selección del trayecto adecuado). Cada elemento 3419a o 3419b de transmisión constituyente de enlace de alimentador puede ser parte de un arreglo 3415a o 3415b de elementos de antena de enlace de alimentador separado (*p. ej*., cada parte de un arreglo separado de elementos 3419 de transmisión constituyentes de enlace de alimentador cooperativos). Uno o más controladores 4070 de conmutación (no se muestra) pueden incluirse en el relé 3403 de extremo a extremo para seleccionar entre algunos o todos los cuatro trayectos de señal posibles habilitados por el transpondedor 3430d de enlace de retorno. Por ejemplo, el controlador 4070 de conmutación puede operar el transpondedor 3440d de enlace de retorno según uno de varios nodos de conmutación, que pueden determinarse según qué áreas 3450 de AN se usan para admitir las áreas 3460 de cobertura de usuario. En un ejemplo, el controlador 4070 de conmutación aplica un primer modo de conmutación para que los conmutadores 4010 se acoplen a los transpondedores 3440d de enlace de retorno entre el primer arreglo 3425a de elementos de antena del enlace de usuario y el primer arreglo 3415a de elementos de antena del enlace de alimentador, y aplica un segundo modo de conmutación para que los conmutadores 4010 se acoplen a los transpondedores 3440d de enlace de retorno entre el segundo arreglo 3425b de elementos de antena del enlace de usuario y el segundo arreglo 3415b de elementos de antena del enlace de alimentador. De manera alternativa , un primer modo de conmutación para que los conmutadores 4010 puedan acoplarse a los transpondedores 3440d de enlace de retorno entre el primer arreglo de elementos de antena del enlace de usuario 3425a y el segundo arreglo 3415b de elementos de antena del enlace de alimentador, y un segundo modo de conmutación para que los conmutadores 4010 puedan acoplarse a los transpondedores 3440d de enlace de retorno entre el segundo arreglo 3425b de elementos de antena del enlace de usuario y el primer arreglo 3415a de elementos de antena del enlace de alimentador.

Los transpondedores de las Figuras 47a, 47b, 51A, y 51B son solo para ilustrar pocos o muchos casos posibles de relés 3403 de extremo a extremo que emplean la selección de ruta. Además, algunos casos pueden incluir la selección del trayecto entre más de dos arreglos 3425 de elementos de antena de enlace de usuario o los subsistemas 3420 de antena de enlace de usuario y/o más de dos arreglos 3415 de elementos de antena de enlace de alimentador o subsistemas 3410 de antenas de enlace de alimentador.

El relé 3403 de extremo a extremo, como se muestra en las Figuras 51A y 51B, puede admitir múltiples áreas 3460 de cobertura de usuario con múltiples áreas 3450 de AN. Como se describió anteriormente, puede ser conveniente que el tráfico de determinadas regiones geográficas termine en sus respectivas regiones. Por ejemplo, un relé 3403 de extremo a extremo con o sin transpondedores, como los ilustrados en las Figuras 51A y 51B pueden usar una primera área 3450a de AN en América del Norte para proporcionar servicios de comunicaciones a una primera área 3460a de cobertura de usuario en América del Norte, y usa una segunda área 3450b de AN para proporcionar servicios de comunicaciones a una segunda área 3460b de cobertura de usuario en América del Sur como se ilustra en la Figura 50A. Mediante el uso de la selección del trayecto (*p. ej*., conmutación) en los transpondedores, un único relé 3403 de extremo a extremo (*p. ej*., un único satélite) puede proporcionar servicio al tráfico asociado con el área 3460a de cobertura de usuario de América del Norte mediante el uso de AN 515 en el área 3450a de AN de América del Norte (o mediante el uso del AN 515 en el área 3450b de AN de América del Sur), y proporcionar servicio al tráfico asociado con el área 3460b de cobertura de usuario de América del Sur mediante el uso del AN 515 en el área 3450b de AN de América del Sur (o mediante el uso del AN 515 en el área 3450a de AN de América del Norte). La capacidad puede asignarse de manera flexible a varias regiones (*p. ej*., entre las áreas 3460 de cobertura de usuario de América del Norte y del Sur) mediante el ajuste de manera dinámica de la relación de tiempo asignado a los subsistemas de antena correspondientes.

La Figura 50B ilustra un segundo despliegue posible que tiene múltiples áreas 3450 de AN y múltiples áreas 3460 de cobertura de usuario. Por ejemplo, el despliegue mostrado en la Figura 50B puede admitirlo el relé 3403 de extremo a extremo ilustrado en las Figuras 51A y 51B. Como se muestra en la Figura 50B, un relé 3403 de extremo a extremo con selección de trayectos en los transpondedores proporciona servicio de tráfico en una primera área 3460a de cobertura de usuario con una primera área 3450a de AN y proporciona servicio de tráfico en una segunda área 3460b de cobertura de usuario con una segunda área 3450b de AN. Debido a que la primera área 3450a de AN no se superpone con la primera área 3460a de cobertura de usuario, las mismas o partes de ancho de banda superpuestas pueden usarse para las comunicaciones de enlace ascendente o de enlace descendente entre el relé 3403 de extremo a extremo y las terminales de usuario o AN. Adicionalmente, en el presente ejemplo, debido a que el área 3450a o 3450b de AN y su área 3460a o 3460b de cobertura de usuario correspondiente, respectivamente, no se superponen, puede emplearse un mecanismo de lazo cerrado especial para sincronizar las transmisiones desde los AN 515. Los mecanismos de lazo cerrado ilustrativos en la forma de transpondedores de lazo cerrado se describen con referencia a las Figuras 55A, 55B, y 55C. Con referencia a la Figura 63A por ejemplo, un sistema puede tener un total de 3,5 GHz de ancho 6330a de banda de enlace ascendente y 3,5 GHz de ancho 6325a de banda de enlace descendente disponible. En una primera configuración del conmutador, todo el ancho de banda de enlace ascendente de 3,5 GHz (*p. ej*., mediante el uso de ambas o de dos polarizaciones ortogonales) puede usarse simultáneamente para las transmisiones 525 del enlace ascendente de retorno desde la primera área 3460a de cobertura de usuario y las transmisiones 521 de enlace ascendente directo desde el área 3450a de AN. De manera similar, todo el ancho de banda de enlace descendente de 3,5 GHz (*p. ej*., mediante el uso de ambos o de dos polarizaciones ortogonales) puede usarse simultáneamente para las transmisiones 522 de enlace descendente directo a la primera área 3460a de cobertura de usuario y las transmisiones 527 de enlace descendente de retorno a la primera área 3450a de AN. Todo el

enlace ascendente y el ancho de banda de enlace descendente puede usarse además en una segunda configuración de conmutación para la segunda área 3460b de cobertura de usuario y la segunda área 3450b de AN. Mientras se describa el caso de dos áreas 3450 de AN y dos áreas 3460 de cobertura de usuario con respecto a la Figura 50B por motivos de simplicidad, puede ser posible cualquier número adecuado de áreas 3450 de AN y de áreas 3460 de cobertura de usuario. Además, los aspectos descritos anteriormente con respecto a un solo clúster AN (*p. ej*., movilidad, ubicación en un cuerpo acuático, *etc.*) pueden aplicarse a uno o ambos de los clústeres AN en el presente ejemplo.

El ejemplo anterior describe un área 3450a de AN que presta servicios a un área 3460a de cobertura de usuario que no se superpone. Como un ejemplo alternativo, el área 3450a de AN puede proporcionar servicio al área 3460b de cobertura de usuario (*p. ej*., un área 3460 de cobertura de usuario puede contener su área 3450 de AN asociada o algunas de sus porciones). Un ejemplo similar se describe generalmente con referencia a la Figura 50A en el contexto de una primera área 3450a de AN ubicada en América del Norte (*p. ej*., que puede corresponder al área 3450a de cobertura de AN de la Figura 50B) que proporciona servicio a un área 3460a de cobertura de usuario ubicada en América del Norte mientras una segunda área 3450b de AN ubicada en América del Sur proporciona servicio a un área 3460b de cobertura de usuario ubicada en América del Sur. Sin embargo, la Figura 50B muestra que las áreas 3460 de cobertura de usuario a las que se les brinda servicio por diferentes áreas de cobertura del AN pueden superponerse, además, para proporcionar un área de cobertura de usuario agregada para una región particular. En este caso, las áreas 3460 de cobertura de usuario pueden usarse en diferentes intervalos de tiempo mediante el uso de transpondedores de conmutación ilustrados en las Figuras 51A y 51B. De manera alternativa, a las áreas 3460a y 3460b de cobertura de usuario puede proporcionárseles servicio simultáneamente mediante las áreas 3450a y 3450b de nodos de acceso (ya sea con el área 3450a de nodos de acceso que proporciona servicio al área 3460a de cobertura de usuario mientras el área 3450b de nodos de acceso proporciona servicio al área 3460b de cobertura de usuario o con el área 3450b de nodos de acceso que proporciona servicio al área 3460a de cobertura de usuario mientras el área 3450a de nodos de acceso proporciona servicio al área 3460b de cobertura de usuario) mediante el uso de trayectos múltiples del transpondedor mostrados en las Figuras 49A y 49B. En este caso, los recursos del enlace ascendente y del enlace descendente usados para los haces de usuario en las áreas 3460a y 3460b de cobertura de usuario pueden ser ortogonales (diferentes recursos de frecuencia, diferentes polarizaciones, etc.), o los haces de usuario en las áreas 3460a y 3460b de cobertura de usuario pueden usar los mismos recursos (el mismo rango de frecuencias y polarización), con interferencia mitigada mediante el uso de técnicas de mitigación de interferencia tal como adaptative coding and modulation (codificación y modulación adaptable - ACM), cancelación de interferencia, codificación de espacio-tiempo, y lo similar.

Como un tercer ejemplo, en algunos casos, las áreas 3450a y 3450b de cobertura de AN se combinan para proporcionar servicio a las áreas 3460b de cobertura de usuario (o áreas 3460a de cobertura de usuario). En este caso, un mecanismo de lazo cerrado especial puede no ser necesario porque un subconjunto de AN 515 está contenido en el área 3460 de cobertura de usuario. En algunos casos, los AN 515 de las áreas 3450a y 3450b de cobertura de AN pueden considerarse cooperativos en el sentido de que las señales 521 de enlace ascendente directo desde cada una de las áreas 3450 de cobertura de AN pueden combinarse para proporcionar servicio a una única área 519 de cobertura de haz de usuario. De manera alternativa, los AN 515 del área 3450a de cobertura de AN pueden proporcionar servicio a un primer subconjunto de áreas 519 de cobertura de haz de usuario del área 3460b de cobertura de usuario mientras los AN 515 del área 3450b de cobertura de AN pueden proporcionar servicio a un segundo subconjunto de áreas 519 de cobertura de haz de usuario del área 3460b de cobertura de usuario. En algunos casos de este ejemplo, puede existir alguna superposición entre el primer y segundo subconjuntos de las áreas 519 de cobertura de haz de usuario (*p. ej*., de manera que las áreas 3450 de cobertura de AN pueden considerarse que cooperan en algunas áreas 519 de cobertura de haz de usuario y que no cooperan en otras). Como un ejemplo adicional, el área 3450a de cobertura de AN puede proporcionar servicio al área 3460b de cobertura de usuario en un primer intervalo de tiempo (o conjunto de intervalos de tiempo) y el área 3450b de cobertura de AN puede proporcionar servicio al área 3460b de cobertura de usuario en un segundo intervalo de tiempo (o conjunto de intervalos de tiempo). En algunos ejemplos, las áreas 3450a y 3450b de cobertura AN pueden cooperar para prestar servicios al área 3460b de cobertura de usuario durante el primer intervalo de tiempo y pueden cooperar para prestar servicio al área 3460a de cobertura de usuario durante el segundo intervalo de tiempo.

En general, las características del relé 3403 de extremo a extremo descritas en la Figura 41 permiten proporcionar servicio a al menos un área 3460 de cobertura de haz de usuario mediante el uso de AN 515 geográficamente distribuidos en al menos una de un área 3450 de AN que es un área física distinta al área 3460 de cobertura de haz de usuario. En algunos casos, un clúster AN puede proporcionar gran capacidad a una gran área 3460 de cobertura de usuario. Las figuras 45A-45F, 46A, 46B, 48A, 48B, 50A, y 50B muestran varios ejemplos de dichas implementaciones de clústeres AN. El despliegue de un gran número de AN 515 en un área geográfica relativamente pequeña puede proporcionar un número de beneficios. Por ejemplo, puede ser más fácil garantizar que más (o incluso todos) los AN 515 se desplieguen más cerca de una red de alta velocidad (*p. ej*., en una región con buena conectividad de fibra de nuevo al CPS 505), dentro de las fronteras de un solo país o región, en áreas accesibles, *etc.*, con menos desviación de una distribución ideal de AN 515. La implementación del servicio de área de cobertura distinto con la selección del trayecto (*p. ej*., como en las Figuras 47A y 47B puede proporcionar características adicionales. Por ejemplo, como se describió anteriormente, puede usarse un solo clúster AN (y un único relé 3403 de extremo a extremo) para dar servicio de manera selectiva a las múltiples áreas 3460 de cobertura de usuario. De manera similar, un único relé 3403 de extremo a extremo puede usarse para distinguir y proporcionar servicio al tráfico por región.

En algunos casos, el servicio de área de cobertura distinta con la selección del trayecto puede permitir varias funciones de gestión de interferencia y/o gestión de capacidad. Por ejemplo, volviendo de nuevo a las Figuras 48A y 48B, pueden considerarse cuatro categorías de enlaces de comunicaciones: comunicaciones de enlace directo desde el clúster AN al área 3460a de cobertura de usuario activa occidental (“Enlace A”); las comunicaciones de enlace directo desde el clúster AN al área 3460b de cobertura de usuario activa oriental (“Enlace B”); las comunicaciones de enlace de retorno desde el área 3460a de cobertura de usuario activa occidental al clúster AN (“Enlace C”); y las comunicaciones de enlace de retorno desde el área 3460b de cobertura de usuario activa oriental al clúster AN (“Enlace D”). En un primer intervalo de tiempo, el área 3460b de cobertura de usuario está activa, de manera que las comunicaciones están sobre el Enlace B y Enlace D. Debido a que hay una superposición completa entre el área 3450 de AN y el área 3460b de cobertura de usuario oriental, los Enlaces B y D interfieren potencialmente. En consecuencia, durante el primer intervalo de tiempo, el Enlace B puede asignarse a la primera parte del ancho de banda (p. ej., 2 GHz), y el Enlace D puede asignarse a la segunda parte del ancho de banda (p. ej., 1,5 GHz). En un segundo intervalo, el área 3460a de cobertura de usuario occidental está activa, de manera que las comunicaciones están sobre el Enlace A y el Enlace C. Debido a que no hay superposición entre el área 3450 de AN y el área 3460a de cobertura de usuario occidental, el Enlace A y el Enlace C pueden usar el ancho de banda completo (p. ej., 3,5 GHz) del relé 3403 de extremo a extremo durante el segundo intervalo de tiempo. Por ejemplo, durante el primer intervalo de tiempo, las señales 521 de enlace ascendente directo pueden recibirse mediante el uso de un primer rango de frecuencia, y las señales 525 de enlace ascendente de retorno pueden recibirse mediante el uso de un segundo rango de frecuencia diferente del primer rango de frecuencia; y durante el segundo intervalo de tiempo, las señales 521 de enlace ascendente directo y las señales 525 de enlace ascendente de retorno pueden recibirse mediante el uso de un mismo rango de frecuencia (p. ej., el primer, segundo u otro rango de frecuencia). En algunos casos, puede haber reutilización de frecuencia tanto durante el primer como el segundo intervalo de tiempo, con otras técnicas de mitigación de interferencias usadas durante el primer intervalo de tiempo. En algunos casos, puede seleccionarse el tiempo de selección del trayecto para compensar dicha diferencia en asignación del ancho de banda durante diferentes intervalos de tiempo. Por ejemplo, el primer intervalo de tiempo puede ser más largo que el segundo intervalo de tiempo, de manera que a los Enlaces B y D se asignan menos ancho de banda durante más tiempo para compensar al menos parcialmente la asignación de los Enlaces A y C más ancho de banda durante un tiempo más corto. Otras asignaciones de frecuencia alternativa se describen más adelante.

En algunos casos, las primeras señales 525 de enlace ascendente de retorno se reciben durante el primer intervalo de tiempo por la pluralidad de elementos 3426a de recepción constituyentes de enlace de usuario desde una primera parte de la pluralidad de terminales 517 de usuario geográficamente distribuidas sobre algunas o todas de una primera área 3460 de cobertura de usuario (p. ej., el área 3460b de cobertura de usuario oriental), y las segundas señales 525 de enlace ascendente de retorno se reciben durante el segundo intervalo de tiempo por la pluralidad de elementos 3426b de recepción constituyentes de enlace de usuario desde una segunda parte de la pluralidad de terminales 517 de usuario geográficamente distribuidas sobre algunas o todas de una segunda área 3460 de cobertura de usuario (p. ej., el área 3460a de cobertura de usuario occidental). Cuando el área 3450 de AN (el clúster AN) es un subconjunto de la primera área 3460b de cobertura de usuario (p. ej., como se ilustra en la Figura 48B), puede calibrarse la sincronización de AN 515 con el relé 3403 de extremo a extremo durante el primer período de tiempo (p. ej., cuando hay superposición entre el área 3460b de cobertura de usuario y el área 3450 de AN).

Como se describió anteriormente, algunos casos pueden incluir determinar un respectivo ajuste de sincronización relativa para cada una de la pluralidad de AN 515, de manera que las transmisiones asociadas de la pluralidad de AN 515 alcancen el relé 3403 de extremo a extremo en sincronía (p. ej., con sincronización suficientemente coordinada con respecto a la duración del símbolo, que es de manera típica una fracción de la duración del símbolo tal como 10 %, 5 %, 2 % u otro valor adecuado). En dichos casos, las señales 521 de enlace ascendente directo se transmiten por la pluralidad de AN 515 según los ajustes respectivos de sincronización relativa. En algunos de dichos casos, una señal de baliza de sincronización (p. ej., una señal de PN generada por un generador de señal de baliza, como se describió anteriormente) se recibe por al menos parte de la pluralidad de AN 515 del relé 3403 de extremo a extremo, y los ajustes respectivos de sincronización relativa se determinan según la señal de baliza de sincronización. En otros de dichos casos, algunos o todos los AN 515 pueden recibir transmisiones de lazo cerrado del relé 3403 de extremo a extremo, y los ajustes respectivos de sincronización relativa se determinan según las transmisiones de lazo cerrado. Las diversas aproximaciones para calibrar los AN 515 pueden depender de la capacidad de los AN 515 para comunicarse con el relé 3403 de extremo a extremo. En consecuencia, algunos casos pueden calibrar los AN 515 solo durante intervalos de tiempo durante los cuales se iluminan áreas de cobertura adecuadas. Por ejemplo, las transmisiones de lazo cerrado mediante el subsistema 3420 de antena de enlace de usuario solo pueden usarse en intervalos de tiempo durante los cuales hay una cierta superposición entre el área 3450 de AN y el área 3460 de cobertura de usuario (p. ej., los AN 515 se comunican sobre un haz de lazo cerrado que puede usar tanto un subsistema 3410 de antena de enlace de alimentador como un subsistema 3420 de antena de enlace de usuario del relé 3403 de extremo a extremo). En algunos casos, la calibración adecuada puede depender aún más de cierta superposición entre el rango de frecuencia de enlace descendente de conexión y el rango de frecuencia de enlace descendente de usuario.

Como se describió anteriormente, un relé 3403 de extremo a extremo con o sin transpondedores acoplados selectivamente como los ilustrados en las Figuras 49A, 49B, 51A y 51B puede ofrecer servicio a las terminales de usuario dentro de una primera área 3460 de cobertura de usuario mediante el uso de AN 515 dentro de una primera área 3450 de AN que se superpone con la primera área 3460 de cobertura de usuario (*p. ej*., ambos en América del Norte), y proporcionar servicio a las terminales de usuario dentro de una segunda área 3460 de cobertura de usuario mediante el uso de AN 515 dentro de una segunda área 3450 de AN que se superpone con la segunda área 3460 de cobertura de usuario (*p. ej*., ambos en América del Sur). De manera alternativa, un relé 3403 de extremo a extremo como el de las Figuras 51A y 51B puede proporcionar servicio a las terminales de usuario dentro de una primera área 3460 de cobertura de usuario mediante el uso de AN 515 dentro de una primera área 3450 de AN que no se superpone con la primera área 3460 de cobertura de usuario y proporciona servicio a las terminales de usuario dentro de una segunda área 3460 de cobertura de usuario mediante el uso de AN 515 dentro de una segunda área 3450 de AN que no se superpone con la segunda área 3460 de cobertura de usuario, como se muestra en la Figura 50B. Como se muestra además en la Figura 50B, la primera y la segunda áreas 3460 de cobertura de usuario pueden configurarse para superponerse al menos parcialmente entre sí además de para proporcionar una cobertura contigua a una región dada (*p. ej*., región CONUS, región de cobertura de la Tierra visible, *etc.*). Otras implementaciones similares también son posibles.

El sistema descrito con referencia a la Figura 50B puede, por ejemplo, incluir un formador 529 de haz directo que genera la señal directa específica del nodo de acceso para cada una de las pluralidades de AN 515 dentro de las áreas 3450 de AN. Cada una de la pluralidad de AN 515 dentro de un área 3450 de AN dada puede obtener una señal directa específica del nodo de acceso desde el formador 529 de haz directo (*p. ej*., a través de una red 518 de distribución) durante una ventana de tiempo en la cual el clúster AN dado está activo, y transmite una señal 521 de enlace ascendente directo correspondiente al relé 3403 de extremo a extremo. La ventana de tiempo en la cual el clúster AN dado está activo puede incluir uno o más intervalos de tiempo, si se emplea una arquitectura del formador de haces de intervalo de tiempo como se describió anteriormente.

Como se describió anteriormente, el sistema puede incluir un medio para corregir previamente las señales 521 de enlace ascendente directo para compensar, *por ejemplo*, retrasos del trayecto, cambios de fase, *etc.* entre los AN respectivos y el relé 3403 de extremo a extremo. En algunos casos, las correcciones previas pueden llevarse a cabo por el formador 529 de haz directos. De manera adicional o alternativa, la corrección previa puede llevarse a cabo por los propios AN 515. Como un ejemplo, cada uno de los AN 515 puede transmitir una señal de baliza de nodo de acceso al relé 3403 de extremo a extremo y recibe la señalización del relé 3403 de extremo a extremo que incluye una señal de baliza del relé y la señal de baliza retransmitida del nodo de acceso (*p. ej*., retransmitida 3403 desde el relé de extremo a extremo). En este ejemplo, cada AN 515 puede ajustar su señal 521 de enlace ascendente directo respectivo (*p. ej*., puede ajustar la información de sincronización y/o fase asociada con la transmisión de la señal) en base a la señal de baliza de nodo de acceso retransmitida. Como un ejemplo, el AN 515 puede ajustar la señal 521 de enlace ascendente directo al tiempo y alinear la fase de la señal de baliza de nodo de acceso retransmitida con la señal de baliza de retransmisión recibida. En algunos casos, la señalización descrita en este ejemplo (*p. ej*., la señal de baliza de nodo de acceso, la señal de baliza del relé, y la señal de baliza de nodo de acceso retransmitida) se pueden recibir o transmitir a través de un subsistema 3410 de antenas de enlace de alimentador, como se describió anteriormente. Así, en algunos casos, aunque no se muestra, el relé 3403 de extremo a extremo incluye un transmisor de señal de baliza. El transmisor de señal de baliza puede implementarse como se describió anteriormente con referencia al generador de señal de baliza y al módulo 424 de soporte de calibración de la Figura 15.

Mientras las partes de la descripción anterior han descrito técnicas para las formaciones de haces de extremo a extremo entre una única área 3450 activa de AN (*p. ej*., seleccionada entre dos o más áreas 3450 de AN) y una única área 3460 activa de cobertura de usuario (*p. ej*., seleccionada entre dos o más áreas 3460 de cobertura de usuario), en algunos casos puede tener conveniente múltiples áreas 3450 de AN distintas simultáneamente (*p. ej*., cooperativamente) usadas para proporcionar servicio a una única área 3460 de cobertura de usuario. Un ejemplo de un sistema de este tipo se muestra con respecto a la Figura 50C, que incluye áreas 3450a y 3450b de AN así como áreas 3460 de cobertura de usuario.

Con referencia a la Figura 50C, un ejemplo de sistema puede incluir múltiples clústeres AN (*p. ej*., dos clústeres AN relativamente densos). Cada clúster AN puede contener múltiples AN 515 geográficamente distribuidos dentro del área 3450 de AN respectiva, en donde cada AN 515 puede operarse para transmitir una señal 521 de enlace ascendente directo respectiva previamente corregida al relé 3403 de extremo a extremo. Los múltiples clústeres AN pueden usarse cooperativamente para proporcionar servicio a las terminales 517 de usuario dentro del área 3460 de cobertura de usuario. Los múltiples clústeres AN pueden emplearse cooperativamente mediante el uso de una variedad de técnicas. En un ejemplo, un relé 3403 de extremo a extremo puede emplear un subsistema 3410 de antenas de enlace de alimentador que tiene un único arreglo 3415 de elementos de antena del enlace de alimentador y un reflector compuesto que ilumina los múltiples clústeres AN.

La Figura 57 ilustra un subsistema 3410c de antenas de enlace de alimentador que tiene un único arreglo 3415 de elementos de antena del enlace de alimentador y un reflector compuesto 5721. Cada una de múltiples regiones del reflector compuesto 5721 puede tener un punto focal 1523 (que puede estar a la misma o a una distancia diferente del reflector compuesto). Un primer ejemplo se ilustra en la Figura 57, en el cual el reflector compuesto 5721 tiene un solo

punto focal (o región) 1523a. El arreglo 3415 de elementos de la antena del enlace de alimentador puede posicionase en un punto desenfocado del reflector compuesto. Como se ilustra, el arreglo 3415 de elementos de antena del enlace de alimentador se ubica dentro del punto focal 1523a (*es decir*, está más cerca del reflector compuesto 5721 que el punto focal 1523a). De manera alternativa, el arreglo 3415 de elementos de antena del enlace de alimentador puede ubicarse fuera del punto focal 1523a (*es decir*, el arreglo 3415 de elementos de antena del enlace de alimentador puede estar más lejos del reflector compuesto 5721 que el punto focal 1523a). Un segundo ejemplo se ilustra en la Figura 57, en el cual el reflector compuesto 5721 tiene dos puntos focales (o regiones) 1523b y 1523c. En el presente ejemplo, el arreglo 3415 de elementos de antena del enlace de alimentador se ilustra ubicado dentro de los puntos focales 1523b y 1523c. De manera alternativa, el arreglo 3415 de elementos de antena del enlace de alimentador puede ubicarse fuera de los puntos focales 1523b y 1523c. En aún otra modalidad, el arreglo 3415 de elementos de antena del enlace de alimentador puede ubicarse dentro de un punto focal (*p. ej*., punto focal 1523b) y fuera de otro punto focal (*p. ej*., punto focal 1523c). En algunos casos, el punto focal 1523b puede asociarse a una parte superior del reflector compuesto 5721 mientras el punto focal 1523c se asocia con la parte inferior del reflector compuesto 5721. De manera alternativa , el punto focal 1523b, puede asociarse a una parte inferior del reflector compuesto 5721 mientras el punto focal 1523c se asocia a una parte superior del reflector compuesto 5721. El arreglo 3415 de elementos de la antena del enlace de alimentador puede incluir elementos 3419 de transmisión constituyentes de enlace de alimentador y los elementos 3416 de recepción constituyentes de enlace de alimentador, que en algunos casos pueden ser los mismos elementos de la antena (*p. ej*., con diferentes polarizaciones o frecuencias usadas para la transmisión y recepción, *etc.*).

En la dirección de transmisión, la salida de los elementos 3419 de transmisión constituyentes de enlace de alimentador pueden reflejar desde el reflector 5721 para formar un primer grupo 5705a de haces que iluminan una primera área 3450 de AN (*p. ej*., área 3450a de AN de la Figura 50C) y un segundo grupo 5705b de haces que refleja una segunda área 3450 de AN (*p. ej*., área 3450b de AN de la Figura 50C). Aunque no se muestra, en una dirección de recepción las señales desde una primera área 3450a de AN y desde una segunda área 3450b de AN puede reflejarse en los elementos 3416 de recepción constituyentes de enlace de alimentador del arreglo 3415 de elementos de antena del enlace de alimentador mediante el uso de reflectores compuestos 5721.

Volviendo a la Figura 50C, las múltiples áreas 3450 de AN pueden usarse independientemente o juntas (*p. ej*., cooperativamente). Por ejemplo, los AN de solo una de las áreas 3450a o 3450b de AN pueden activarse en un momento dado, y los coeficientes de formaciones de haces pueden generarse para formar áreas 519 de cobertura de haz de usuario dentro del área 3460 de cobertura de usuario desde los AN 515 del clúster activo AN. De manera alternativa, los coeficientes de formaciones de haces pueden generarse para formar haces de usuario dentro del área 3460 de cobertura de usuario mediante el uso de ambos clústeres AN simultáneamente (*p. ej*., cooperativamente). En la dirección directa, un formador 529 de haz directo puede aplicar los coeficientes de formaciones de haces (*p. ej*., mediante un producto matricial entre señales de haz directo y una matriz de ponderación de haz directo) para obtener una pluralidad de señales directas específicas del nodo de acceso para los AN 515 dentro de ambos clústeres para generar los haces directos de usuario deseados. En la dirección de retorno, el formador 531 de haces de retorno puede obtener las señales de retorno compuestas de los AN 515 dentro de ambos clústeres y aplicar una matriz de ponderación de haz de retorno para formar las señales de haz de retorno asociada con los haces de retorno de usuario.

En algunos casos, las áreas 3450a y 3450b de AN pueden no superponerse (*p. ej*., desvincularse). De manera alternativa, las áreas 3450a y 3450b de AN pueden (*p. ej*., al menos parcialmente) superponerse. Además, al menos una de las áreas 3450a y 3450b de AN pueden superponerse al menos parcialmente con el área 3460 de cobertura de usuario. De manera alternativa, al menos una de las áreas 3450a y 3450b de AN puede no superponerse (*p. ej*., desvincularse) con el área 3460 de cobertura de usuario. Como se describió anteriormente, en algunos casos al menos uno de los AN 515 en una o ambas áreas 3450a o 3450b de AN puede disponerse sobre una plataforma móvil y/o ubicarse en un cuerpo acuático.

Con referencia a la Figura 50B o 50C, cada una de las múltiples áreas 3450 de AN puede iluminarse mediante el uso de un arreglo 3415 de elementos de antena del enlace de alimentador separado. En algunos casos, los arreglos 3415 de elementos de la antena del enlace de alimentador pueden usarse simultáneamente (*p. ej*., múltiples áreas de AN 3450 pueden usarse cooperativamente) para admitir el servicio proporcionado a una única área 3460de cobertura de usuario. Con referencia de nuevo a la Figura 50C, un relé 3403 de extremo a extremo puede tener arreglos 3415 de elementos de la antena del enlace de alimentador separados que iluminan cada una de las áreas 3450a y 3450b de AN. En algunos ejemplos, el relé 3403 de extremo a extremo puede tener subsistemas 3410 de antenas de enlace de alimentador separados, en donde cada subsistema 3410 de antenas de enlace de alimentador incluye un arreglo 3415 de elementos de antena del enlace de alimentador y un reflector. La Figura 56A muestra un relé 3403 de extremo a extremo que tiene un subsistema 3410a de antenas de enlace de alimentador que incluye un primer arreglo 3415a de elementos de antena del enlace de alimentador que ilumina la primera área 3450a del AN a través de un primer reflector 5621a y un segundo arreglo 3415b de elementos de antena del enlace de alimentador que ilumina la segunda área 3450b de AN a través de un segundo reflector 5621b. El primer y segundo arreglos 3415a y 3415b de elementos de antena del enlace de alimentador pueden incluir cada una, elementos 3416 de recepción constituyentes de enlace de alimentador y elementos 3419 de transmisión constituyentes de enlace de alimentador. La Figura 56B muestra un subsistema 3410b de antenas de enlace de alimentador que incluye un primer arreglo 3415a de elementos de antena del enlace de alimentador y un segundo arreglo 3415b de elementos de antena del enlace de alimentador que iluminan las áreas 3450 de AN correspondientes a través de un único reflector 5621. Como se ilustra en la Figura 56B, los arreglos 3415 de

elementos de enlace de alimentador pueden ubicarse en posiciones desenfocadas con relación al punto focal 1523 del reflector 5621. Aunque los arreglos 3415 de elementos de enlace de alimentador se muestran ubicados más allá del punto focal 1523 del reflector 5621, estos pueden ubicarse de manera alternativa más cerca del reflector 5621 que el punto focal 1523.

De manera similar, múltiples áreas 3460 de cobertura de usuario pueden implementarse mediante el uso de arreglos 3425 de elementos de antena del enlace de usuario separados tanto con reflectores separados (similar a la Figura 56A) o con un único reflector (similar a la Figura 56B). Por tanto, las múltiples áreas 3450 de AN y las múltiples áreas 3460 de cobertura de usuario en la Figura 50B pueden desplegarse mediante el uso de cualquier combinación de un único reflector del enlace de alimentador o múltiples reflectores de enlace de alimentador y de un único reflector de enlace de usuario o múltiples reflectores de enlace de usuario. En otro ejemplo, un despliegue similar al mostrado en la Figura 50B puede lograrse con reflectores compartidos entre enlaces de alimentador y enlaces de usuario mediante el uso de diferentes bandas de frecuencia de enlaces de alimentador y de enlaces de usuario. Por ejemplo, un único arreglo de elementos de antena puede tener elementos constituyentes de enlace de alimentador y elementos constituyentes de enlace de usuario (*p. ej*., en un patrón intercalado como el que se muestra en la Figura 62). El enlace de alimentador puede usar un rango de frecuencias que es mayor (*p. ej*., más de 1,5 o 2 veces mayor) para proporcionar una mayor ganancia con un reflector común. En un ejemplo, el usuario de enlace puede utilizar un rango de frecuencias (o rangos) en las bandas k/Ka (*p. ej*., aproximadamente 30 GHz), mientras que el rango de frecuencias de enlace de alimentador utiliza los rangos de frecuencia en las bandas V/W (*p. ej*., aproximadamente 60 GHz). Debido a que el ancho del haz es más estrecho a mayores frecuencias, el área 3450 de AN que comparte el arreglo de elementos de antena común (y por tanto el reflector) será una menor área (y concéntrico con) que el área de cobertura de usuario. Por tanto, un subsistema de antenas que incluye un único arreglo de elementos de antena y el reflector puede usarse para iluminar el área 3450a de cobertura de usuario y el área 3450b de AN mientras un segundo subsistema de antenas que incluyen un único arreglo de elementos de antena y el reflector puede usarse para iluminar el área 3450b de cobertura de usuario y el área 3450a de AN. En aún otro ejemplo para un despliegue similar a la Figura 50B, un único subsistema de antenas puede incluir un único reflector y dos arreglos de elementos de antena como se muestra en la Figura 56B, en donde cada arreglo de elementos de antena incluye elementos constituyentes de enlace de alimentador y elementos constituyentes de enlace de usuario.

Con referencia de nuevo a la Figura 56B, en algunos casos, el primer arreglo 3415a de elementos de antena del enlace de alimentador puede acoplarse a un primer subconjunto de trayectos múltiples de señal de recepción/transmisión asociados al relé 3403 de extremo a extremo mientras el segundo arreglo 3415b de elementos de antena del enlace de alimentador puede acoplarse con un segundo subconjunto de trayectos múltiples de señal de recepción/transmisión. Por tanto, un primer conjunto de señales 521 de enlace ascendente directo desde el clúster AN que tiene un área 3450a de AN puede transportarse a través de un primer subconjunto de trayectos múltiples de señal de recepción/transmisión asociados al relé 3403 de extremo a extremo. Adicionalmente, un segundo conjunto de señales 521 de enlace ascendente directo desde el clúster AN que tiene un área 3450b de AN puede transportarse a través de un segundo subconjunto de trayectos múltiples de la señal de recepción/transmisión. En algunos casos, el primer y segundo conjuntos de señales de enlace ascendente directo pueden ambos contribuir a la formación de un haz directo de usuario asociado a al menos una de las múltiples áreas 519 de coberturas del haz directo de usuario en el área 3460 de cobertura de usuario.

Las Figuras 52A y 52B muestran trayectos de señal de recepción/transmisión directo y de retorno ilustrativos para el uso cooperativo de múltiples clústeres AN, en donde cada clúster AN se asocia a un arreglo 3415 de elementos de antena del enlace de alimentador separado. Con referencia primero a la Figura 52a, se muestra un trayecto 5200 de señal directa ilustrativo. El trayecto 5200 de señal directa incluye un primer transpondedor 3430e de enlace directo acoplado entre un elemento 3416a de recepción constituyente de enlace de alimentador de un primer arreglo 3415a de elementos de antena del enlace de alimentador y un primer elemento 3429 de transmisión constituyente de enlace de usuario de un arreglo 3425 de elementos de antena del enlace de usuario y un segundo transpondedor 3430e de enlace directo acoplado entre un elemento 3416b de recepción constituyente de enlace de alimentador de un segundo arreglo 3415b de elementos de antena del enlace de alimentador y un segundo elemento 3429 de transmisión constituyente de enlace de usuario del mismo arreglo 3425 de elementos de la antena del enlace de usuario. Un relé 3403 de extremo a extremo puede tener un primer conjunto de transpondedores 3420 de enlace directo acoplado como se muestra por el primer transpondedor 3430e de enlace directo y un segundo conjunto de transpondedores 3430 de enlace directo acoplado como se muestra por el segundo transpondedor 3430e de enlace directo. Por tanto, los elementos 3416a de recepción constituyentes de enlace de alimentador del primer arreglo 3415a de elementos de antena del enlace de alimentador puede acoplarse a través de un primer conjunto de transpondedores 3430e de enlace directo a un primer subconjunto de elementos 3429 de transmisión constituyentes de enlace de usuario de un arreglo 3425 de elementos de antena del enlace de usuario mientras los elementos 3416b de recepción constituyentes de enlace de alimentador del segundo arreglo 3415b de elementos de antena del enlace de alimentador pueden acoplarse a través de un segundo conjunto de transpondedores 3430e de enlace directo a un segundo subconjunto de elementos 3429 de transmisión constituyentes de enlace de usuario del mismo arreglo 3425 de elementos de antena del enlace de usuario. El primer y segundo conjuntos de elementos 3429 de transmisión constituyentes de enlace de usuario pueden intercalarse espacialmente (*p. ej*., alternados en hileras y/o columnas, *etc*.) dentro del arreglo 3425 de elementos de antena del enlace de usuario (*p. ej*., como se muestra en la Figura 62).

La Figura 52B ilustra un trayecto 5250 de señal de retorno ilustrativo. El trayecto 5250 de señal de retorno incluye un primer transpondedor 3440e de enlace de retorno acoplado entre un elemento 3426a de recepción constituyente de enlace de usuario de un arreglo 3425 de elementos de antena del enlace de usuario y un primer elemento 3419a de transmisión constituyente de enlace de alimentador de un primer arreglo 3415a de elementos de antena del enlace de alimentador. Los trayectos 5250 de señal de retorno incluyen además un segundo transpondedor 3440e de enlace de retorno acoplado entre un elemento 3426b de recepción constituyente de enlace de usuario del mismo arreglo 3425 de elementos de antena del enlace de usuario y un segundo elemento 3419b de transmisión constituyente de enlace de alimentador de un segundo arreglo 3415b de elementos de antena del enlace de alimentador. Un relé 3403 de extremo a extremo puede tener un primer conjunto de transpondedores 3440 de enlace de retorno acoplados como se muestra por el primer transpondedor 3440e de enlace de retorno y un segundo conjunto de transpondedores 3440 de enlace de retorno acoplados como se muestra por el segundo transpondedor 3440e de enlace de retorno. Por tanto, un primer subconjunto de elementos 3426a de recepción constituyentes de enlace de usuario del arreglo 3425 de elementos de antena del enlace de usuario pueden acoplarse a través de un primer conjunto de transpondedores 3440e de enlace de retorno al elemento 3419a de transmisión constituyente de enlace de alimentador de un primer arreglo 3415a de elementos de antena del enlace de alimentador mientras un segundo subconjunto de elementos 3426b de recepción constituyentes de enlace de usuario del mismo arreglo 3425 de elementos de antena del enlace de usuario puede acoplarse a través de un segundo conjunto de transpondedores 3440e de enlace de retorno al elemento 3419b de transmisión constituyente de enlace de alimentador de un segundo arreglo 3415b de elementos de antena del enlace de alimentador. Como se mencionó anteriormente, los elementos 3426 de recepción constituyentes de enlace de usuario y los elementos 3429 de transmisión constituyentes de enlace de usuario pueden ser los mismos elementos de la antena física. De manera similar, los elementos 3416 de recepción constituyentes de enlace de alimentador y los elementos 3419 de transmisión constituyentes de enlace de alimentador de un arreglo 3415 de elementos de antena del enlace de alimentador dada pueden ser los mismos elementos de la antena física.

El primer y segundo conjuntos 3426 de elementos de recepción constituyentes de enlace de usuario pueden intercalarse espacialmente (*p. ej.*, alternarse en hileras y/o columnas, *etc.*) dentro del arreglo 3425 de elementos de antena del enlace de usuario. La Figura 62 muestra un arreglo 6200 de elementos de antena ilustrativos con subconjuntos intercalados espacialmente de elementos 6205 de la antena constituyente. Aunque cada elemento 6205 de la antena constituyente se muestra como un elemento de la antena circular y los subconjuntos intercalados se muestran dispuestos en hileras alternas, los elementos 6205 de la antena constituyentes pueden tener cualquier forma (*p. ej.*, cuadrada, hexagonal, *etc.*) y se disponen en cualquier patrón adecuado (*p. ej.*, hileras alternas o columnas, un damero, *etc.*). Cada elemento 6205 de la antena constituyente puede ser un ejemplo de un elemento 3416 de recepción constituyente de enlace de usuario o un elemento 3419 de transmisión constituyente de enlace de usuario, o ambos (*p. ej.*, un elemento usado para la transmisión y la recepción).

Con referencia a las Figuras 52A y 52B, en donde el arreglo 3425 de elementos de antena del enlace de usuario se implementa como el arreglo 6200 de elementos de antena de la Figura 62, el primer conjunto de transpondedores 3430e de enlace directo puede tener cada uno su salida acoplada a uno del primer conjunto de elementos 6205a de la antena de enlace de usuario mientras el segundo conjunto de transpondedores 3430e de enlace directo puede tener cada uno su salida acoplada a uno del segundo conjunto de elementos 6205b de la antena de enlace de usuario. Además, el primer conjunto de transpondedores 3440e de enlace de retorno puede tener cada uno su salida acoplada a uno del primer conjunto de elementos 6205a de la antena de enlace de usuario mientras el segundo conjunto de transpondedores 3440e de enlace de retorno puede tener cada uno su entrada acoplada con uno del segundo conjunto de elementos 6205b de la antena de enlace de usuario.

En algunos casos, el relé 3403 de extremo a extremo incluye un gran número de transpondedores, tal como 512 transpondedores 3430 de enlace directo y 512 transpondedores 3440 de enlace de retorno (*p. ej.*, 1.024 transpondedores en total). Por lo tanto, el primer conjunto de transpondedores 3430e de enlace directo de la Figura 52A puede incluir 256 transpondedores y el segundo conjunto de transpondedores 3430e de enlace directo puede incluir 256 transpondedores.

En algunos casos, el apoyo para el uso de múltiples clústeres AN se proporciona a través de las características de los transpondedores asociados con el relé 3403 de extremo a extremo. De manera adicional o alternativa, el apoyo para el uso de múltiples clústeres AN puede proporcionarse mediante el uso de uno o más reflectores diseñados adecuadamente. Algunos ejemplos de transpondedores se describieron anteriormente (*p. ej.*, con respecto a las Figuras 49A, 49b, 51a, 51b, 52A y 52B); otros ejemplos de diseños de transpondedores se describen a continuación. Debe entenderse que las técnicas descritas con referencia a cualquiera de los transpondedores 3430 de enlace directo y los transpondedores 3440 de enlace de retorno ilustrativos pueden aplicarse en algunos casos a cualquier otro transpondedor ilustrativo. Además, los componentes de los transpondedores pueden reordenarse de cualquier manera adecuada sin desviarse del alcance de la invención.

Solo una única polarización de trayectos de recepción/transmisión (*p. ej.*, un transpondedor de polos cruzados) se muestra en las figuras 49A, 49b, 52A y 52B para mayor claridad. Por ejemplo, el transpondedor 3430 de enlace directo recibe una señal 521 de enlace ascendente directo a una frecuencia de enlace ascendente con left-hand circular

polarization (polarización circular izquierda - LHCP) y emite una señal 522 de enlace descendente directo a una frecuencia de enlace descendente con right-hand circular polarization (polarización circular derecha - RHCP); y cada transpondedor 3440 de enlace de retorno recibe una señal 525 de enlace ascendente de retorno a la frecuencia de enlace ascendente con right-hand circular polarization (polarización circular derecha - RHCP) y emite una señal 527 de enlace descendente de retorno a la frecuencia de enlace descendente con left-hand circular polarization (polarización circular izquierda - LHCP). En otros casos, algunos o todos los transpondedores pueden proporcionar un par de trayectos de señal bipolar. Por ejemplo, los transpondedores 3430 de enlace directo y los transpondedores 3440 de enlace de retorno pueden recibir señales de enlace ascendente directo a la misma frecuencia o a diferente frecuencia de enlace ascendente con ambas polarizaciones (LHCP y RHCP) y ambas pueden emitir señales de enlace descendente directo a la misma frecuencia o a diferente frecuencia de enlace descendente con ambas polarizaciones (RHCP y LHCP). Por ejemplo, dichos casos pueden permitir que múltiples sistemas funcionen en paralelo mediante el uso de cualquier tipo adecuado de técnicas de mitigación de interferencias (*p. ej*., mediante el uso de división de tiempo, división de frecuencia, *etc*.). En algunos casos, el relé 3403 de extremo a extremo incluye un gran número de transpondedores, tal como 512 transpondedores 3430 de enlace directo y 512 transpondedores 3440 de enlace de retorno (*p. ej*., 1.024 transpondedores en total). Otras implementaciones pueden incluir números más pequeños de transpondedores, tal como 10, o cualquier otro número adecuado. En algunos casos, los elementos de antena se implementan como estructuras dúplex, de manera que cada elemento de antena receptora comparte estructura con un elemento de antena transmisora respectivo. Por ejemplo, cada elemento de antena ilustrado puede implementarse como dos de cuatro puertos de guía de ondas de una estructura de radiación adaptada tanto para la transmisión como para la recepción de señales. En algunos casos, solo los elementos de enlace de alimentador, o solo los elementos de enlace de usuario, son dúplex. Otras implementaciones pueden usar diferentes tipos de polarización. Por ejemplo, en algunas implementaciones, los transpondedores pueden acoplarse entre un elemento de antena receptora y un elemento de antena transmisora de la misma polaridad.

El transpondedor 3430 de enlace directo ilustrativo y el transpondedor 3440 de enlace de retorno pueden incluir algunos o todos los LNA 3705, convertidores de frecuencia y filtros asociados 3710, amplificadores 3715de canal, desfasadores 3720, amplificadores 3725 de potencia (*p. ej*., TWTA, SSPA, *etc*.) y filtros 3730 de armónicos. En implementaciones bipolares, como se muestra, cada polo es su propio trayecto de señal con su propio conjunto de componentes del transpondedor. Algunas implementaciones pueden tener más o menos componentes. Por ejemplo, los convertidores de frecuencia y los filtros asociados 3710 pueden ser útiles en casos donde las frecuencias de enlace ascendente y descendente son diferentes. Como un ejemplo, cada transpondedor 3430 de enlace directo puede aceptar una entrada en un primer rango de frecuencias y puede emitir en un segundo rango de frecuencias; y cada transpondedor 3440 de enlace de retorno puede aceptar una entrada en la primera banda de frecuencia y puede emitir en la segunda banda de frecuencia. De manera adicional o alternativa, cada transpondedor 3430 de enlace directo puede aceptar una entrada en un primer rango de frecuencias y puede emitir en un segundo rango de frecuencias; y cada transpondedor 3440 de enlace de retorno puede aceptar una entrada en el segundo rango de frecuencias y puede emitir en el primer rango de frecuencias.

Como un ejemplo, los transpondedores de las Figuras 52A y 52B pueden implementarse en un sistema similar al de la Figura 50C. En este ejemplo, algunos o todos los AN 515 en un área 3450a de AN pueden transmitir señales 521 de enlace ascendente directo en coordinación con algunos o todos los AN 515 en el área 3450b de AN. Las señales de enlace ascendente directo desde los dos clústeres AN pueden combinarse por tanto para proporcionar servicio a las terminales de usuario en el área 3460de cobertura de usuario. En este ejemplo, algunos clústeres AN pueden afectar solo algunos elementos de la antena del enlace de usuario (*p. ej*., algunos clústeres AN pueden asociarse a un subconjunto de elementos 3416 de recepción constituyentes de enlace de alimentador que puede acoplarse a un subconjunto 3429 de elementos de transmisión constituyentes de enlace de usuario correspondiente). Aunque el ejemplo anterior describe el uso de dos clústeres AN, otras modalidades que usan más clústeres también son posibles.

Otro trayecto 5300 de señal directa ilustrativa se muestra en la Figura 53A. El trayecto 5300 de señal directa puede incluir alguna combinación de LNA 3705a, convertidores de frecuencia y filtros asociados 3710a, amplificadores 3715a del canal, cambiadores 3720a de fase, amplificadores 3725a de potencia (*p. ej*., TWTA, SSPA, *etc.*) y filtros 3730a de armónicos. El lado de entrada del transpondedor d3430f e enlace directo se acopla de manera selectiva a uno de los elementos 3416a o 3416b de recepción constituyentes de enlace de alimentador (*p. ej*., mediante el uso de un conmutador 4010b, o cualquier otro medio de selección del trayecto adecuado). Cada elemento 3416a o 3416b de recepción constituyente de enlace de alimentador puede ser parte de un arreglo 3415 separado de elementos de antena de enlace de alimentador (*p. ej*., cada parte de un arreglo 3415 separado de elementos 3416 de recepción constituyentes de enlace de alimentador cooperativos). El lado de salida del transpondedor 3430f de enlace directo se acopla a un elemento 3429 de transmisión constituyente de enlace de usuario de un arreglo 3425 de elementos de antena del enlace de usuario (*p. ej*., que es parte de un subsistema 3420 de elementos de la antena de enlace de usuario). Uno o más controladores 4070 de conmutación (no se muestra) pueden incluirse en el relé 3403 de extremo a extremo para seleccionar entre algunos o todos los trayectos de señal posibles habilitados por el transpondedor 3430f de enlace directo. Por tanto, cuando el transpondedor ilustrativo 3430b de la Figura 47A permite, por ejemplo, el acoplamiento selectivo entre un único elemento 3416 de recepción constituyente de enlace de alimentador y múltiples elementos 3429de transmisión constituyentes de enlace de usuario, el transpondedor ilustrativo 3430f de la Figura 53A

permite, por ejemplo, el acoplamiento selectivo entre múltiples elementos 3416a, 3416b de recepción constituyentes de enlace de alimentador y un único elemento 3429 de transmisión constituyente de enlace de usuario.

Un trayecto 5350 de señal de retorno ilustrativo se muestra en la Figura 53B. El trayecto 5350 de señal de retorno puede incluir alguna combinación de LNA 3705b, convertidores de frecuencia y filtros asociados 3710b, amplificadores 3715b del canal, cambiadores 3720b de fase, amplificadores 3725b de potencia (*p. ej*., TWTA, SSPA, *etc.*) y filtros 3730b de armónicos. El lado de salida del transpondedor 3440f de enlace de retorno se acopla de manera selectiva a uno de dos elementos 3419a o 3419b de transmisión constituyentes de enlace de usuario (*p. ej*., mediante el uso de conmutadores 4010a, o cualquier otro medio de selección del trayecto adecuado). Cada elemento 3419a o 3419b de transmisión constituyente de enlace de alimentador puede ser parte de un arreglo 3415 separado de elementos de antena de enlace de alimentador (*p. ej*., cada parte de un arreglo separado 3415 de elementos 3419 de transmisión constituyentes de enlace de alimentador cooperativos. El lado de entrada del transpondedor 3440f de enlace de retorno se acopla a un elemento 3426 de recepción constituyente de enlace de usuario de un arreglo 3425 de elementos de antena del enlace de usuario (*p. ej*., que es parte de un subsistema 3420 de elementos de la antena de enlace de usuario). Uno o más controladores 4070 de conmutación (no se muestra) pueden incluirse en el relé 3403 de extremo a extremo para seleccionar entre algunos o todos los trayectos de señal posibles habilitados por el transpondedor 3440f de enlace de retorno. Por tanto, cuando el transpondedor 3440b de enlace de retorno ilustrativo de la Figura 47B permite, por ejemplo, el acoplamiento selectivo entre un único elemento 3419 de transmisión constituyente de enlace de alimentador y múltiples elementos 3426 de recepción constituyentes de enlace de usuario, el transpondedor ilustrativo 3440f de la Figura 53B permite, por ejemplo, el acoplamiento selectivo entre un único elemento 3426 de recepción constituyente de enlace de usuario y múltiples elementos 3419 de transmisión constituyentes de enlace de alimentador.

Como un ejemplo, el transpondedor 3430f de enlace directo de la Figura 53A puede implementarse en un sistema similar al de la Figura 50C. En este ejemplo, algunos o todos los AN 515 en un área 3450a de AN pueden transmitir señales 521 de enlace ascendente directo durante un primer intervalo de tiempo. Algunos o todos los AN 515 en un área 450b de AN 3pueden transmitir señales 521 de enlace ascendente directo durante un segundo intervalo de tiempo. El uso de algunos medios de selección de trayectos adecuados (*p. ej*., un conmutador), el transpondedor 3430f de enlace directo puede recibir la entrada del área 3450a de AN (*p. ej*., a través del primer arreglo de elementos 3416a de recepción constituyentes de enlace de alimentador cooperativos) durante el primer intervalo de tiempo y desde el área 3450b de AN (*p. ej*., a través del segundo arreglo de elementos 3416b de recepción constituyentes de enlace de alimentador cooperativos) durante el segundo intervalo de tiempo. En algunos de dichos escenarios, cada área 3450 de AN puede incluir un complemento completo de AN 515 (*p. ej*., de manera que cada área 3450 de AN puede proporcionar formaciones de haces adecuados sobre toda el área 3460 de cobertura de usuario).

Como un ejemplo, el transpondedor 3440f de enlace de retorno de la Figura 53B puede implementarse en un sistema similar al de la Figura 50C. En este ejemplo, algunos o todos los AN 515 en un área 3450a de AN pueden recibir señales 527 de enlace descendente de retorno durante un primer intervalo de tiempo. Algunos o todos los AN 515 en un área 3450b de AN pueden recibir señales 527 de enlace descendente de retorno durante un segundo intervalo de tiempo. El uso de algunos medios de selección de trayectos adecuados (*p. ej*., un conmutador) implica que el transpondedor 3440f de enlace de retorno puede emitir hacia el área 3450a de AN (*p. ej*., a través del primer arreglo de elementos 3419a de transmisión constituyentes de enlace de alimentador cooperativos) durante el primer intervalo de tiempo y haca el área 3450b de AN (*p. ej*., a través del segundo arreglo 3419b de elementos de transmisión constituyentes de enlace de alimentador cooperativos) durante el segundo intervalo de tiempo. En algunos de dichos escenarios, cada área 3450 de AN puede incluir un complemento completo de AN 515 (*p. ej*., de manera que la única área 3450 de AN puede proporcionar formaciones de haces adecuados sobre toda el área 3460 de cobertura de usuario).

Las Figuras 54A y 54B ilustran transpondedores 3430g y 3440g de enlace de retorno y directo, respectivamente. Estos transpondedores son similares a los de las Figuras 51A y 51B excepto que los componentes se han reordenado de manera que el conmutador 4010a sigue el filtro 3730 de armónico. Como se describió anteriormente, pueden ser posibles otros reordenamientos de los componentes. En algunos casos, esta disposición ilustrativa puede requerir menos amplificadores 3725 de potencia y/o filtros 3730 de armónicos. De manera similar a las Figuras 51A y 51B, dicha disposición puede permitir la asociación selectiva un clúster AN y un área 3460 de cobertura de usuario. Esta asociación selectiva puede permitir la ubicación flexible de la capacidad entre dos (o más) áreas de usuario, así como la reutilización de la frecuencia entre los enlaces de usuario y de alimentación (*p. ej*., que puede aumentar la capacidad del sistema).

Como se describe anteriormente con referencia a la Figura 46b, en algunos casos puede no existir superposición entre el área 3450 de AN y el área 3460 de cobertura de usuario, lo que puede requerir el uso de un mecanismo de lazo cerrado separado a partir del descrito anteriormente. En algunos casos, el mecanismo de lazo cerrado separado puede incluir el uso de un transpondedor 5450 de lazo cerrado, tal como el que se muestra en las Figuras 55A, 55B, o 55C. En algunas modalidades, el transpondedor 5450 de lazo cerrado puede recibir balizas de lazo cerrado del AN (*p. ej*., balizas de lazo cerrado del AN transmitidas desde cada AN), que pueden ser ejemplos de las señales 2530 de baliza del nodo de acceso descrito con referencia a la Figura 38. El transpondedor 5450 de lazo

cerrado puede retransmitir las señales 2530 de baliza del nodo de acceso y transmitir una baliza del satélite (*p. ej*., que puede generarse mediante el uso de un generador 426 de baliza del relé como se describió anteriormente). En algunos de los ejemplos siguientes, el lado de entrada del transpondedor 5450 de lazo cerrado se acopla a un elemento de la antena enlace de alimentador. De manera alternativa, el lado de entrada del transpondedor 5450 de lazo cerrado puede acoplarse a un elemento de la antena de lazo cerrado que se separa y es distinto del arreglo de elementos de antena del enlace de alimentador. De manera similar, en algunos de los siguientes ejemplos, el lado de salida del transpondedor 5450 de lazo cerrado se acopla a un elemento de la antena de enlace de alimentador o a un elemento de la antena de enlace de usuario. De manera alternativa, el lado de salida del transpondedor 5450 de lazo cerrado puede acoplarse a un elemento de la antena de lazo cerrado distinto del arreglo de elementos de antena del enlace de alimentador y el arreglo de elementos de antena del enlace de usuario, que puede ser el mismo o diferente al elemento de la antena de lazo cerrado acoplado al lado de entrada del transpondedor 5450 de lazo cerrado.

Con referencia a la Figura 55A, el transpondedor 5450a de lazo cerrado puede incluir alguna combinación de LNA 3705c, convertidores de frecuencia y filtros asociados 3710c, amplificadores 3715c del canal, cambiadores 3720c de fase, amplificadores 3725c de potencia (*p. ej*., TWTA, SSPA, *etc.*) y filtros 3730c de armónicos. Además, como se ilustra en Figura 55B, en el caso donde un relé 3403 de extremo a extremo tiene múltiples arreglos 3415 de elementos de la antena del enlace de alimentador, el lado de entrada del transpondedor 5450 de lazo cerrado puede acoplarse selectivamente a uno de un primer elemento 3416a de recepción constituyente de enlace de alimentador de un primer arreglo 3415a de elementos de antena del enlace de alimentador o un segundo elemento 3416b de recepción constituyente de enlace de alimentador de un segundo arreglo 3415b de elementos de antena del enlace de alimentador (*p. ej*., mediante el uso de un conmutador 4010b, o cualquier otro medio de selección de trayectos adecuado). La Figura 55A muestra el lado de salida del transpondedor 5450a de lazo cerrado ilustrativo acoplado a un elemento 3419 de transmisión constituyente de enlace de alimentador. La Figura 55B muestra el lado de salida del ejemplo transpondedor 5450b de lazo cerrado acoplado selectivamente (*p. ej*., mediante el uso de un conmutador 4010a, o cualquier otro medio de selección de trayectos adecuado) a cualquier elemento 3419a de transmisión constituyente de enlace de alimentador o elemento 3419b de transmisión constituyente de enlace de alimentador, que pueden ser componentes de un mismo arreglo 3415 de elementos de la antena del enlace de alimentador o diferentes arreglos de elementos de la antena del enlace de alimentador. Es decir, el elemento 3419b de transmisión constituyente de enlace de alimentador puede ser un componente del mismo arreglo 3415 de elementos de antena como el elemento 3419a de transmisión constituyente de enlace de alimentador y/o el elemento 3416b de recepción constituyente de enlace de alimentador. Como se ilustra, el elemento 3419b de transmisión constituyente de enlace de alimentador es parte del mismo arreglo 3415b de elementos de antena como el elemento 3416b de recepción constituyente de enlace de alimentador. De manera similar, el lado 5450b de entrada del transpondedor de lazo cerrado puede acoplarse selectivamente (*p. ej*., mediante el uso de un conmutador 4010b, o cualquier otro medio de selección de trayectos adecuado) a cualquier elemento 3416a o 3416b de recepción constituyente de enlace de alimentador, que pueden ser componentes de uno mismo o de diferentes arreglos 3415 de elementos de la antena del enlace de alimentador. El transpondedor 5450b de lazo cerrado de la Figura 55B puede emplearse en los casos donde el relé 3403 de extremo a extremo admite el uso selectivo de una de múltiples áreas 3450 de nodos de acceso (*p. ej*., como se describió en algunos ejemplos ilustrados en la Figura 50B). Por tanto, el conmutador 4010a puede ajustarse a una primera posición para proporcionar la salida del transpondedor 5450b de lazo cerrado al elemento 3419a de transmisión constituyente de enlace de alimentador cuando una primera área 3450 de nodos de acceso se activa y a una segunda posición para proporcionar la salida del transpondedor 5450b de lazo cerrado al elemento 3419b de transmisión constituyente de enlace de alimentador cuando una segunda área 3450 de nodos de acceso está activa. En algunos casos, pueden existir dos o más elementos 3419 de transmisión constituyentes de enlace de alimentador, y cada uno puede ser parte de un arreglo 3415 de elementos de antena del enlace de alimentador (*p. ej*., para el apoyo del uso selectivo de un área 3450 de nodos de acceso a partir de dos o más áreas 3450 de nodos de acceso). Con referencia a la Figura 55B, uno o más controladores de conmutación 4070 (no se muestran) pueden incluirse en el relé 3403 de extremo a extremo para seleccionar entre algunos o todos los trayectos de señal posibles habilitados por el transpondedor 5450b de lazo cerrado. En algunos casos, un elemento 3416 de recepción constituyente de enlace de alimentador y un elemento 3419 de transmisión constituyente de enlace de alimentador puede asociarse con las mismas estructuras físicas, como se describió anteriormente. En algunos casos, los AN 515 pueden ser capaces de sincronizar las transmisiones basado en una comparación de las señales 2530 de baliza de nodo del acceso y la baliza del satélite (*p. ej*., las transmisiones desde los AN 515 dentro de uno o más clústeres AN pueden alinearse en tiempo y fase en base a la comparación).

En algunos casos, el rango de frecuencias de enlace de alimentador puede ser diferente del rango de frecuencias de enlace de usuario. Cuando el rango de frecuencias descendente de enlace de alimentador no se superpone con el rango de frecuencias descendente de enlace de usuario, los transpondedores que traducen desde el rango de frecuencias de enlace ascendente del enlace de alimentador al rango de frecuencias de enlace descendente de enlace de usuario (*p. ej*., mediante el uso de un convertidor 3710 de frecuencias) no puede usarse para retransmitir las señales de baliza del nodo de acceso (*p. ej*., debido a que los AN no pueden recibir y procesar el rango de frecuencias de enlace descendente del enlace de usuario). En tales casos, el transpondedor 5450 de lazo cerrado puede solucionar el problema traduciendo las señales del haz del nodo de acceso desde el rango de frecuencias de enlace ascendente del enlace de alimentador al rango de frecuencias de enlace descendente del enlace de alimentador. Por ejemplo, las comunicaciones del enlace de alimentador (*p. ej*., las señales 521 de enlace ascendente directo y las señales 527 de enlace descendente de retorno) pueden estar en un primer rango

de frecuencias (*p. ej*., un rango de frecuencias dentro de la banda V/W), y las comunicaciones del enlace de usuario (*p. ej*., señales 522 de enlace descendente directo y las señales 525 de enlace ascendente de retorno) pueden estar en un segundo rango de frecuencias (*p. ej*., un rango de frecuencias dentro de una banda K/Ka). Por tanto, aun cuando el área 3450 de AN superpone el área 3460 de cobertura de usuario, los AN 515 pueden no ser capaces de recibir las señales de lazo cerrado del AN retransmitidas a través de los trayectos de señal de recepción/transmisión (*p. ej*., transpondedores directos 3430 y/o transpondedores 3440 de retorno) del relé 3403 de extremo a extremo.

La Figura 55C muestra un transpondedor 5450c de lazo cerrado ilustrativo que recibe todas las señales de lazo cerrado del AN en el rango de frecuencias de enlace ascendente del enlace de alimentador y retransmite las señales de lazo cerrado del AN en el rango de frecuencias de enlace descendente del enlace de alimentador. El transpondedor 5450c de lazo cerrado puede usarse en cualquiera de los despliegues del clúster de nodos de acceso anterior donde el área 3450 de nodos de acceso no se superpone con el área 3460 de cobertura de usuario (*p. ej*., al menos parte de los despliegues descritos con las Figuras 45C, 45E, 45F, 45G o 50B). El rango de frecuencias de enlace ascendente del enlace de alimentador y el rango de frecuencias de enlace descendente del enlace de alimentador puede ser parte de la misma banda (*p. ej*., banda K/Ka, banda V, *etc.*) o bandas diferentes. Las señales de lazo cerrado del AN pueden recibirse a través de los elementos 3455 de la antena, que pueden ser parte de un arreglo 3415 de elementos de antena del enlace de alimentador, o puede ser un elemento de la antena de lazo cerrado separado. Las señales de lazo cerrado retransmitidas del AN pueden transmitirse a través de los mismos elementos 3455 de la antena como se muestra, o diferentes elementos de la antena, en algunos casos. El transpondedor 5450c de lazo cerrado incluye convertidores 5460 de frecuencia de lazo cerrado, que puede convertir las señales de lazo cerrado del AN desde una frecuencia portadora dentro del rango de frecuencias de enlace ascendente del enlace de alimentador a una frecuencia portadora diferente dentro del rango de frecuencias de enlace descendente del enlace de alimentador. El transpondedor 5450c de lazo cerrado puede contener adicionalmente uno o más LNA 3705c, amplificadores 3715 del canal (no se ilustra), cambiadores 3720 de fase (no se ilustra), amplificadores 3725c de potencia, y filtros de armónicos (no se ilustra).

Con referencia de nuevo al sistema 3400 de formación de haces de extremo a extremo ilustrativo de la Figura 41, los aspectos del sistema 3400 pueden modificarse para admitir la operación cooperativa de múltiples clústeres AN que usan diferentes rangos de frecuencias. Las Figuras 59A y 59B ilustran ejemplos de posibles áreas de cobertura geográficas para múltiples áreas 3450 de nodos de accesos, cada una opera sobre un diferente rango de frecuencias, que se usan cooperativamente en las formaciones de haces de extremo a extremo para un área 3460 de cobertura de usuario. En el ejemplo ilustrado en la Figura 59a, un área 3450a puede asociarse con las transmisiones de banda Ka mientras que el área 3450b de AN puede asociarse con las transmisiones de banda V. Como se muestra en la Figura 59a, las áreas 3450a y 3450b de AN pueden desvincularse. En algunos casos, el área 3450b de AN asociada con transmisiones de banda V puede ser menor (*p. ej*., puede cubrir una menor área geográfica) que el área 3450a de AN asociada con las transmisiones de banda Ka. En algunos casos el área 3450a de AN y el área 3450b de AN pueden iluminarse por arreglos 3415 de elementos de antena de enlace de alimentador. Por ejemplo, el área 3450a de AN puede iluminarse por el primer arreglo 3415a de elementos de antena del enlace de alimentador y el área 3450b de AN puede iluminarse por el segundo arreglo 3415b de elementos de antena del enlace de alimentador del subsistema 3410b de antenas de enlace de alimentador mostrado en la Figura 56B. Como con el ejemplo del primer clúster AN en el área 3450a de nodos de acceso, que opera en una banda Ka mientras el segundo clúster AN en el área 3450b de nodos de acceso opera en la banda V, el área 3450b de nodos de acceso puede dimensionarse según la diferencia en la ganancia proporcionada por el único reflector (*p. ej*., que puede ser un ejemplo del reflector 5621 de la Figura 56B) en los diferentes rangos de frecuencias. De manera alternativa, los arreglos 3415 de elementos de la antena del enlace de alimentador separados que iluminan el área 3450a de AN y el área 3450b de AN pueden iluminarse por los reflectores separados (*p. ej*., que pueden ser ejemplos de reflectores 5621 descritos con referencia a la Figura 56A) que pueden tener el mismo o diferentes tamaños. De manera alternativa, el área 3450a de AN y el área 3450b de AN puede iluminarse por el mismo arreglo 3415 de elementos de la antena del enlace de alimentador que tiene múltiples conjuntos de elementos 3416, 3419 de la antena de enlace de alimentador con un reflector compuesto 5721 como se muestra en la Figura 57. Los diferentes rangos de frecuencias para diferentes clústeres AN pueden proporcionar un mayor aislamiento de diferentes subconjuntos de elementos de enlace de alimentador dentro de un único arreglo de elementos de antena del enlace de alimentador, que puede resultar en una mayor capacidad del sistema que múltiples clústeres AN operan en el mismo rango de frecuencias.

La Figura 59B ilustra una disposición alternativa de múltiples clústeres AN mediante el uso de rangos de frecuencia separados utilizados cooperativamente. Como se ilustra en la figura 59B los dos clústeres AN pueden superponerse al menos parcialmente (o uno puede estar totalmente contenido dentro del otro, como se muestra). La Figura 59B puede ilustrar ejemplos donde un único arreglo 3415 de elementos de antena del enlace de alimentador puede iluminar el área 3450a de cobertura de AN y el área 3450b de cobertura de AN (*p. ej*., recibir o transmitir simultáneamente señales a ambas áreas de cobertura sobre diferentes rangos de frecuencias). En algunos casos, un AN 515 dado (*p. ej*., uno ubicado dentro del área 3450b de cobertura de AN) puede asociarse a múltiples clústeres AN y comunicarse sobre los enlaces de alimentador en múltiples rangos de frecuencias (*p. ej*., que pueden contenerse en diferentes bandas de frecuencia).

Las Figuras 60A y 60B ilustran trayectos de señal de recepción/transmisión ilustrativos que admiten los clústeres AN cooperativos que operan en diferentes rangos de frecuencias según los aspectos de la presente descripción. El trayecto 6000 de la señal de recepción/transmisión directa de la Figura 60A incluye transpondedores 3430h de enlace directo acoplados entre los elementos 3416a de recepción constituyentes de enlace de alimentador y los elementos 3429a de transmisión constituyentes de enlace de usuario y los transpondedores 3430i de enlace directo se acoplan entre los elementos 3416b de recepción constituyentes de enlace de alimentador y los elementos 3429b de transmisión constituyentes de enlace de usuario. Como se describió anteriormente, los diversos elementos de la antena de enlace de usuario pueden ser parte de diferentes arreglos 3425 de elementos de antena del enlace de usuario, que pueden posicionarse para proporcionar áreas 3450 de nodos de acceso que no se superponen como se muestra en la Figura 59A o áreas 3450 de nodos de acceso que se superponen como se muestra en la Figura 59B. De manera alternativa , los diversos elementos de la antena de enlace de usuario pueden ser parte del mismo arreglo 3415 de elementos de antena del enlace de alimentador, en cuyo caso las áreas 3450 de nodos de acceso se superpondrán como se muestra in la Figura 59B. Los elementos 3416a de recepción constituyentes de enlace de alimentador y los elementos 3416b de recepción constituyentes de enlace de alimentador pueden intercalarse dentro del mismo arreglo 3415 de elementos de antena del enlace de alimentador como se ilustra en la Figura 62.

Como se describió anteriormente, el transpondedor 3430h de enlace directo puede incluir algunos o todos los LNA 3705a, convertidores de frecuencia y filtros asociados 3710h, amplificadores 3715a de canal, desfasadores 3720a, amplificadores 3725a de potencia, y filtros 3730a de armónicos. De manera similar, el transpondedor 3430i de enlace directo puede incluir algunos o todos los LNA 3705a, convertidores de frecuencia y filtros asociados 3710i, amplificadores 3715a de canal, desfasadores 3720a, amplificadores 3725a de potencia, y filtros 3730a de armónicos. En algunos casos, los convertidores 3710h de frecuencia pueden operarse para convertir las señales desde un primer rango de frecuencias de enlace ascendente del enlace de alimentador a un rango de frecuencias descendente de enlace de usuario mientras el convertidor 3710i de frecuencias se opera para convertir las señales desde un segundo rango de frecuencias de enlace ascendente del enlace de alimentador al mismo rango de frecuencias descendente de enlace de usuario.

Los trayectos 6050 de la señal de transmisión/recepción de retorno de la Figura 60B incluye un transpondedor 3440h de enlace de retorno acoplado entre un elemento 3426a de recepción constituyente de enlace de usuario y un elemento 3419a de transmisión correspondiente constituyente de enlace de alimentador y un transpondedor 3440i de enlace de retorno acoplado entre un elemento 3426b de recepción constituyente de enlace de usuario y un elemento 3419b de transmisión correspondiente constituyente de enlace de alimentador. Como se describió anteriormente, el transpondedor 3440h de enlace de retorno puede incluir algunos o todos los LNA 3705b, convertidores de frecuencia y filtros asociados 3710j, amplificadores 3715b de canal, desfasadores 3720b, amplificadores 3725b de potencia, y filtros armónicos 3730b. De manera similar, el transpondedor 3440i de enlace de retorno puede incluir algunos o todos los LNA 3705b, convertidores de frecuencia y filtros asociados 3710k, amplificadores 3715b de canal, desfasadores 3720b, amplificadores 3725b de potencia, y filtros 3730b de armónicos. En algunos casos, los convertidores 3710j de frecuencia pueden operarse para convertir las señales desde un rango de frecuencias de enlace ascendente del enlace de usuario a un primer rango de frecuencias de enlace descendente del enlace de alimentador (*p. ej*., que puede ser el mismo intervalo que el primer rango de frecuencias de enlace ascendente del enlace de alimentador descrito con referencia a la Figura 60A) mientras el convertidor de frecuencias 3710k se opera para convertir las señales desde el rango de frecuencias de enlace ascendente del enlace de usuario a segundo rango de frecuencias de enlace descendente del enlace de alimentador (*p. ej*., que puede estar en el mismo intervalo que el segundo rango de frecuencias de enlace ascendente del enlace de alimentador descrito con referencia a la Figura 60A).

Como se describió anteriormente, los diversos elementos de la antena de enlace de usuario pueden ser parte de la misma o de diferentes arreglos 3425 de elementos de antena del enlace de usuario y los diversos elementos de la antena de enlace de alimentador pueden ser parte de la misma o de diferentes arreglos 3415de elementos de la antena del enlace de alimentador. Los elementos 3419a de transmisión constituyentes de enlace de alimentador y los elementos 3419b de transmisión constituyentes de enlace de alimentador pueden intercalarse dentro del mismo arreglo 3415 de elementos de antena del enlace de alimentador como se ilustra en la Figura 62. Cuando las frecuencias admitidas para los enlaces de alimentador por los transpondedores 3430h y 3430i de enlace directo y los transpondedores 3440h y 3440i de enlace de retorno son sustancialmente diferentes (*p. ej*., una es diferente por más de 1,5x de la otra, *etc.*), los diferentes subconjuntos 6205a, 6205b de elementos del arreglo 6200 de elementos de antena pueden dimensionarse adecuadamente para los diferentes rangos de frecuencias admitidos (*p. ej*., los elementos 6205b de la antena constituyentes que admiten un mayor rango de frecuencias que los elementos 6205a de la antena constituyentes pueden tener menores guías de ondas/bocinas, *etc.*).

La Figura 64A ilustra una asignación 6400 del espectro de frecuencias ilustrativo con cuatro rangos de frecuencia mostrados (rangos 6425a, 6430a, 6435a, y 6436a de frecuencia). En el ejemplo ilustrado, los rangos 6425a y 6430a de frecuencia son rangos de frecuencia dentro de las bandas k/Ka (*p. ej*., de entre 17 y 40 GHz GHz), mientras que los rangos 6436a y 6435a de frecuencia están dentro de las bandas V/W (*p. ej*., entre 40 GHz y 110 GHz). La Figura 64A puede ilustrar la operación de múltiples clústeres AN que operan sobre diferentes rangos de frecuencia como se muestra en las Figuras 59A y 59B.

Como un ejemplo, la asignación 6400 del espectro de frecuencias puede usarse en el escenario ilustrado en la Figura 59A mediante el uso de un relé 3403 de extremo a extremo que tiene trayectos 6000 y 6050 de señal de recepción/transmisión directo y de retorno como se muestra en las Figuras 60A y 60B. En este ejemplo, las señales 6440a de enlace ascendente directo desde el área 3450a de AN pueden transmitirse por el rango 6430a de frecuencias (*p. ej*., mediante el uso de RHCP) mientras las señales 6440b de enlace ascendente directo desde el área 3450b de AN puede transmitirse por el rango 6436a de frecuencias (*p. ej*., mediante el uso de RHCP). El primer conjunto de señales 6440a de enlace ascendente directo puede recibirse por los elementos 3416a de recepción constituyentes de enlace de alimentador mientras el segundo conjunto de señales 6440b de enlace ascendente directo pueden recibirse por los elementos 3416b de recepción constituyentes de enlace de alimentador. Por motivos de simplicidad, las señales pueden ilustrarse por su amplitud sobre las porciones o todo un rango de frecuencias (*p. ej*., la señal 6440a de enlace ascendente directo muestra el rango de frecuencias de un ejemplo de señal 521 de enlace ascendente directo dentro del rango 6430a de frecuencias). En algunos casos, una señal dada puede abarcar uno o más rangos de frecuencia. Como se describió con referencia a la Figura 60A, los dos conjuntos de señales 6440 de enlace ascendente son frecuencias convertidas por los transpondedores 3430h y 3430i de enlace directo (*p. ej*., se bajan en frecuencia al mismo rango 6425a de frecuencias en la banda Ka). Posteriormente, las salidas de los transpondedores 3430h de enlace directo se transmiten por los elementos 3429a de transmisión constituyentes de enlace de usuario como un primer conjunto de señales 6445a de enlace descendente directo mientras las salidas de los transpondedores 3430i de enlace directo se transmiten por los elementos 3429b de transmisión constituyentes de enlace de usuario como un segundo conjunto de señales 6445b de enlace descendente directo. En el presente ejemplo, estos elementos 3429a, 3429b de transmisión constituyentes de enlace de usuario pertenecen al mismo arreglo 3425 de elementos de la antena del enlace de usuario e iluminan la misma área 3460 de cobertura de usuario. En consecuencia, los AN 515 en las áreas 3450a y 3450b de nodos de acceso pueden referirse como cooperativos en que alguna fracción de los AN 515 en cada área se combinan para proporcionar servicio a la misma área 3460 de cobertura de usuario. Es decir, al menos un haz directo de usuario con haz formado que brinda servicio a las terminales 517 de usuario dentro del área 519 de cobertura de haz de usuario correspondiente se forma a partir de señales 6440a de enlace ascendente directo desde al menos un subconjunto de AN 515 en la primera área 3450a de nodos de acceso y de señales 6440b de enlace ascendente directo desde al menos un subconjunto de AN 515 en la segunda área 3450b de nodos de acceso.

La asignación 6400 del espectro de frecuencias ilustra, además, un ejemplo de ubicación de frecuencia para las transmisiones de enlace de retorno para el escenario ilustrado en la Figura 59A mediante el uso de un relé 3403 de extremo a extremo que tiene trayectos 6000 y 6050 de señal de recepción/transmisión directa y de retorno como se muestra en las Figuras 60A y 60B. Las señales 6450 de enlace ascendente de retorno (*p. ej*., señales LHCP) que se originan a partir de terminales 517 de usuario distribuidas por toda el área 3460 de cobertura de usuario pueden transmitirse por el rango 6430a de frecuencias (*p. ej*., mediante el uso de LHCP) y recibirse por los elementos 3426a y 3426b de recepción constituyentes de enlace de usuario de la Figura 60B, donde los elementos 3426a y 3426b de recepción constituyentes de enlace de usuario pertenecen al mismo arreglo 3425 de elementos de la antena del enlace de usuario. Como se describió con referencia a la Figura 60B, las señales 6450 de enlace ascendente de retorno pueden suministrarse a los transpondedores 3440h y 3440i de enlace de retorno y la frecuencia convertida a los rangos 6425a de frecuencia adecuados (*p. ej*., mediante el uso de RHCP) y 6435a (*p. ej*., mediante el uso de LHCP), respectivamente. Las señales convertidas 6455a y 6455b en frecuencia pueden transmitirse luego por los elementos 3419a y 3419b de transmisión constituyentes de enlace de alimentador (*p. ej*., que pertenecen a arreglos separados de elementos 3415a y 3415b de la antena del enlace de alimentador, respectivamente) a los AN 515 en las áreas 3450b y 3450a de nodos de acceso, respectivamente. Debe entenderse que la asignación 6400 de frecuencias es un ejemplo y pueden utilizarse varias otras asignaciones de frecuencia. Por ejemplo, las señales 6450 de enlace ascendente de retorno pueden estar en un rango de frecuencias diferente (*p. ej*., un rango de frecuencias diferente dentro de la banda K/Ka) a partir de las señales 6440a de enlace ascendente directo y las señales de enlace 6445 descendente directo pueden estar en un rango de frecuencias diferente (*p. ej*., un rango de frecuencias diferente dentro de la banda K/Ka) a partir de señales 6455a de enlace descendente de retorno. Esto puede, por ejemplo, permitir el uso de transpondedores de dos polos en los trayectos 6000 y 6050 de señal de recepción/transmisión directo y de retorno. De manera adicional o alternativa, las señales 6440b de enlace ascendente directo pueden ubicarse dentro de un rango de frecuencias diferente (*p. ej*., un rango de frecuencias diferente dentro de la banda V) desde las señales 6455b de enlace descendente de retorno, como se ilustra. Otras disposiciones de las señales de enlace ascendente/enlace descendente directo y de enlace ascendente/enlace descendente de retorno dentro de los diferentes rangos de frecuencias pueden también considerarse. Por ejemplo, las señales de enlace ascendente de retorno pueden asignarse dentro del mismo rango de frecuencias como señales de enlace descendente directo (*p. ej*., mediante el uso de una polarización ortogonal). De manera adicional o alternativa, las señales 6440a de enlace ascendente directo desde los AN en la primera área 3450a de nodos de acceso pueden asignarse dentro del mismo rango de frecuencias como señales 6455a de enlace descendente de retorno (*p. ej*., mediante el uso de una polarización ortogonal). El acoplamiento de trayectos 6000 y 6050 de señal de recepción/transmisión directa y de retorno a los diversos elementos de transmisión/recepción constituyentes de enlace de usuario y el enlace de alimentador pueden seleccionarse según la asignación del rango de frecuencias deseado.

En algunos ejemplos de un único arreglo 3415 de elementos de antena del enlace de alimentador que admite múltiples clústeres AN tal como los múltiples clústeres AN ilustrados en la Figura 59B, cada elemento 3416 de

recepción constituyente de enlace de alimentador y elemento 3419 de transmisión constituyente de enlace de alimentador pueden acoplarse con múltiples transpondedores 3430de enlace directo. Las Figuras 61A y 61B ilustran trayectos de señal de recepción/transmisión ilustrativos que admiten clústeres AN que operan en diferentes rangos de frecuencias según aspectos de la presente descripción. El trayecto 6100 de señal de recepción/transmisión directo de la Figura 61A incluye múltiples transpondedores 3430 de enlace directo acoplados entre un elemento 3416 de recepción constituyente de enlace de alimentador y múltiples elementos 3429 de transmisión constituyentes de enlace de usuario. En algunos ejemplos, un elemento 3416 de recepción constituyente de enlace de alimentador recibe un compuesto de señales 521 de enlace ascendente directo desde los AN 515 en múltiples áreas 3450 de AN. Después de la recepción por un elemento 3416 de recepción constituyente de enlace de alimentador, las señales de enlace ascendente directo pueden dividirse (*p. ej*., mediante el uso de un divisor 6005) y las señales divididas pueden servir como entradas a los transpondedores 3430j y 3430k de enlace directo. En algunos ejemplos, el divisor 6005 divide las señales en base a rangos de frecuencias (*p. ej*., de manera que las señales de enlace ascendente directo recibidas que ocupan un primer rango de frecuencias se suministran al transpondedor 3430j de enlace directo y las señales de enlace ascendente directo recibidas que ocupan un segundo rango de frecuencias se suministran al transpondedor 3430k de enlace directo). En dicho escenario, el divisor 6005 puede ser, de manera alternativa, un ejemplo de un filtro. En consecuencia, los convertidores 3710d y 3710e de frecuencia pueden operarse para aceptar entradas a diferentes rangos de frecuencias y salidas de señales en el mismo rango de frecuencias para la superposición en las señales 522 de enlace descendente de usuario.

Un trayecto 6150 de la señal de transmisión/recepción de retorno se muestra en la Figura 61B en el cual los transpondedores 3440 de enlace de retorno acoplan múltiples elementos 3426a y 3426b de recepción constituyentes de enlace de usuario a un único elemento 3419 de transmisión constituyente de enlace de usuario. Los elementos 3426a y 3426b de recepción constituyentes de enlace de usuario pueden ser parte del mismo arreglo 3425 de elementos de antena del enlace de usuario o de arreglos 3425a y 3425b de elementos de antena del enlace de usuario separados (como se muestra). El elemento 3426a de recepción constituyente de enlace de usuario puede actuar como entrada al transpondedor 3440j de enlace de retorno mientras el elemento 3426b de recepción constituyente de enlace de usuario puede actuar como entrada al transpondedor 3440k de enlace de retorno. Las salidas 3440 de los transpondedores de enlace de retorno pueden suministrarse al combinador 6010 de señal antes de transmitirse por el elemento 3419 de transmisión constituyente de enlace de alimentador a los AN 515 en las áreas 3450 de AN. En algunos casos, los componentes 6000 de los trayectos 6050 de señal de recepción/transmisión y pueden volver a disponerse (u omitirse), *por ejemplo*, de manera que el combinador 6010 de señal pueda seguir a los filtros 3430b de armónicos, el divisor 6005 pueda anteceder a los LNA 3705a, *etc.*

La Figura 64B ilustra una asignación 6401 del espectro de frecuencias ilustrativa con cuatro rangos de frecuencias mostrados (rangos 6425b, 6430b, 6435b, y 6436b de frecuencias). En el ejemplo ilustrado, los rangos 6425b y 6430b de frecuencia son rangos de frecuencia dentro de las bandas k/Ka (*p. ej*., entre 17 GHz y 40 GHz), mientras que los rangos 6436b y 6435b de frecuencia están dentro de las bandas V/W (*p. ej*., entre 40 GHz y 110 GHz). Por ejemplo, los rangos 6425b, 6430b, 6435b, y 6436b de frecuencia pueden ser los mismos que los rangos 6425a, 6430a, 6435a, y 6436a de frecuencia ilustrados en la Figura 64A. La figura 64B puede ilustrar la operación de múltiples clústeres AN que operan en diferentes rangos de frecuencia como se muestra en las Figuras 59A o 59B.

Como un ejemplo, la asignación 6401 del espectro de frecuencias puede usarse en el escenario ilustrado en la Figura 59B mediante el uso de un relé 3403 de extremo a extremo que tiene trayectos 6100 y 6150 de señal de recepción/transmisión directa y de retorno como se muestra en las Figuras 61A y 61B. En este ejemplo, las señales 6440c de enlace ascendente directo desde el área 3450a de AN puede transmitirse por el rango 6430b de frecuencias (*p. ej*., mediante el uso de RHCP) mientras las señales 6440d de enlace ascendente directo del área 3450b de AN pueden transmitirse por el rango 6436b de frecuencias (*p. ej*., mediante el uso de RHCP). El primer conjunto 6440c de señales de enlace ascendente directo puede recibirse por los elementos 3416a de recepción constituyentes de enlace de alimentador mientras el segundo conjunto de señales 6440d de enlace ascendente directo pueden recibirse por los elementos 3416b de recepción constituyentes de enlace de alimentador de los trayectos 6100 de señal de recepción/transmisión directa. Como se describió con referencia a la Figura 61A, los dos conjuntos 6440 de señales de enlace ascendente directo se bajan en frecuencia mediante los transpondedores 3430j y 3430k de enlace directo (*p. ej*., se bajan en frecuencia al mismo rango 6425b de frecuencias en la banda Ka). Posteriormente, las salidas de los transpondedores 3430j de enlace directo se transmiten por los elementos 3429a de transmisión constituyentes de enlace de usuario como un primer conjunto de señales 6445c de enlace descendente directo, mientras las salidas 3430k de los transpondedores de enlace directo se transmiten por los elementos 3429b de transmisión constituyentes de enlace de usuario como un segundo conjunto de señales 6445d de enlace descendente directo. En el presente ejemplo, estos elementos 3429a, 3429b de transmisión constituyentes de enlace de usuario pertenecen al mismo arreglo 3425 de elementos de la antena del enlace de usuario e iluminan la misma área 3460 de cobertura de usuario. En consecuencia, los AN 515 en las áreas 3450a y 3450b de nodos de acceso pueden referirse como cooperativos en que alguna fracción de los AN 515 en cada área se combinan para proporcionar servicio a la misma área 3460 de cobertura de usuario. Es decir, al menos un haz directo de usuario con haz formado que proporciona servicio a las terminales 517 de usuario dentro del área 519 de cobertura de haz de usuario correspondiente se forma a partir de señales 6440c de enlace ascendente directo desde al menos un subconjunto de AN 515 en la primera

área 3450a de nodos de acceso y a partir de señales 6440d de enlace ascendente directo desde al menos un subconjunto de AN 515 en la segunda área 3450b de nodos de acceso.

La asignación 6401 del espectro de frecuencias ilustra, además, un ejemplo de ubicación de frecuencia para las transmisiones de enlace de retorno para el escenario ilustrado en la Figura 59B mediante el uso de un relé 3403 de extremo a extremo que tiene trayectos 6100 y 6150 de señal de recepción/transmisión directa y de retorno como se muestra en las Figuras 61A y 61B. Las señales 6450a de enlace ascendente de retorno que se originan en las terminales 517 de usuario distribuidas por toda el área 3460 de cobertura de usuario pueden transmitirse por el rango 6425b de frecuencias (*p. ej*., mediante el uso de RHCP) y recibirse por los elementos 3426a y 3426b de recepción constituyentes de enlace de usuario de la Figura 61B, en donde los elementos 3426a y 3426b de recepción constituyentes de enlace de usuario pertenecen al mismo arreglo 3425 de elementos de la antena del enlace de usuario. Como se describió con referencia a la Figura 61B, las señales 6450 de enlace ascendente de retorno pueden suministrarse a los transpondedores 3440j y 3440k de enlace de retorno y la frecuencia convertida a los rangos 6430b de frecuencias adecuados (*p. ej*., mediante el uso de LHCP) y 6435b (*p. ej*., mediante el uso de LHCP), respectivamente. Las señales convertidas en frecuencia pueden luego combinarse (*p. ej*., adicionarse, *etc.*) por el combinador 6010 de señal y transmitirse por los elementos 3419 de transmisión constituyentes de enlace de alimentador a los AN 515 en las áreas 3450a y 3450b de nodos de acceso. Debe entenderse que la asignación 6401 de frecuencias es un ejemplo y pueden utilizarse varias otras asignaciones de frecuencia. Por ejemplo, las señales 6450a de enlace ascendente de retorno pueden estar en un rango de frecuencias diferente (*p. ej*., un rango de frecuencias diferente dentro de la banda K/Ka) que las señales 6445c y 6445d de enlace descendente directo. De manera similar, las señales 6440c de enlace ascendente directo pueden estar en un rango de frecuencias diferente (*p. ej*., un rango de frecuencias diferente dentro de la banda K/Ka) a las señales 6455a de enlace descendente de retorno y las señales 6440d de enlace ascendente directo pueden asignarse dentro de un rango de frecuencias diferente (*p. ej*., un rango de frecuencias diferente dentro de las bandas V/W ilustradas) a las señales 6455d de enlace descendente de retorno. Esto puede, por ejemplo, permitir el uso de transpondedores de dos polos en los trayectos 6100 y 6150 de señal de recepción/transmisión directo y de retorno. El acoplamiento de trayectos 6100 y 6150 de señal de recepción/transmisión directa y de retorno a los diversos elementos de transmisión/recepción constituyentes de enlace de usuario y el enlace de alimentador pueden seleccionarse según la asignación del rango de frecuencias deseado.

En algunos casos, los anchos de banda disponibles en una banda dada (*p. ej*., banda K, banda Ka, *etc.*) para las transmisiones del enlace de alimentador y las transmisiones del enlace de usuario pueden ser desiguales (*p. ej*., significativamente diferentes). De manera adicional, los anchos de banda para las transmisiones de enlace ascendente y enlace descendente disponibles dentro de una banda determinada pueden ser (*p. ej*., significativamente) desiguales. Como ejemplo, un cuerpo regulador puede especificar qué porciones de un espectro de frecuencias están disponibles para varios tipos de transmisiones.

Las Figuras 65A y 65B muestran las ubicaciones 6500 y 6501 del espectro de frecuencias ilustrativo con tres rangos de frecuencias (rangos 6520a, 6525a, y 6530a de frecuencias) usados para el enlace directo y tres rangos de frecuencias (rangos 6520b, 6525b, y 6530b de frecuencias) usados para el enlace de retorno. En el ejemplo ilustrado, los rangos 6520a, 6520b, 6525a, y 6525b de frecuencia son rangos de frecuencia dentro de las bandas k/Ka (*p. ej*., entre 17 GHz y 40 GHz), mientras que los rangos y 6530a y 6530b de frecuencia están dentro de las bandas V/W (*p. ej*., entre 40 GHz y 110 GHz). Las Figuras 65A y 65B pueden ilustrar el funcionamiento de múltiples clústeres AN que operan sobre diferentes rangos de frecuencia como se muestra en las Figuras 59A o 59B.

Con referencia a la Figura 65A, las señales 6540a de enlace ascendente directo desde el área 3450a de cobertura de AN puede transmitirse por el rango 6525a de frecuencias (*p. ej*., mediante el uso de RHCP) mientras las señales 6540b de enlace ascendente directo desde el área 3450b de cobertura de AN puede transmitirse por el rango 6530a de frecuencias (*p. ej*., mediante el uso de RHCP). Como se describió con referencia a las Figuras 60A o 61a, los dos conjuntos de señales 6540 de enlace ascendente directo se bajan en frecuencia mediante los transpondedores 3430 de enlace directo al rango 6520a de frecuencias. En el ejemplo ilustrado en la Figura 65A, el ancho de banda combinado de los rangos 6530a y 6525a de frecuencia es igual al ancho de banda del rango 6520a de frecuencias. Por tanto, las señales 6540a de enlace ascendente directo se convierten en frecuencia (*p. ej*., a través de los convertidores de frecuencia en los transpondedores de enlace directo de los trayectos 6000 o 6100 de señal de recepción/transmisión directa) a las señales 6545 de enlace descendente directo que abarcan una primera parte 6521a del rango 6520a de frecuencias mientras las señales 6540b de enlace ascendente directo se convierten en frecuencia (*p. ej*., a través de convertidores de frecuencia en los transpondedores de enlace directo de los trayectos 6000 o 6100 de señal de recepción/transmisión directa) a las señales 6545 de enlace descendente directo que abarcan una segunda parte 6521b del rango 6520a de frecuencias. Un haz de usuario de haz formado en el área 3460 de cobertura de usuario puede abarcar todos los rangos 6520a de frecuencias, en cuyo caso el haz de usuario se forma a partir de ambas señales 6540a y 6540b de enlace ascendente directo. Cuando cada haz de usuario formado por señales 6545 de enlace descendente directo usa un subconjunto de rango 6520a de frecuencias, algunos haces de usuario pueden formarse por la primera parte 6521a del rango 6520a de frecuencias y algunos haces de usuario pueden formarse por la segunda parte 6521b del rango 6520a de frecuencias. De manera adicional o alternativa, en algunos casos algunos haces de usuario pueden formarse por la superposición cooperativa de las señales 6545 de enlace descendente directo asociadas

con el rango 6521a de frecuencias y las señales 6545 de enlace descendente directo asociadas con el rango 6521b de frecuencias (*p. ej*., los rangos 6521a y 6521b de frecuencias pueden superponerse parcialmente para permitir la formación cooperativa de los haces de usuario en el área 3460 de cobertura de usuario con señales 6540 de enlace ascendente directo desde diferentes clústeres AN). En otro ejemplo, uno o ambos rangos 6525a o 6530a de frecuencias pueden tener el mismo ancho de banda que los rangos 6520a de frecuencia (*p. ej*., o el ancho de banda combinado de los rangos 6525a y 6530a de frecuencias puede exceder el ancho de banda del rango 6520a de frecuencias), y por tanto todos los haces directos de usuario pueden formarse por superposición cooperativa de señales de enlace descendente directo asociadas a los rangos 6521a y 6521b de frecuencias.

La Figura 65B muestra las asignaciones de enlace de retorno ilustrativas, en donde al menos un área 3450 de nodos de acceso utiliza rangos de frecuencia dentro de una banda de frecuencia diferente a la que se usa para el área 3460de cobertura de usuario. Específicamente, las terminales 517 de usuario pueden transmitir las señales 6550 de enlace ascendente de retorno sobre un rango 6520b de frecuencias (*p. ej*., dentro de las bandas K/Ka), que pueden recibirse a través de dos conjuntos de elementos 3416de recepción constituyentes de enlace de usuario, como se muestra en la Figura 60B o 61B, y la frecuencia convertida (*p. ej*., a través de los convertidores de frecuencia en los transpondedores 3440 de enlace de retorno de los trayectos 6050 o 6150 de señal de recepción/transmisión de retorno) a un primer conjunto de señales 6555a de enlace descendente de retorno en el rango 6525b de frecuencias y el segundo conjunto de señales 6555b de enlace descendente de retorno en el rango 6530b de frecuencias. El primer y segundo conjuntos 6555a, 6555b de señales de enlace descendente de retorno pueden transmitirse desde el mismo elemento 3419 de transmisión constituyente de enlace de alimentador (como se muestra en la Figura 61B), o desde diferentes elementos 3419 de transmisión constituyentes de enlace de alimentador (como se muestra en la Figura 60B). Al igual que en la Figura 65A, la combinación de anchos de banda de los rangos 6530b y 6525b de frecuencia se ilustran iguales al ancho de banda del rango 6520b de frecuencias. Por tanto, una primera parte 6560a de señales 6550 de enlace ascendente de retorno puede convertirse en frecuencia y transmitirse por un primer conjunto de transpondedores 3440 de enlace de retorno como señales 6555a de enlace descendente de retorno mientras una segunda parte 6560b (que puede o no superponerse con la primera parte 6560a) puede convertirse en frecuencia y transmitirse por un segundo conjunto de transpondedores 3440 de enlace de retorno como señales 6555b de enlace descendente de retorno. Por tanto, algunos haces de retorno de usuario pueden formarse al realizar procesamientos de formaciones de haces enlace de retorno en porciones de señales 6555a de enlace descendente de retorno y algunos haces de retorno de usuario pueden formarse al realizar procesamientos de formaciones de haces de enlace de retorno sobre porciones de señales 6555b de enlace descendente de retorno. De manera adicional o alternativa, algunos haces de retorno de usuario pueden formarse al realizar un procesamiento de formaciones de haces de enlace de retorno sobre partes de señales 6555a de enlace descendente de retorno y señales 6555b de enlace descendente de retorno (*p. ej*., algunas partes de señales 6555a y 6555b de enlace descendente de retorno pueden cooperar para formar un único haz de retorno de usuario). En algunos casos, uno o ambos rangos 6525b o 6530b de frecuencias pueden tener el mismo ancho de banda que los rangos 6520b de frecuencias (*p. ej*., o el ancho de banda combinado de los rangos 6525b y 6530b de frecuencias pueden exceder el ancho de banda del rango 6520b de frecuencias), y por tanto todos los haces de retorno de usuario pueden formarse por la superposición cooperativa de las señales 6555a y 6555b de enlace descendente de retorno.

Las Figuras 66A y 66B ilustran trayectos de señal de recepción/transmisión ilustrativos que admiten los clústeres AN cooperativos que operan en diferentes rangos de frecuencias según los aspectos de la presente descripción. El trayecto 6600 de la señal de recepción/transmisión directa de la Figura 66A incluye transpondedores 3430l de enlace directo acoplados entre elementos 3416a de recepción constituyentes de enlace de alimentador y los elementos 3429 de transmisión constituyentes de enlace de usuario y los transpondedores 3430m de enlace directo acoplados entre elementos 3416b de recepción constituyentes de enlace de alimentador y los elementos 3429 de transmisión constituyentes de enlace de usuario. Como se describió anteriormente, el transpondedor 3430l de enlace directo puede incluir algunos o todos los LNA 3705a, convertidores de frecuencia y filtros asociados 3710l, amplificadores 3715a de canal, desfasadores 3720a, amplificadores 3725a de potencia, y filtros 3730a de armónicos. De manera similar, el transpondedor 3430m de enlace directo puede incluir algunos o todos los LNA 3705a, convertidores de frecuencia y filtros asociados 3710m, amplificadores 3715a de canal, desfasadores 3720a, amplificadores 3725a de potencia, y filtros 3730a de armónicos. En algunos casos, los convertidores 3710l de frecuencias pueden operarse para convertir las señales desde un primer rango de frecuencias de enlace ascendente del enlace de alimentador (*p. ej*., rango 6525a de frecuencias de la Figura 65A) a una primera parte de un rango de frecuencias descendente de enlace de usuario (*p. ej*., rango 6521a de frecuencias de la Figura 65A) mientras el convertidor 3710m de frecuencias se opera para convertir señales a partir de un segundo rango de frecuencias de enlace ascendente del enlace de alimentador (*p. ej*., rango 6530a de frecuencias de la Figura 65A) a una segunda parte del mismo rango de frecuencias descendente de enlace de usuario (*p. ej*., rango 6521b de frecuencias de la Figura 65A). Los transpondedores 3430 de enlace directo acoplan múltiples elementos 3416a y 3416b de recepción constituyentes de enlace de alimentador a un único elemento 3429 de transmisión constituyente de enlace de usuario. Los elementos 3416a y 3416b de recepción constituyentes de enlace de alimentador pueden ser parte del mismo arreglo 3415 de elementos de antena del enlace de alimentador o arreglos 3415a y 3415b de elementos de la antena del enlace de alimentador separadas (como se muestra). El elemento 3416a de recepción constituyente de enlace de alimentador puede actuar como

entrada al transpondedor 3430l de enlace directo mientras el elemento 3416b de recepción constituyente de enlace de alimentador puede actuar como entrada al transpondedor 3430m de enlace directo. Las salidas de los transpondedores 3430 de enlace directo pueden suministrarse al combinador 6610 de señal antes de transmitirse por el elemento de transmisión constituyente de enlace 3429 de usuario a las terminales 517 de usuario en las áreas 3460 de cobertura de usuario. En algunos casos, los componentes de los trayectos 6600 y 6650 de señal de recepción/transmisión pueden volver a disponerse (u omitirse) *p. ej.*, de manera que el combinador 6610 de señal puede seguir a los filtros 3430b de armónicos, el divisor 6605 puede anteceder los LNA 3705a, *etc.*

Los trayectos 6650 de la señal de transmisión/recepción de retorno de la Figura 66B incluyen un transpondedor 3440l de enlace de retorno acoplado entre un elemento 3426 de recepción constituyente de enlace de usuario y un elemento 3419a de transmisión constituyente de enlace de alimentador correspondiente y un transpondedor 3440m de enlace de retorno acoplado entre un elemento 3426 de recepción constituyente de enlace de usuario y un elemento 3419b de transmisión constituyente de enlace de alimentador correspondiente. Como se describió anteriormente, el transpondedor 3440l de enlace de retorno puede incluir algunos o todos los LNA 3705b, convertidores de frecuencia y filtros asociados 3710n, amplificadores 3715b de canal, desfasadores 3720b, amplificadores 3725b de potencia, y filtros 3730b de armónicos. De manera similar, el transpondedor 3440m de enlace de retorno puede incluir algunos o todos los LNA 3705b, convertidores de frecuencia y filtros asociados 3710o, amplificadores 3715b de canal, desfasadores 3720b, amplificadores 3725b de potencia, y filtros 3730b de armónicos. En algunos casos, el convertidor 3710n de frecuencias puede operarse para convertir las señales desde una primera parte de un rango de frecuencias de enlace ascendente del enlace de usuario (*p. ej.*, el rango 6560a de frecuencias de la Figura 65B) a un primer rango de frecuencias de enlace descendente del enlace de alimentador (*p. ej.*, rango 6525b de frecuencias de la Figura 65B, que puede estar en el mismo intervalo que el primer rango de frecuencias de enlace ascendente del enlace de alimentador descrito con referencia a la Figura 66A) mientras el convertidor 3710o de frecuencias se opera para convertir las señales desde una segunda parte del rango de frecuencias de enlace ascendente del enlace de usuario (*p. ej.*, rango 6560b de frecuencias de la Figura 65B) a un segundo rango de frecuencias de enlace descendente del enlace de alimentador (*p. ej.*, rango 6530b de frecuencias de la Figura 65B, que puede ser el mismo intervalo que el segundo rango de frecuencias de enlace ascendente del enlace de alimentador descrito con referencia a la Figura 66A). Después de la recepción por un elemento 3426 de recepción constituyente de enlace de usuario, las señales de enlace ascendente de retorno pueden dividirse (*p. ej.*, mediante el uso de un divisor 6605) y las señales divididas pueden servir como entradas a los transpondedores 3440l y 3440m de enlace de retorno. En algunos ejemplos, el divisor 6605 divide las señales en base a rangos de frecuencias (*p. ej.*, de manera que las señales de enlace ascendente de retorno recibidas que ocupan un primer rango de frecuencias se suministran al transpondedor 3430l de enlace directo y las señales de enlace ascendente de retorno recibidas que ocupan un segundo rango de frecuencias se suministran al transpondedor 3430m de enlace directo). En un escenario de este tipo, el divisor 6605 puede ser un ejemplo de uno o más filtros. En consecuencia, los convertidores 3710n y 3710o de frecuencia pueden operarse para aceptar entradas en diferentes rangos de frecuencias o partes de un rango de frecuencias y emite señales en diferentes rangos de frecuencias en las señales 522 de enlace descendente del alimentador.

Como se describió anteriormente, los diversos elementos de la antena del enlace de alimentador pueden ser parte del mismo o de diferentes arreglos 3415 de elementos de la antena del enlace de alimentador. Los elementos 3419a de transmisión constituyentes de enlace de alimentador y los elementos 3419b de transmisión constituyentes de enlace de alimentador pueden intercalarse dentro del mismo arreglo 3415 de elementos de antena del enlace de alimentador como se ilustra en la Figura 62. Cuando las frecuencias admitidas para los enlaces de alimentador por los transpondedores 3430l y 3430m de enlace directo y los transpondedores 3440l y 3440m de enlace de retorno son sustancialmente diferentes (*p. ej.*, una es diferente por más de 1,5x de la otra, *etc.*), los diferentes subconjuntos de elementos 6205a, 6205b del arreglo 6200 de elementos de antena pueden dimensionarse adecuadamente para los diferentes rangos de frecuencias admitidos (*p. ej.*, los elementos 6205b de la antena constituyentes que admiten un rango de frecuencias mayor que los elementos 6205a de la antena constituyentes pueden tener menores guías de onda/bocinas, *etc.*).

**Nodos de acceso que admiten múltiples señales de enlace de alimentador independientes**

En algunos ejemplos, uno o más AN 515 pueden admitir múltiples enlaces de alimentador (*p. ej.*, la transmisión de múltiples señales de enlace ascendente directo y/o la recepción de múltiples señales de enlace descendente de retorno). En algunos casos, los AN 515 que admiten múltiples enlaces de alimentador pueden usarse para reducir el número de AN. Por ejemplo, en lugar de tener *M* AN 515, en donde cada AN 515 admite un enlace de alimentador, el sistema puede tener *M*/2 AN 515, en donde cada AN 515 admite dos enlaces de alimentador. Aunque tener *M*/2 AN 515 reduce la diversidad espacial de los AN 515, las señales entre los AN 515 y el relé de extremo a extremo en diferentes frecuencias experimentarán diferentes canales, lo que resulta, además, en la diversidad de canales entre los dos enlaces de alimentador. Cada AN 515 puede recibir múltiples señales 516 directas específicas del nodo de acceso, donde cada señal 516 directa específica del nodo de acceso se pondera según los coeficientes de formaciones de haces que se determinan en base a una matriz de canal asociada a los rangos de frecuencia de transmisión correspondiente. Por tanto, cuando cada AN 515 admite dos enlaces de alimentador, cada AN 515 puede estar provisto de una primera señal directa específica del nodo de acceso determinada basado en parte a un primer arreglo de canales de enlace ascendente directo para canales de enlace ascendente directo entre los AN 515 y el relé 3403 de extremo a extremo sobre un primer rango de frecuencias y una segunda señal directa específica del nodo de acceso determinada basado en parte en un segundo arreglo de canales de enlace ascendente directo para los canales de enlace ascendente directo entre los AN 515 y el relé

3403 de extremo a extremo sobre un segundo rango de frecuencias. De manera similar, en el enlace de retorno, cada AN 515 puede obtener una primera señal de retorno compuesta en base a una primera señal de enlace descendente de retorno en un tercer rango de frecuencias (que puede ser el mismo rango de frecuencias o en la misma banda que el primer rango de frecuencias) y una segunda señal de retorno compuesta basada en una segunda señal de enlace descendente de retorno en un cuarto rango de frecuencias (que puede ser el mismo rango de frecuencias o en la misma banda que el segundo rango de frecuencias). Cada AN 515 puede proporcionar la primera y segunda señales de retorno compuestas respectivas al formador 513 de haces de retorno, que pueden aplicar los coeficientes de formaciones de haces a las primeras señales de retorno compuestas determinadas basado en parte a un primer arreglo de canales de enlace descendente de retorno para los canales de enlace descendente de retorno entre el relé 3403 de extremo a extremo y los AN 515 sobre el tercer rango de frecuencias y aplicar los coeficientes de formaciones de haces a las segundas señales de retorno compuestas determinadas basado en parte en un segundo arreglo de canales de enlace descendente de retorno para los canales de enlace descendente de retorno sobre el cuarto rango de frecuencias.

Los sistemas que emplean *M*/2 AN 515 pueden tener una capacidad del sistema reducida cuando se comparan a tener *M* AN 515, pero la reducción del costo del sistema (*p. ej*., incluyendo los costos de configuración y mantenimiento) puede ser sustancial mientras proporcione aún un rendimiento aceptable. Adicionalmente, pueden usarse un número de AN 515 distinto a los *M*/2, tales como 0,75·*M*, que pueden proporcionar un rendimiento similar o mayor a un costo reducido en comparación a los *M* AN 515 cada uno de los cuales admite solo un enlace de alimentador. Generalmente, en donde podrían usarse los *M* AN 515 cada uno de los cuales admite un único enlace de alimentador (*p. ej*., un único rango de frecuencias de enlace ascendente del alimentador y un único rango de frecuencias de enlace descendente del alimentador), pueden usarse *X*·*M* AN 515, en donde cada AN 515 admite múltiples enlaces de alimentador, en donde *X* está en el intervalo de 0,5 a 1,0.

Volviendo a las Figuras 45A y 45B, los *X*·*M* AN 515, pueden distribuirse dentro del área 3450 de nodos de acceso y pueden proporcionar servicio a las terminales 517 de usuario dentro del área 3460 de cobertura de usuario a través de los haces de usuario formados, en donde uno o más haces de usuario se forman mediante el uso de múltiples señales de enlace de alimentador desde al menos un AN 515. Los múltiples enlaces de alimentador pueden admitirse a través de un único conjunto de elementos de la antena constituyentes de enlace de alimentador (*p. ej*., un único arreglo 3415 de elementos de antena del enlace de alimentador), o elementos de la antena constituyentes de enlace de alimentador separados (arreglos 3415 de elementos de la antena del enlace de alimentador separadas para cada enlace de alimentador).

Un arreglo 3415 único de elementos de antena del enlace de alimentador y un único reflector puede usarse para admitir múltiples enlaces de alimentador para cada AN 515 mediante el uso de trayectos 6000, 6050 de señal de recepción/transmisión directa y de retorno de las Figuras 60A y 60B (*p. ej*., un subconjuntos de elementos de la antena constituyentes de enlace de alimentador separados dentro del mismo arreglo 3415 de elementos de antena del enlace de alimentador), o los trayectos 6100, 6150 de señal de recepción/transmisión directa y de retorno de las Figuras 61A y 61B (*p. ej*., divisores y combinadores usados para multiplexar los múltiples enlaces de alimentador mediante el uso del mismo conjunto de elementos de la antena constituyentes de enlace de alimentador). Cuando la diferencia en los rangos de frecuencias entre los múltiples enlaces de alimentador es sustancial (lo que puede ser conveniente para aumentar la diversidad de canales), las dimensiones 3450 del área de nodos de acceso puede depender del enlace de alimentador de mayor frecuencia. Por ejemplo, cuando un primer enlace de alimentador se admite en un rango de frecuencias de aproximadamente 30 GHz mientras un segundo enlace de alimentador se admite en un rango de frecuencias de aproximadamente 60 GHz, el área de nodos de acceso se limita al área iluminada por el único arreglo 3415 de elementos de la antena del enlace de alimentador a través del único reflector. Por tanto, puede perderse alguna diversidad del trayecto para el menor rango de frecuencias. De manera alternativa , un primer arreglo 3415a de elementos de antena del enlace de alimentador puede usarse para admitir un primer rango de frecuencias mientras un segundo arreglo 3415b de elementos de antena del enlace de alimentador se usa para admitir un segundo rango de frecuencias. En este caso, pueden usarse reflectores separados, y pueden dimensionarse adecuadamente para proporcionar cobertura de una misma área 3450 de nodos de acceso en las diferentes frecuencias. Por ejemplo, cuando un primer enlace de alimentador es admitido por un primer arreglo 3415a de elementos de antena del enlace de alimentador y un primer reflector en un rango de frecuencias de aproximadamente 30 GHz mientras un segundo enlace de alimentador es admitido por un segundo arreglo 3415b de elementos de antena del enlace de alimentador y un segundo reflector en un rango de frecuencias de aproximadamente 60 GHz, el primer reflector puede ser mayor (*p. ej*. dos veces el área del reflector) que el segundo reflector para tener en cuenta la diferencia en la ganancia de la antena en las diferentes frecuencias.

La asignación de frecuencias para los diferentes enlaces de alimentador puede llevarse a cabo de varias maneras que incluyen las que se muestra en las Figuras 64A, 64b, 65a, o 65B. Es decir, un primer enlace de alimentador puede usar frecuencias transportadoras dentro de los rangos 6425a y 6430a (*p. ej*., en las bandas K/Ka) de frecuencias mientras un segundo enlace de alimentador usa el rango 6435a (*p. ej*., en las bandas V/W) de frecuencias como se muestra en la Figura 64A. De manera alternativa, el primer enlace de alimentador puede usar frecuencias transportadoras dentro de los rangos 6430b (*p. ej*., en las bandas K/Ka) de frecuencias mientras un segundo enlace de alimentador usa los rangos 6435b (*p. ej*., en las bandas V/W) de frecuencias como se muestra en la Figura 64B. De manera alternativa, el primer y segundo enlaces de alimentador pueden usar ambas

frecuencias diferentes desde los enlaces de usuario, como se muestra en las Figuras 65A y 65B, en donde un primer enlace de alimentador usa rangos 6525a y 6525b (*p. ej*., en las bandas V/W) de frecuencias mientras un segundo enlace de alimentador usa rangos 6530a y 6530b (*p. ej*., en las bandas V/W) de frecuencias. En algunos ejemplos, el primer enlace de alimentador y el segundo enlace de alimentador pueden usar rangos de frecuencias que son sustancialmente diferentes (*p. ej*., la menor frecuencia en un rango de frecuencias puede ser mayor que 1,5 o 2 veces la menor frecuencia en el otro rango de frecuencias). Como se describió anteriormente, el ancho de banda para cada rango de frecuencias del enlace de alimentador puede ser menor que el ancho de banda para el rango de frecuencias del enlace de usuario, o uno o más de los rangos de frecuencias del enlace de alimentador pueden tener el mismo ancho de banda que el rango de frecuencias del enlace de usuario. En algunos casos, la correlación de las señales asociadas con el primer y segundo enlaces de alimentador puede ser inversamente proporcional a la separación del ancho de banda entre las dos señales (*p. ej*., de manera que las dos señales cuyos rangos de frecuencias son adyacentes dentro de la banda Ka, se correlacionan más que una señal de la banda Ka y una señal de la banda V o dos señales con rangos de frecuencias no adyacentes con la banda Ka). Este efecto es un resultado de las señales con rangos de frecuencias adyacentes que experimentan efectos atmosféricos similares, en donde las señales con un mayor grado de separación de ancho de banda experimentarán diferentes efectos atmosféricos, lo que contribuye a los múltiples trayectos inducidos.

**Conclusión**

Aunque el método y aparato descrito anteriormente en términos de varios ejemplos, casos e implementaciones, se entenderá que las características, aspectos y funcionalidad particulares descritos en uno o más de los ejemplos individuales pueden aplicarse a los otros ejemplos. Por lo tanto, la envergadura y alcance de la invención reivindicada no deben limitarse por ninguno de los ejemplos proporcionados anteriormente, sino que más bien se definen por las reivindicaciones.

Los términos y frases utilizados en este documento, y las variaciones de estos, a menos que se indique de cualquier otra manera lo contrario, deben interpretarse como abiertos y no como limitantes. Como ejemplos de lo anterior: el término “que incluye” se usa para significar “que incluye, sin limitación” o lo similar; el término “ejemplo” se usa para proporcionar ejemplos de casos del elemento en discusión, no una lista exhaustiva o limitante de estos; los términos “un” o “una” significan “al menos una” “una o más” o lo similar.

A lo largo de la descripción, el término “acopla” o “acoplado” se usa para referirse ampliamente a una conexión física o eléctrica (que incluye inalámbrica) entre los componentes. En algunos casos, un primer componente puede acoplarse a un segundo componente a través de un tercer componente intermedio dispuesto entre el primer y segundo componente. Por ejemplo, los componentes pueden acoplarse a través de conexiones directas, redes de adaptación de impedancias, amplificadores, atenuadores, filtros, bloques de corriente continua, bloques de corriente alterna, etc.

Un grupo de elementos relacionados con la conjunción “y” significa que no todos y cada uno de estos elementos debe estar presente en la agrupación, sino que incluye todo o cualquier subconjunto de todos, a menos que se indique de cualquier otra manera lo contrario. De manera similar, un grupo de elementos relacionados con la conjunción “o” no requiere exclusividad mutua entre ese grupo, sino que incluye todo o cualquier subconjunto de todos, a menos que se indique de cualquier otra manera lo contrario. Además, aunque los objetos, elementos o componentes del método y aparato descritos pueden describirse o reivindicarse en singular, se contempla que el plural está dentro del alcance de la misma, a menos que la limitación al singular se indique explícitamente.

La presencia de la ampliación de palabras y frases tales como “uno o más”, “al menos”, u otras frases similares en algunos casos no significa que el caso más limitado se prevea o se requiera en los casos en que dichas ampliaciones de frases puedan estar ausente.

Aunque los signos de referencia pueden incluirse en las reivindicaciones, estos se proporcionan con la única función de hacer que las reivindicaciones sean más fáciles de entender, y la inclusión (u omisión) de signos de referencia no debe considerarse como limitante del alcance de la materia protegida por las reivindicaciones.

**REIVINDICACIONES**

1. Un satélite (1502, 3403) para proporcionar comunicaciones entre una pluralidad de clústeres de nodos de acceso y una pluralidad de terminales de usuario (517), en donde cada clúster de nodos de acceso de la pluralidad de clústeres de nodos de acceso comprende una pluralidad de nodos de acceso (515) distribuidos geográficamente dentro de una correspondiente área de nodo de acceso (3450), y en donde la pluralidad de terminales de usuario se distribuyen geográficamente en un área de cobertura de usuario (3460), comprendiendo el satélite:

un subsistema de antena de enlace de alimentador (3410) que comprende una matriz de elementos de enlace de alimentador (3415) configurada para iluminar la pluralidad de clústeres de nodos de acceso, comprendiendo la matriz de elementos de enlace de alimentador una matriz de elementos de recepción constituyentes de enlace de alimentador (3416), estando configurada la matriz de elementos de recepción constituyentes de enlace de alimentador para recibir señales directas de entrada compuestas que son superposiciones de una pluralidad de señales de enlace ascendente directo ponderado por haz transmitidas por la pluralidad de nodos de acceso;
un subsistema de antena de enlace de usuario (3420) que comprende una matriz de elementos de enlace de usuario (3425) configurada para iluminar el área de cobertura de usuario, comprendiendo la matriz de elementos de enlace de usuario una matriz de elementos de transmisión constituyentes de enlace de usuario (3429) configurada para transmitir señales de enlace descendente directo (522) que se superponen para formar haces de usuario directos, correspondiendo cada señal de enlace descendente directo a una respectiva de las señales directas de entrada compuestas recibidas; y
una pluralidad de transpondedores de enlace directo (3430), cada uno acoplado entre uno respectivo de los elementos de recepción constituyentes de enlace de alimentador y uno respectivo de los elementos de transmisión constituyentes de enlace de usuario.

2. El satélite (1502, 3403) de la reivindicación 1, en donde:
la matriz de elementos de enlace de alimentador (3415) comprende un primer conjunto de elementos de enlace de alimentador configurados para iluminar un primero de la pluralidad de clústeres de nodos de acceso y un segundo conjunto de elementos de enlace de alimentador configurados para iluminar un segundo de la pluralidad de clústeres de nodos de acceso.

3. El satélite (1502, 3403) de la reivindicación 2, en donde entradas de un primer subconjunto de la pluralidad de transpondedores de enlace directo se acoplan con respectivos elementos de recepción constituyentes de enlace de alimentador (3416) del primer conjunto de elementos de enlace de alimentador y entradas de un segundo subconjunto de la pluralidad de transpondedores de enlace directo se acoplan con respectivos elementos de recepción constituyentes de enlace de alimentador del segundo conjunto de elementos de enlace de alimentador.

4. El satélite (1502, 3403) de la reivindicación 3, en donde salidas del primer subconjunto de la pluralidad de transpondedores de enlace directo se acoplan con elementos de transmisión constituyentes de enlace de usuario (3429) de un primer conjunto de elementos de enlace de usuario y salidas del segundo subconjunto de la pluralidad de transpondedores de enlace directo se acoplan con elementos de transmisión constituyentes de enlace de usuario de un segundo conjunto de elementos de enlace de usuario.

5. El satélite (1502, 3403) de una cualquiera de las reivindicaciones 3-4, en donde:
el primer conjunto de elementos de enlace de alimentador está configurado para iluminar el primero de la pluralidad de clústeres de nodos de acceso en un primer rango de frecuencias, y el segundo conjunto de elementos de enlace de alimentador está configurado para iluminar el segundo de la pluralidad de clústeres de nodos de acceso en un segundo rango de frecuencias, en donde el segundo rango de frecuencias no se superpone con el primer rango de frecuencias.

6. El satélite (1502, 3403) de la reivindicación 5, en donde:

el primer subconjunto de la pluralidad de transpondedores de enlace directo comprende primeros convertidores de frecuencia directa que están configurados para convertir primeras señales de entrada directas en el primer rango de frecuencias en primeras señales de salida en un tercer rango de frecuencias; y
el segundo subconjunto de la pluralidad de transpondedores de enlace directo comprende segundos convertidores de frecuencia directa que están configurados para convertir segundas señales de entrada en el segundo rango de frecuencias en segundas señales de salida en el tercer rango de frecuencias.

7. El satélite (1502, 3403) de la reivindicación 6, en donde:
entradas de un primer subconjunto de la pluralidad de transpondedores de enlace de retorno se acoplan con respectivos elementos de recepción constituyentes de enlace de usuario (3426) del primer conjunto de elementos de enlace de usuario y entradas de un segundo subconjunto de la pluralidad de

transpondedores de enlace de retorno se acoplan con respectivos elementos de recepción constituyentes de enlace de usuario del segundo conjunto de elementos de enlace de usuario.

8. El satélite (1502, 3403) de la reivindicación 7, en donde:

el primer subconjunto de la pluralidad de transpondedores de enlace de retorno comprende primeros convertidores de frecuencia de retorno que están configurados para convertir primeras señales de entrada de retorno en el tercer rango de frecuencias en primeras señales de salida de retorno en el primer rango de frecuencias; y
el segundo subconjunto de la pluralidad de transpondedores de enlace de retorno comprende segundos convertidores de frecuencia de retorno que están configurados para convertir segundas señales de entrada de retorno en el tercer rango de frecuencias en segundas señales de salida de retorno en el segundo rango de frecuencias.

9. El satélite (1502, 3403) de una cualquiera de las reivindicaciones 5-6, en donde un ancho de banda del primer rango de frecuencias es igual que un ancho de banda del segundo rango de frecuencias.

10. El satélite (1502, 3403) de una cualquiera de las reivindicaciones 5-6, en donde un ancho de banda del primer rango de frecuencias es diferente de un ancho de banda del segundo rango de frecuencias.

11. El satélite (1502, 3403) de una cualquiera de las reivindicaciones 5-6 o 9-10, en donde un ancho de banda del tercer rango de frecuencias es menor que un ancho de banda combinado del primer rango de frecuencias y el segundo rango de frecuencias.

12. El satélite (1502, 3403) de una cualquiera de las reivindicaciones 5-6 o 9-10, en donde un ancho de banda del tercer rango de frecuencias es igual que un ancho de banda de al menos uno del primer rango de frecuencias o el segundo rango de frecuencias.

13. El satélite (1502, 3403) de una cualquiera de las reivindicaciones 2-12, en donde la pluralidad de transpondedores de enlace directo comprenden respectivos conmutadores de elemento de recepción de enlace directo que están configurados para acoplar selectivamente entradas de la pluralidad de transpondedores de enlace directo a respectivos elementos de recepción constituyentes de enlace de alimentador (3416) de o bien el primer conjunto de elementos de enlace de alimentador o bien el segundo conjunto de elementos de enlace de alimentador.

14. El satélite (1502, 3403) de una cualquiera de las reivindicaciones 12-13, en donde:

la matriz de elementos de enlace de usuario (3425) comprende una primera matriz de elementos de enlace de usuario configurada para iluminar una primera porción del área de cobertura de usuario (3460) y una segunda matriz de elementos de enlace de usuario configurada para iluminar una segunda porción del área de cobertura de usuario; y
la pluralidad de transpondedores de enlace directo comprenden respectivos conmutadores de elemento de transmisión de enlace directo que están configurados para acoplar selectivamente salidas de la pluralidad de transpondedores de enlace directo a respectivos elementos de transmisión constituyentes de enlace de usuario (3429) de o bien la primera matriz de elementos de enlace de usuario o bien la segunda matriz de elementos de enlace de usuario.

15. El satélite (1502, 3403) de la reivindicación 14, en donde la correspondiente área de nodo de acceso (3450) del primero de la pluralidad de clústeres de nodos de acceso no se superpone con la segunda porción del área de cobertura de usuario (3460) y la correspondiente área de nodo de acceso del segundo de la pluralidad de clústeres de nodos de acceso no se superpone con la primera porción del área de cobertura de usuario.

16. El satélite (1502, 3403) de una cualquiera de las reivindicaciones 2-15, en donde la pluralidad de transpondedores de enlace de retorno comprenden respectivos conmutadores de elemento de transmisión de enlace de retorno que están configurados para acoplar selectivamente salidas de la pluralidad de transpondedores de enlace de retorno a respectivos elementos de transmisión constituyentes de enlace de alimentador (3419) de o bien la primera matriz de elementos de enlace de alimentador o bien la segunda matriz de elementos de enlace de alimentador.

17. El satélite (1502, 3403) de la reivindicación 16, en donde:

la matriz de elementos de enlace de usuario (3425) comprende una primera matriz de elementos de enlace de usuario configurada para iluminar una primera porción del área de cobertura de usuario (3460) y una segunda matriz de elementos de enlace de usuario configurada para iluminar una segunda porción del área de cobertura de usuario; y

la pluralidad de transpondedores de enlace de retorno comprenden respectivos conmutadores de elemento de recepción de enlace de retorno que están configurados para acoplar selectivamente entradas de la pluralidad de transpondedores de enlace de retorno a respectivos elementos de recepción constituyentes de enlace de usuario (3426) de o bien la primera matriz de elementos de enlace de usuario o bien la segunda matriz de elementos de enlace de usuario.

18. El satélite (1502, 3403) de una cualquiera de las reivindicaciones 2-17, en donde:

el subsistema de antena de enlace de alimentador (3410) comprende un único reflector;
el primer conjunto de elementos de enlace de alimentador está configurado para iluminar el primero de la pluralidad de clústeres de nodos de acceso a través del único reflector y el segundo conjunto de elementos de enlace de alimentador está configurado para iluminar el segundo de la pluralidad de clústeres de nodos de acceso a través del único reflector.

19. El satélite (1502, 3403) de la reivindicación 18, en donde:
el primer conjunto de elementos de enlace de alimentador y el segundo conjunto de elementos de enlace de alimentador se disponen dentro de una única matriz de elementos de enlace de alimentador (3415).

20. El satélite (1502, 3403) de la reivindicación 18, en donde:
el primer conjunto de elementos de enlace de alimentador se dispone dentro de una primera matriz de elementos de enlace de alimentador y el segundo conjunto de elementos de enlace de alimentador se dispone dentro de una segunda matriz de elementos de enlace de alimentador, independiente.

21. El satélite (1502, 3403) de una cualquiera de las reivindicaciones 2-17, en donde:
el primer conjunto de elementos de enlace de alimentador está configurado para iluminar el primero de la pluralidad de clústeres de nodos de acceso a través de un primer reflector y el segundo conjunto de elementos de enlace de alimentador está configurado para iluminar el segundo de la pluralidad de clústeres de nodos de acceso a través de un segundo reflector.

22. Un método para proporcionar un servicio de comunicación a terminales de usuario (517) distribuidos geográficamente en un área de cobertura de usuario (3460) a través de un retransmisor proporcionado en un satélite (1502, 3403), comprendiendo el retransmisor múltiples trayectos de señal de recepción/transmisión, comprendiendo el método:

recibir, por una matriz de elementos de recepción constituyentes de enlace de alimentador (3416), señales directas de entrada compuestas que son superposiciones de una pluralidad de señales de enlace ascendente directo ponderado por haz transmitidas por un conjunto de nodos de acceso, comprendiendo el conjunto de nodos de acceso nodos de acceso (515) de al menos uno de una pluralidad de clústeres de nodos de acceso, en donde cada uno de la pluralidad de clústeres de nodos de acceso comprende una pluralidad de nodos de acceso en ubicaciones distribuidas geográficamente dentro de una correspondiente de una pluralidad de áreas de nodo de acceso (3450);
generar una pluralidad de señales de enlace descendente directo a partir de las señales directas de entrada compuestas a través de los múltiples trayectos de señal de recepción/transmisión, correspondiendo cada señal de enlace descendente directo a una respectiva de las señales directas de entrada compuestas recibidas; y
transmitir la pluralidad de señales de enlace descendente directo mediante una matriz de elementos de transmisión constituyentes de enlace de usuario (3429), en donde las señales de enlace descendente directo se transmiten a una pluralidad de los terminales de usuario y se superponen para formar haces de usuario directos.

23. El método de la reivindicación 22, en donde:
la pluralidad de elementos de recepción constituyentes de enlace de alimentador (3416) comprende un primer conjunto de elementos de recepción constituyentes de enlace de alimentador que ilumina un primero de la pluralidad de clústeres de nodos de acceso y un segundo conjunto de elementos de recepción constituyentes de enlace de alimentador que ilumina un segundo de la pluralidad de clústeres de nodos de acceso.

24. El método de la reivindicación 23, en donde el primer conjunto de elementos de recepción constituyentes de enlace de alimentador (3416) recibe un primer subconjunto de las señales directas de entrada compuestas en un primer rango de frecuencias y el segundo conjunto de elementos de recepción constituyentes de enlace de alimentador recibe un segundo subconjunto de las señales directas de entrada compuestas en un segundo rango de frecuencias, y en donde el segundo rango de frecuencias no se superpone con el primer rango de frecuencias.

25. El método de la reivindicación 24, en donde la generación de la pluralidad de señales de enlace descendente directo comprende la transformación de frecuencia del primer subconjunto de las señales directas de entrada compuestas desde el primer rango de frecuencias a un tercer rango de frecuencias para obtener un primer subconjunto de la pluralidad de señales de enlace descendente directo y la transformación de frecuencia del segundo subconjunto de las señales directas de entrada compuestas desde el segundo rango de frecuencias al tercer rango de frecuencias para obtener un segundo subconjunto de la pluralidad de señales de enlace descendente directo.

26. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 23-25, que comprende, además:
acoplar selectivamente entradas de una pluralidad de transpondedores de enlace directo a respectivos elementos de recepción constituyentes de enlace de alimentador (3416) de o bien el primer conjunto de elementos de recepción constituyentes de enlace de alimentador o bien el segundo conjunto de elementos de recepción constituyentes de enlace de alimentador.

27. El método de la reivindicación 26, en donde la pluralidad de elementos de transmisión constituyentes de enlace de usuario (3429) comprende un primer conjunto de elementos de transmisión constituyentes de enlace de usuario que ilumina una primera porción del área de cobertura de usuario (3460) y un segundo conjunto de elementos de transmisión constituyentes de enlace de usuario que ilumina una segunda porción del área de cobertura de usuario, comprendiendo el método, además:
acoplar selectivamente salidas de la pluralidad de transpondedores de enlace directo a respectivos elementos de transmisión constituyentes de enlace de usuario de o bien el primer conjunto de elementos de transmisión constituyentes de enlace de usuario o bien el segundo conjunto de elementos de transmisión constituyentes de enlace de usuario.

28. El método de la reivindicación 27, en donde la correspondiente área de nodo de acceso (3450) del primero de la pluralidad de clústeres de nodos de acceso no se superpone con la segunda porción del área de cobertura de usuario (3460) y la correspondiente área de nodo de acceso del segundo de la pluralidad de clústeres de nodos de acceso no se superpone con la primera porción del área de cobertura de usuario.

29. Un método para proporcionar un servicio de comunicación a terminales de usuario (517) distribuidos geográficamente en un área de cobertura de usuario (3460) a través de un retransmisor proporcionado en un satélite (1502, 3403), comprendiendo el retransmisor múltiples trayectos de señal de recepción/transmisión, comprendiendo el método:

recibir compuestos superpuestos de señales de enlace ascendente de retorno mediante una matriz de elementos de recepción constituyentes de enlace de usuario (3426) desde al menos algunos de la pluralidad de terminales de usuario;
generar una pluralidad de señales de enlace descendente de retorno a partir de los compuestos superpuestos recibidos de señales de enlace ascendente de retorno, correspondiendo cada señal de enlace descendente de retorno a uno respectivo de los compuestos superpuestos recibidos de señales de enlace ascendente de retorno; y
transmitir la pluralidad de señales de enlace descendente de retorno mediante una matriz de elementos de transmisión constituyentes de enlace de alimentador (3419) a un conjunto de nodos de acceso de tal forma que cada nodo de acceso recibe un compuesto superpuesto de las señales de enlace descendente de retorno transmitidas desde los elementos de transmisión constituyentes de enlace de alimentador, comprendiendo el conjunto de nodos de acceso nodos de acceso (515) de al menos uno de una pluralidad de clústeres de nodos de acceso, en donde cada uno de la pluralidad de clústeres de nodos de acceso comprende una pluralidad de nodos de acceso en ubicaciones distribuidas geográficamente dentro de una correspondiente de una pluralidad de áreas de nodo de acceso (3450).

30. El método de la reivindicación 29, en donde:
la pluralidad de elementos de transmisión constituyentes de enlace de alimentador (3419) comprende un primer conjunto de elementos de transmisión constituyentes de enlace de alimentador que ilumina un primero de la pluralidad de clústeres de nodos de acceso y un segundo conjunto de elementos de transmisión constituyentes de enlace de alimentador que ilumina un segundo de la pluralidad de clústeres de nodos de acceso.

31. El método de la reivindicación 30, en donde el primer conjunto de elementos de transmisión constituyentes de enlace de alimentador (3419) transmite un primer subconjunto de la pluralidad de señales de enlace descendente de retorno en un primer rango de frecuencias y el segundo conjunto de elementos de transmisión constituyentes de enlace de alimentador transmite un segundo subconjunto de la pluralidad de señales de enlace descendente de retorno en un segundo rango de frecuencias, y en donde el segundo rango de frecuencias no se superpone con el primer rango de frecuencias.

32. El método de la reivindicación 31, en donde la generación de la pluralidad de señales de enlace descendente de retorno comprende la transformación de frecuencia de un primer subconjunto de las señales de enlace ascendente de retorno desde un tercer rango de frecuencias al primer rango de frecuencias para obtener el primer subconjunto de la pluralidad de señales de enlace descendente de retorno y la transformación de frecuencia de un segundo subconjunto de las señales de enlace ascendente de retorno desde el tercer rango de frecuencias al segundo rango de frecuencias para obtener el segundo subconjunto de la pluralidad de señales de enlace descendente de retorno.

33. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 30, que comprende, además:
acoplar selectivamente salidas de una pluralidad de transpondedores de enlace de retorno a respectivos elementos de transmisión constituyentes de enlace de alimentador (3419) de o bien el primer conjunto de elementos de transmisión constituyentes de enlace de alimentador o bien el segundo conjunto de elementos de transmisión constituyentes de enlace de alimentador.

34. El método de la reivindicación 33, en donde la pluralidad de elementos de recepción constituyentes de enlace de usuario (3426) comprende un primer conjunto de elementos de recepción constituyentes de enlace de usuario que ilumina una primera porción del área de cobertura de usuario (3460) y un segundo conjunto de elementos de recepción constituyentes de enlace de usuario que ilumina una segunda porción del área de cobertura de usuario, y que comprende, además:
acoplar selectivamente entradas de la pluralidad de transpondedores de enlace de retorno a respectivos elementos de recepción constituyentes de enlace de usuario de o bien el primer conjunto de elementos de recepción constituyentes de enlace de usuario o bien el segundo conjunto de elementos de recepción constituyentes de enlace de usuario.

35. El método de la reivindicación 34, en donde la correspondiente área de nodo de acceso (3450) del primero de la pluralidad de clústeres de nodos de acceso no se superpone con la segunda porción del área de cobertura de usuario (3460) y la correspondiente área de nodo de acceso del segundo de la pluralidad de clústeres de nodos de acceso no se superpone con la primera porción del área de cobertura de usuario.

36. Un satélite (1502, 3403) para proporcionar comunicaciones entre una pluralidad de terminales de usuario (517) y una pluralidad de clústeres de nodos de acceso, en donde cada clúster de nodos de acceso de la pluralidad de clústeres de nodos de acceso comprende una pluralidad de nodos de acceso (515) distribuidos geográficamente dentro de una correspondiente área de nodo de acceso (3450), y en donde la pluralidad de terminales de usuario se distribuyen geográficamente en un área de cobertura de usuario (3460), comprendiendo el satélite:

un subsistema de antena de enlace de usuario (3420) que comprende una matriz de elementos de enlace de usuario (3425) configurada para iluminar el área de cobertura de usuario, comprendiendo la matriz de elementos de enlace de usuario una matriz de elementos de recepción constituyentes de enlace de usuario (3426) configurada para recibir compuestos superpuestos de señales de enlace ascendente de retorno desde al menos algunos de la pluralidad de terminales de usuario;
un subsistema de antena de enlace de alimentador (3410) que comprende una matriz de elementos de enlace de alimentador (3415) configurada para iluminar la pluralidad de clústeres de nodos de acceso, comprendiendo la matriz de elementos de enlace de alimentador una matriz de elementos de transmisión constituyentes de enlace de alimentador (3419) configurada para transmitir una pluralidad de señales de enlace descendente de retorno, que se superponen para contribuir a formar haces de usuario de retorno, a un conjunto de nodos de acceso, correspondiendo cada señal de enlace descendente de retorno a uno respectivo de los compuestos superpuestos recibidos de señales de enlace ascendente de retorno; y
una pluralidad de transpondedores de enlace de retorno (3440), cada uno acoplado entre uno respectivo de los elementos de recepción constituyentes de enlace de usuario y uno respectivo de los elementos de transmisión constituyentes de enlace de alimentador.

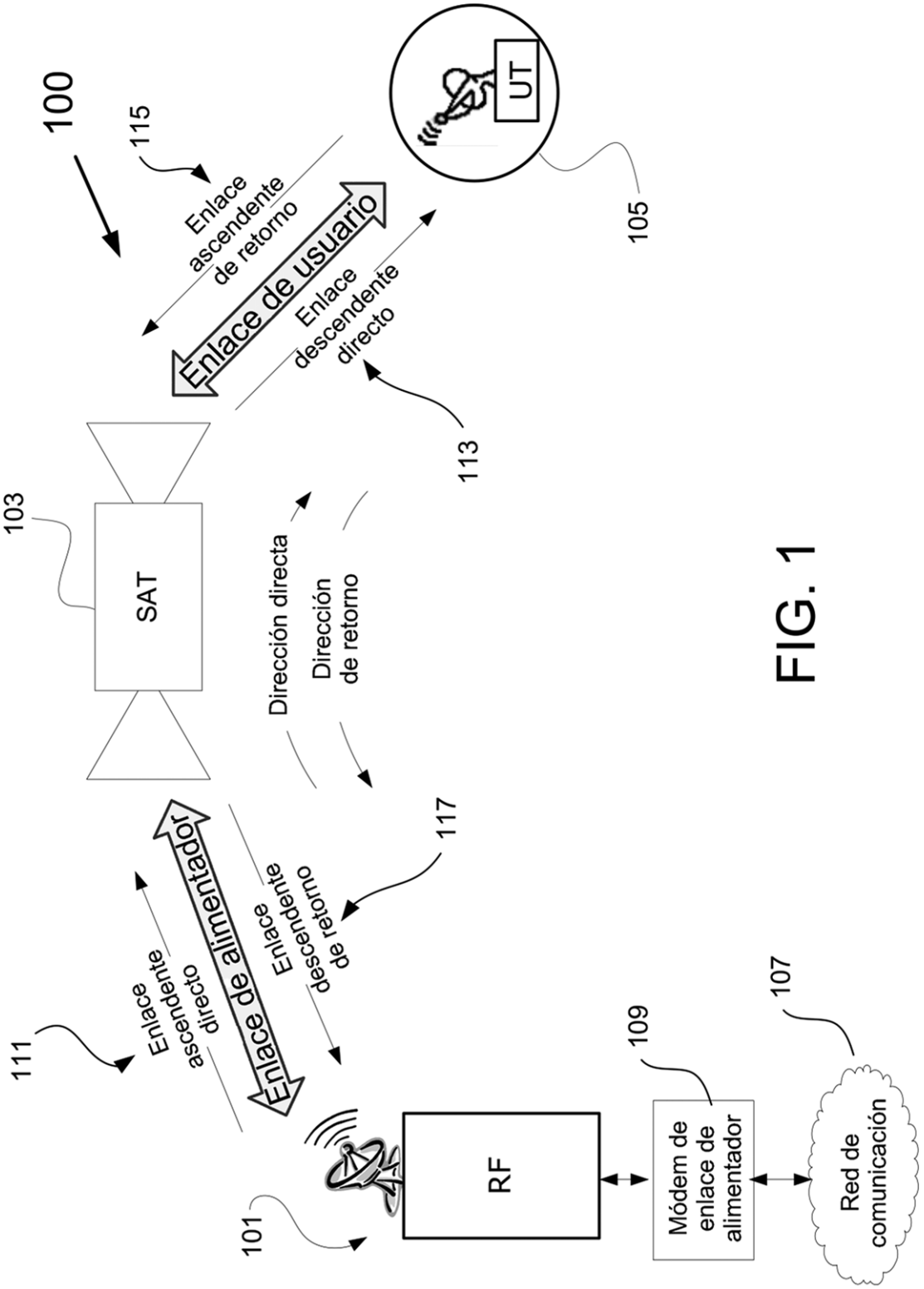
100
115
Enlace ascendente de retorno
Enlace de usuario
Enlace descendente directo
UT
105
113
103
SAT
Dirección directa
Dirección de retorno
117
Enlace de alimentador
Enlace descendente de retorno
Enlace ascendente directo
111
101
RF
109
Módem de enlace de alimentador
107
Red de comunicación

FIG. 1

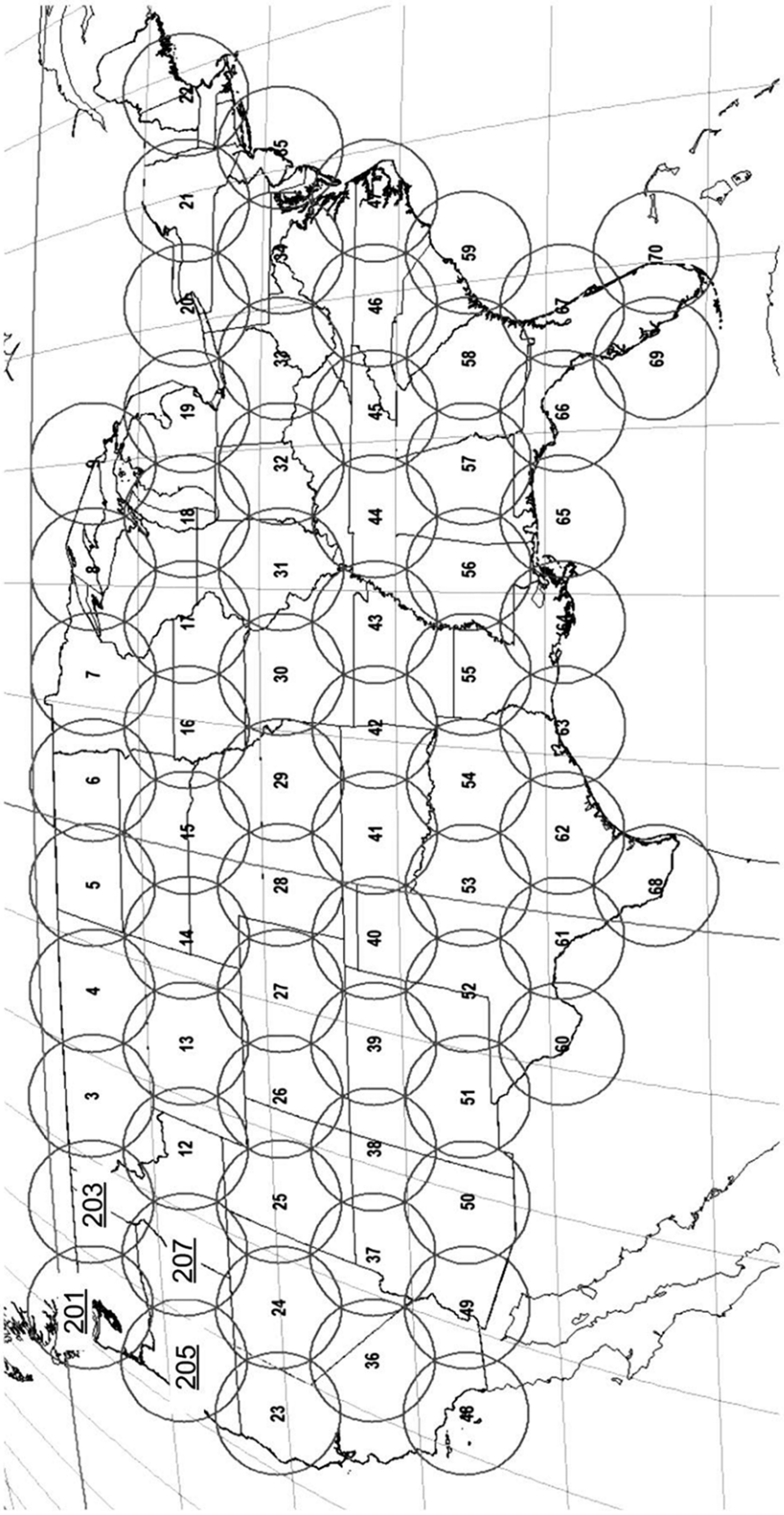


FIG. 2

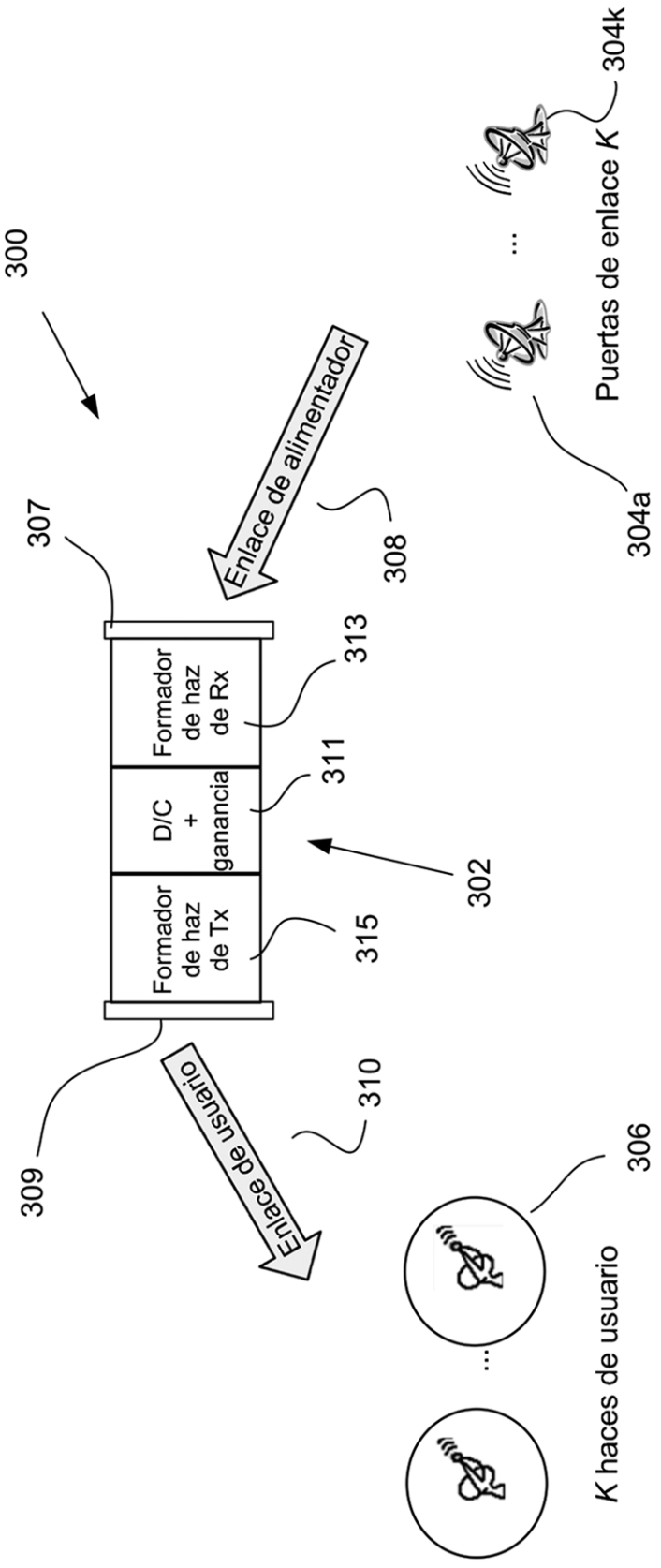
300
307
Enlace de alimentador
308
Puertas de enlace K
304k
304a
313
Formador de haz de Rx
311
D/C + ganancia
302
315
Formador de haz de Tx
309
310
Enlace de usuario
306
K haces de usuario

FIG. 3

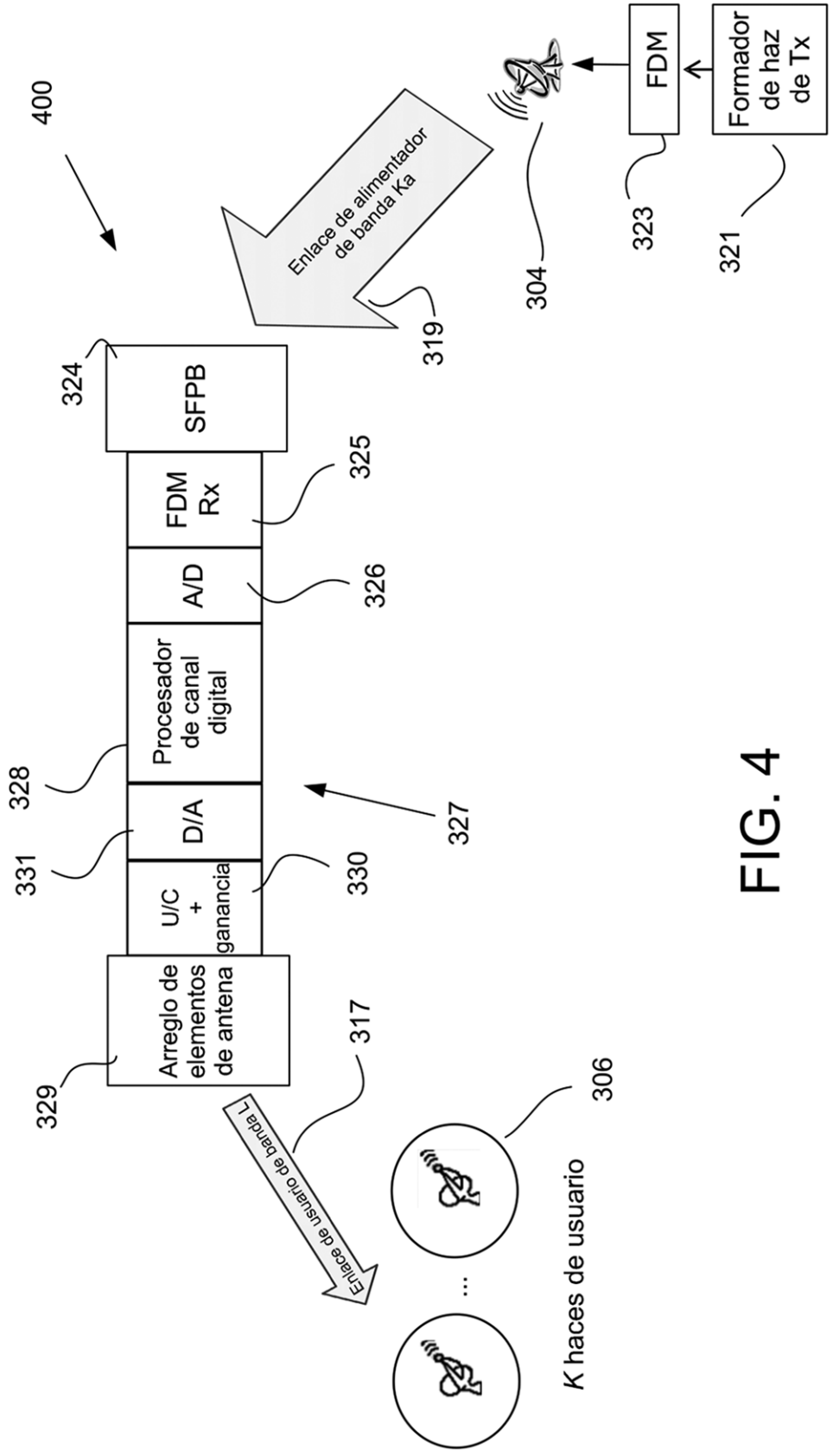
400
Enlace de alimentador de banda Ka
319
304
FDM
323
Formador de haz de Tx
321
324
SFPB
325
FDM Rx
326
A/D
328
Procesador de canal digital
331
D/A
330
327
U/C + ganancia
329
Arreglo de elementos de antena
317
Enlace de usuario de banda L
306
K haces de usuario

FIG. 4

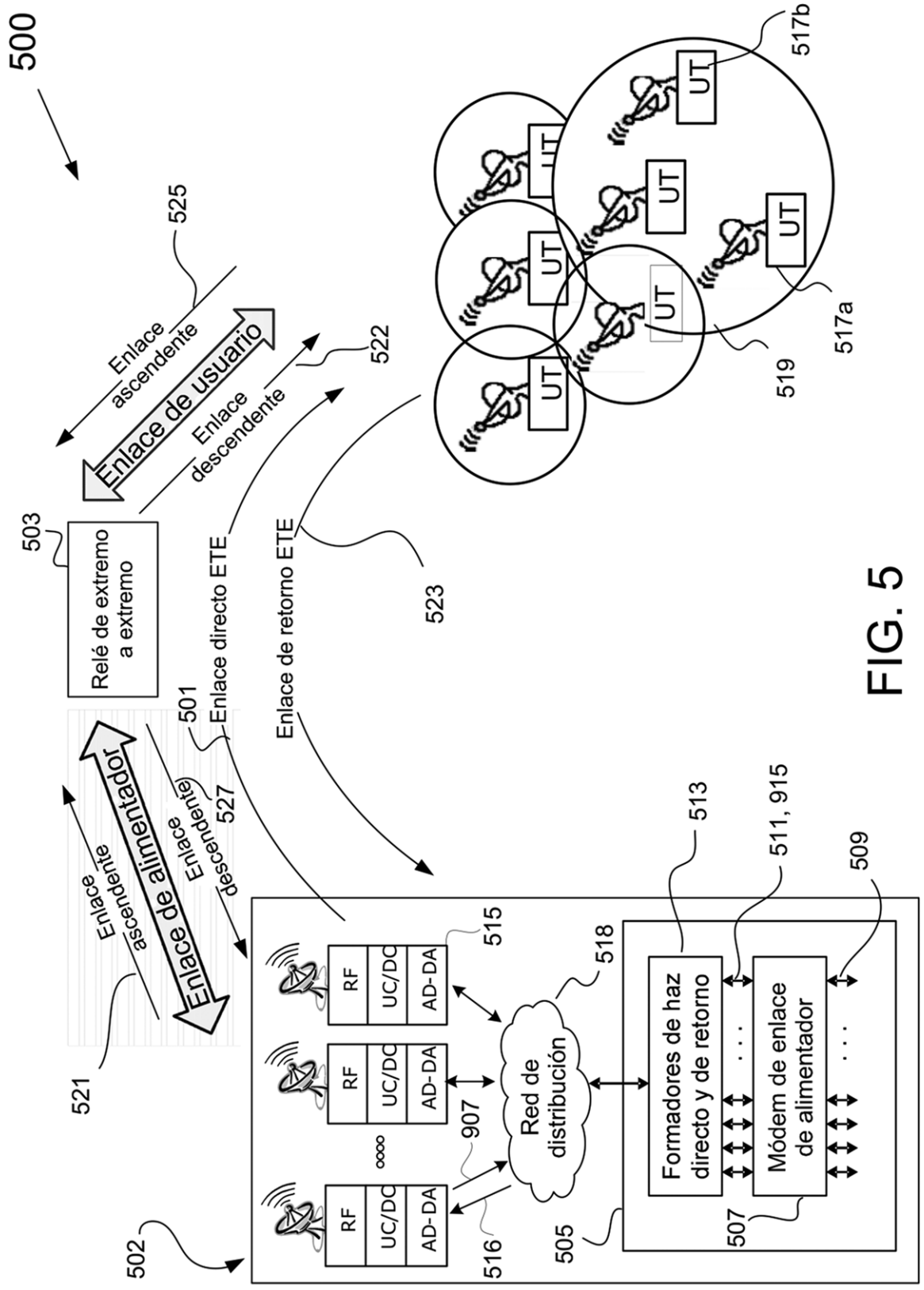
500
525
Enlace ascendente
Enlace de usuario
Enlace descendente
522
503
Relé de extremo a extremo
501
Enlace directo ETE
Enlace de retorno ETE
523
517b
517a
519
UT
521
Enlace ascendente
Enlace de alimentador
Enlace descendente
527
RF
UC/DC
AD-DA
515
907
516
502
Red de distribución
518
505
Formadores de haz directo y de retorno
513
Módem de enlace de alimentador
511, 915
507
509

FIG. 5

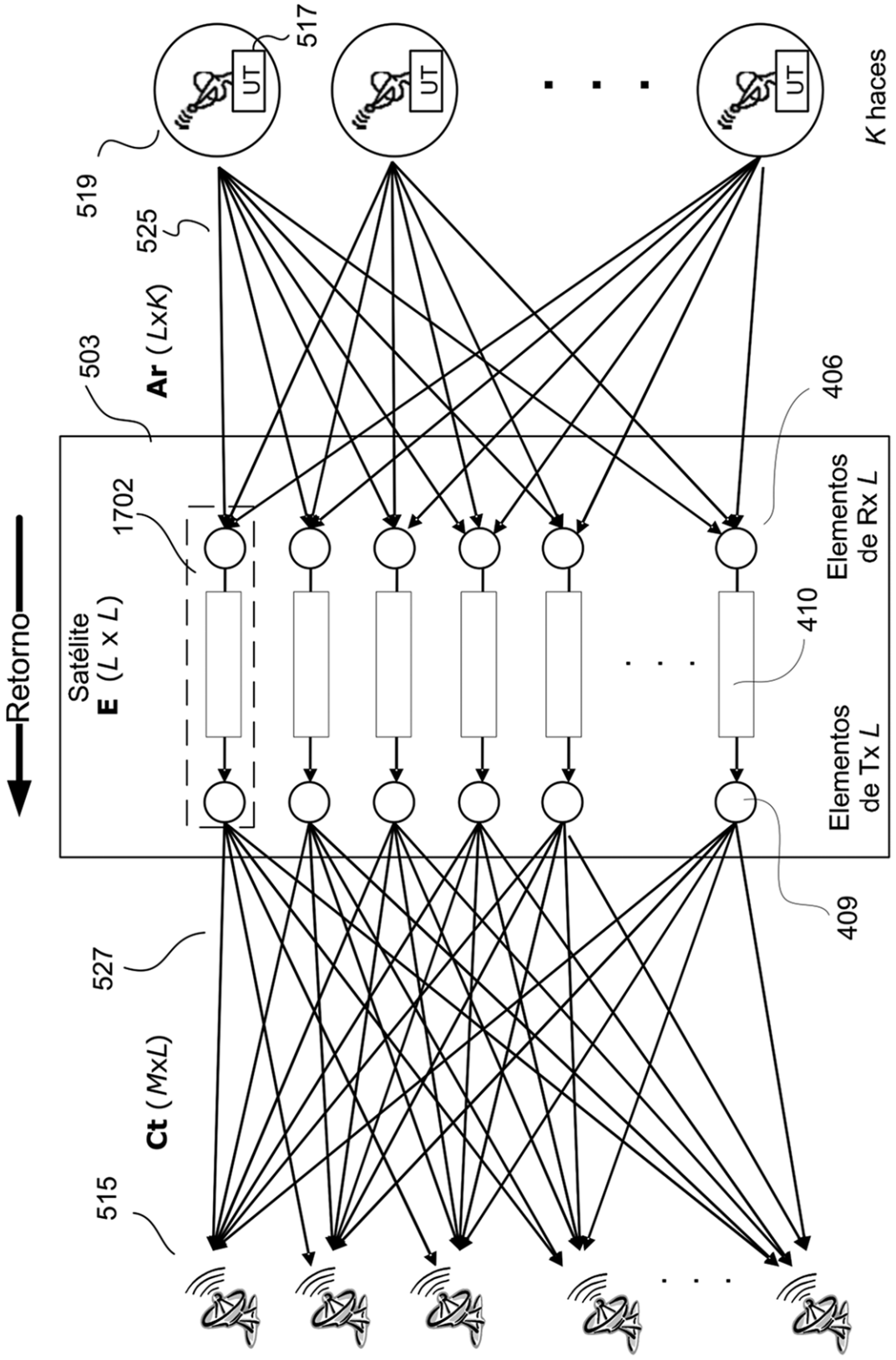
Retorno
Satélite
E (L x L)
1702
503
Ar (LxK)
525
519
517
UT
UT
UT
K haces
406
Elementos
de Rx L
410
Elementos
de Tx L
409
527
Ct (MxL)
515
M NA

FIG. 6

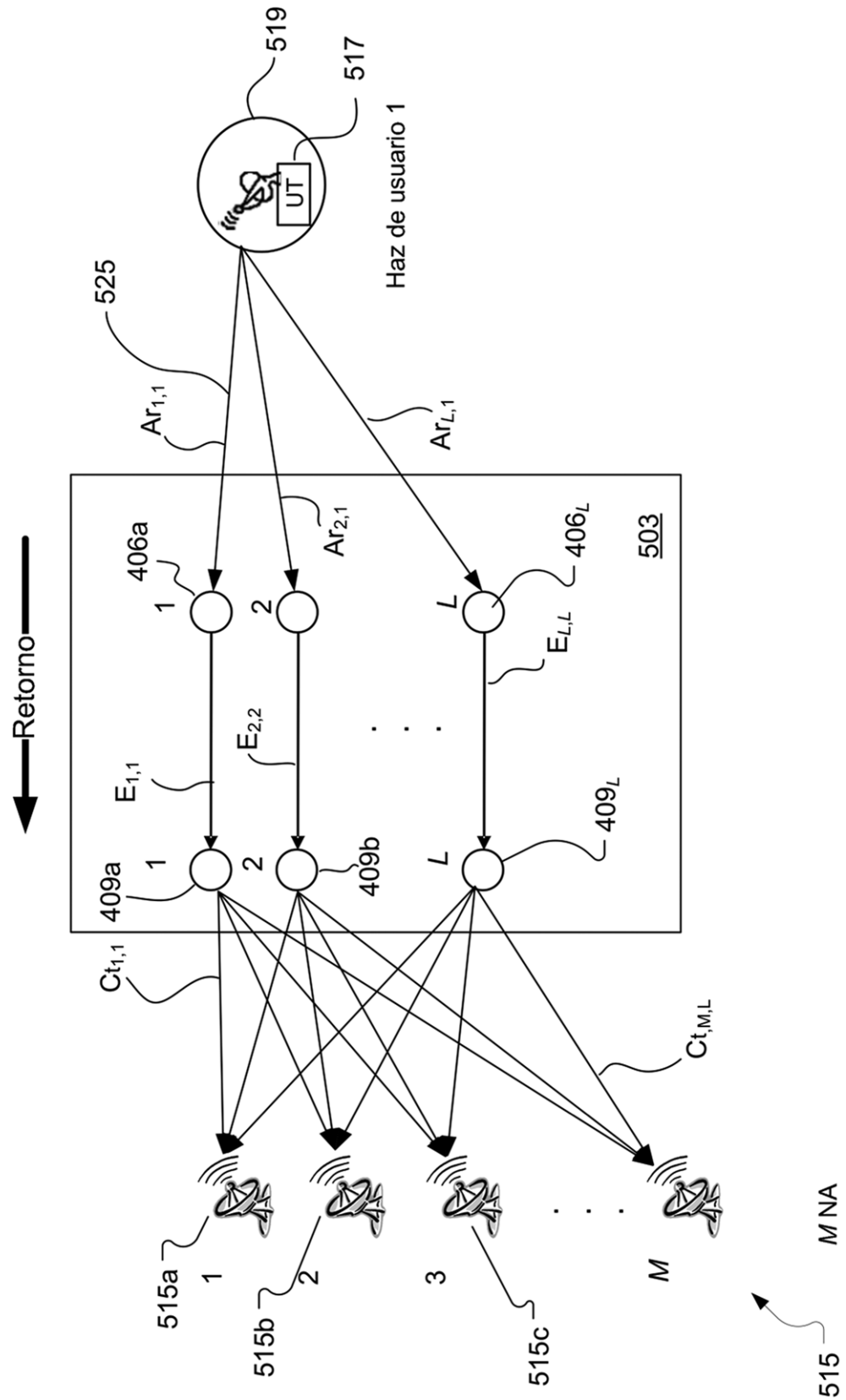
519
517
UT
Haz de usuario 1
525
$Ar_{1,1}$
$Ar_{2,1}$
$Ar_{L,1}$
406a
1
2
L
$406_L$
503
Retorno
$E_{1,1}$
$E_{2,2}$
$E_{L,L}$
409a
409b
$409_L$
$Ct_{1,1}$
$Ct_{M,L}$
515a
515b
515c
515
1
2
3
M
M NA

FIG. 7

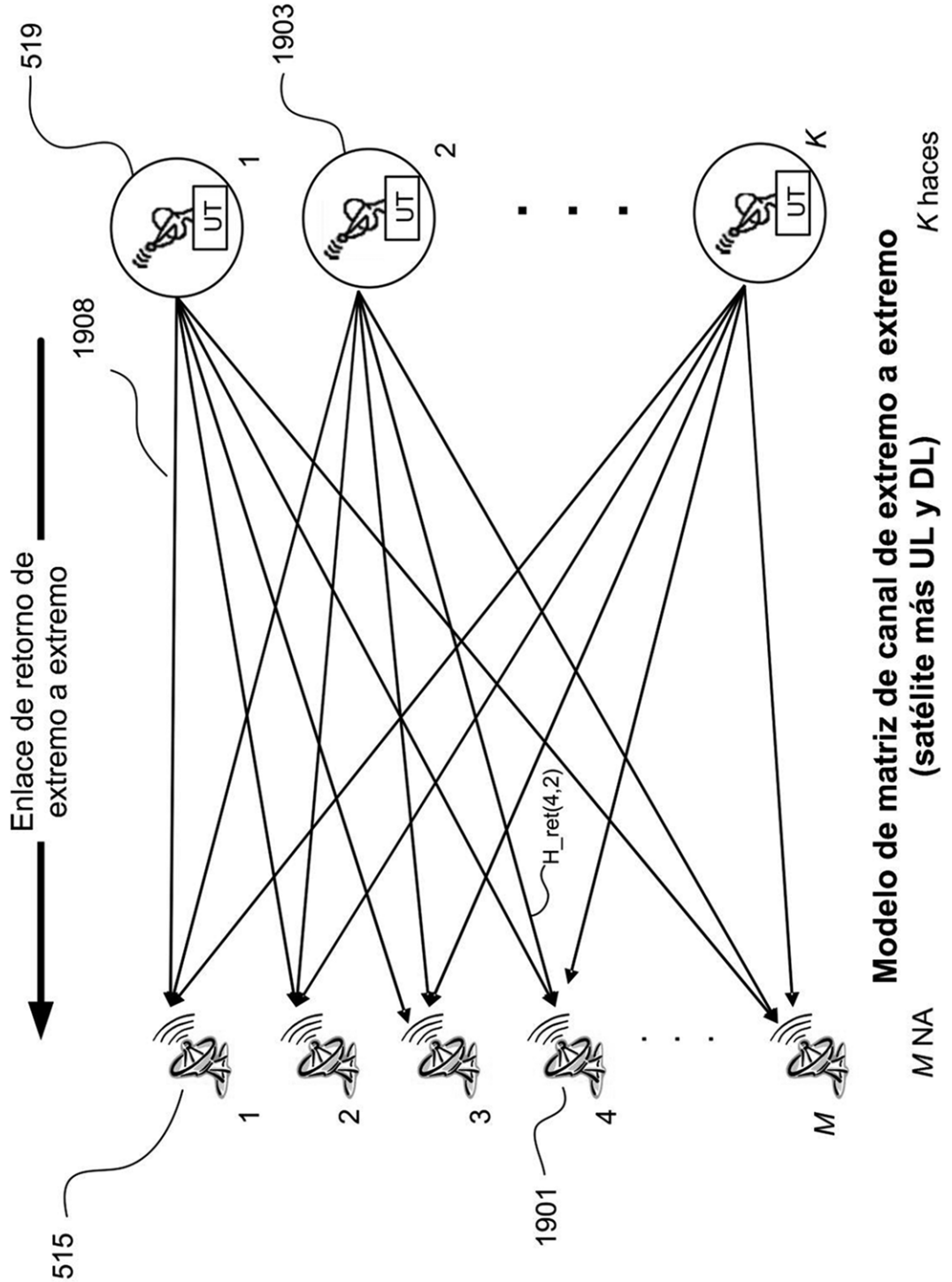
519
1903
1908
UT
1
2
K
Enlace de retorno de extremo a extremo
H_ret(4,2)
1
2
3
4
M
515
1901
Modelo de matriz de canal de extremo a extremo (satélite más UL y DL)
M NA
K haces

FIG. 8

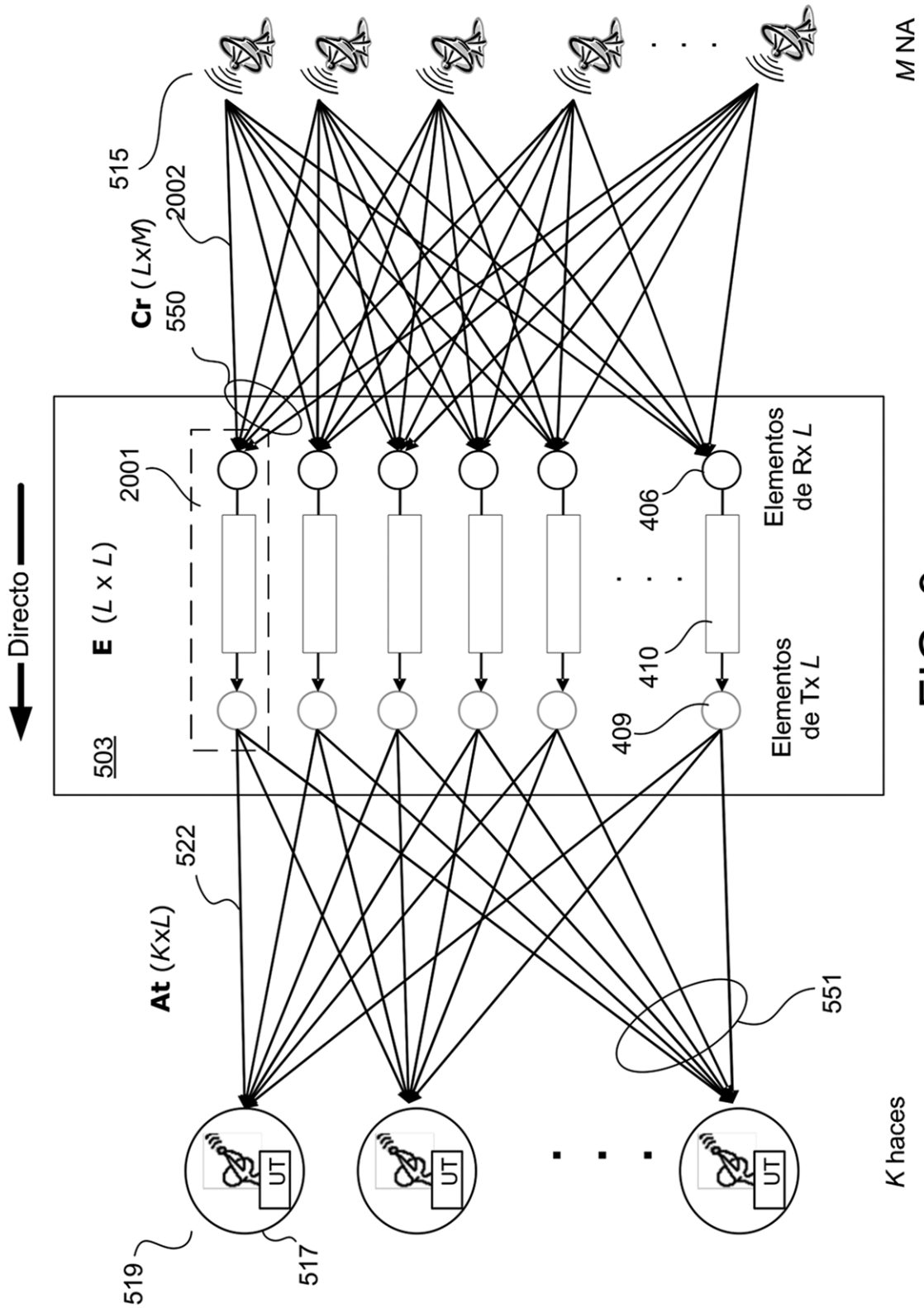
Directo
503
E (L x L)
2001
Cr (LxM)
2002
515
550
M NA
Elementos de Rx L
406
Elementos de Tx L
410
409
At (KxL)
522
551
K haces
UT
519
517

FIG. 9

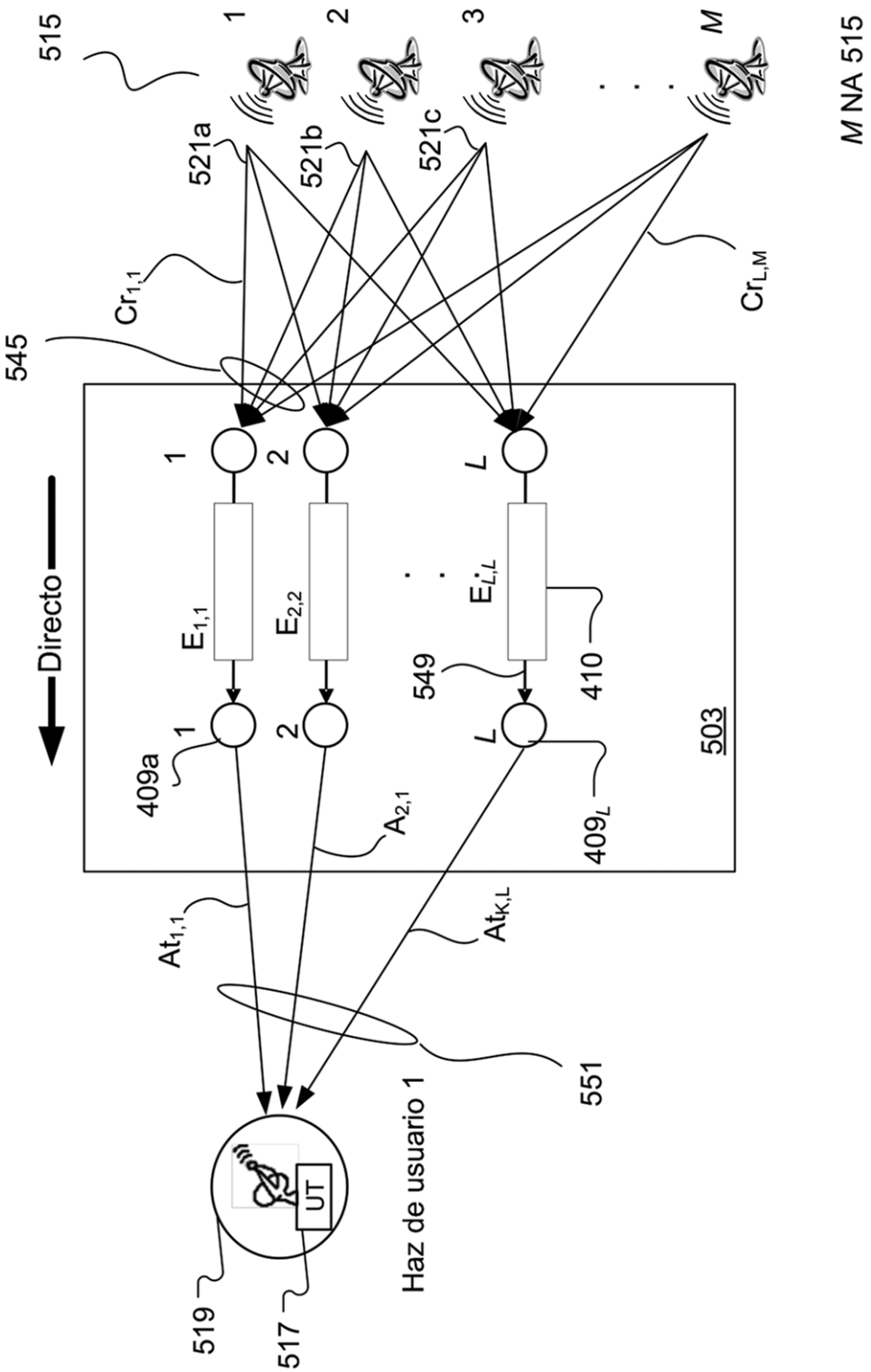
515
1
2
3
M
M NA 515
521a
521b
521c
$Cr_{1,1}$
$Cr_{L,M}$
545
Directo
1
2
L
$E_{1,1}$
$E_{2,2}$
$E_{L,L}$
549
410
409a
1
2
L
503
$A_{2,1}$
$409_L$
$At_{1,1}$
$At_{K,L}$
551
Haz de usuario 1
UT
519
517

FIG. 10

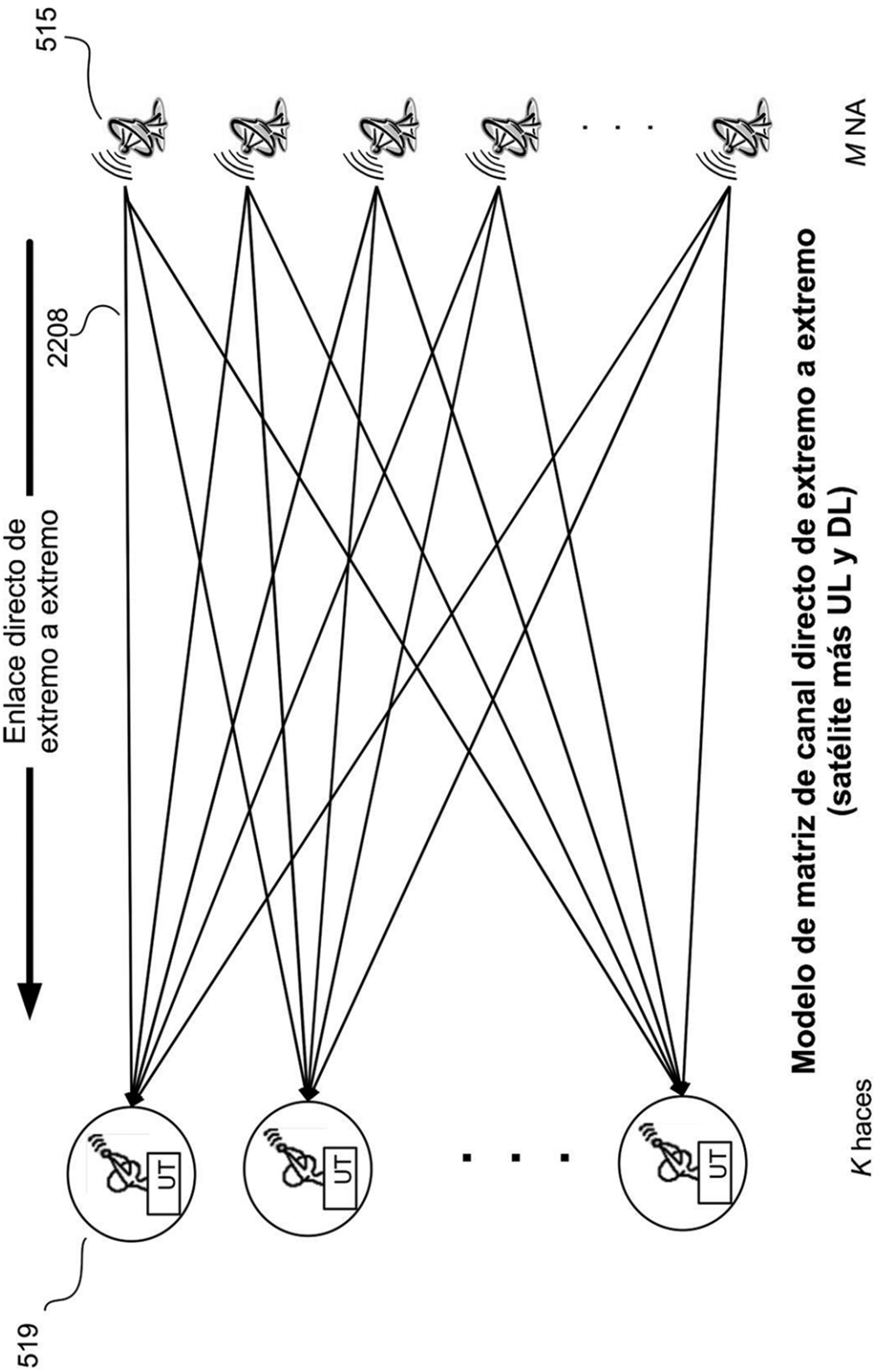
515
2208
Enlace directo de extremo a extremo
519
UT
UT
UT
M NA
K haces
Modelo de matriz de canal directo de extremo a extremo (satélite más UL y DL)

FIG. 11

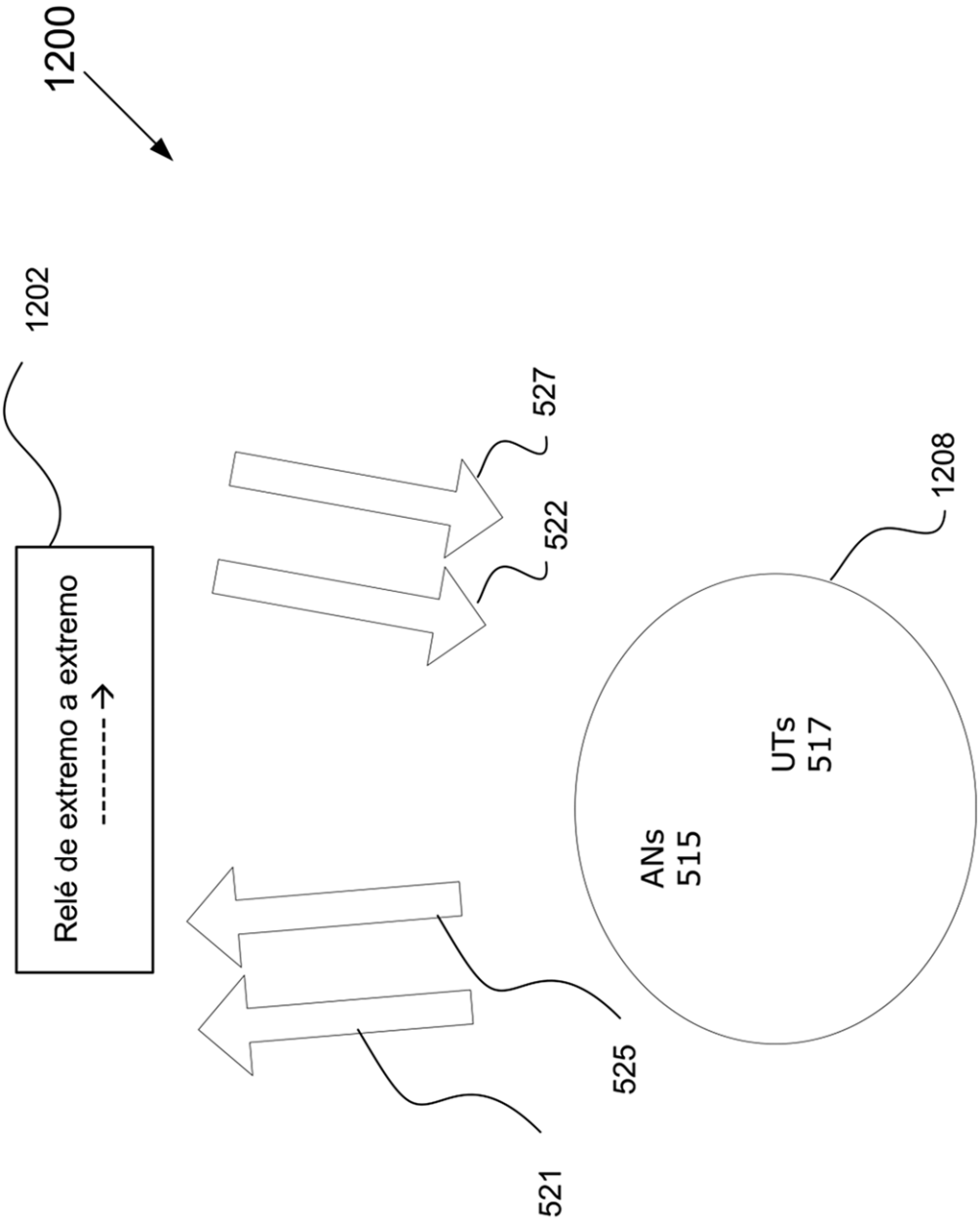
1200
1202
Relé de extremo a extremo
527
522
1208
UTs
517
ANs
515
525
521

FIG. 12

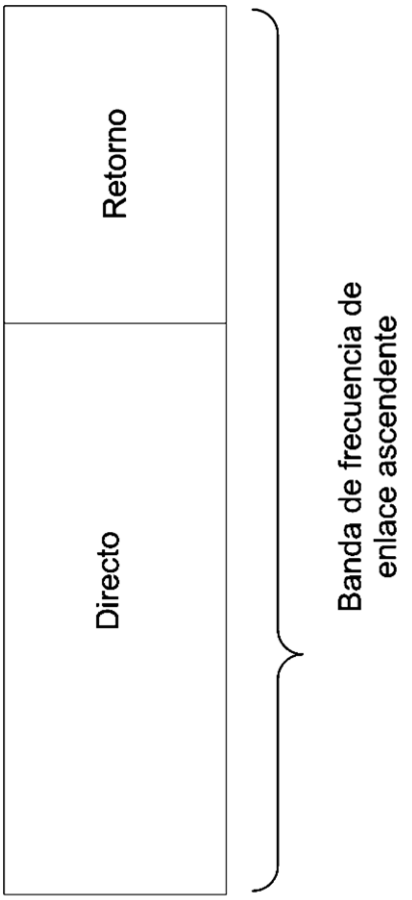
Retorno
Directo
Banda de frecuencia de enlace ascendente

FIG. 13

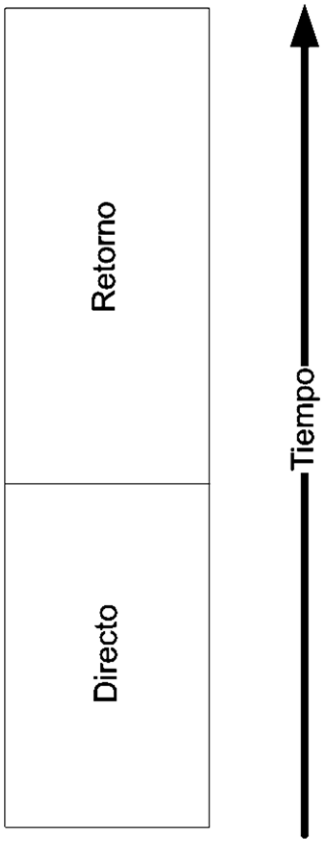
Retorno
Directo
Tiempo

FIG. 14

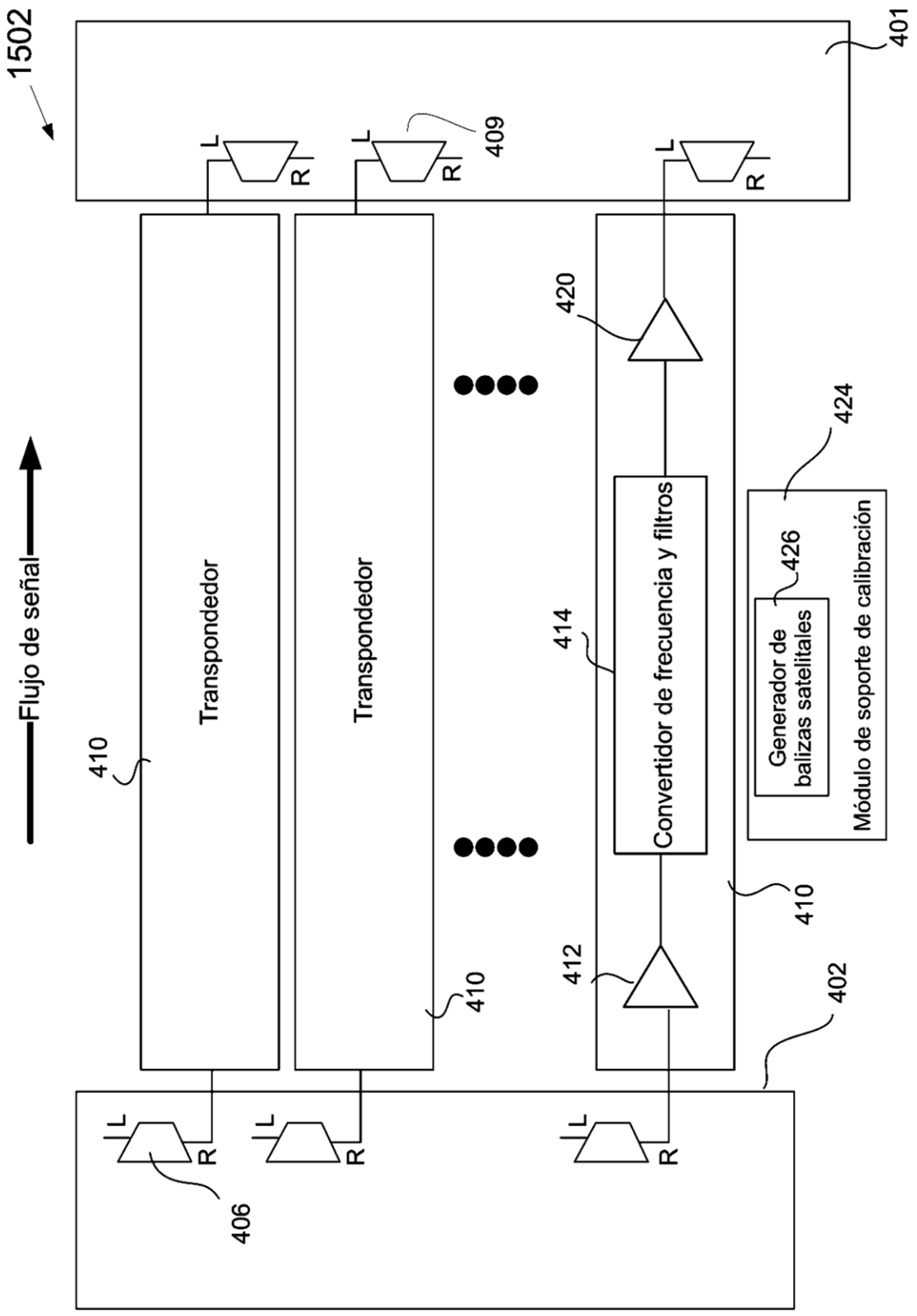
1502
401
409
L
R
420
424
426
Generador de balizas satelitales
Módulo de soporte de calibración
414
Convertidor de frecuencia y filtros
Flujo de señal
410
Transpondedor
Transpondedor
410
412
410
402
406

FIG. 15

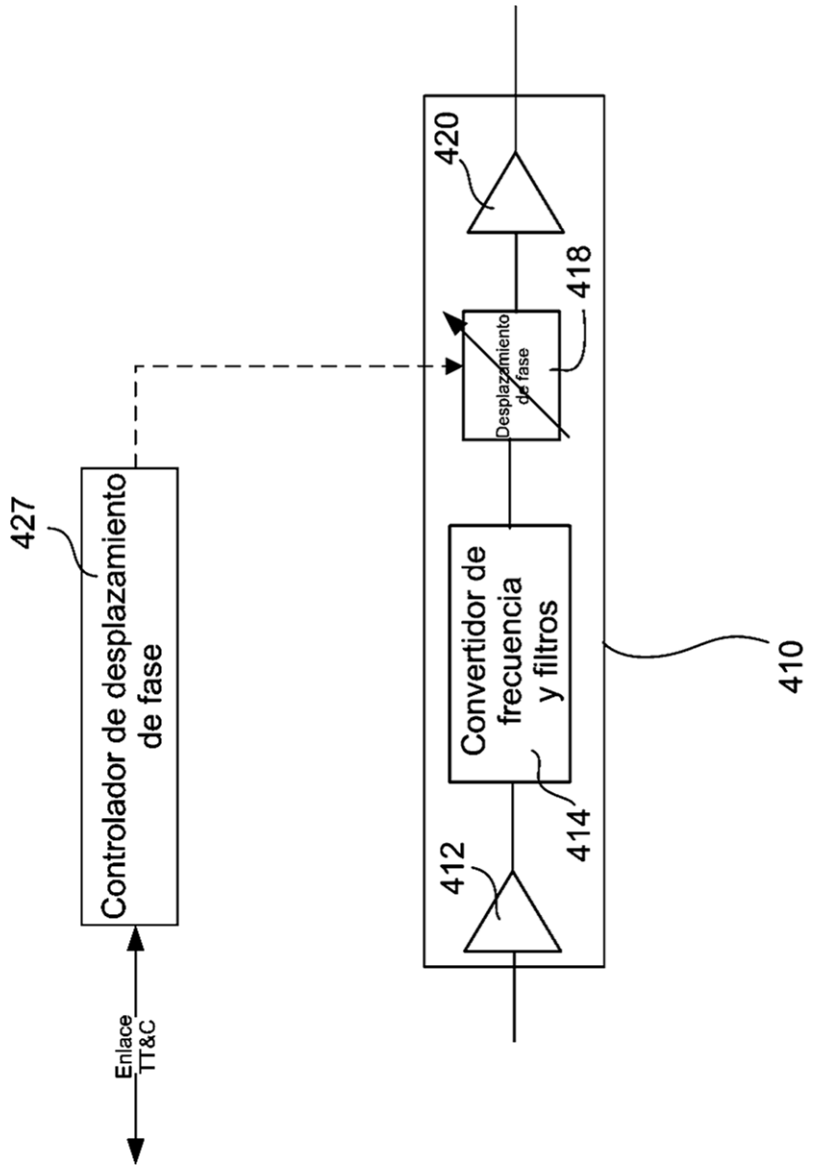
427
Controlador de desplazamiento de fase
Enlace TT&C
412
Convertidor de frecuencia y filtros
414
Desplazamiento de fase
418
420
410

FIG. 16

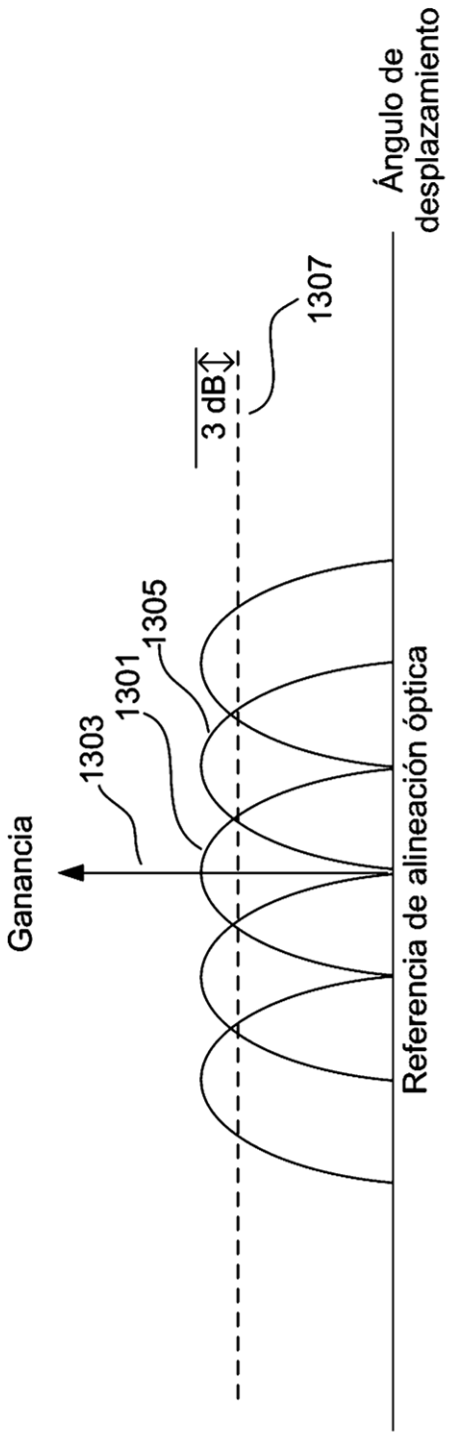
Ganancia
1303
1301
1305
3 dB
1307
Referencia de alineación óptica
Ángulo de desplazamiento

FIG. 17

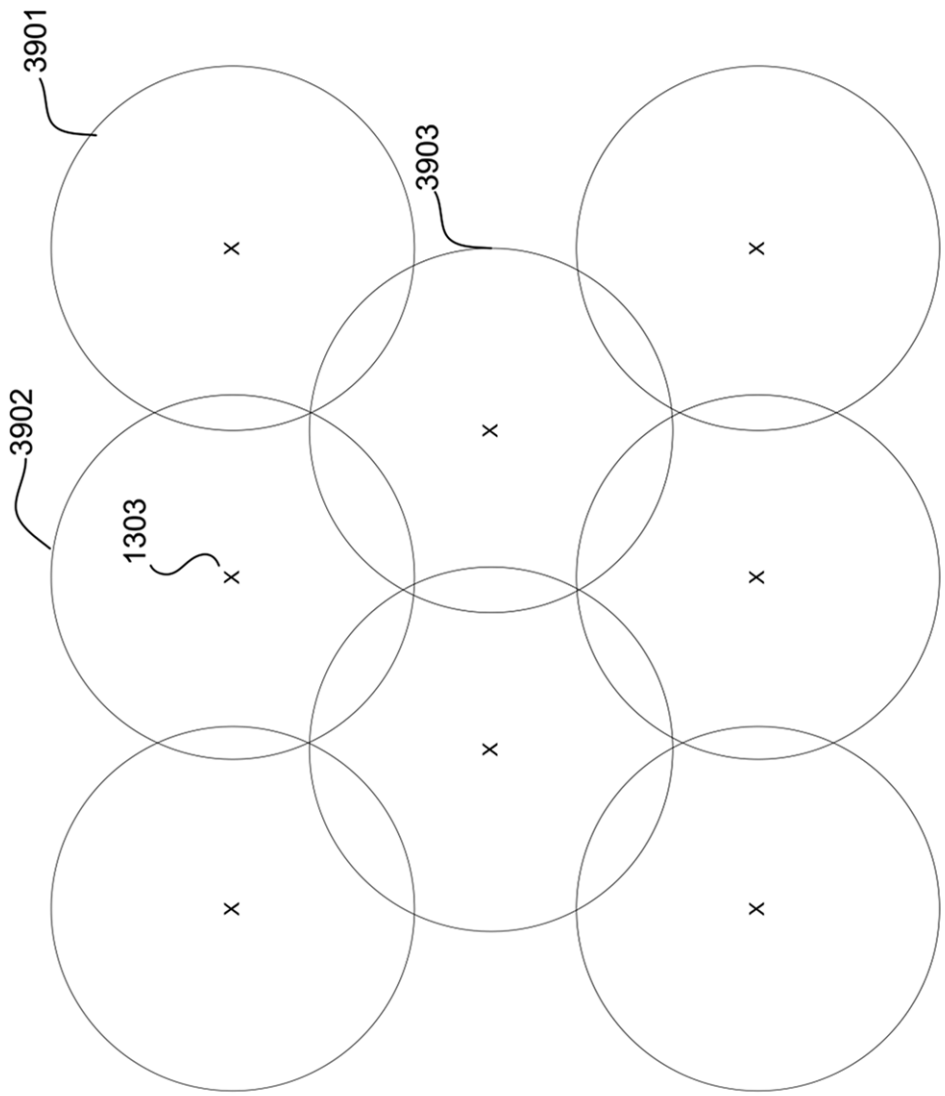


FIG. 18

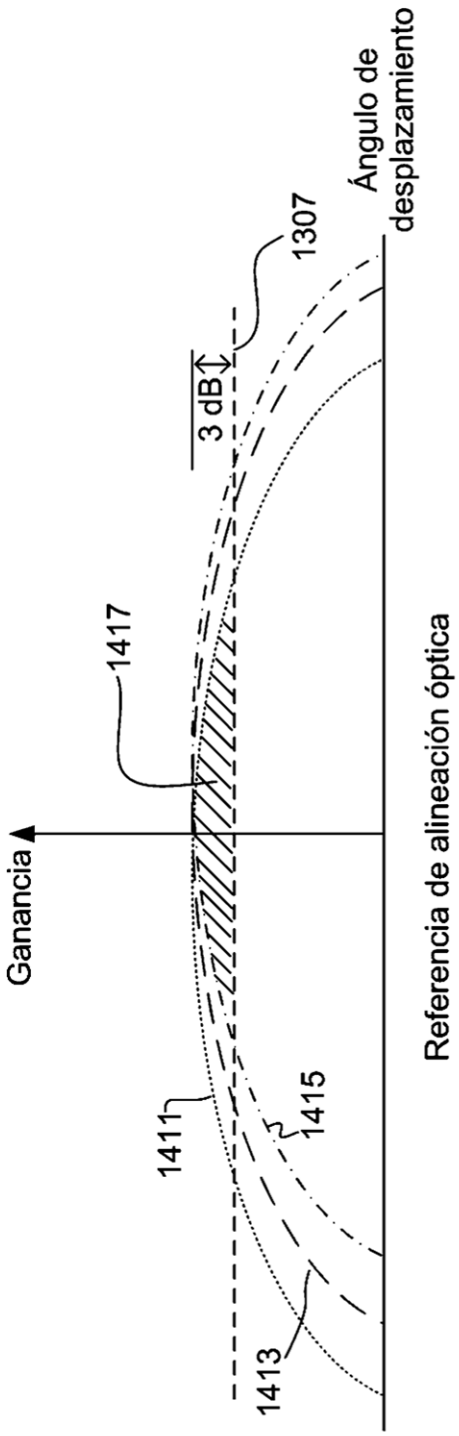
Ganancia
Ángulo de desplazamiento
Referencia de alineación óptica
1307
3 dB
1417
1411
1415
1413

FIG. 19

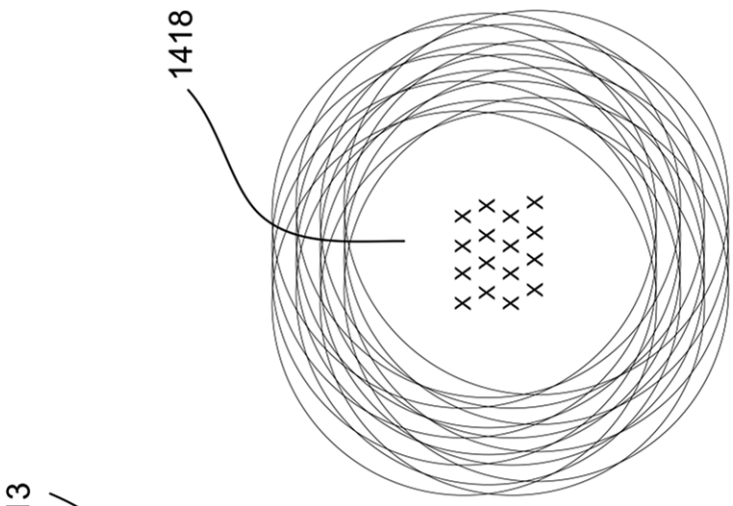


FIG. 20E

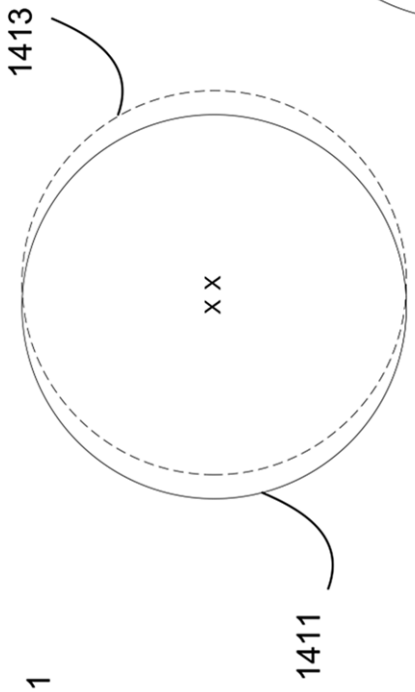


FIG. 20B

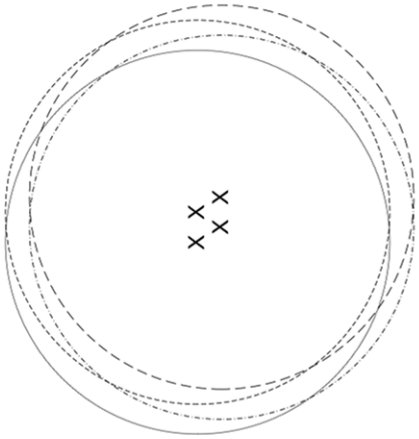

FIG. 20D

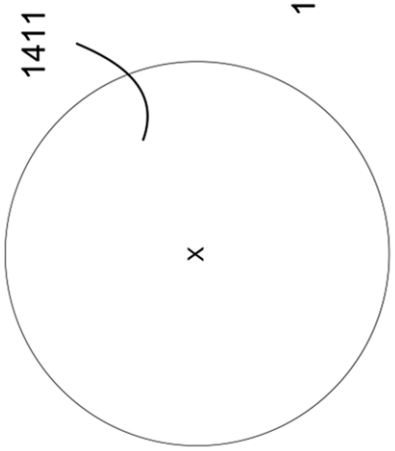


FIG. 20A

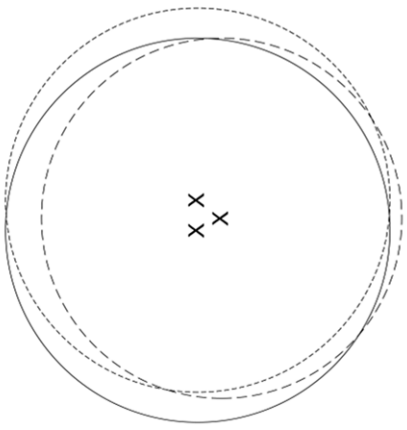

FIG. 20C

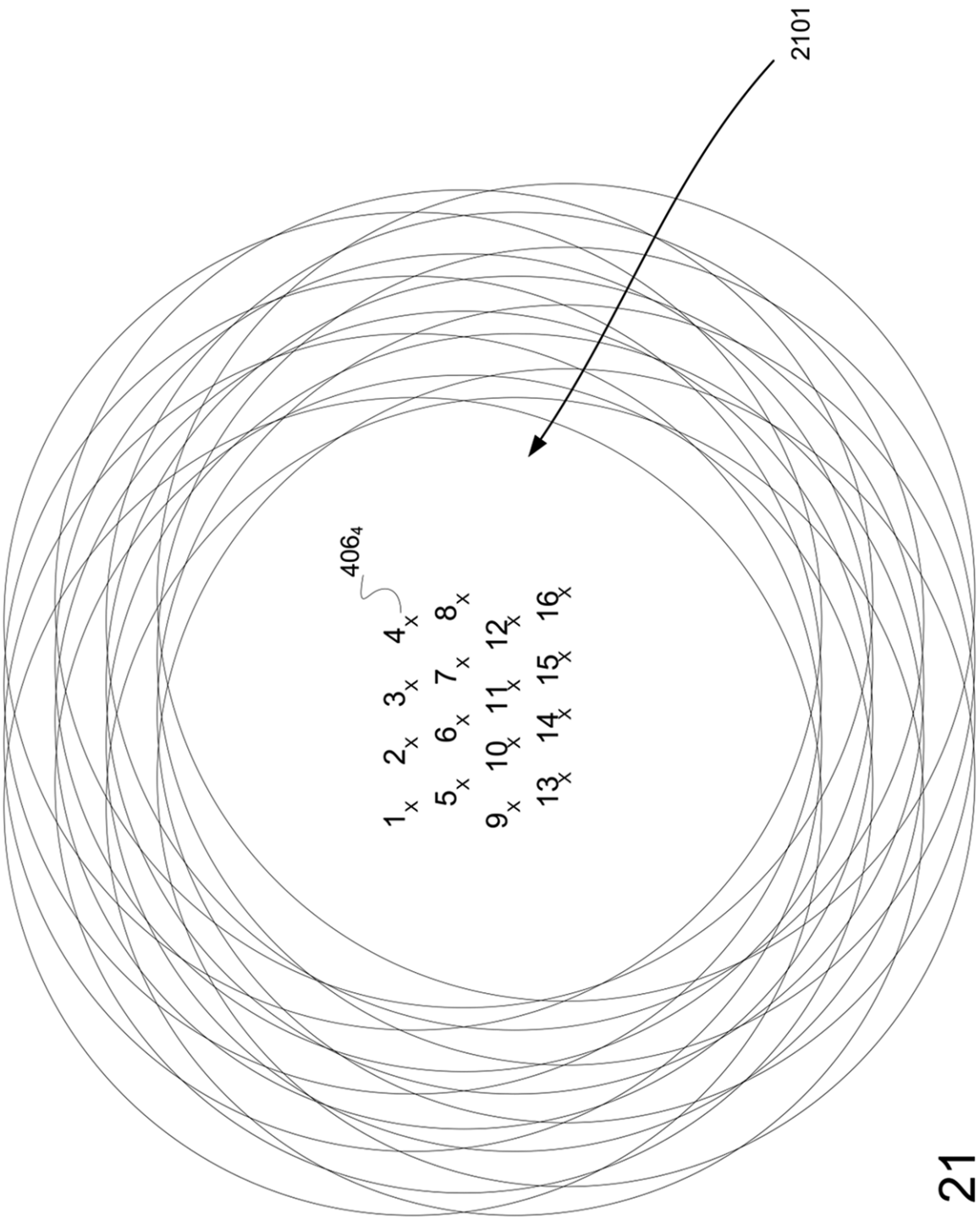


FIG. 21

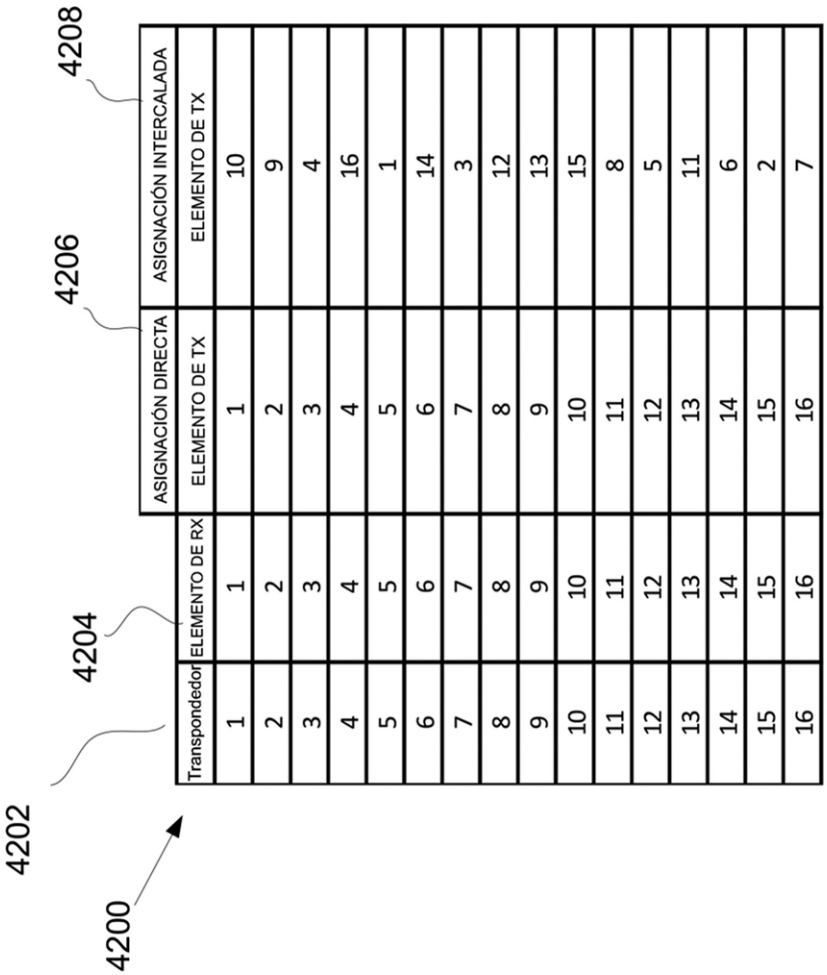
4200
4202
4204
4206
4208
Transpondedor
ELEMENTO DE RX
ASIGNACIÓN DIRECTA
ELEMENTO DE TX
ASIGNACIÓN INTERCALADA
ELEMENTO DE TX
1 1 1 10
2 2 2 9
3 3 3 4
4 4 4 16
5 5 5 1
6 6 6 14
7 7 7 3
8 8 8 12
9 9 9 13
10 10 10 15
11 11 11 8
12 12 12 5
13 13 13 11
14 14 14 6
15 15 15 2
16 16 16 7

FIG. 22

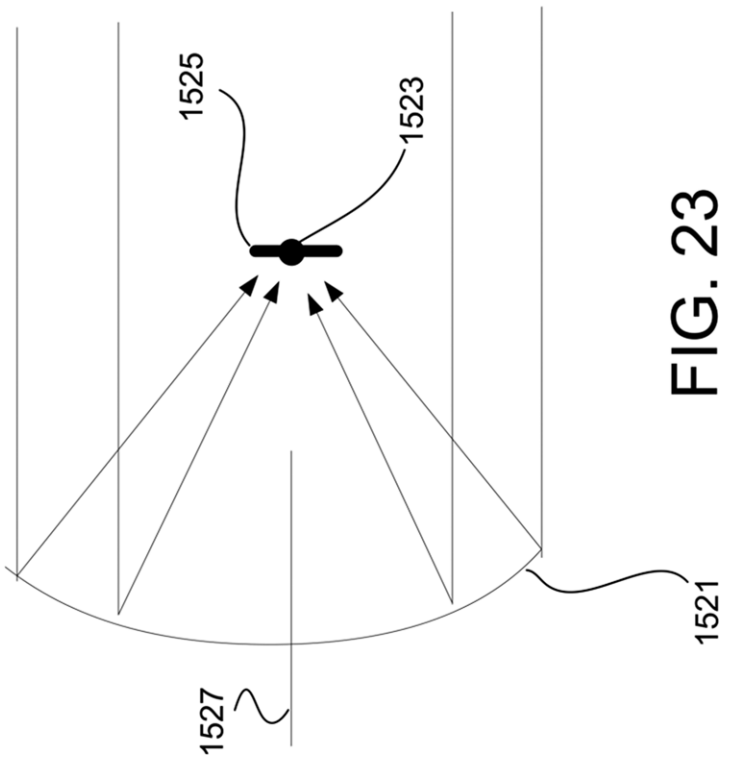


FIG. 23

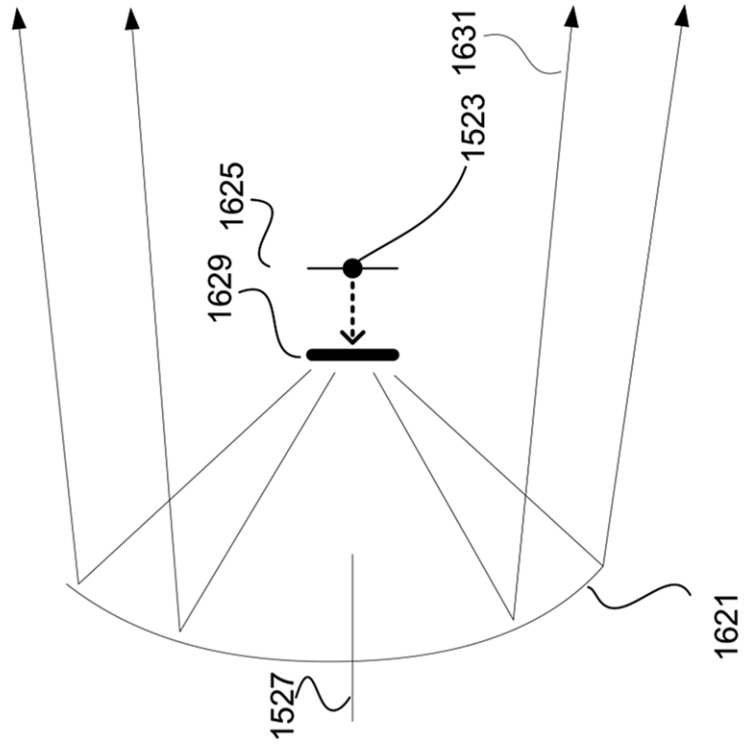


FIG. 24

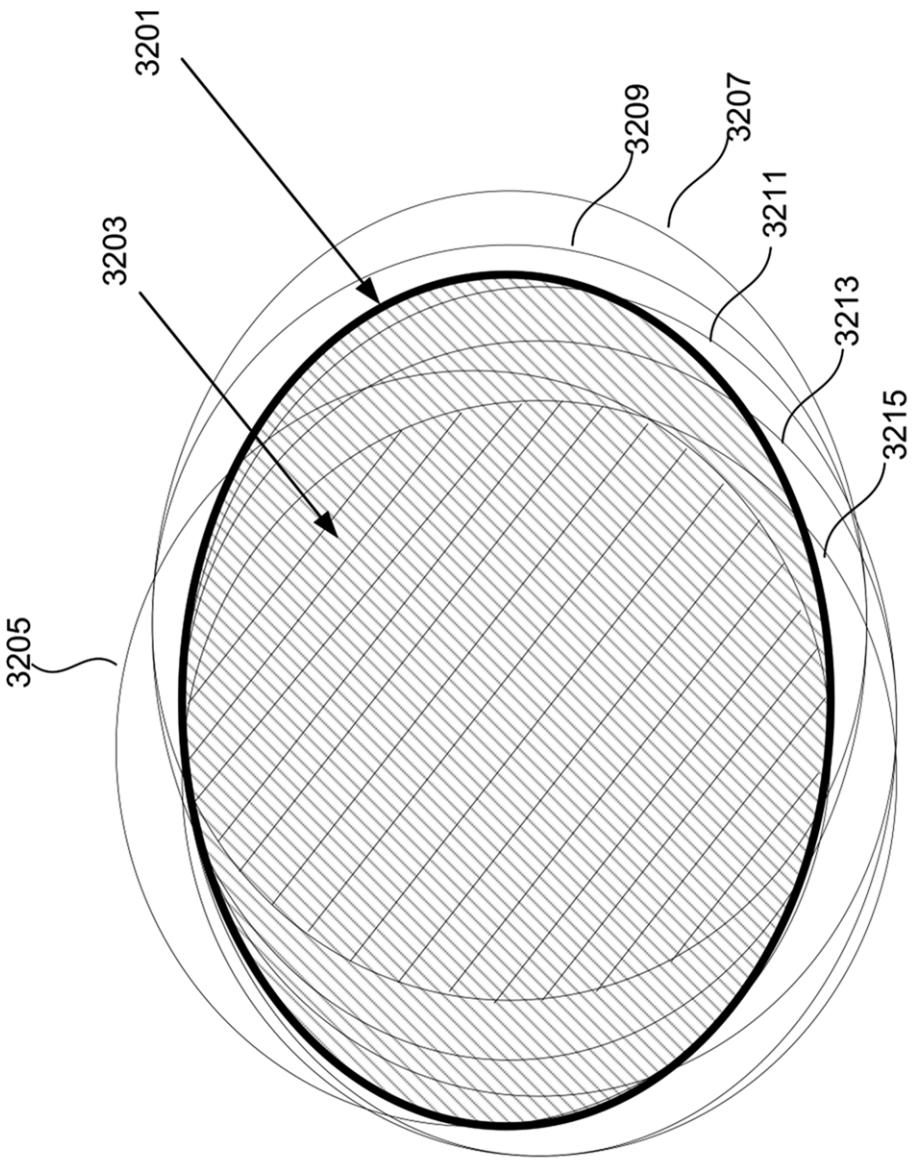


FIG. 25

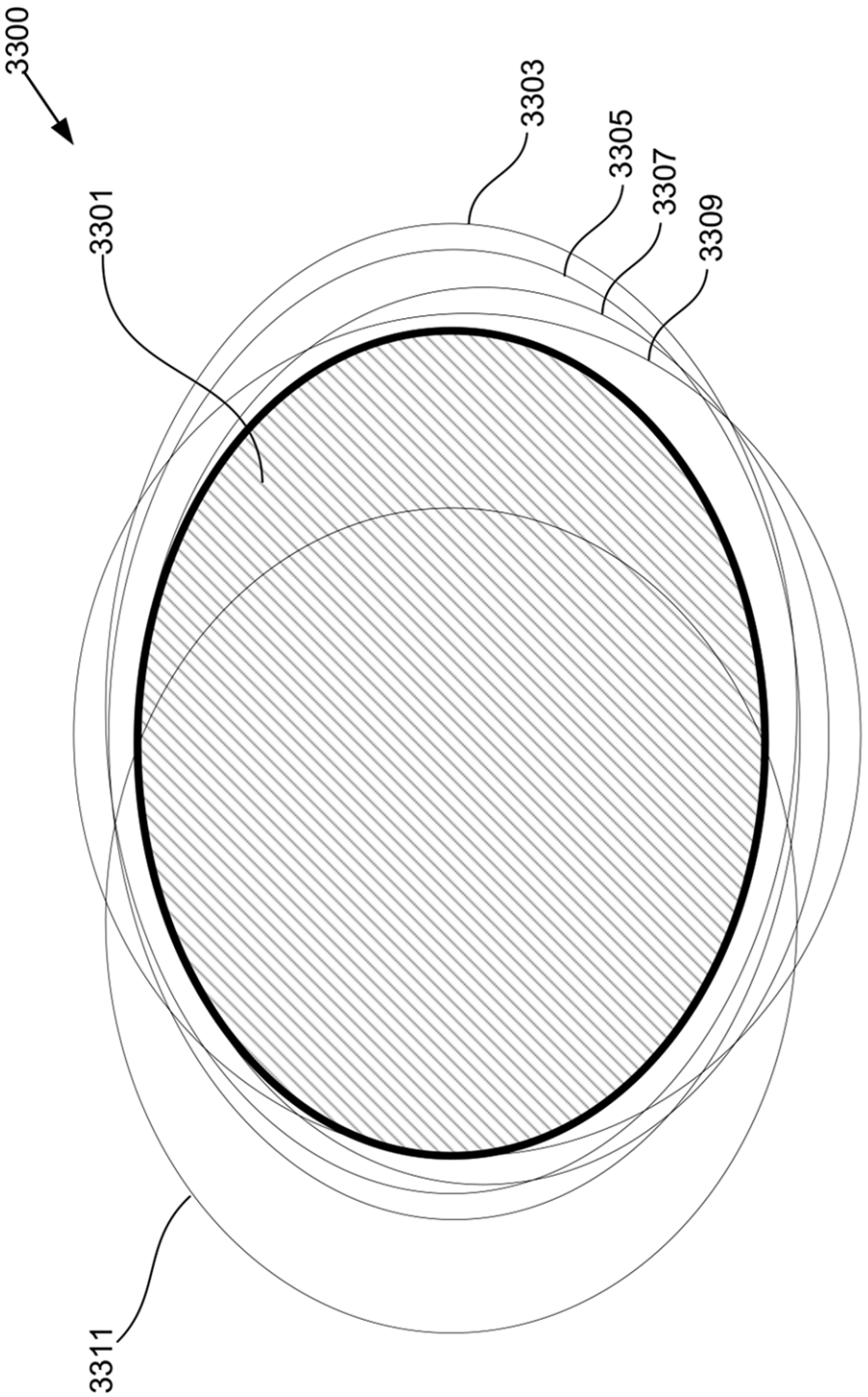


FIG. 26

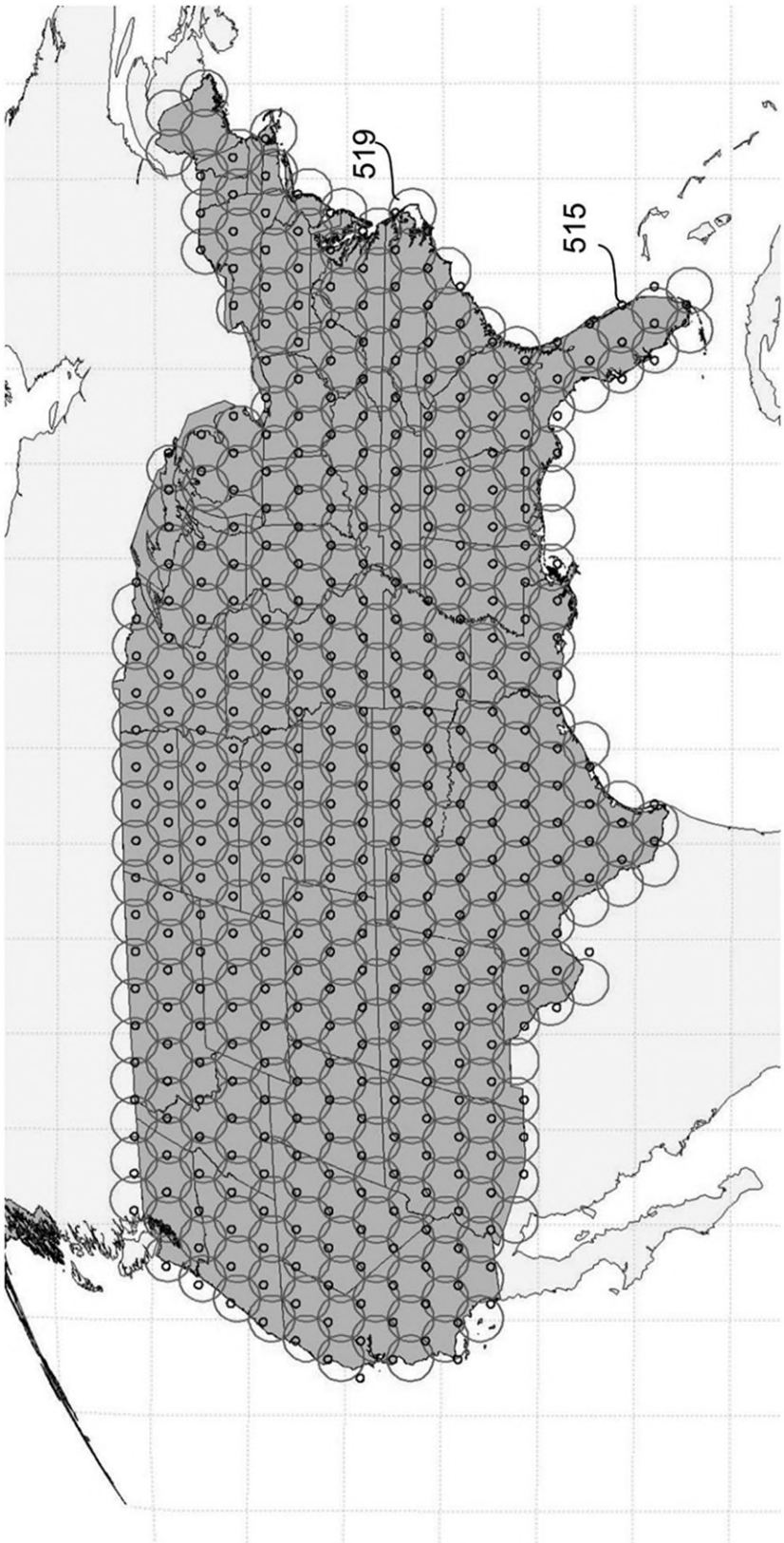


FIG. 27

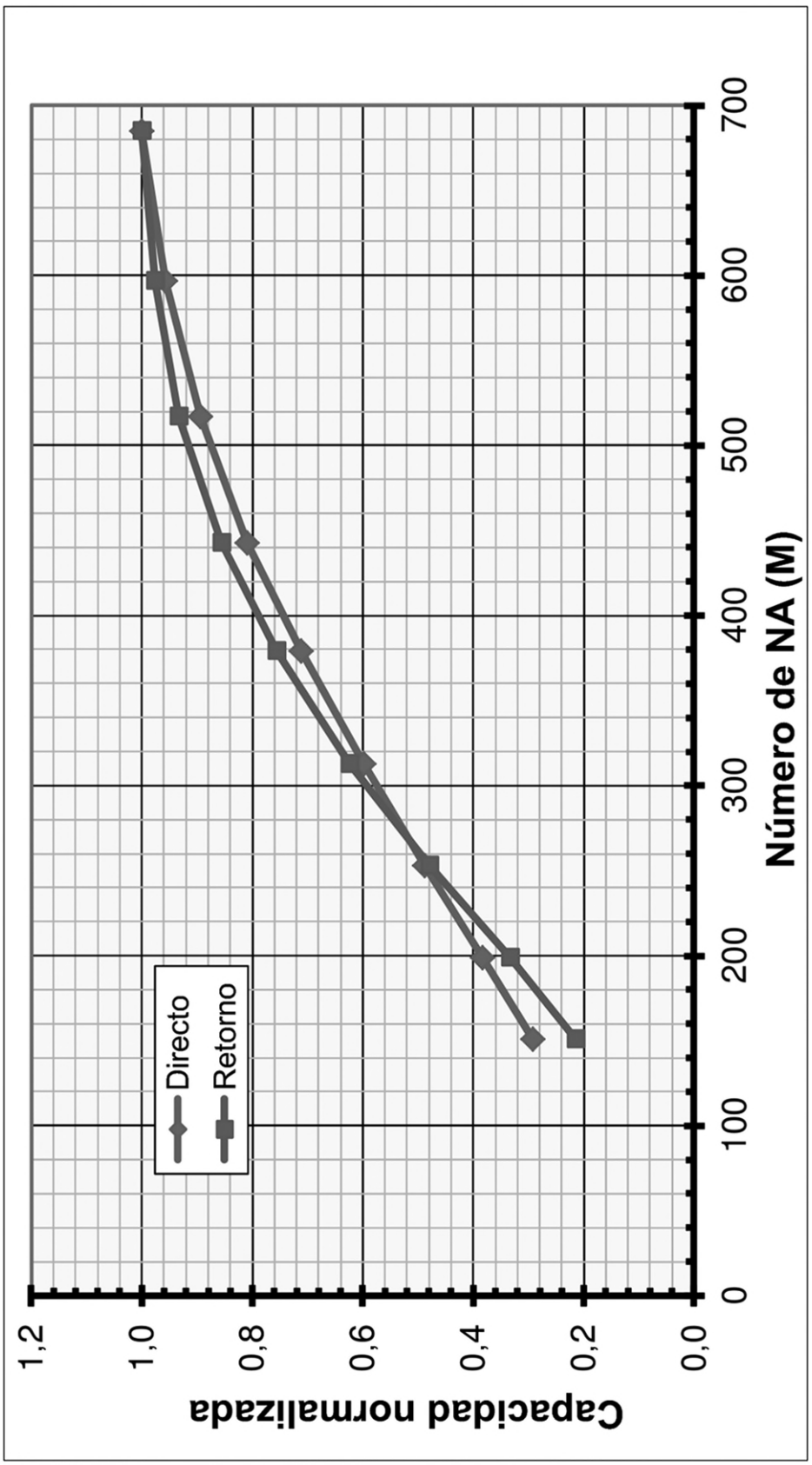
Capacidad normalizada
1,2
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0,0
0
100
200
300
400
500
600
700
Número de NA (M)
Directo
Retorno

FIG. 28

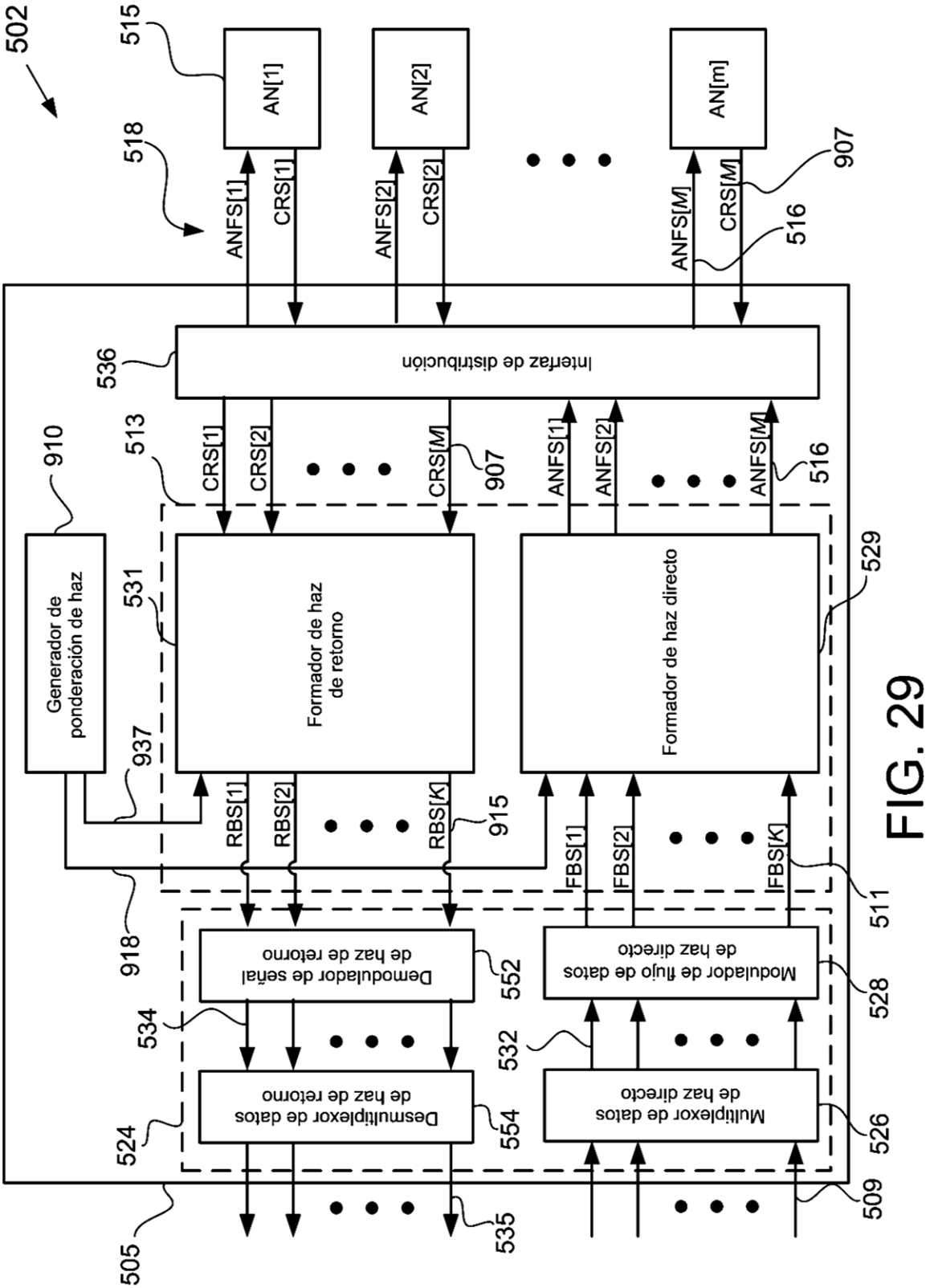
502
515
AN[1]
AN[2]
AN[m]
518
ANFS[1]
CRS[1]
ANFS[2]
CRS[2]
ANFS[M]
CRS[M]
907
516
536
Interfaz de distribución
513
910
CRS[1]
CRS[2]
CRS[M]
907
ANFS[1]
ANFS[2]
ANFS[M]
516
Generador de ponderación de haz
531
Formador de haz de retorno
Formador de haz directo
529
937
RBS[1]
RBS[2]
RBS[K]
915
FBS[1]
FBS[2]
FBS[K]
511
918
Demodulador de señal de haz de retorno
552
Modulador de flujo de datos de haz directo
528
534
532
Desmultiplexor de datos de haz de retorno
554
Multiplexor de datos de haz directo
526
524
509
505
535

FIG. 29

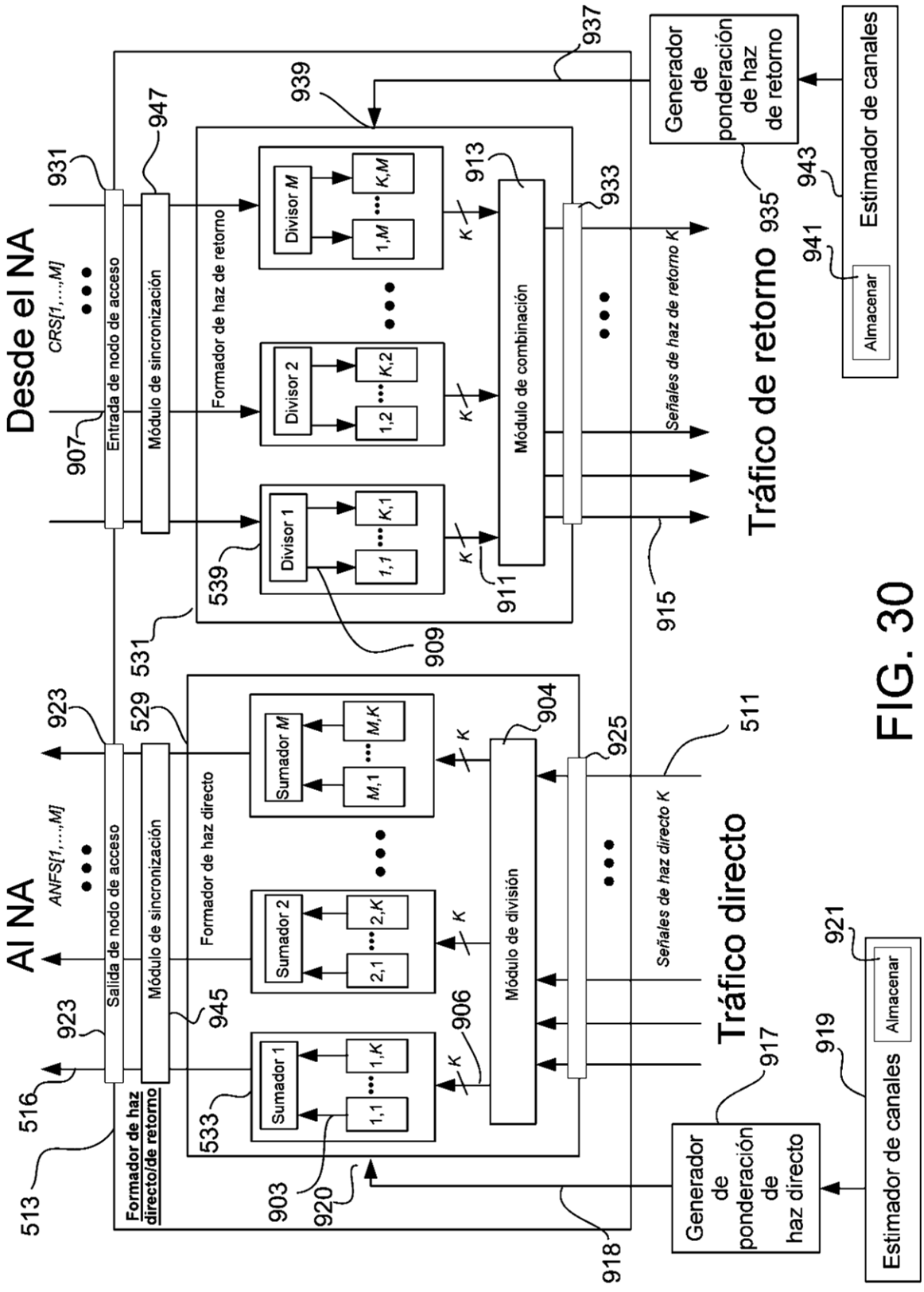
Desde el NA
Al NA
Tráfico de retorno
Tráfico directo
Formador de haz directo/de retorno
Salida de nodo de acceso
Módulo de sincronización
Entrada de nodo de acceso
Formador de haz directo
Formador de haz de retorno
Sumador 1
Sumador 2
Sumador M
Divisor 1
Divisor 2
Divisor M
Módulo de división
Módulo de combinación
Señales de haz directo K
Señales de haz de retorno K
Generador de ponderación de haz directo
Generador de ponderación de haz de retorno
Estimador de canales
Almacenar
ANFS[1,...,M]
CRS[1,...,M]
513
516
903
904
906
907
909
911
915
917
918
919
920
921
923
925
931
933
935
937
939
941
943
945
947
511
529
531
533
539

FIG. 30

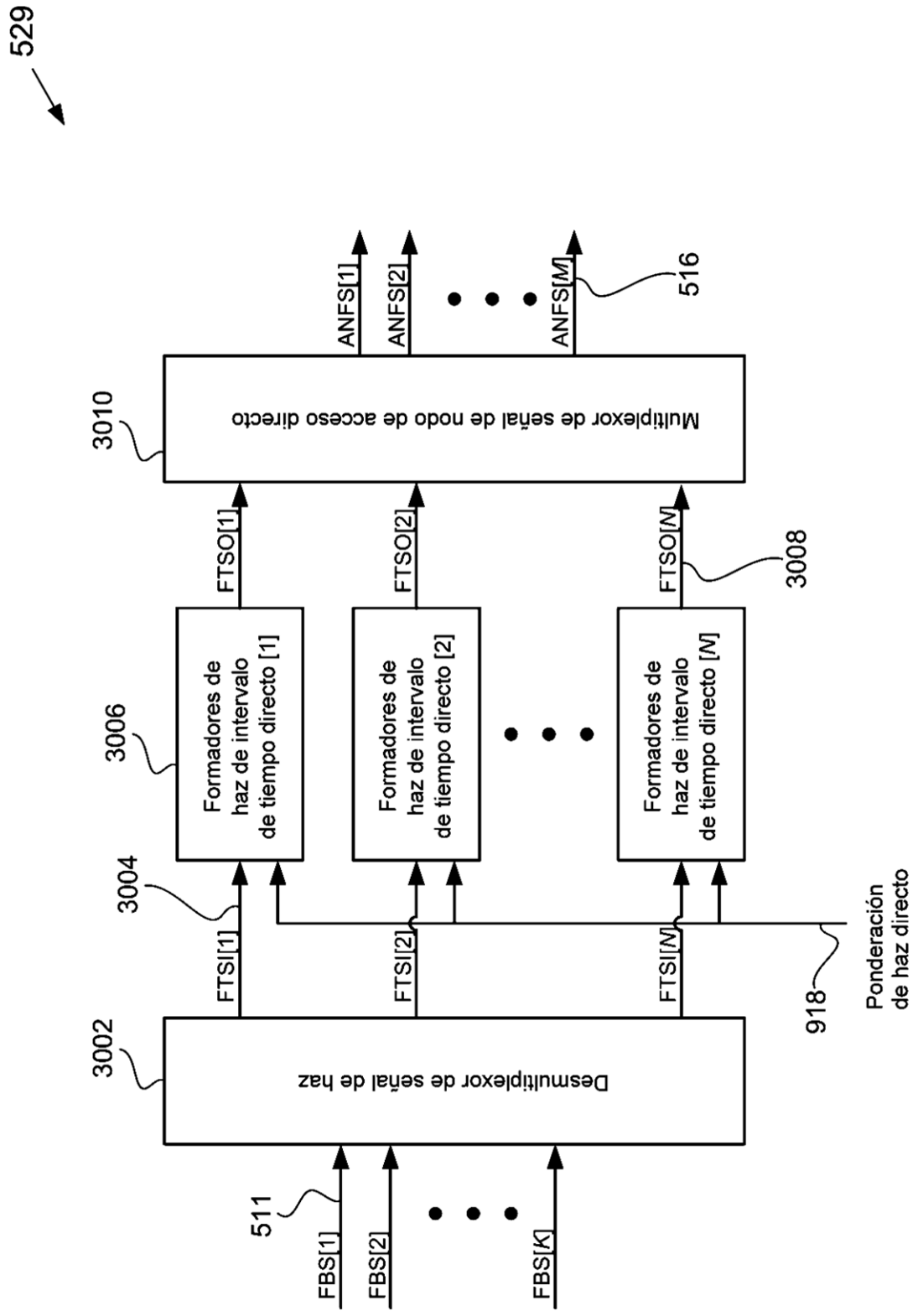
529
511
FBS[1]
FBS[2]
FBS[K]
3002
Desmultiplexor de señal de haz
FTSI[1]
FTSI[2]
FTSI[N]
3004
918
Ponderación de haz directo
3006
Formadores de haz de intervalo de tiempo directo [1]
Formadores de haz de intervalo de tiempo directo [2]
Formadores de haz de intervalo de tiempo directo [N]
FTSO[1]
FTSO[2]
FTSO[N]
3008
3010
Multiplexor de señal de nodo de acceso directo
ANFS[1]
ANFS[2]
ANFS[M]
516

FIG. 31

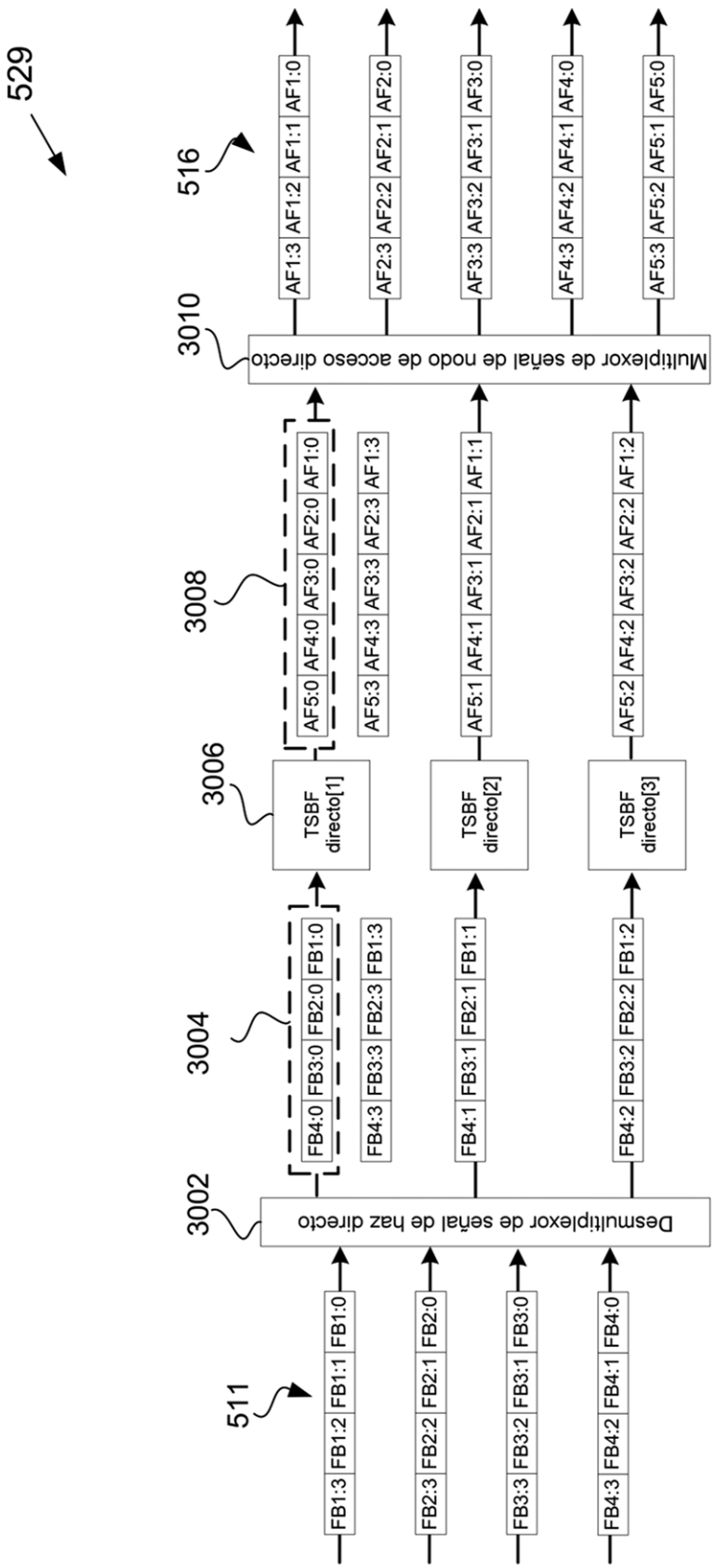
529
511
FB1:3 FB1:2 FB1:1 FB1:0
FB2:3 FB2:2 FB2:1 FB2:0
FB3:3 FB3:2 FB3:1 FB3:0
FB4:3 FB4:2 FB4:1 FB4:0
3002
Desmultiplexor de señal de haz directo
3004
FB4:0 FB3:0 FB2:0 FB1:0
FB3:3 FB2:3 FB1:3
FB4:3
FB4:1 FB3:1 FB2:1 FB1:1
FB4:2 FB3:2 FB2:2 FB1:2
3006
TSBF directo[1]
TSBF directo[2]
TSBF directo[3]
3008
AF5:0 AF4:0 AF3:0 AF2:0 AF1:0
AF5:3 AF4:3 AF3:3 AF2:3 AF1:3
AF5:1 AF4:1 AF3:1 AF2:1 AF1:1
AF5:2 AF4:2 AF3:2 AF2:2 AF1:2
3010
Multiplexor de señal de nodo de acceso directo
516
AF1:3 AF1:2 AF1:1 AF1:0
AF2:3 AF2:2 AF2:1 AF2:0
AF3:3 AF3:2 AF3:1 AF3:0
AF4:3 AF4:2 AF4:1 AF4:0
AF5:3 AF5:2 AF5:1 AF5:0

FIG. 32

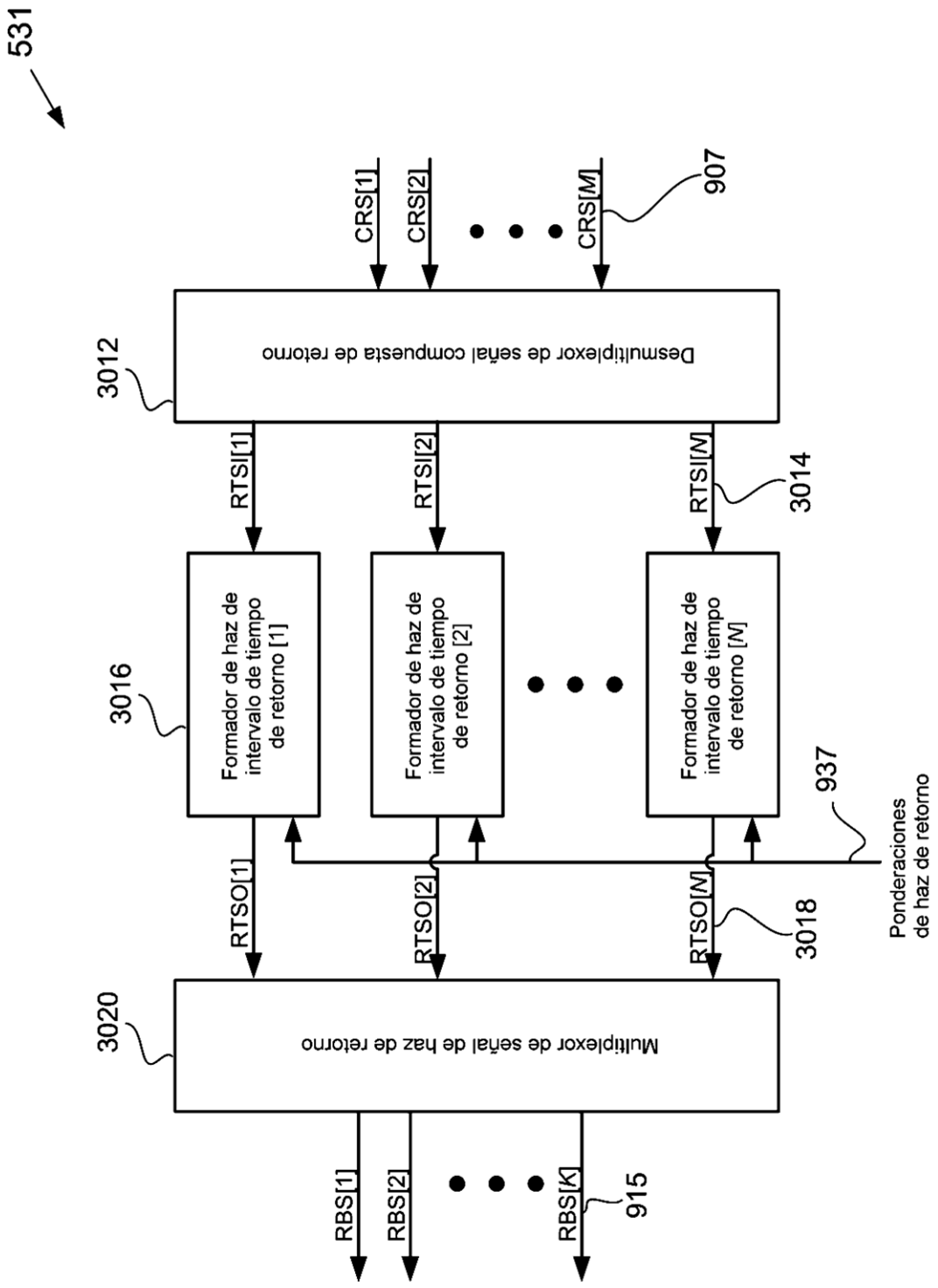
531
CRS[1]
CRS[2]
CRS[M]
907
3012
Desmultiplexor de señal compuesta de retorno
RTSI[1]
RTSI[2]
RTSI[M]
3014
3016
Formador de haz de intervalo de tiempo de retorno [1]
Formador de haz de intervalo de tiempo de retorno [2]
Formador de haz de intervalo de tiempo de retorno [M]
937
Ponderaciones de haz de retorno
RTSO[1]
RTSO[2]
RTSO[M]
3018
3020
Multiplexor de señal de haz de retorno
RBS[1]
RBS[2]
RBS[K]
915

FIG. 33

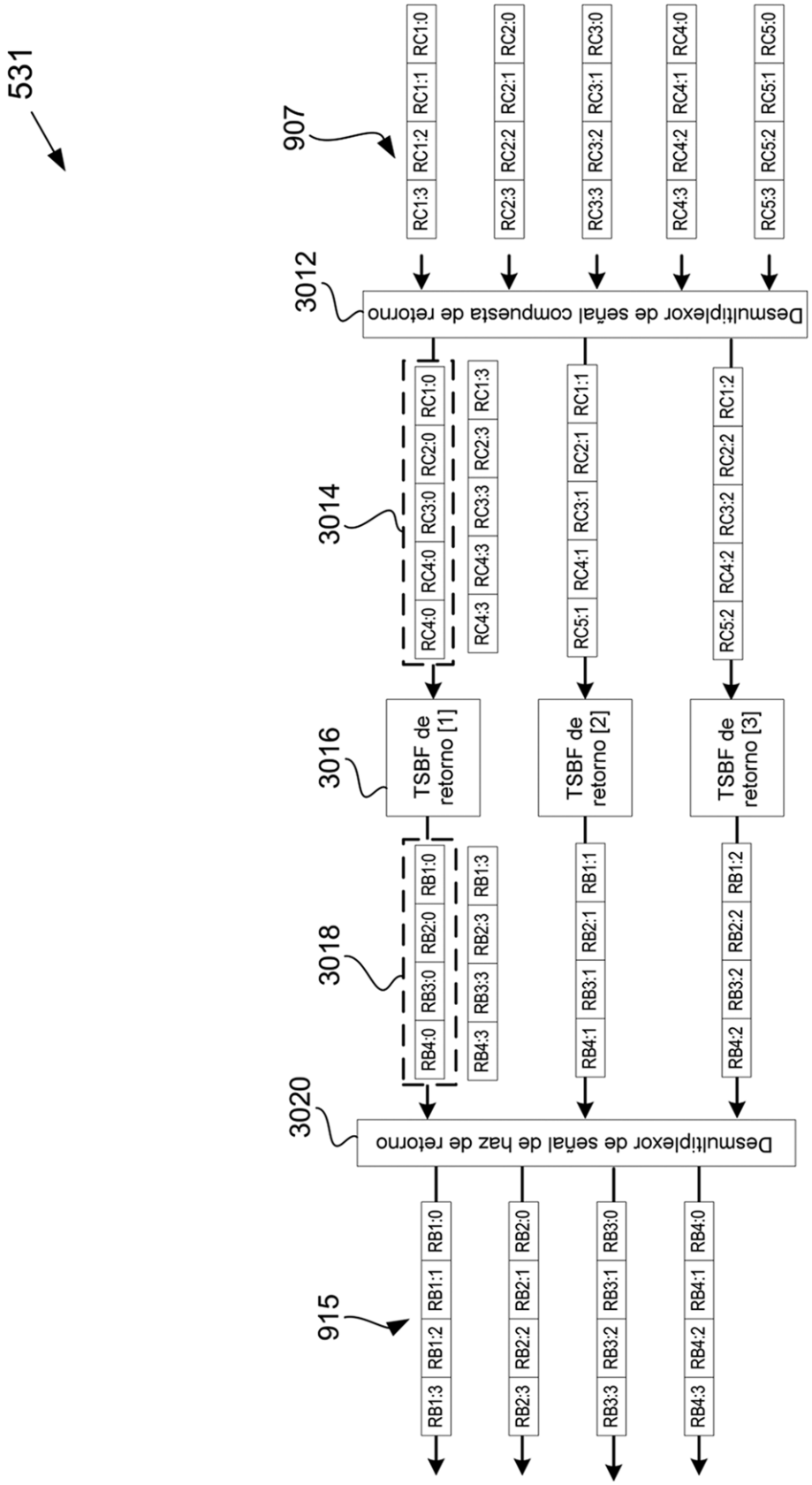
531
907
RC1:3 RC1:2 RC1:1 RC1:0
RC2:3 RC2:2 RC2:1 RC2:0
RC3:3 RC3:2 RC3:1 RC3:0
RC4:3 RC4:2 RC4:1 RC4:0
RC5:3 RC5:2 RC5:1 RC5:0
3012
Desmultiplexor de señal compuesta de retorno
3014
RC4:0 RC4:0 RC3:0 RC2:0 RC1:0
RC4:3 RC4:3 RC3:3 RC2:3 RC1:3
RC5:1 RC4:1 RC3:1 RC2:1 RC1:1
RC5:2 RC4:2 RC3:2 RC2:2 RC1:2
3016
TSBF de retorno [1]
TSBF de retorno [2]
TSBF de retorno [3]
3018
RB4:0 RB3:0 RB2:0 RB1:0
RB4:3 RB3:3 RB2:3 RB1:3
RB4:1 RB3:1 RB2:1 RB1:1
RB4:2 RB3:2 RB2:2 RB1:2
3020
Desmultiplexor de señal de haz de retorno
915
RB1:3 RB1:2 RB1:1 RB1:0
RB2:3 RB2:2 RB2:1 RB2:0
RB3:3 RB3:2 RB3:1 RB3:0
RB4:3 RB4:2 RB4:1 RB4:0

FIG. 34

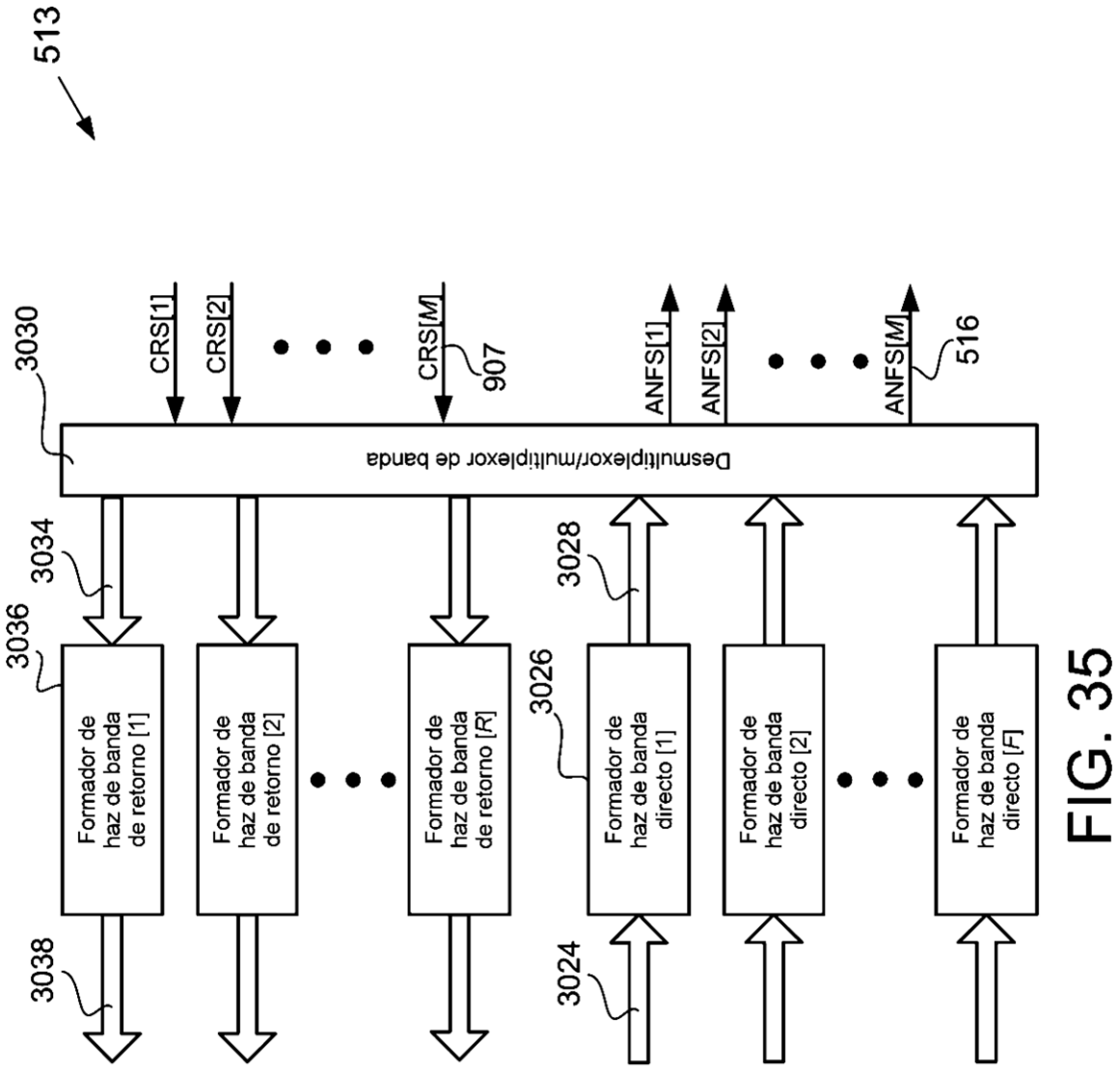
513
3030
CRS[1]
CRS[2]
CRS[M]
907
ANFS[1]
ANFS[2]
ANFS[M]
516
Desmultiplexor/multiplexor de banda
3034
3036
3028
3026
Formador de haz de banda de retorno [1]
Formador de haz de banda de retorno [2]
Formador de haz de banda de retorno [R]
Formador de haz de banda directo [1]
Formador de haz de banda directo [2]
Formador de haz de banda directo [F]
3038
3024

FIG. 35

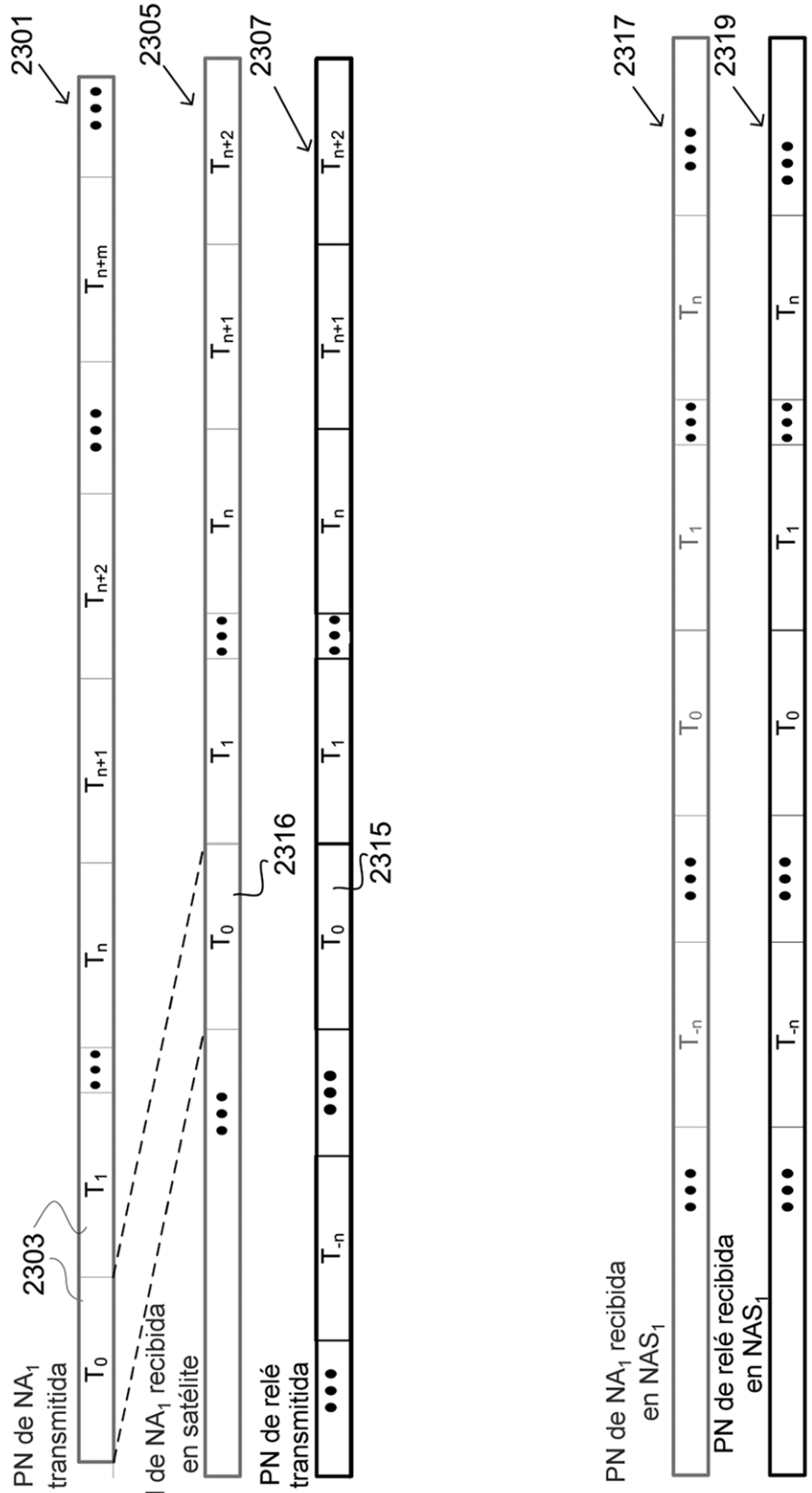
2301
2303
2305
2307
2315
2316
2317
2319
PN de NA1 transmitida
PN de NA1 recibida en satélite
PN de relé transmitida
PN de NA1 recibida en NAS1
PN de relé recibida en NAS1
T0
T1
Tn
Tn+1
Tn+2
Tn+m
T-n

FIG. 36

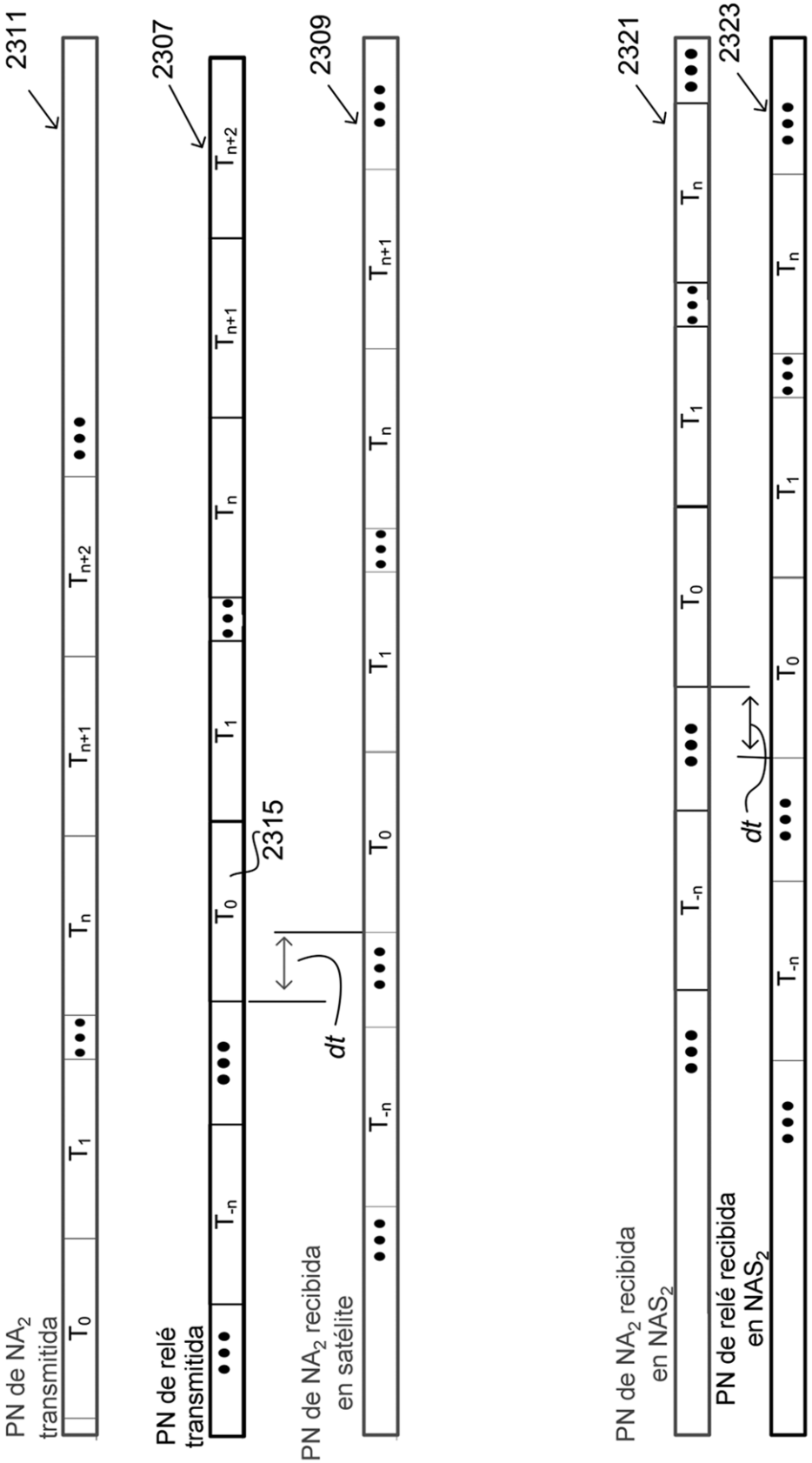
2311
PN de NA2 transmitida
T0
T1
Tn
Tn+1
Tn+2
2307
PN de relé transmitida
T-n
T0
T1
Tn
Tn+1
Tn+2
2315
dt
2309
PN de NA2 recibida en satélite
T-n
T0
T1
Tn
Tn+1
2321
PN de NA2 recibida en NAS2
T-n
T0
T1
Tn
2323
PN de relé recibida en NAS2
dt
T-n
T0
T1
Tn

FIG. 37

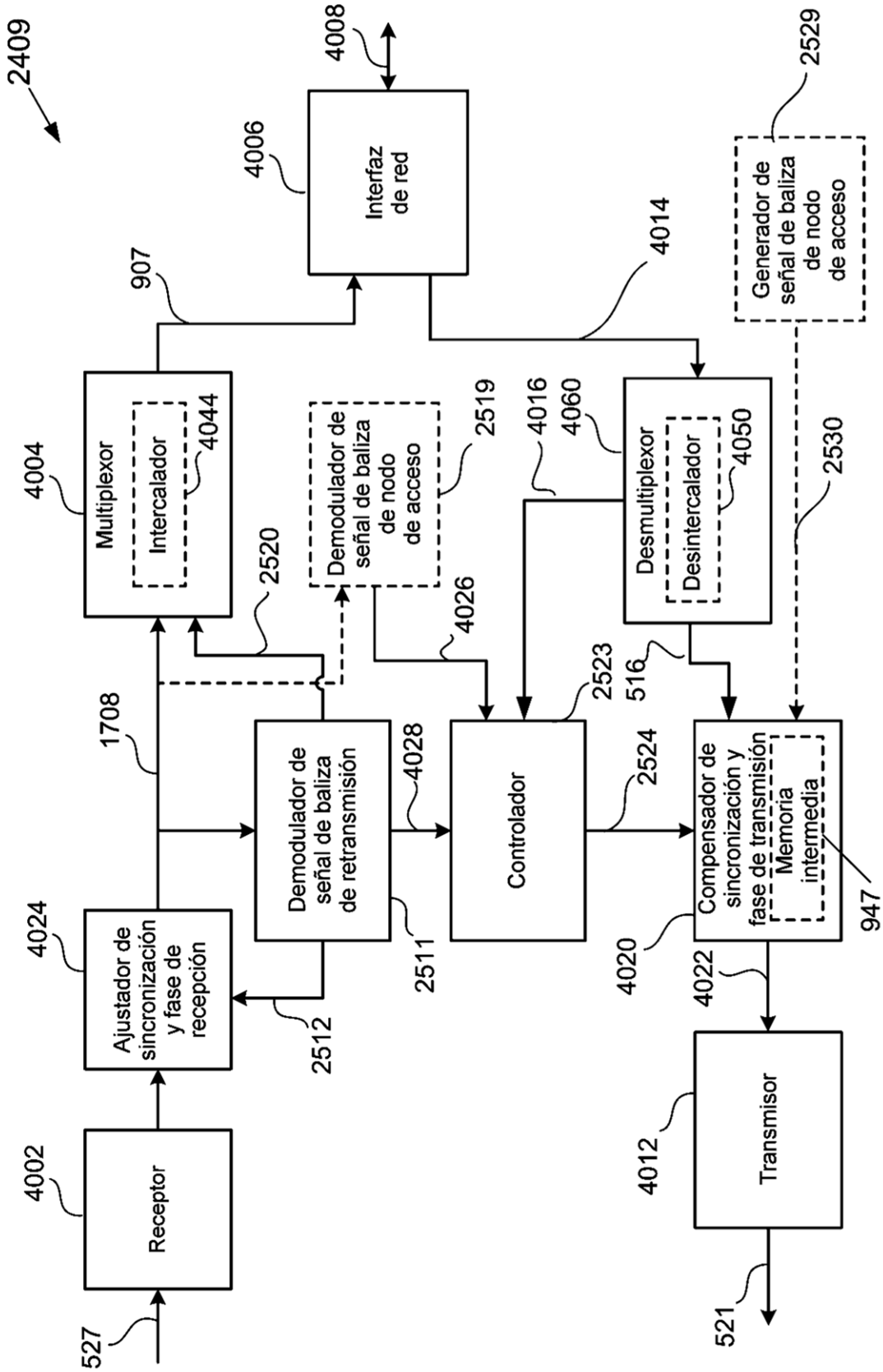
2409
4008
4006
Interfaz de red
2529
Generador de señal de baliza de nodo de acceso
907
4014
4004
Multiplexor
Intercalador
4044
Demodulador de señal de baliza de nodo de acceso
2519
4016
4060
Desmultiplexor
Desintercalador
4050
2530
2520
4026
1708
2523
516
Demodulador de señal de baliza de retransmisión
4028
Controlador
2524
Compensador de sincronización y fase de transmisión
Memoria intermedia
947
4024
Ajustador de sincronización y fase de recepción
2511
4020
4022
2512
4002
Receptor
4012
Transmisor
527
521

FIG. 38

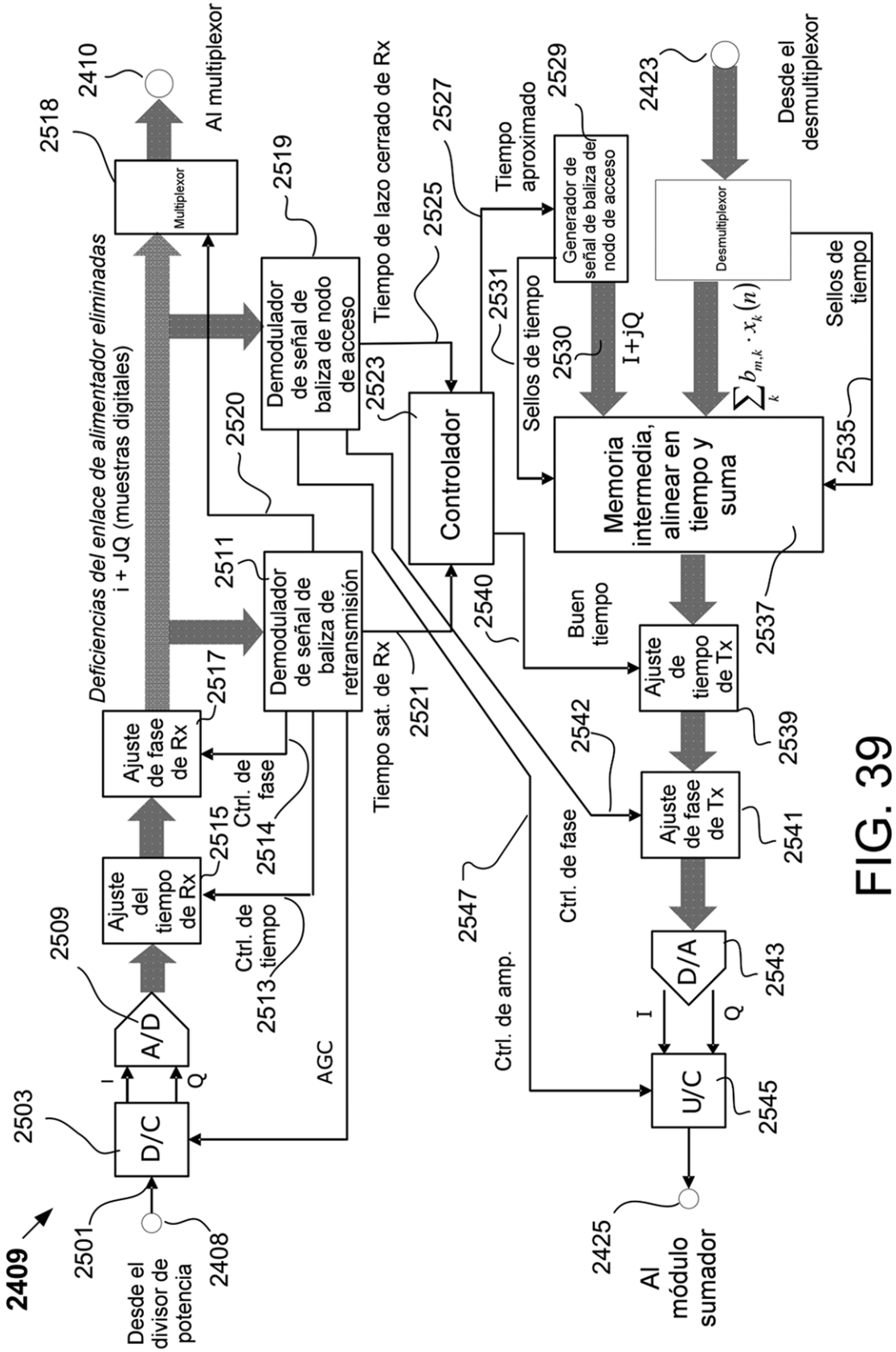
2409
2501
Desde el divisor de potencia
2408
2503
D/C
I
Q
2509
A/D
Ajuste del tiempo de Rx
2515
Ajuste de fase de Rx
2517
Deficiencias del enlace de alimentador eliminadas
i + JQ (muestras digitales)
2518
Multiplexor
2410
Al multiplexor
Ctrl. de tiempo
2513
Ctrl. de fase
2514
AGC
2511
Demodulador de señal de baliza de retransmisión
2520
Demodulador de señal de baliza de nodo de acceso
2519
Tiempo sat. de Rx
2521
Tiempo de lazo cerrado de Rx
2523
2525
Controlador
2527
Tiempo aproximado
2529
Generador de señal de baliza de nodo de acceso
2531
Sellos de tiempo
2530
I+jQ
2423
Desmultiplexor
Desde el desmultiplexor
$\sum_k b_{m,k} \cdot x_k(n)$
Sellos de tiempo
2535
Memoria intermedia, alinear en tiempo y suma
2537
Buen tiempo
2540
Ajuste de tiempo de Tx
2539
2542
Ajuste de fase de Tx
2541
Ctrl. de fase
2547
Ctrl. de amp.
D/A
2543
I
Q
U/C
2545
2425
Al módulo sumador

FIG. 39

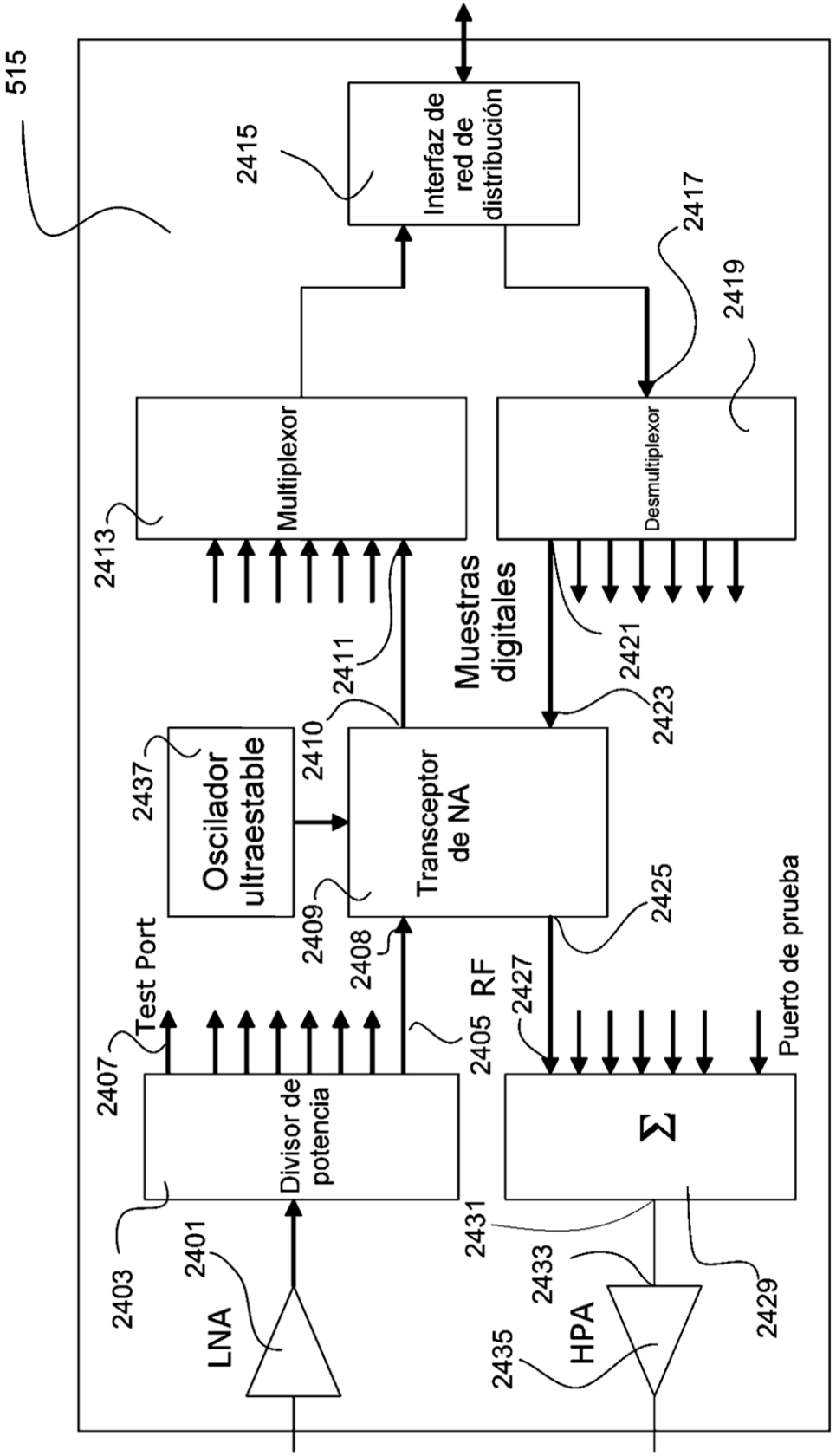
515
2415
Interfaz de red de distribución
2417
2419
Multiplexor
Desmultiplexor
2413
2411
Muestras digitales
2421
2423
2437
Oscilador ultraestable
2410
Transceptor de NA
2409
2408
2425
Test Port
RF
2427
Puerto de prueba
2407
2405
Divisor de potencia
Σ
2403
2401
2431
2433
LNA
HPA
2435
2429

FIG. 40

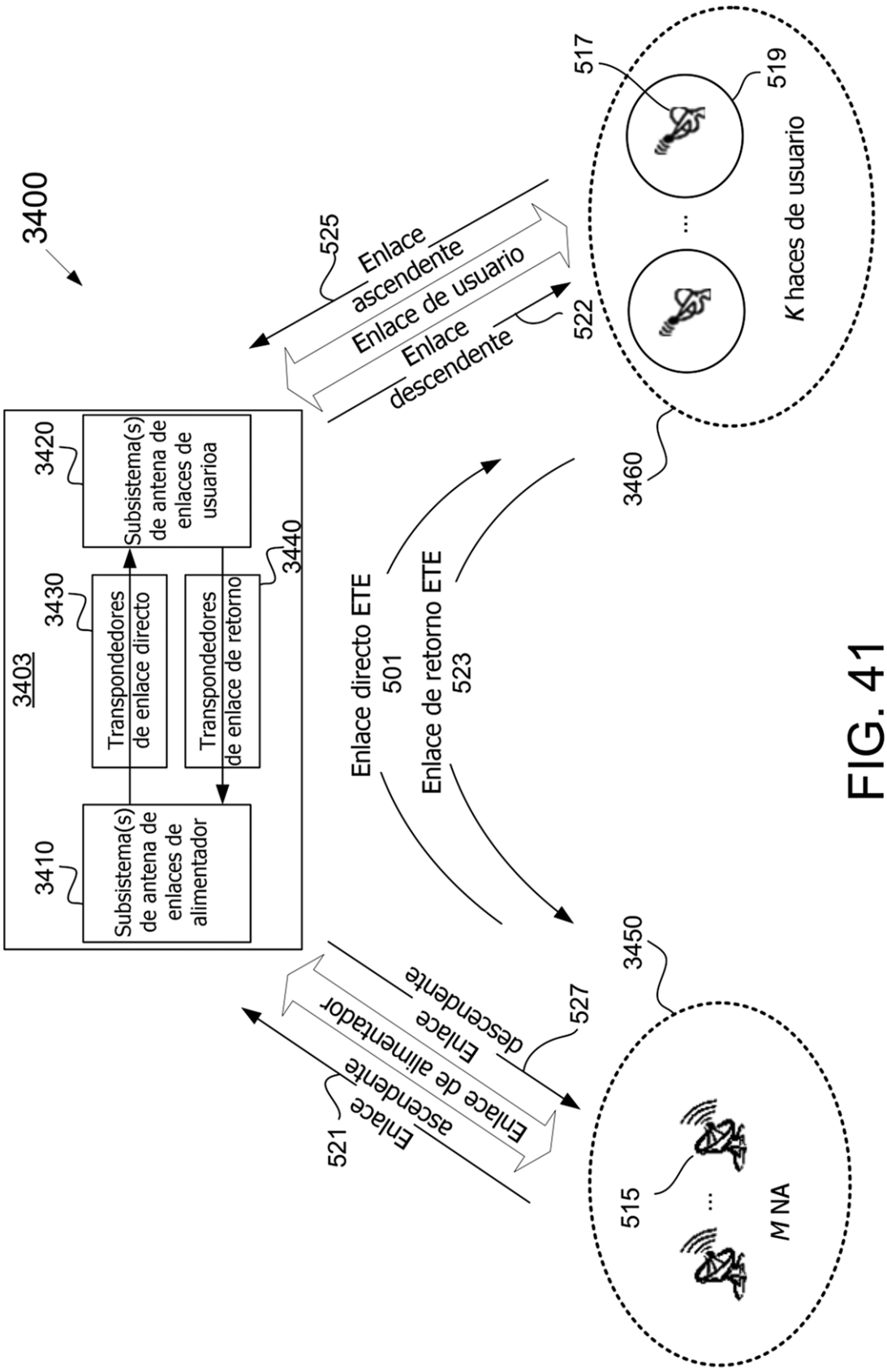
3400
3403
3410
Subsistema(s) de antena de enlaces de alimentador
3420
Subsistema(s) de antena de enlaces de usuarioa
3430
Transpondedores de enlace directo
3440
Transpondedores de enlace de retorno
Enlace directo ETE
501
Enlace de retorno ETE
523
525
Enlace ascendente
Enlace de usuario
Enlace descendente
522
517
519
K haces de usuario
3460
3450
527
Enlace descendente
Enlace de alimentador
Enlace ascendente
521
515
M NA

FIG. 41

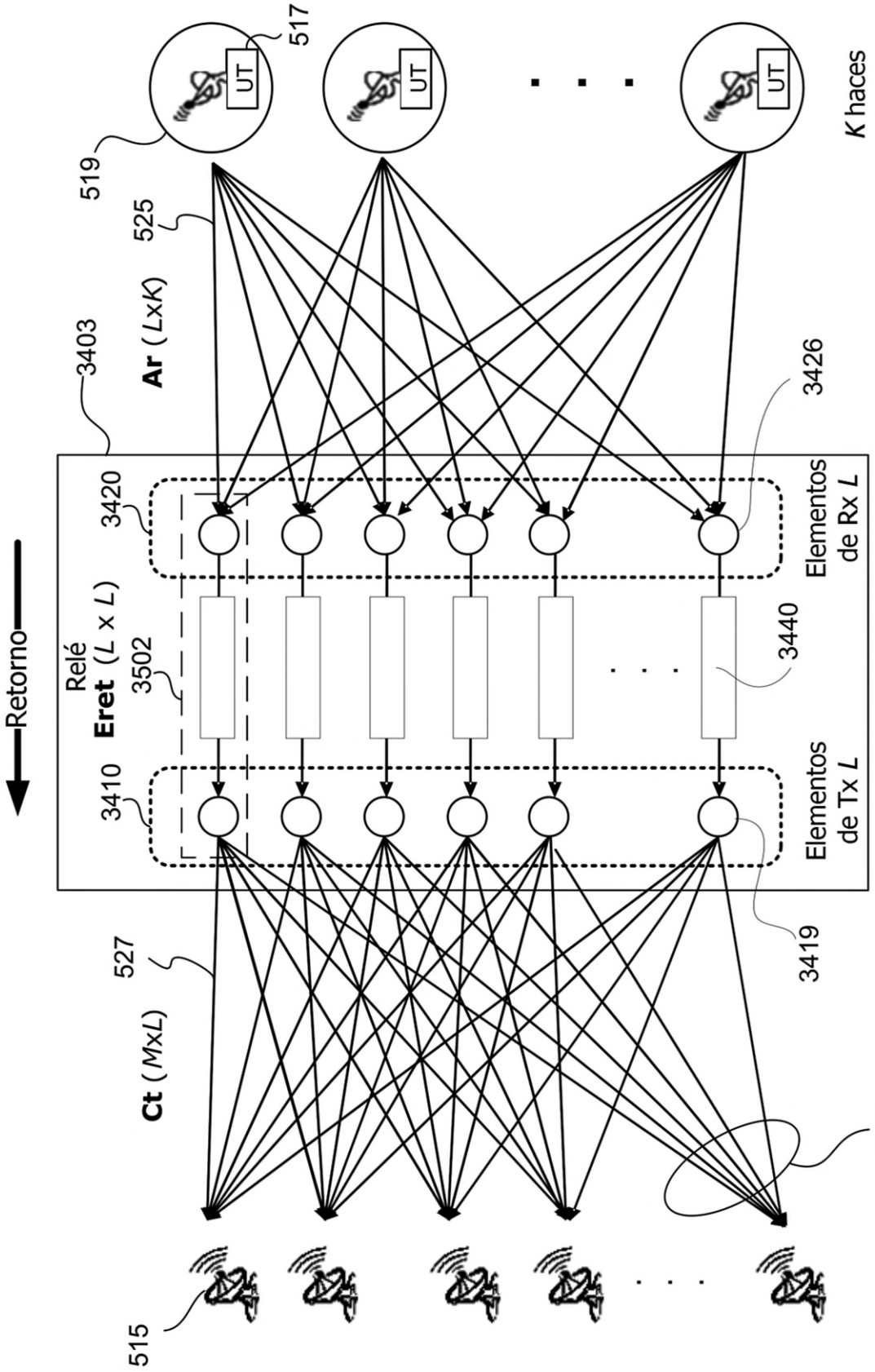
Retorno
Relé
Eret (L x L)
3502
Ar (LxK)
3403
Ct (MxL)
527
525
519
517
UT
K haces
3426
3420
Elementos de Rx L
3440
3410
Elementos de Tx L
3419
1706
M AN
515

FIG. 42

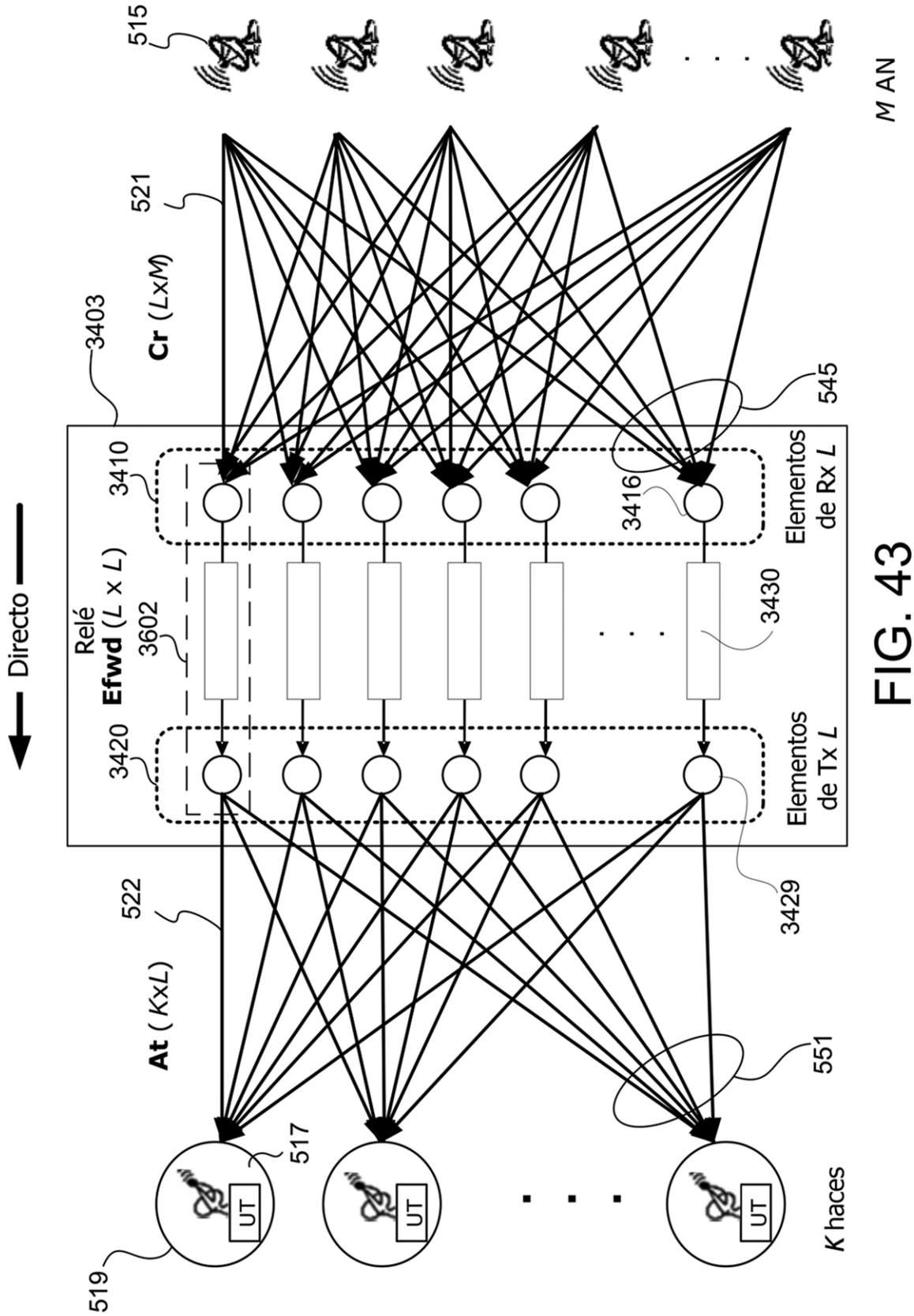
Directo
515
M AN
521
Cr (LxM)
3403
3410
Relé
Efwd (L x L)
3602
3420
Elementos de Rx L
Elementos de Tx L
3416
3430
3429
545
522
At ( KxL)
551
517
519
UT
K haces

FIG. 43

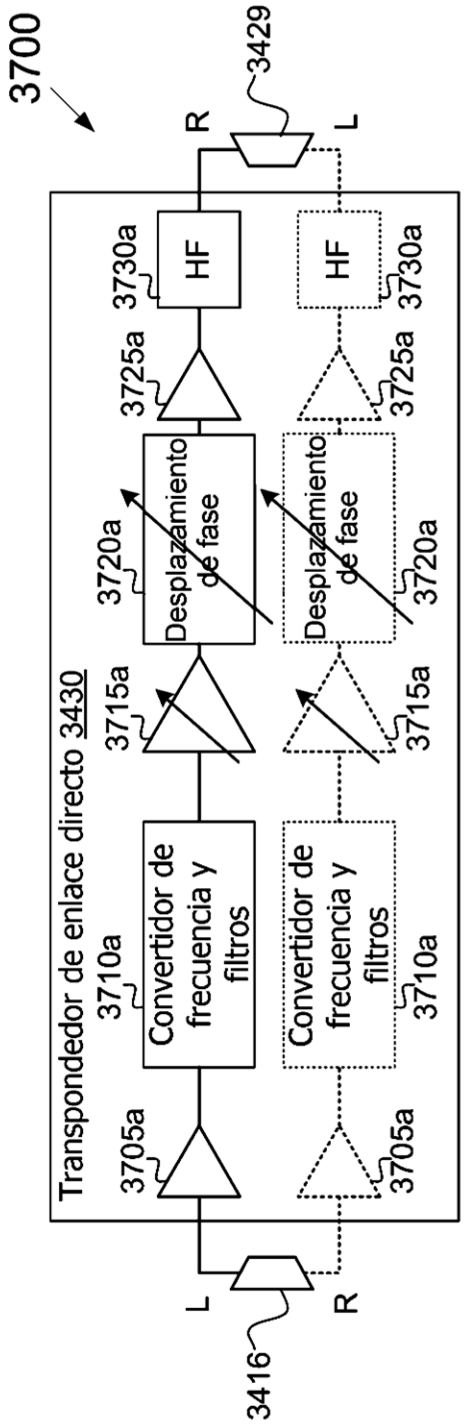


FIG. 44A

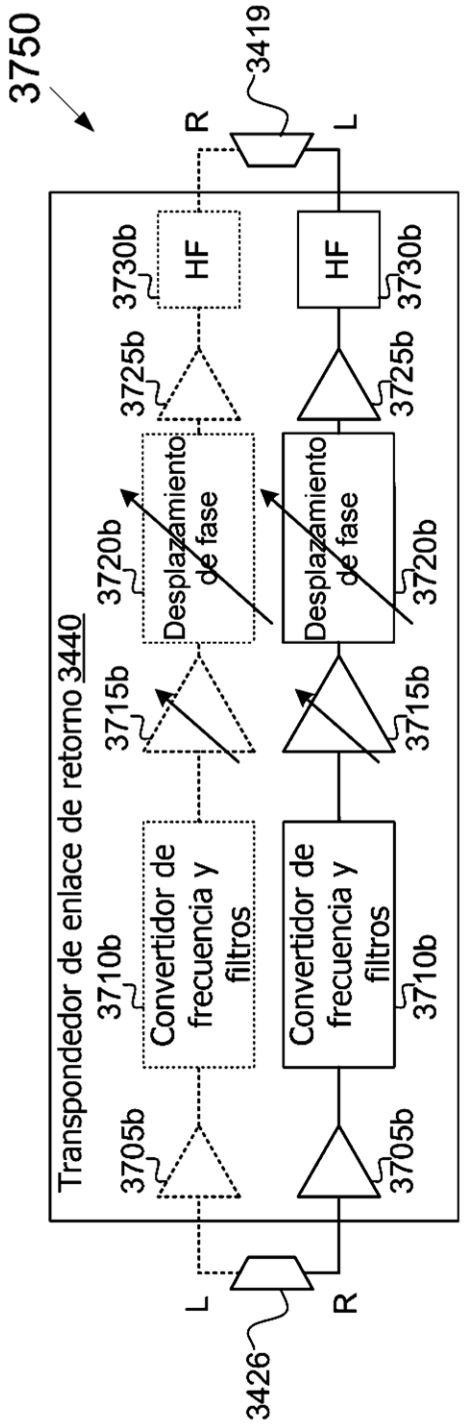


FIG. 44B

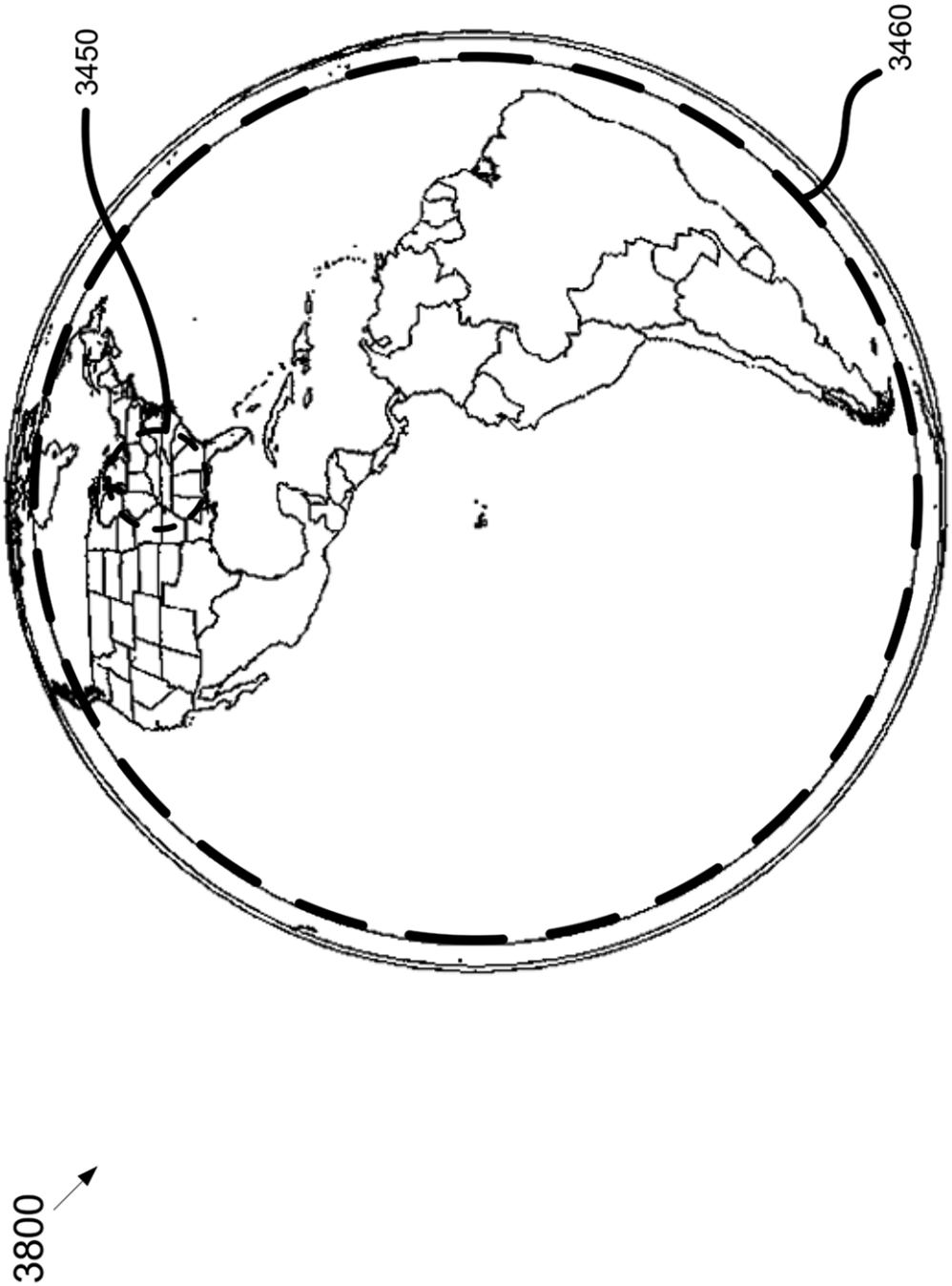


FIG. 45A

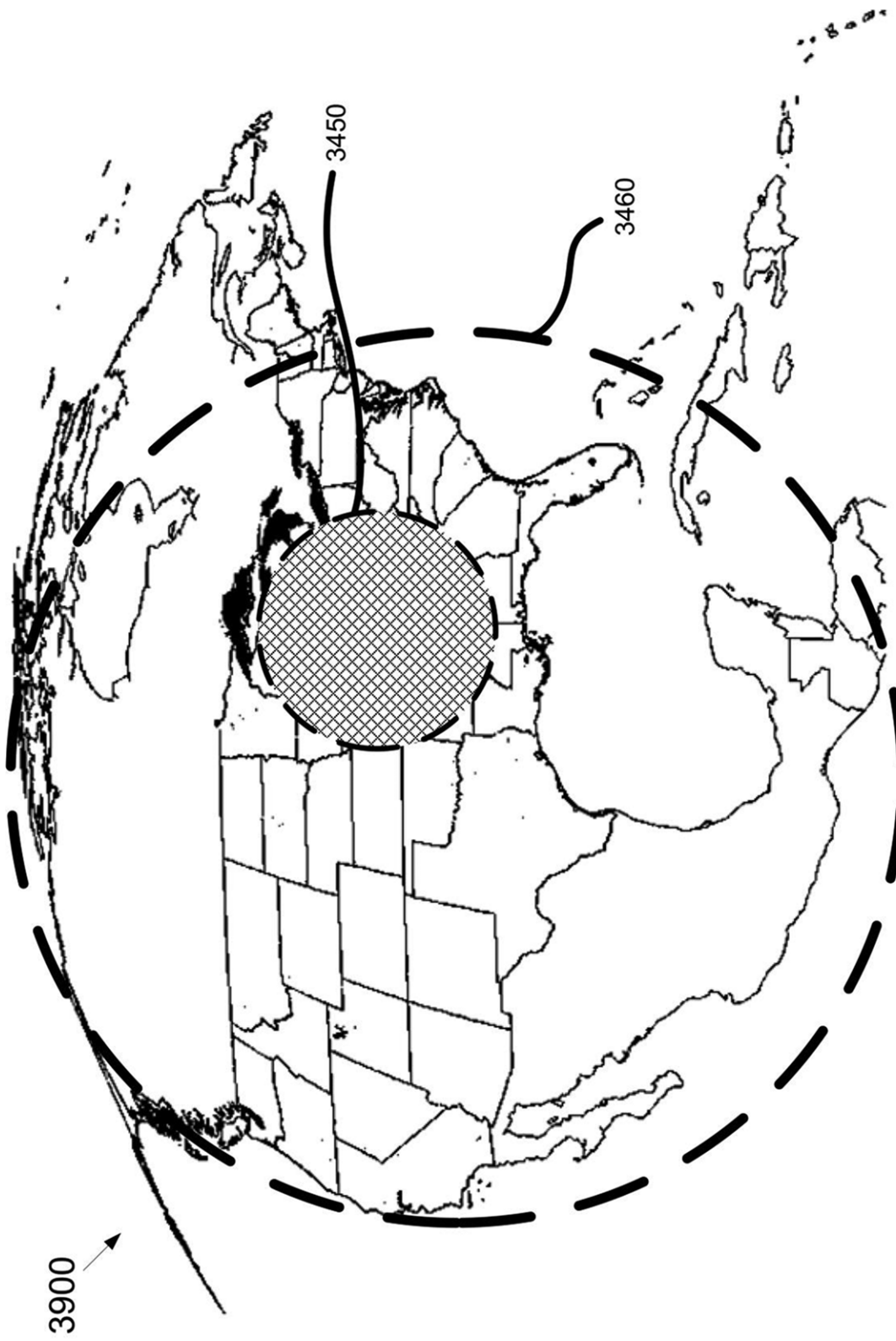


FIG. 45B

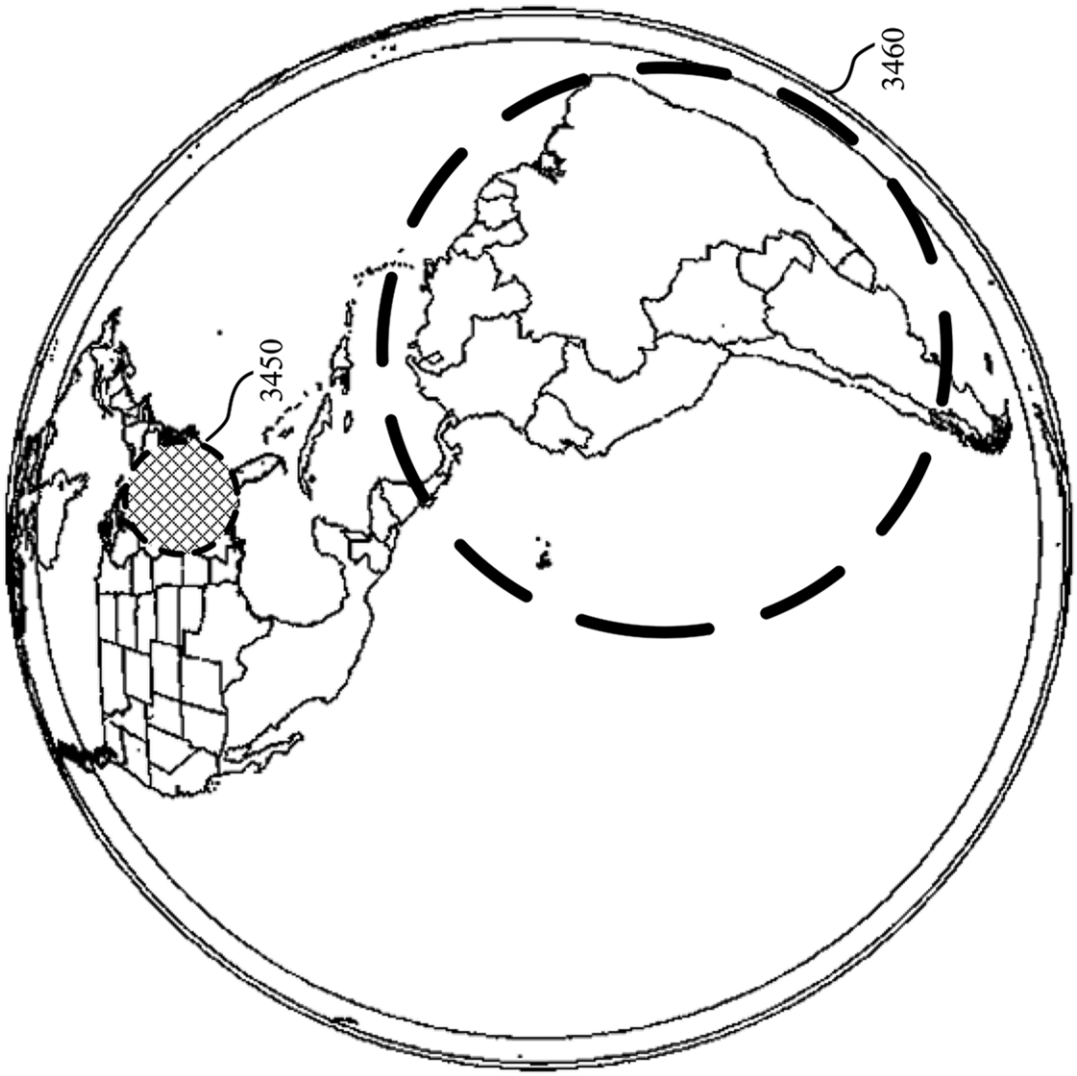


FIG. 45C

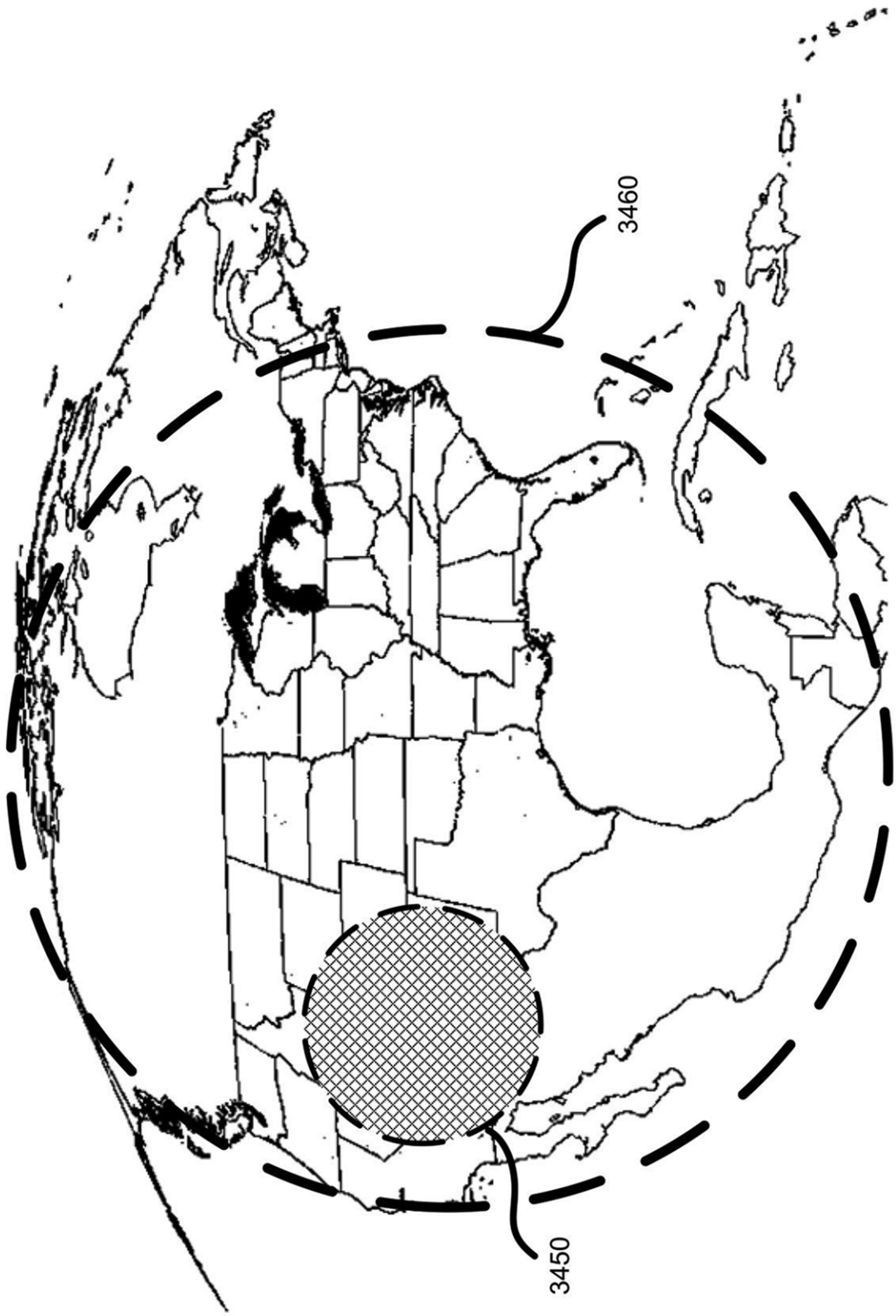


FIG. 45D

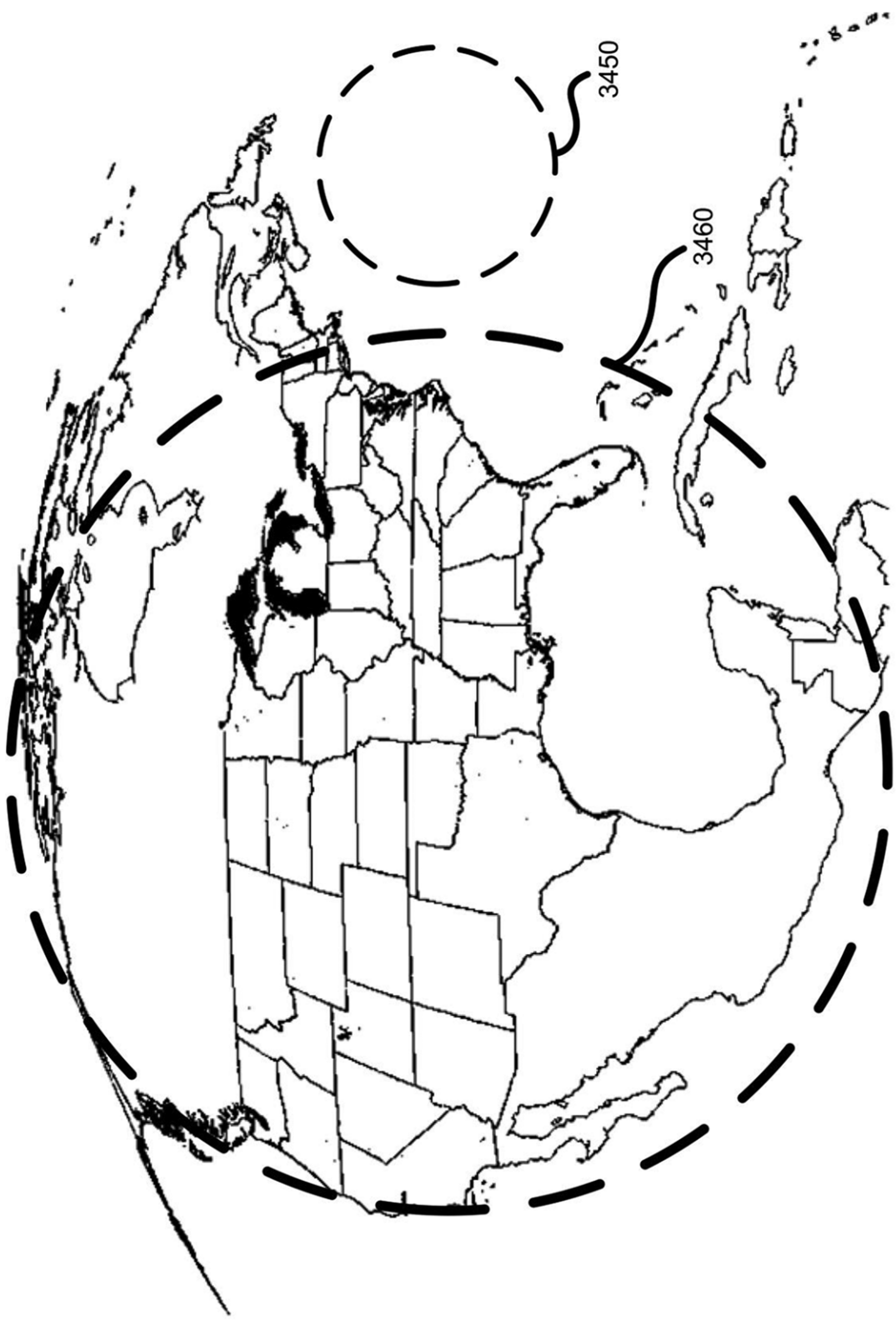


FIG. 45E

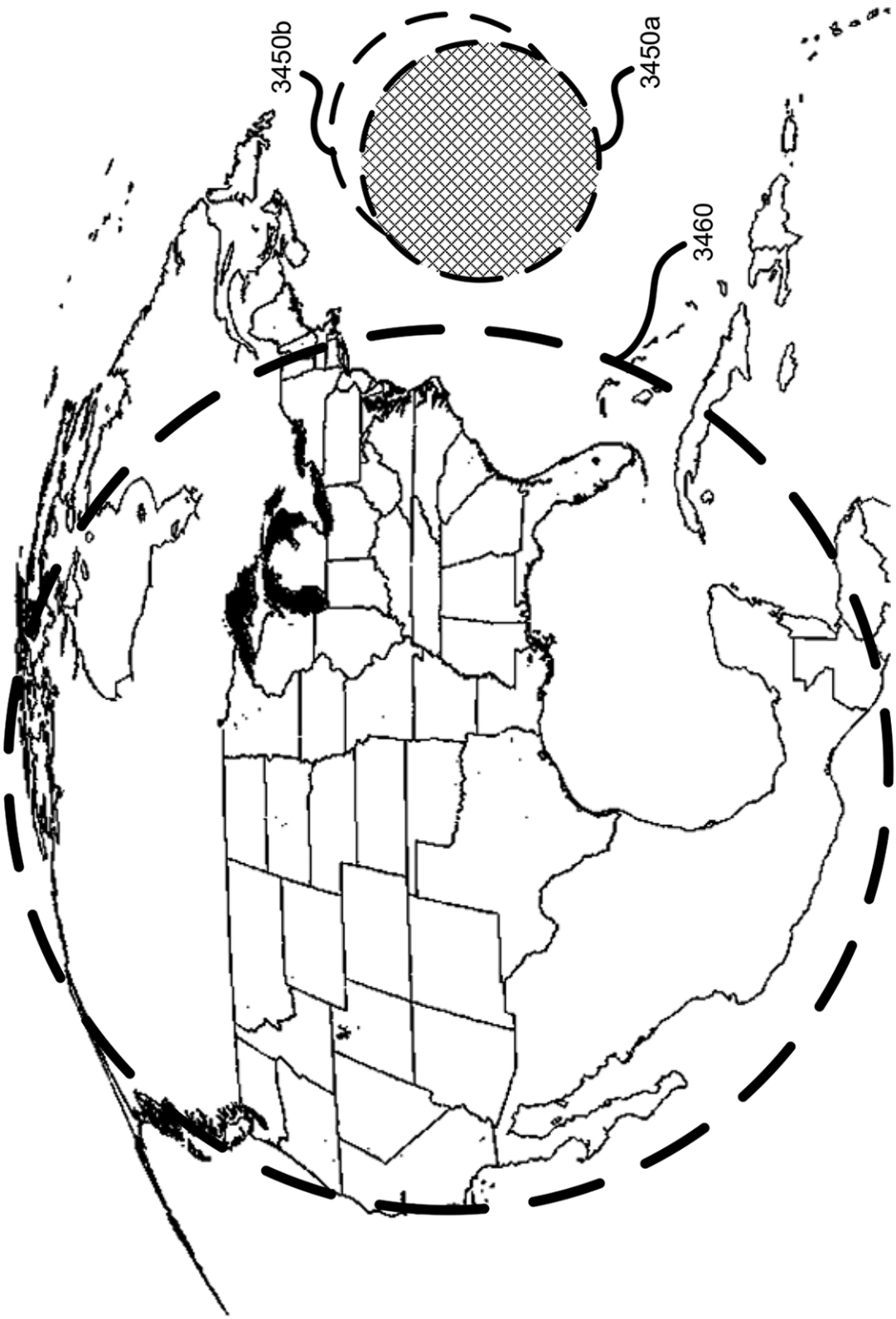


FIG. 45F

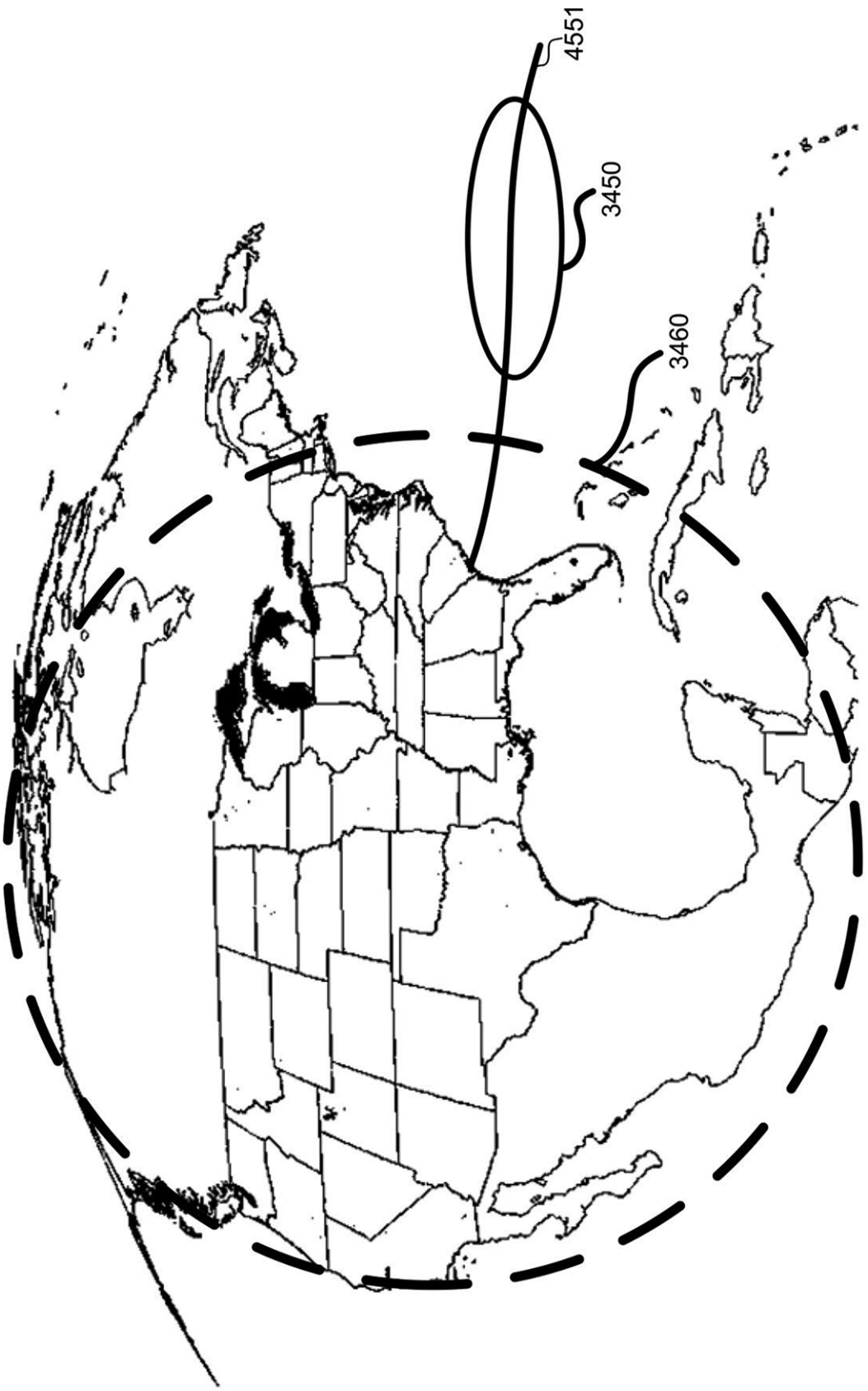


FIG. 45G

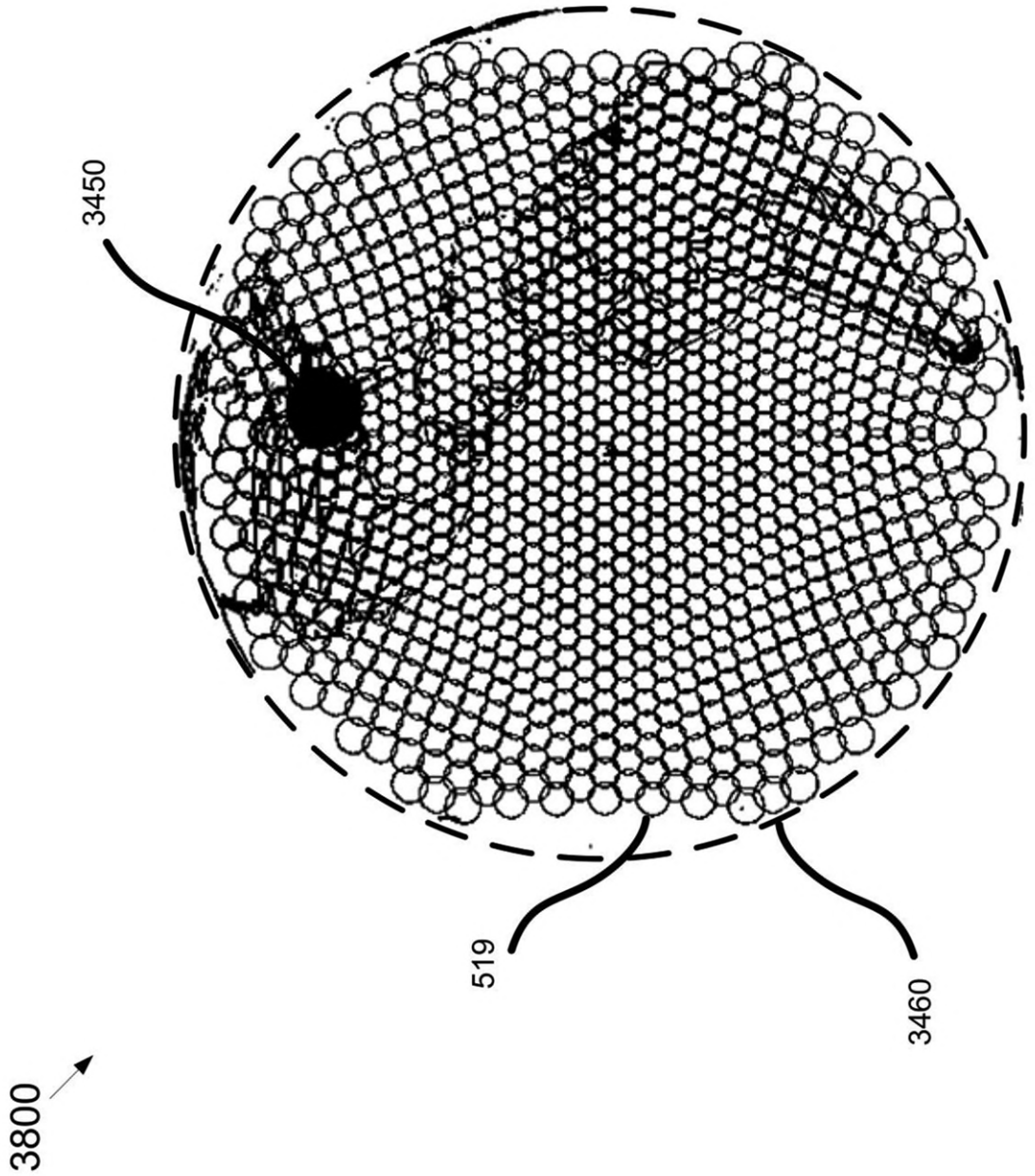


FIG. 46A

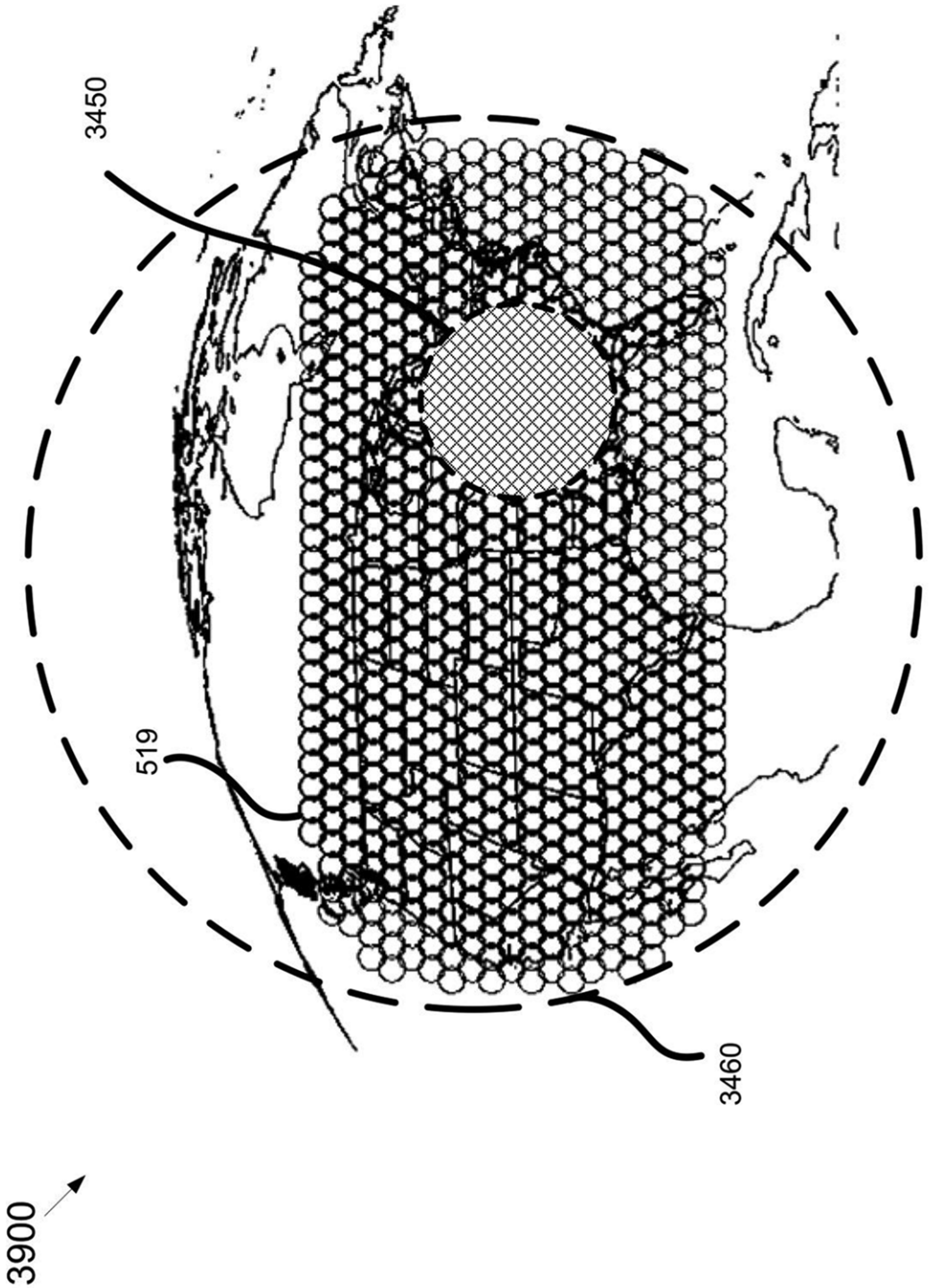


FIG. 46B

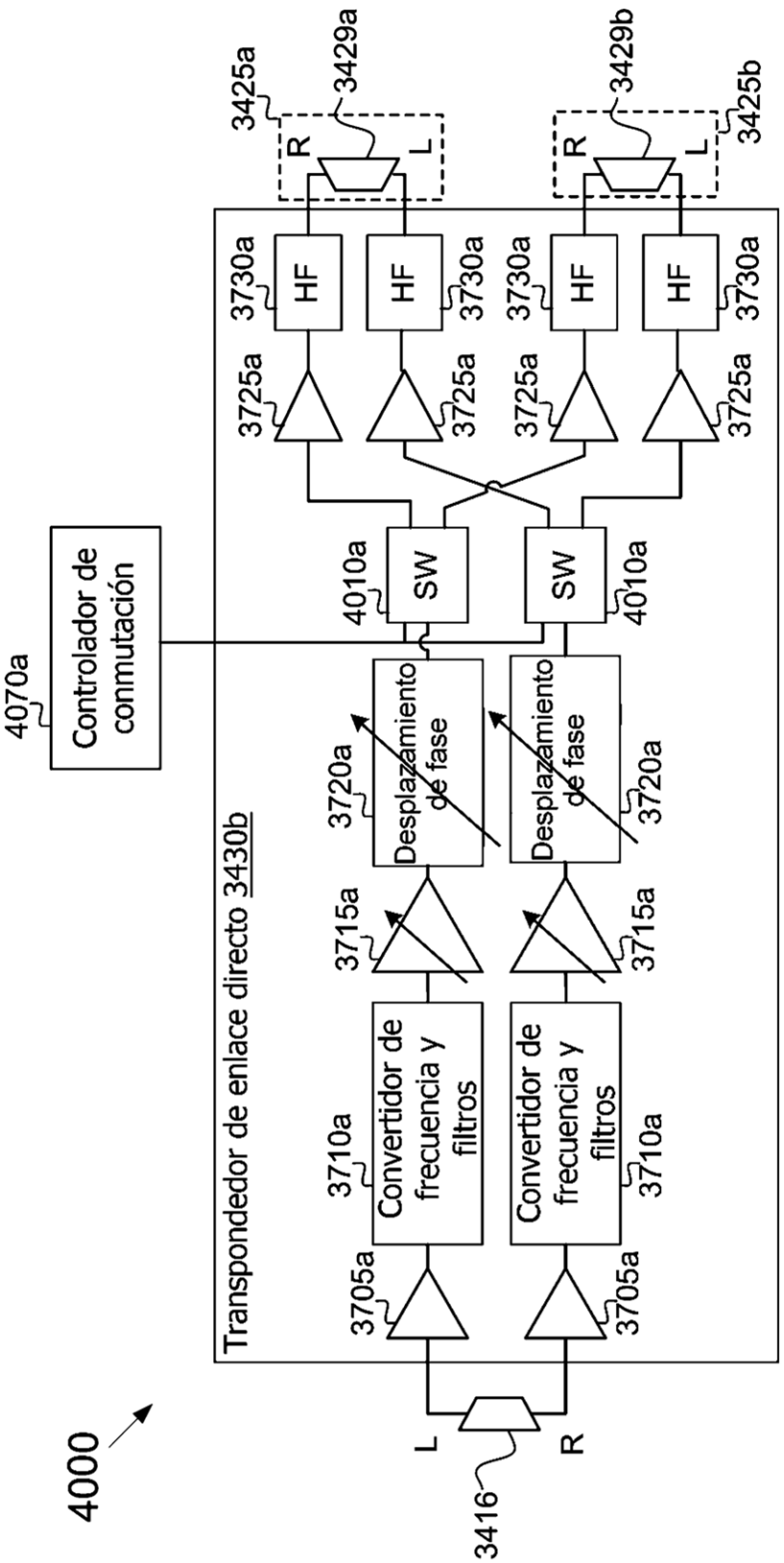
4000
3416
L
R
Transpondedor de enlace directo 3430b
3705a
3710a
Convertidor de frecuencia y filtros
3715a
3720a
Desplazamiento de fase
4010a
SW
3725a
3730a
HF
3425a
3429a
3429b
3425b
4070a
Controlador de conmutación

FIG. 47A

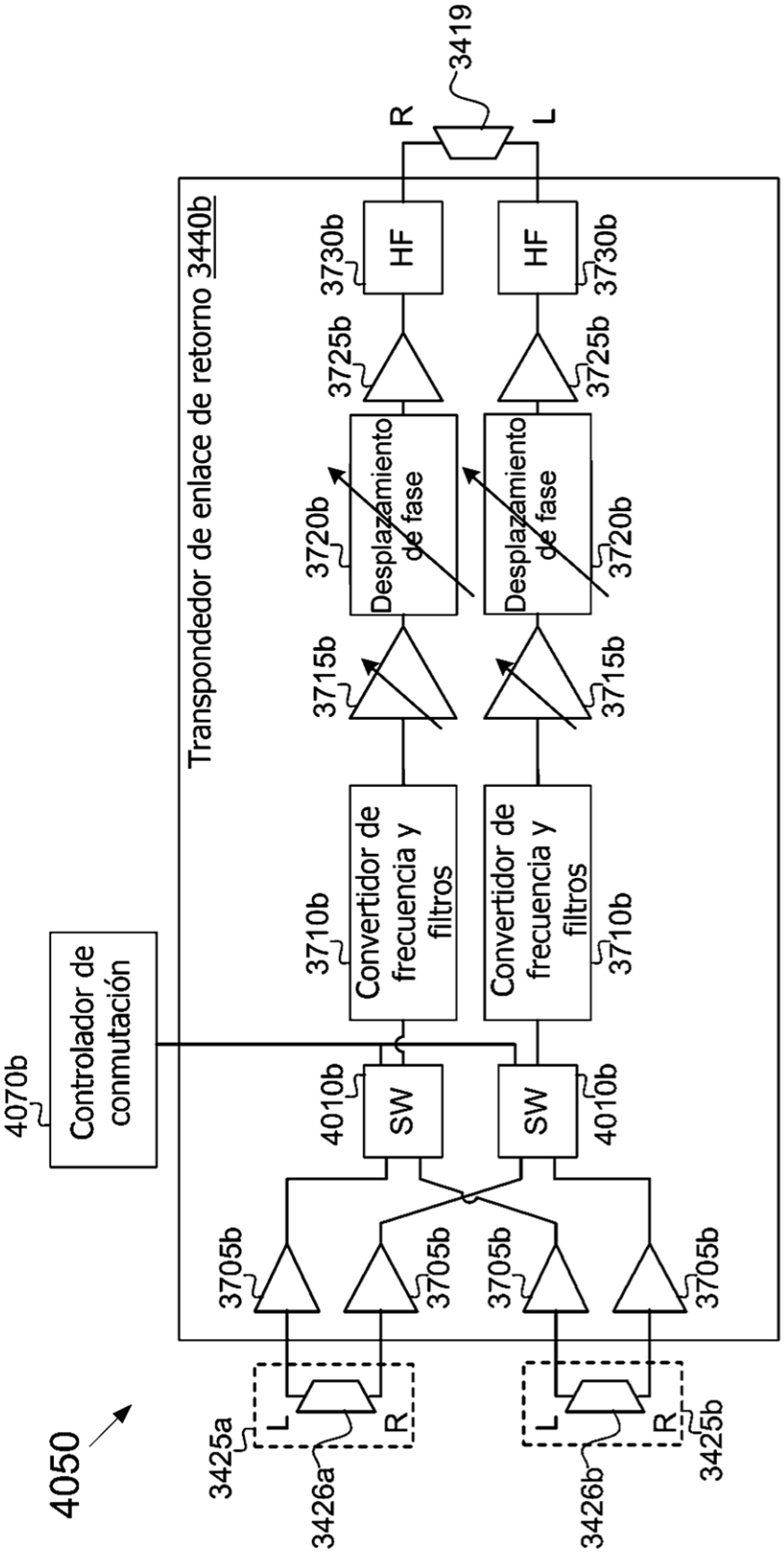
4050
Transpondedor de enlace de retorno 3440b
Controlador de conmutación
4070b
Convertidor de frecuencia y filtros
3710b
Desplazamiento de fase
3720b
HF
3730b
SW
4010b
3705b
3715b
3725b
3419
R
L
3425a
3426a
3426b
3425b

FIG. 47B

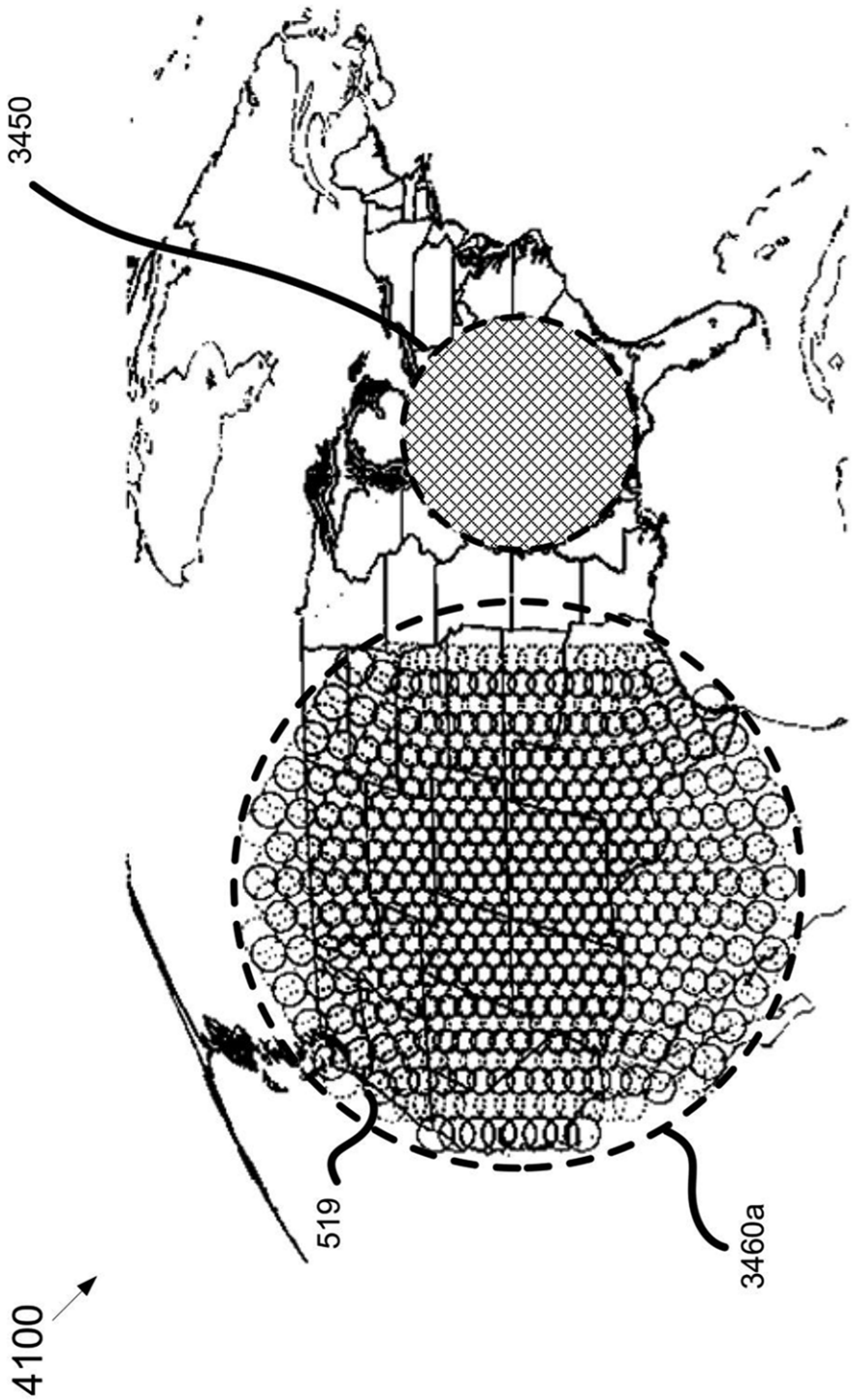


FIG. 48A

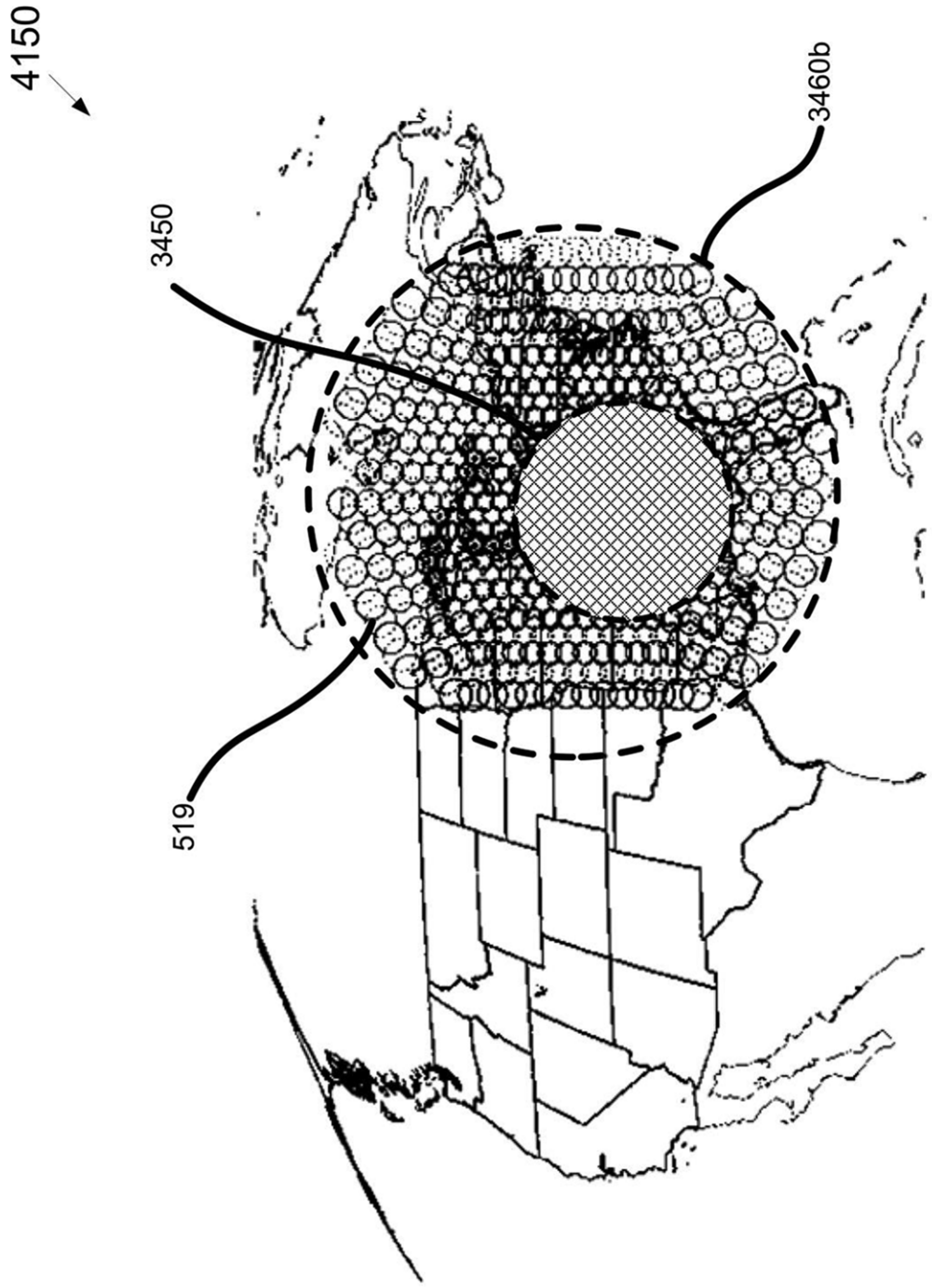


FIG. 48B

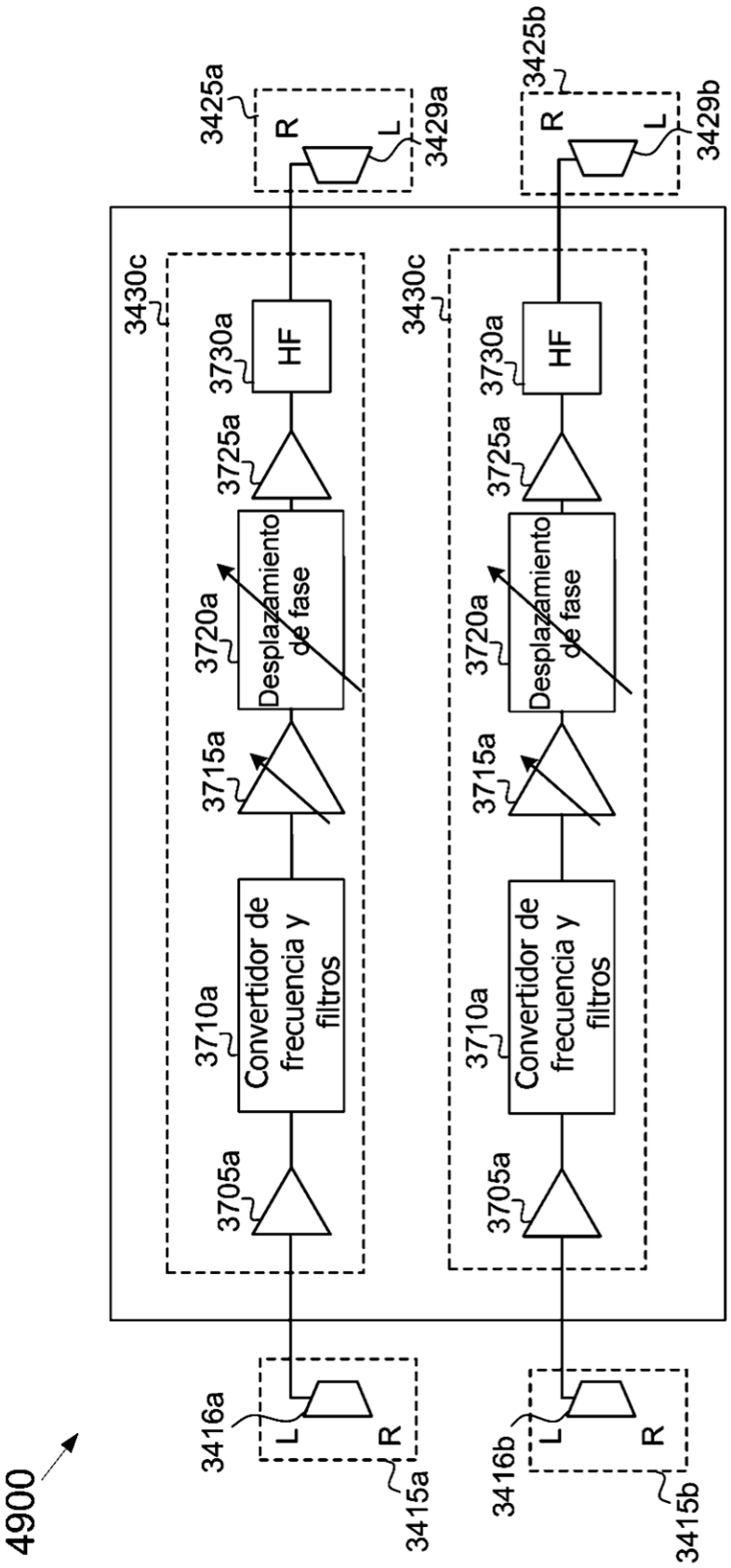
4900
3415a
3416a
L
R
3415b
3416b
L
R
3705a
3710a
Convertidor de frecuencia y filtros
3715a
3720a
Desplazamiento de fase
3725a
3730a
HF
3430c
3425a
3429a
3425b
3429b
L
R

FIG. 49A

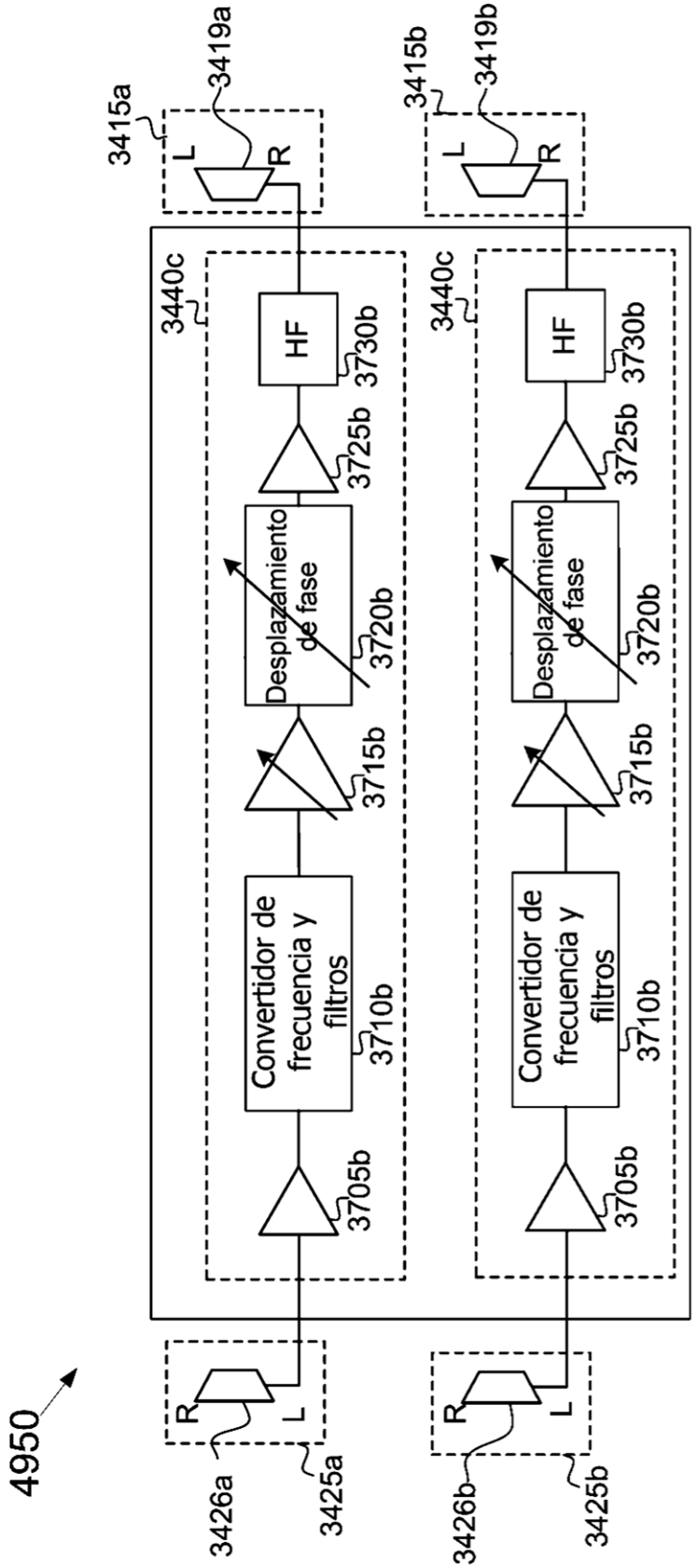
4950
3426a
3425a
3426b
3425b
R
L
3705b
Convertidor de frecuencia y filtros
3710b
3715b
Desplazamiento de fase
3720b
3725b
HF
3730b
3440c
3415a
3419a
3415b
3419b

FIG. 49B

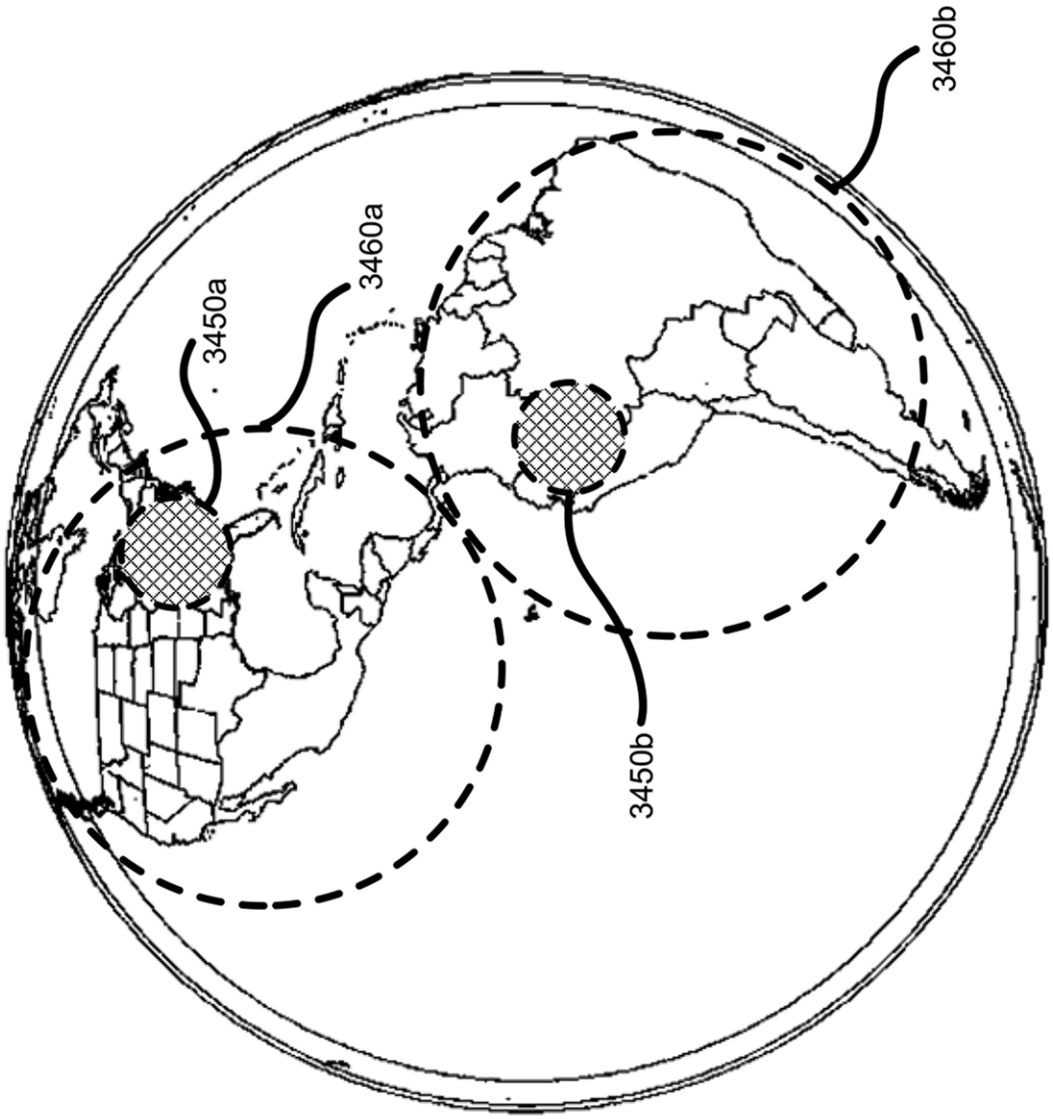


FIG. 50A

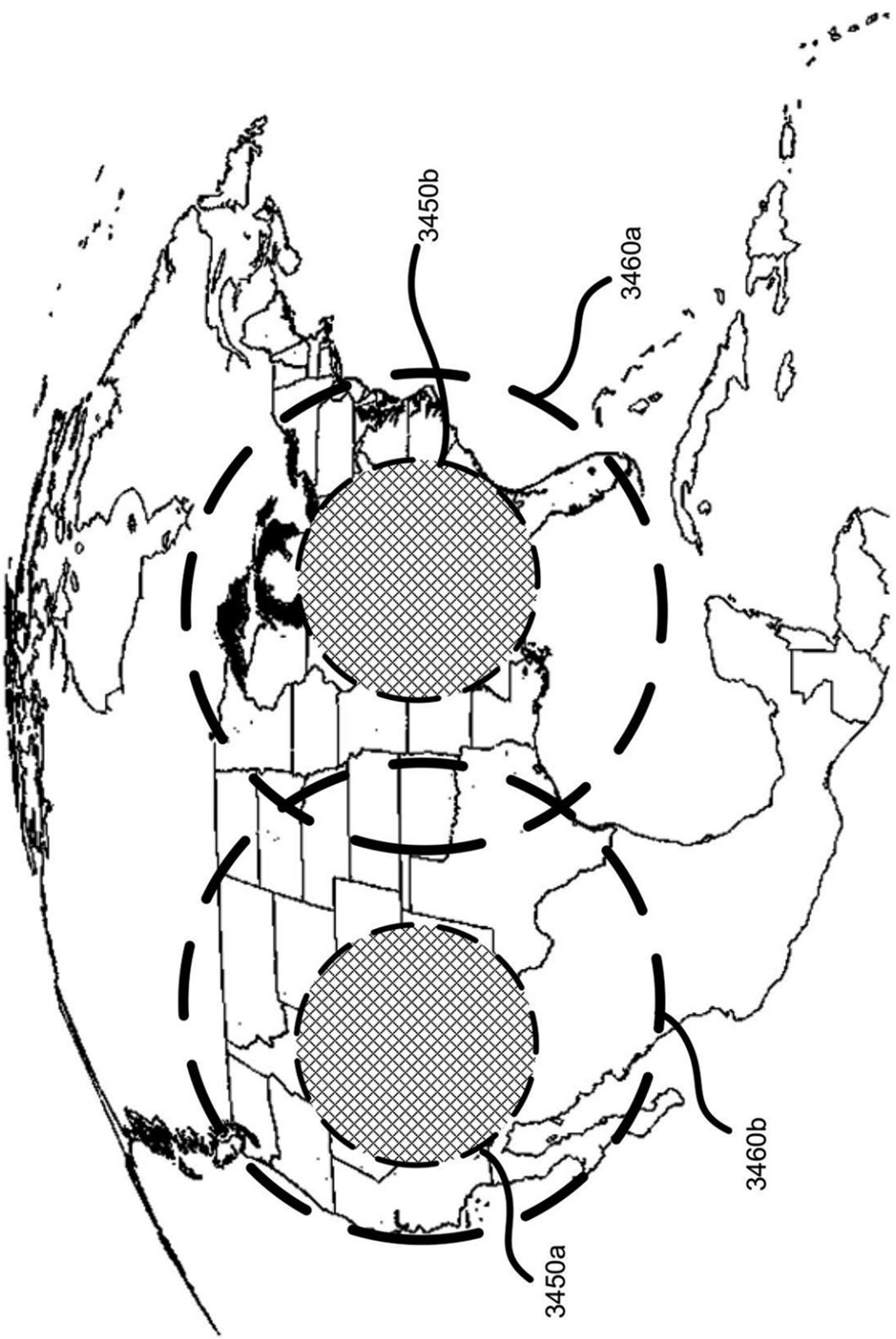


FIG. 50B

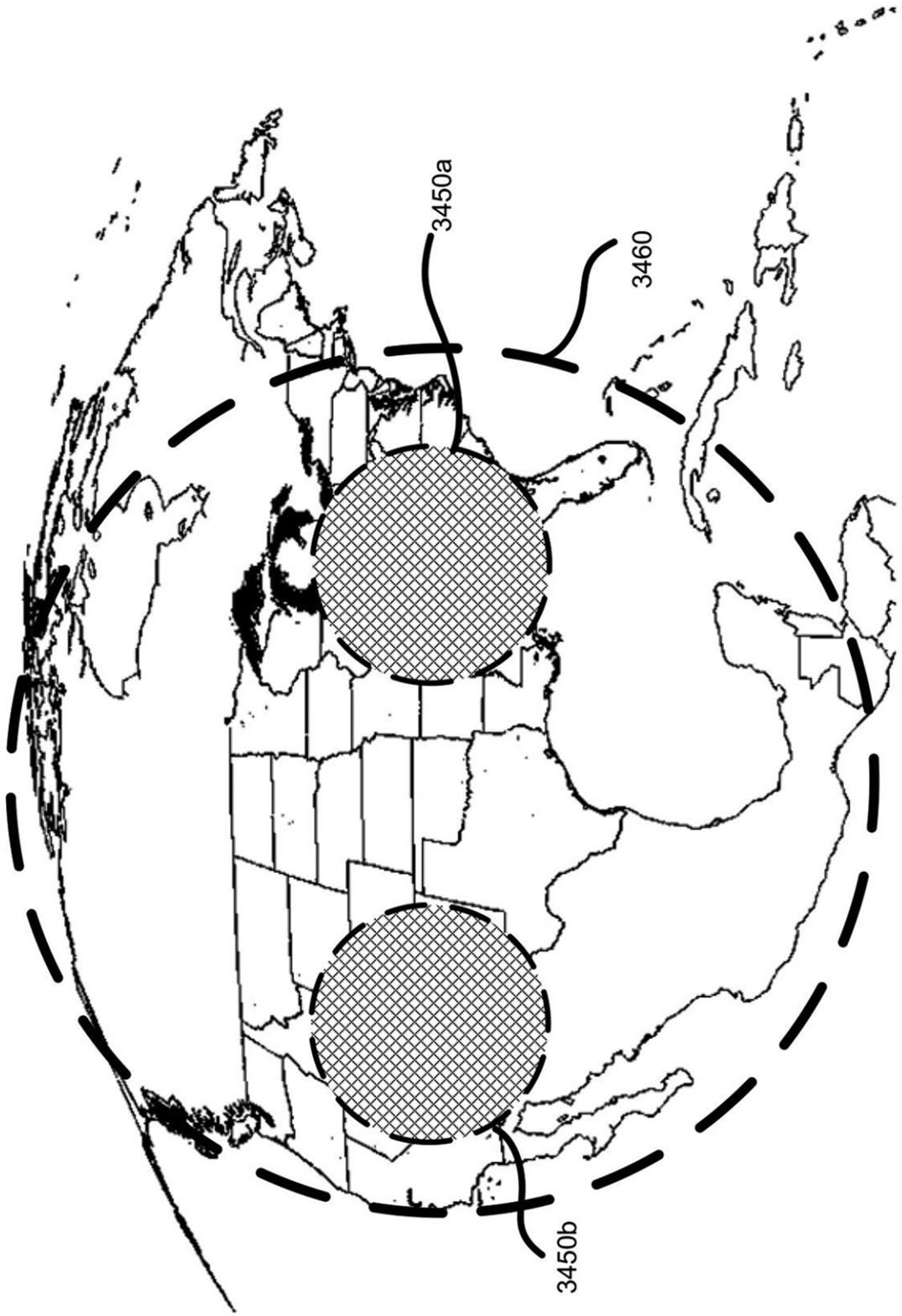


FIG. 50C

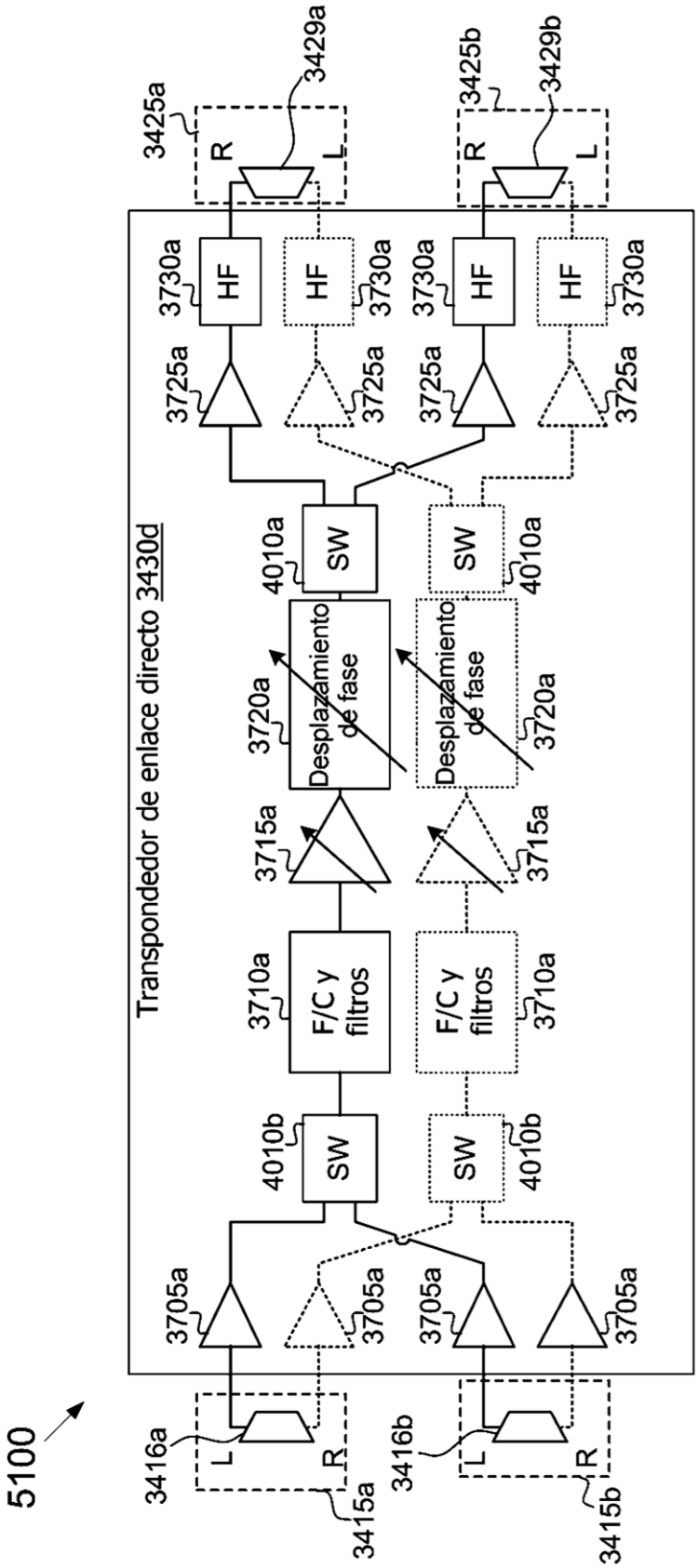
5100
Transpondedor de enlace directo 3430d
3425a
3429a
3425b
3429b
R
L
3730a
HF
3725a
4010a
SW
3720a
Desplazamiento de fase
3715a
3710a
F/C y filtros
4010b
3705a
3416a
3415a
3416b
3415b

FIG. 51A

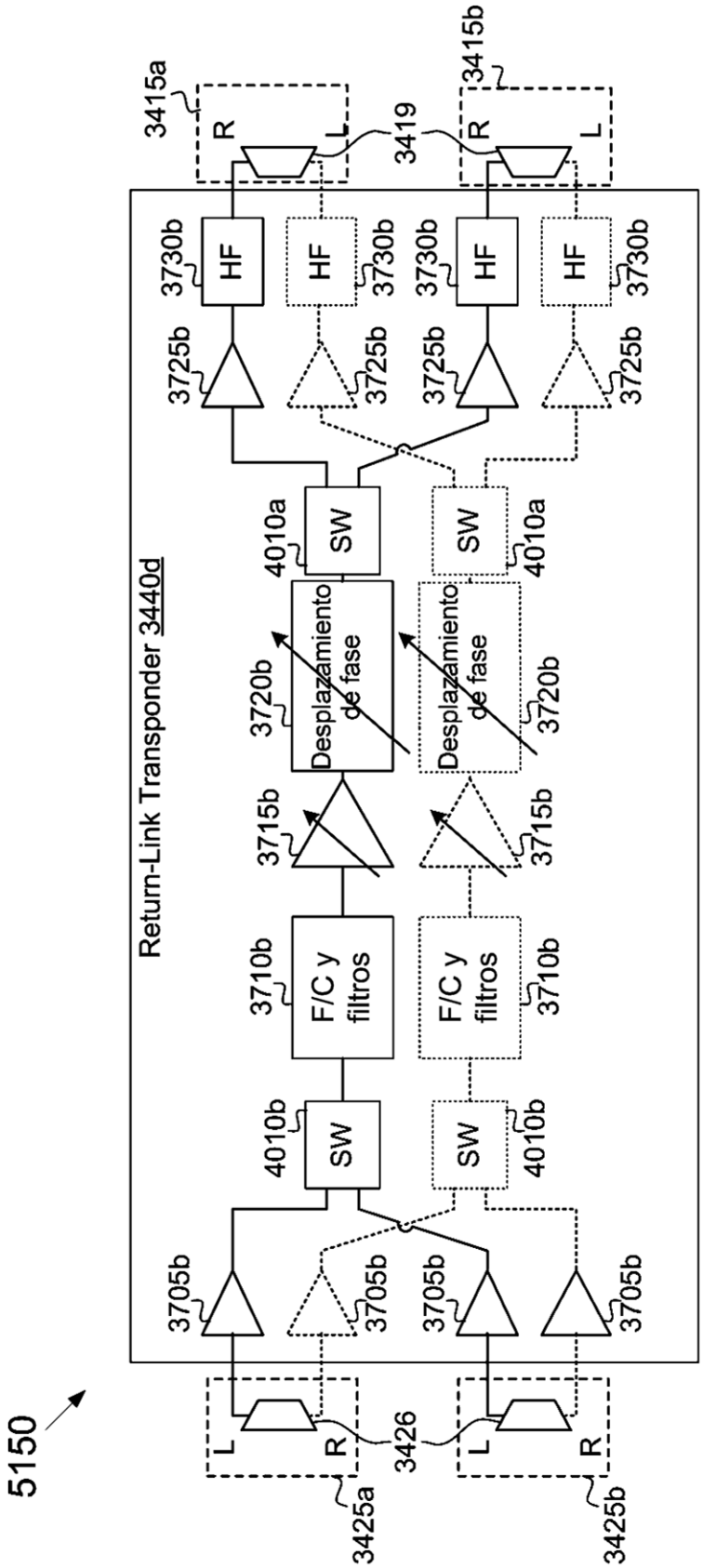
5150
Return-Link Transponder 3440d
3415a
3415b
3419
3426
3425a
3425b
R
L
HF
3730b
3725b
SW
4010a
4010b
Desplazamiento de fase
3720b
3715b
F/C y filtros
3710b
3705b

FIG. 51B

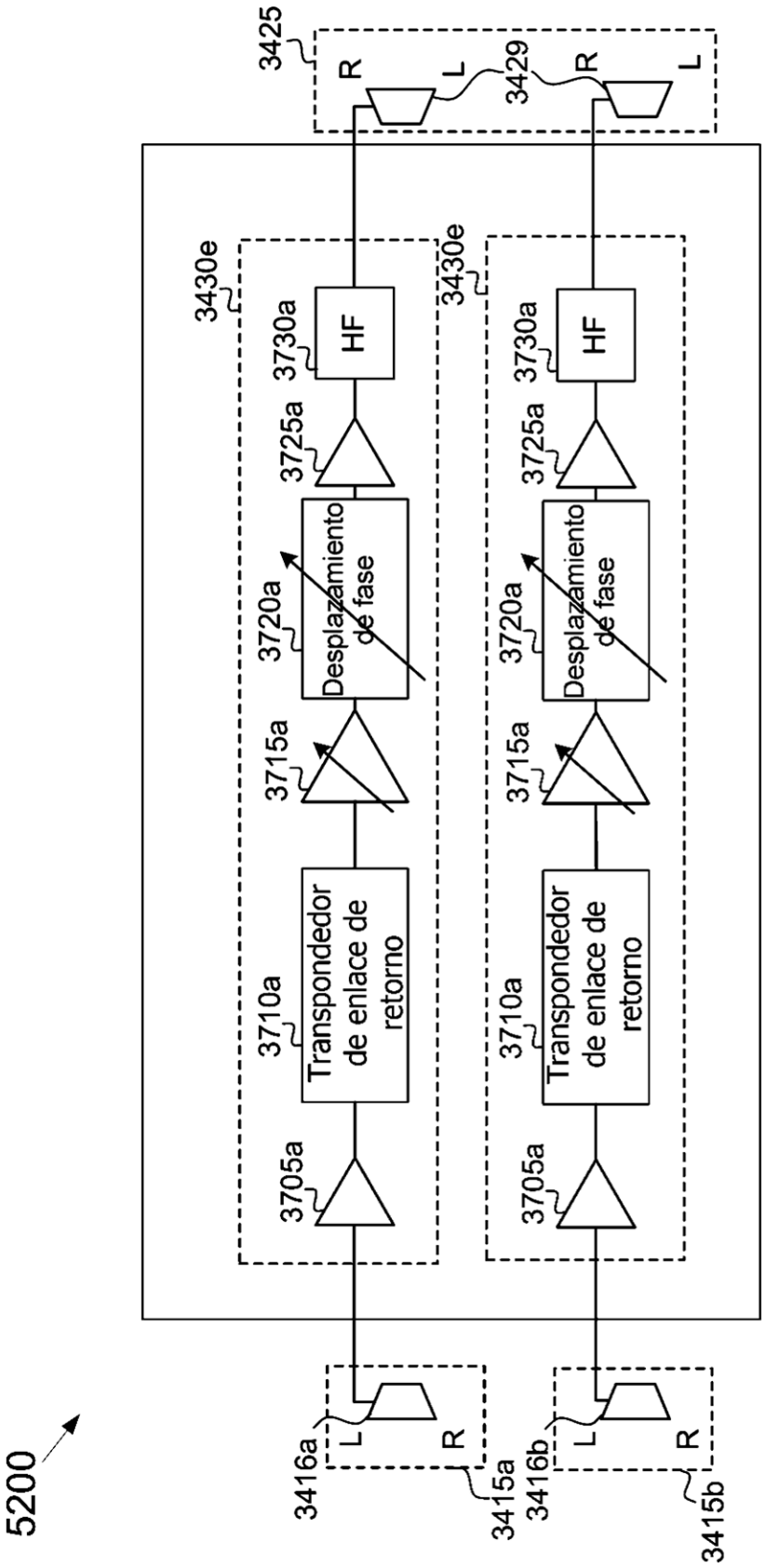
5200
3425
R
L
3429
R
L
3430e
3730a
HF
3725a
3720a
Desplazamiento de fase
3715a
3710a
Transpondedor de enlace de retorno
3705a
3430e
3730a
HF
3725a
3720a
Desplazamiento de fase
3715a
3710a
Transpondedor de enlace de retorno
3705a
3416a
L
R
3415a
3416b
L
R
3415b

FIG. 52A

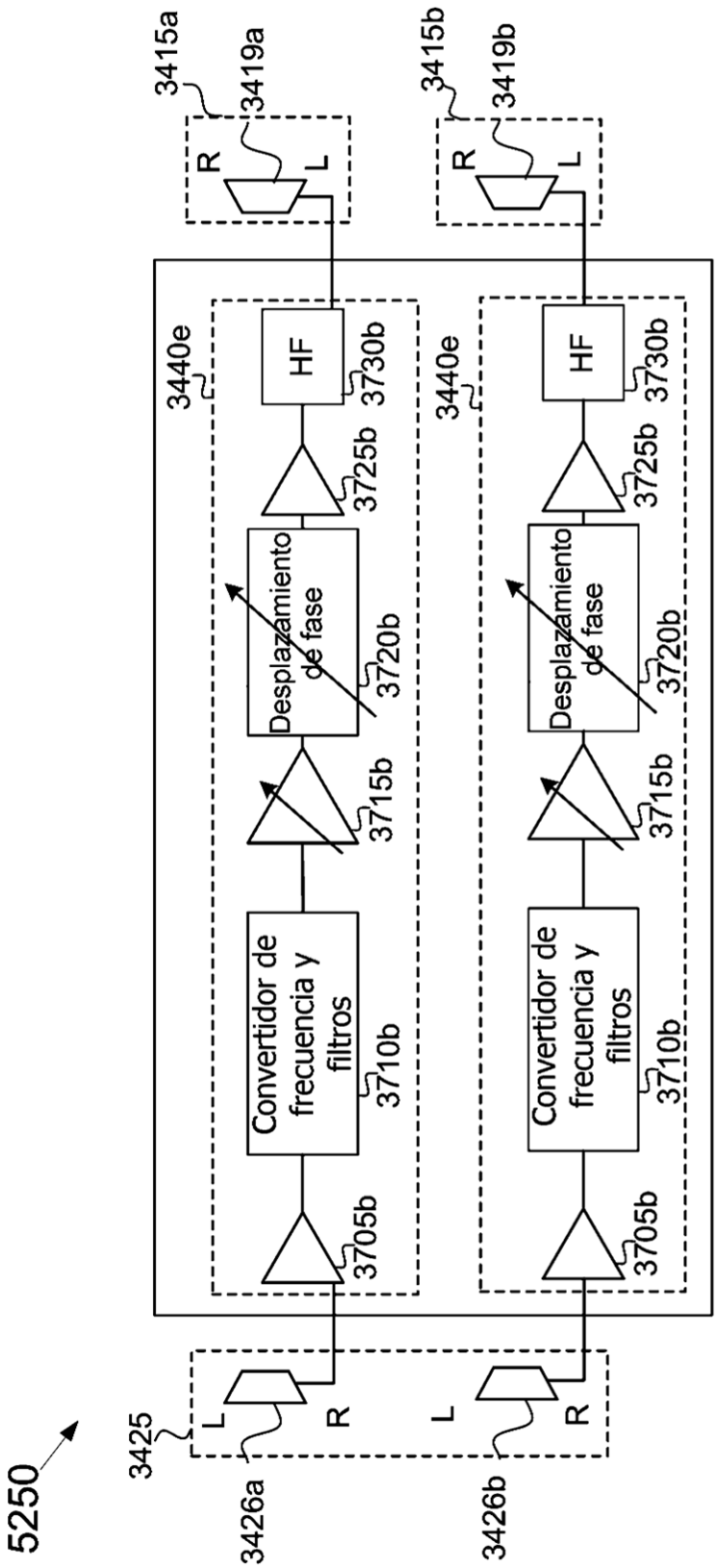
5250
3425
3426a
3426b
L
R
L
R
3415a
3419a
3415b
3419b
R
L
R
L
3440e
3440e
HF
HF
3730b
3730b
3725b
3725b
Desplazamiento de fase
Desplazamiento de fase
3720b
3720b
3715b
3715b
Convertidor de frecuencia y filtros
Convertidor de frecuencia y filtros
3710b
3710b
3705b
3705b

FIG. 52B

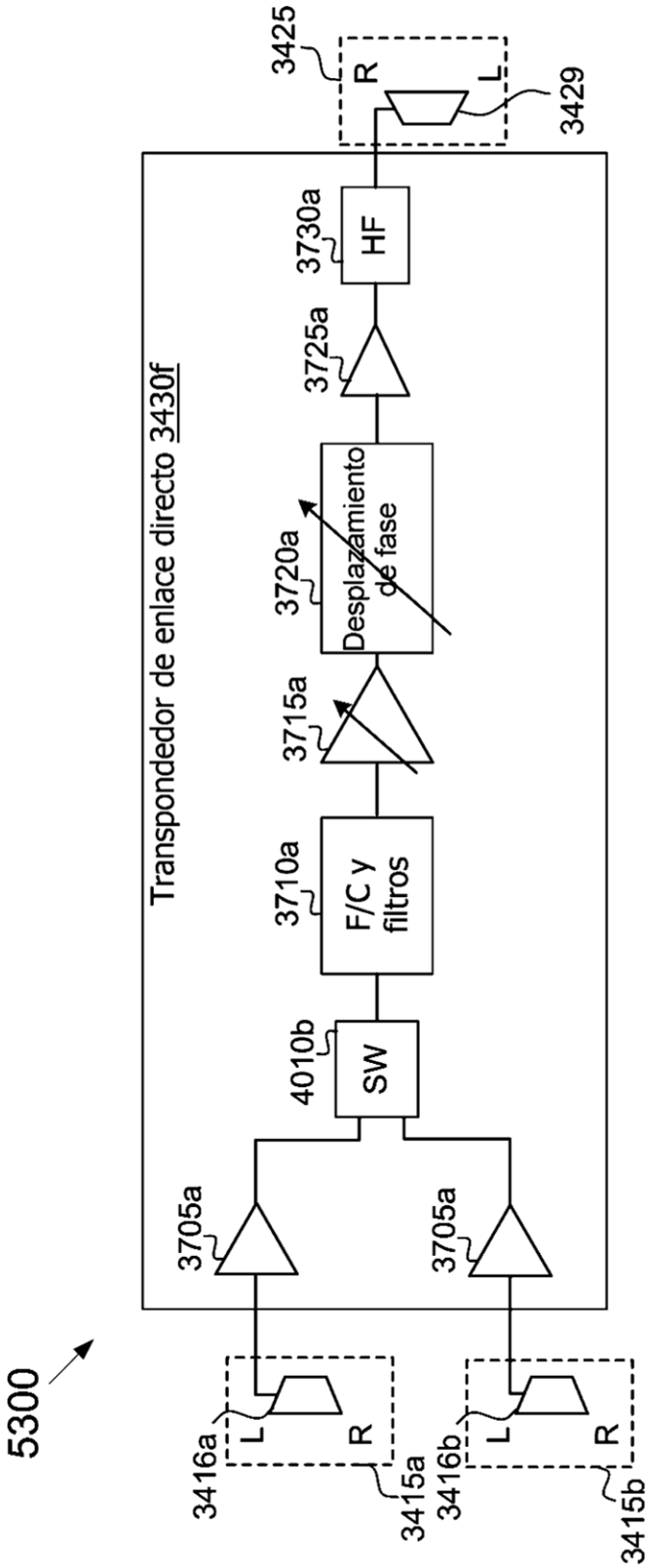
5300
Transpondedor de enlace directo 3430f
3425
R
L
3429
3730a
HF
3725a
3720a
Desplazamiento de fase
3715a
3710a
F/C y filtros
4010b
SW
3705a
3705a
3416a
L
R
3415a
3416b
L
R
3415b

FIG. 53A

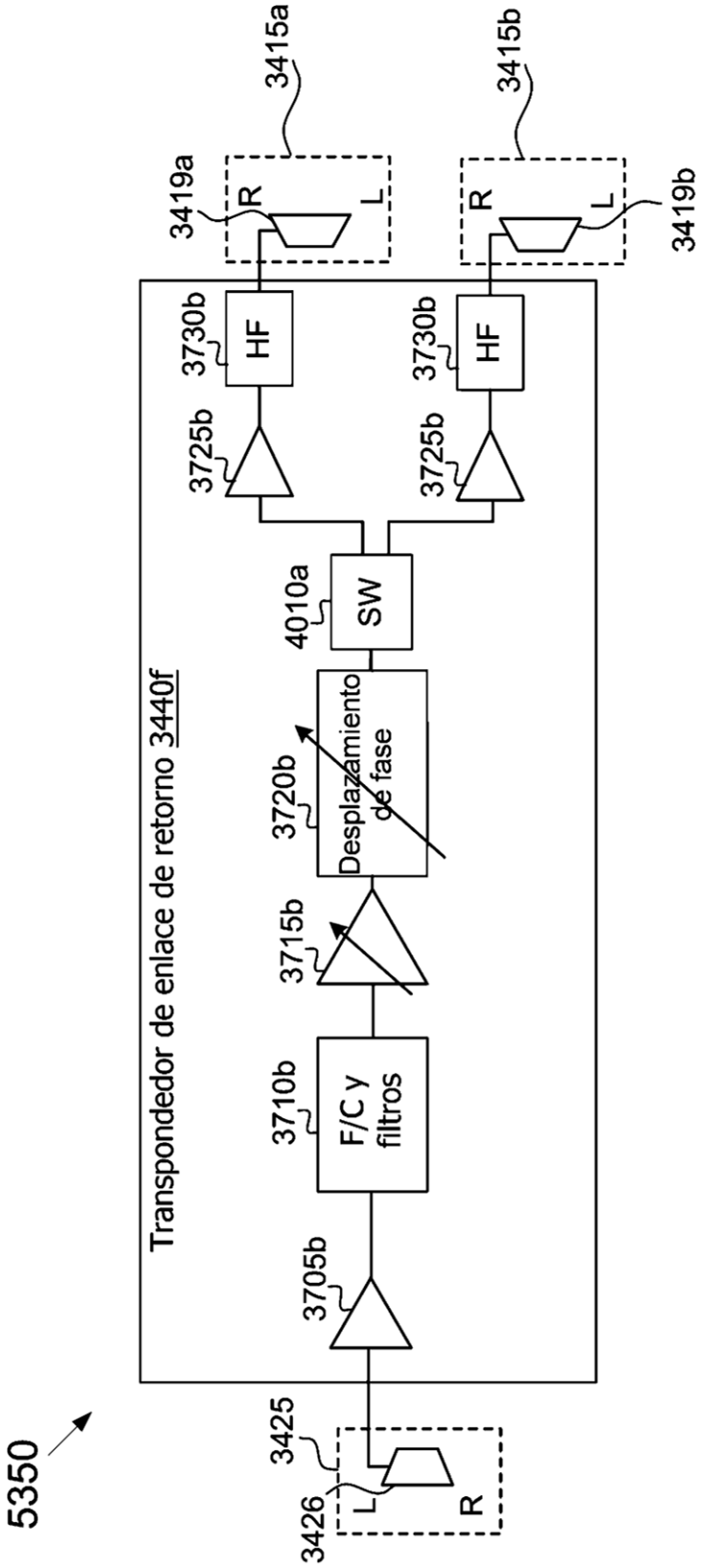
5350
Transpondedor de enlace de retorno 3440f
3425
3426
L
R
3705b
3710b
F/C y filtros
3715b
3720b
Desplazamiento de fase
4010a
SW
3725b
3730b
HF
3419a
3415a
3419b
3415b

FIG. 53B

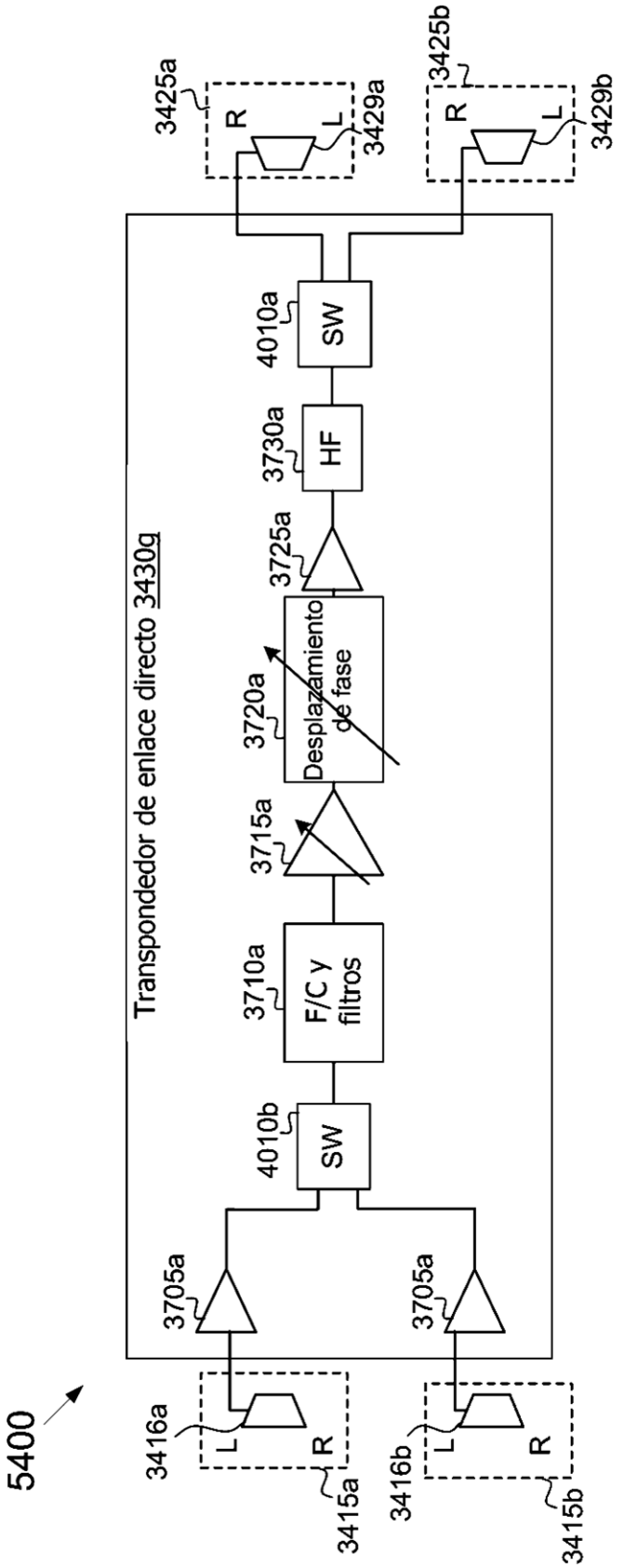
5400
Transpondedor de enlace directo 3430g
3425a
3429a
3425b
3429b
4010a
SW
3730a
HF
3725a
3720a
Desplazamiento de fase
3715a
3710a
F/C y filtros
4010b
SW
3705a
3705a
3416a
3415a
3416b
3415b
R
L

FIG. 54A

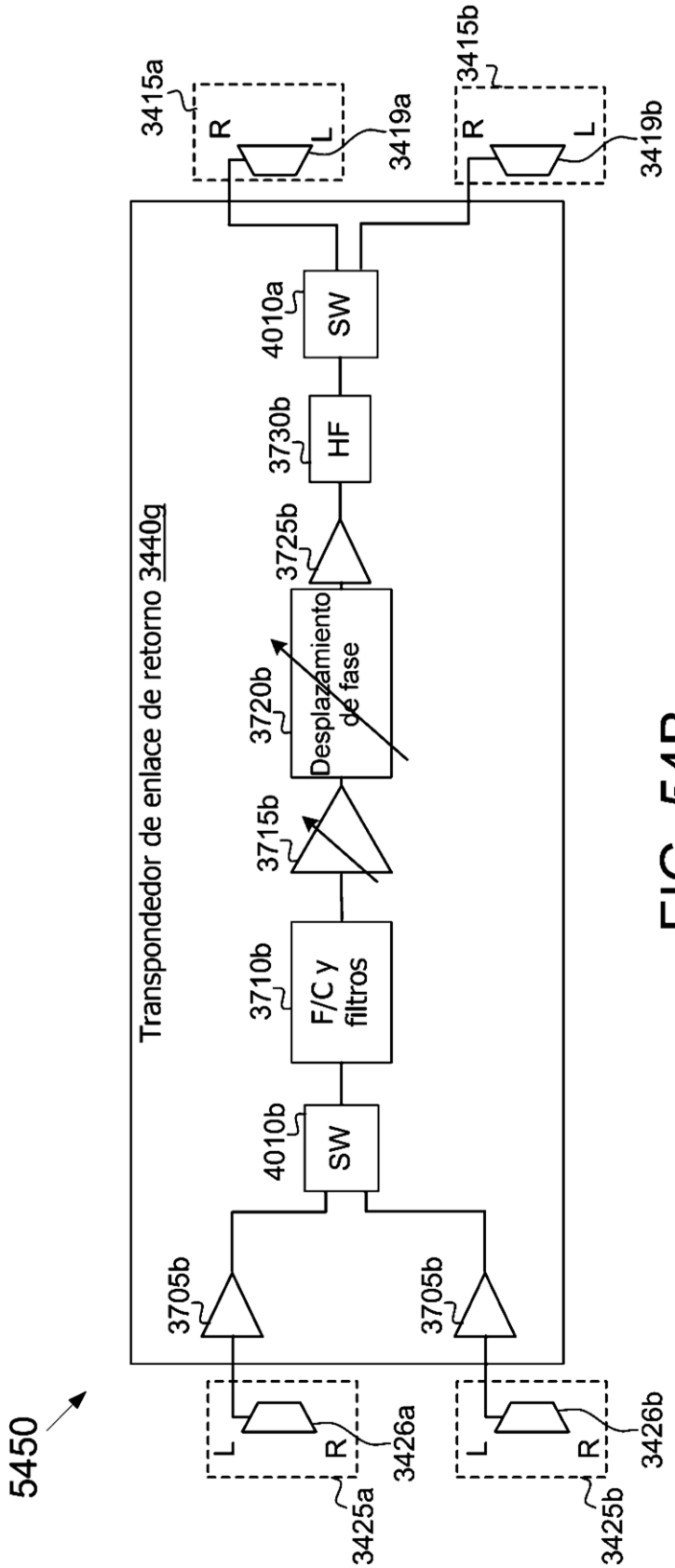
5450
Transpondedor de enlace de retorno 3440g
3415a
3415b
R
L
3419a
3419b
4010a
SW
3730b
HF
3725b
3720b
Desplazamiento de fase
3715b
3710b
F/C y filtros
4010b
SW
3705b
3705b
3426a
3426b
3425a
3425b

FIG. 54B

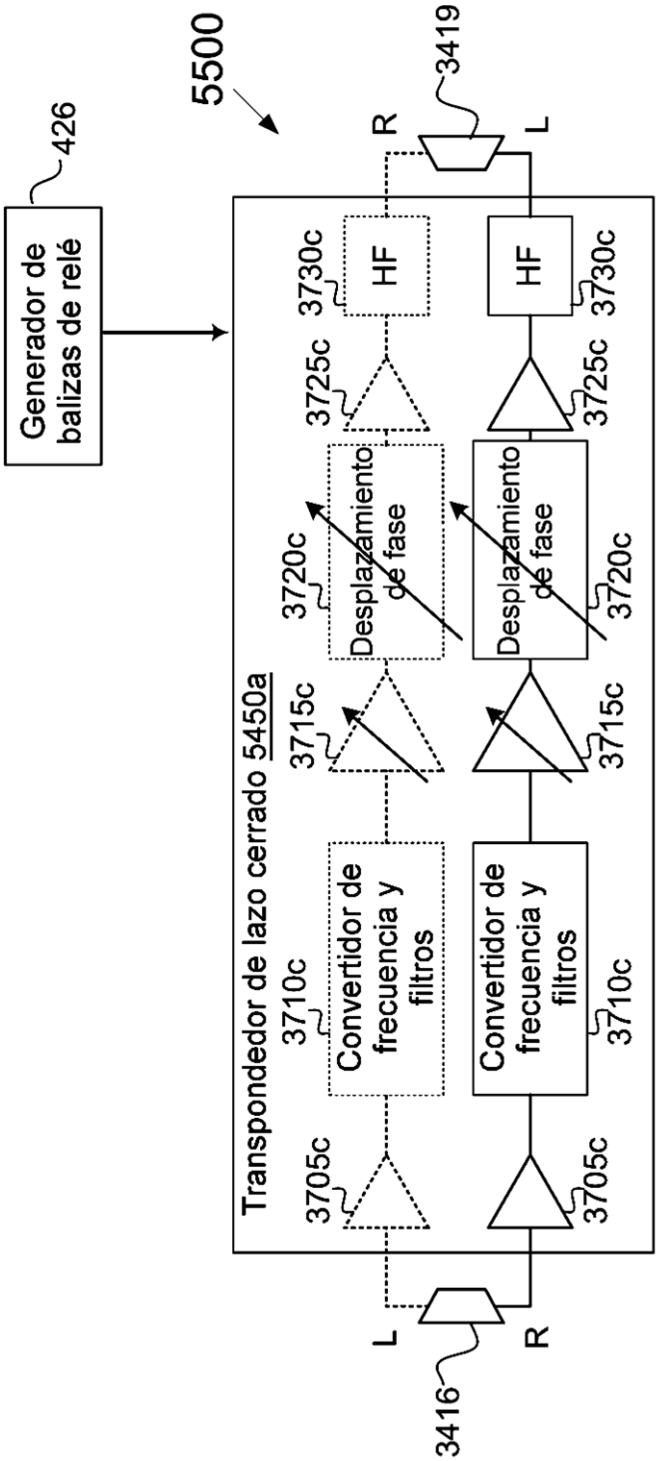
5500
426
Generador de balizas de relé
3419
R
L
Transpondedor de lazo cerrado 5450a
3730c
HF
3725c
3720c
Desplazamiento de fase
3715c
3710c
Convertidor de frecuencia y filtros
3705c
3416
L
R

FIG. 55A

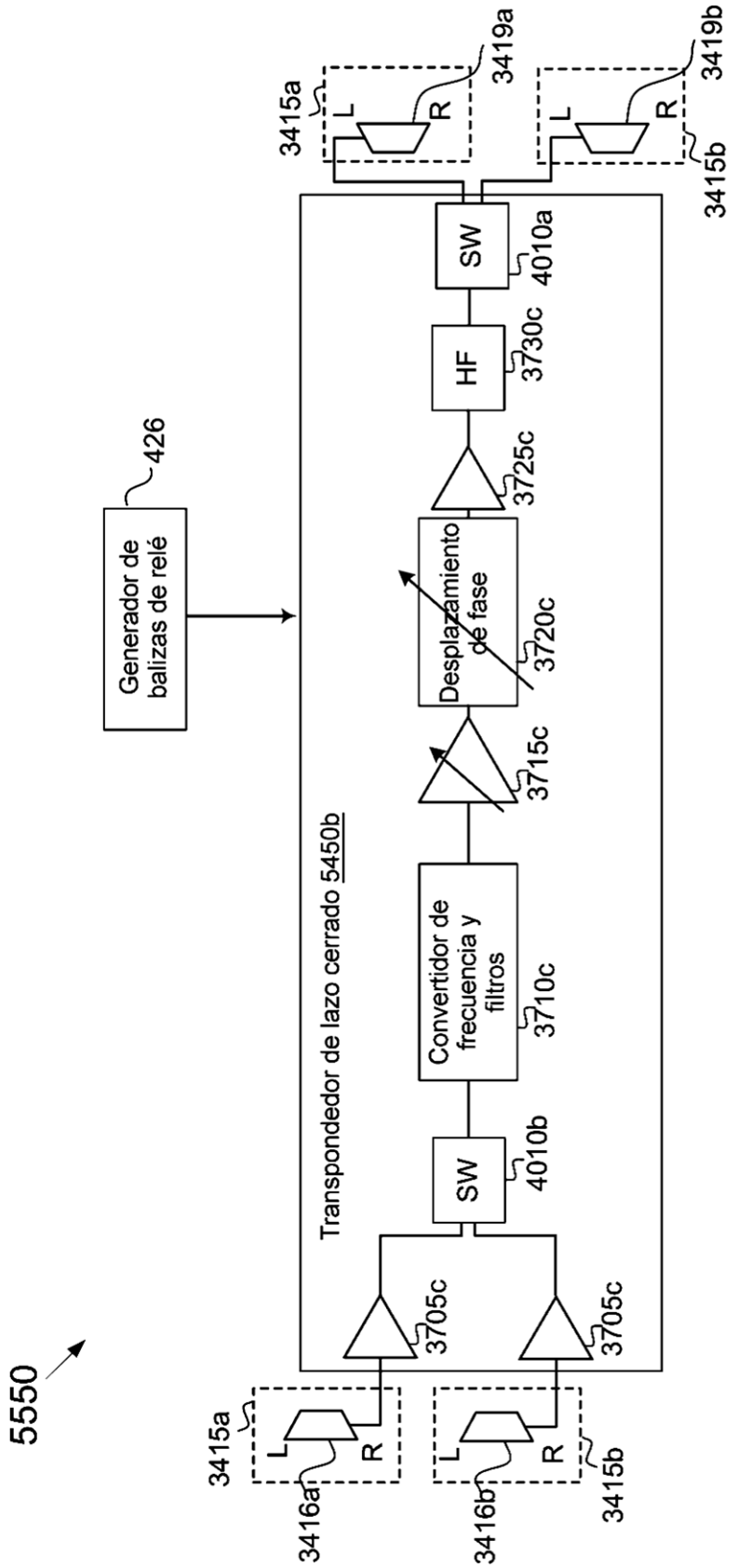
5550
3415a
L
R
3416a
3415a
L
R
3416b
3415b
3415b
Transpondedor de lazo cerrado 5450b
3705c
3705c
SW
4010b
Convertidor de frecuencia y filtros
3710c
3715c
Desplazamiento de fase
3720c
3725c
HF
3730c
SW
4010a
3415a
L
R
3419a
3415b
L
R
3419b
Generador de balizas de relé
426

FIG. 55B

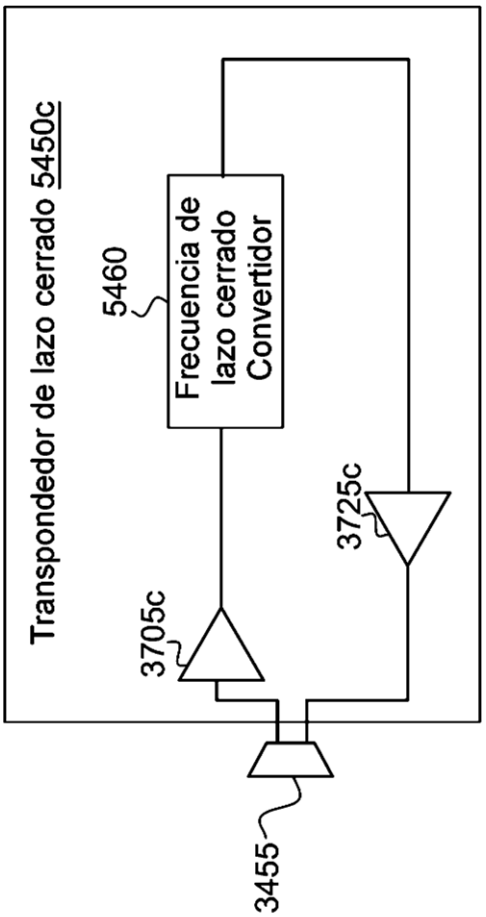
Transpondedor de lazo cerrado 5450c
5460
Frecuencia de lazo cerrado Convertidor
3705c
3725c
3455

FIG. 55C

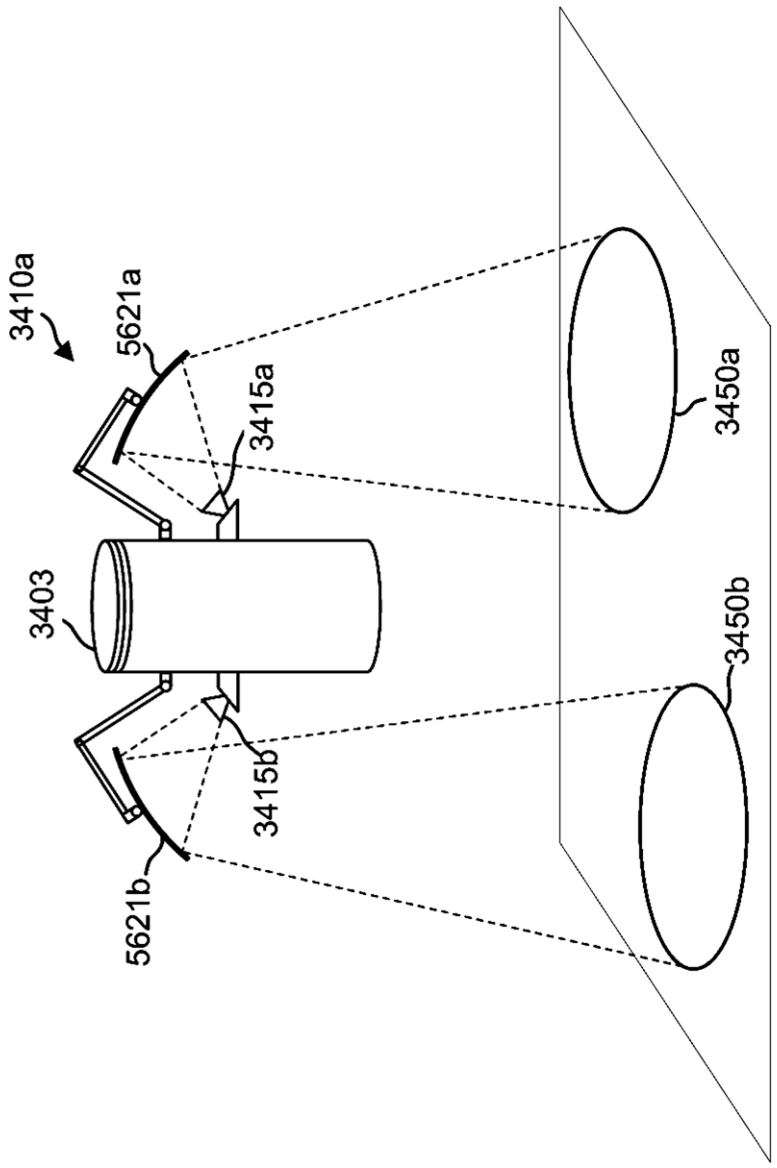


FIG. 56A

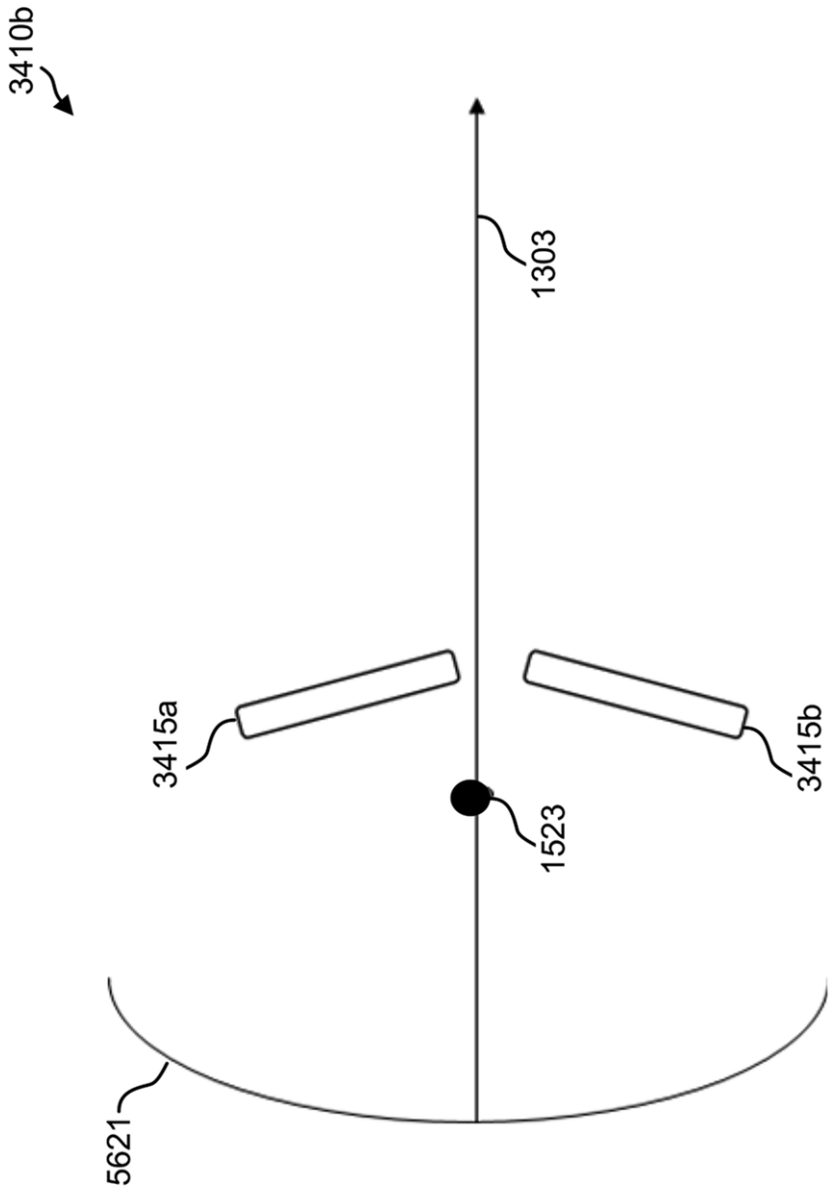


FIG. 56B

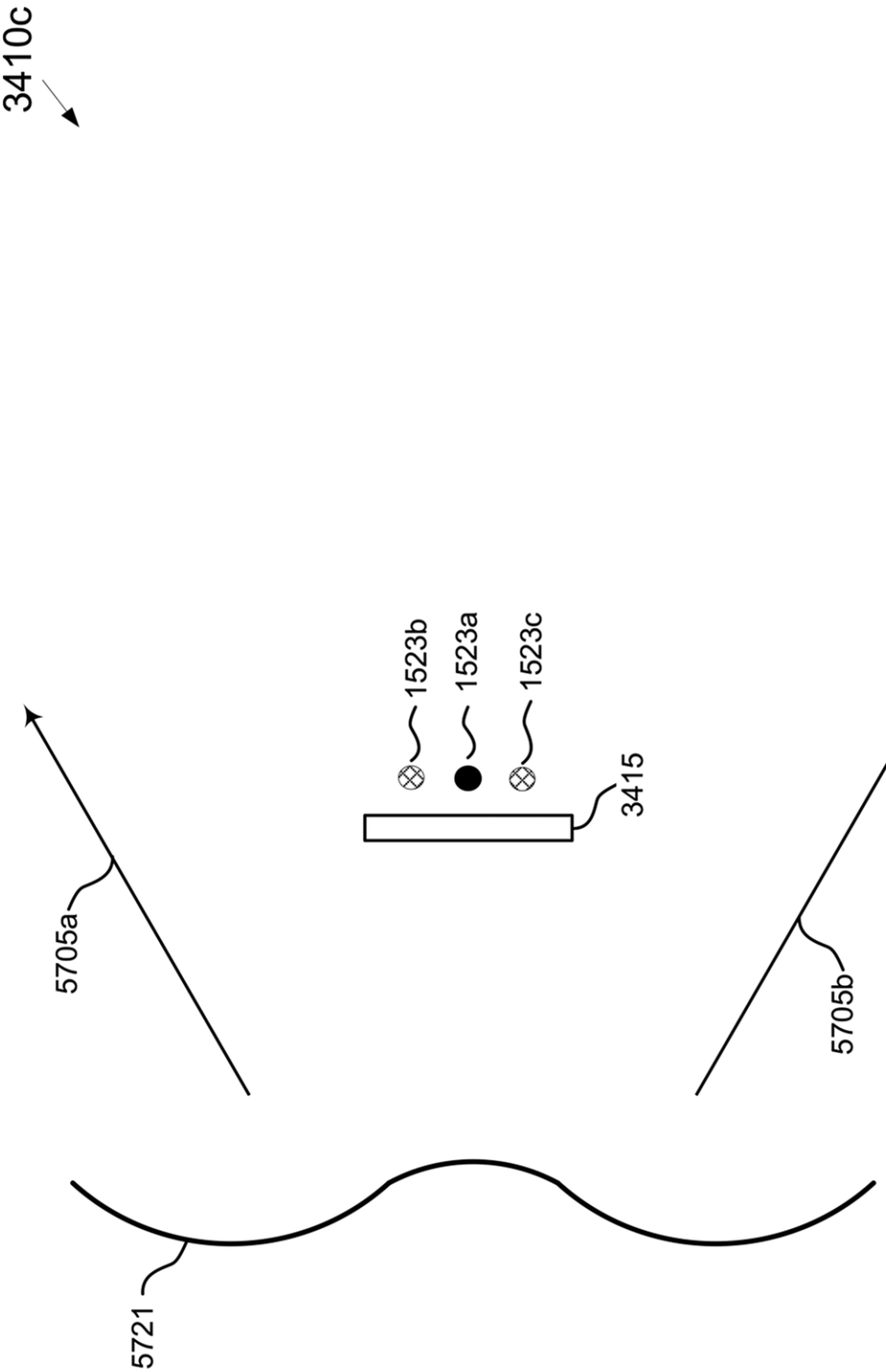


FIG. 57

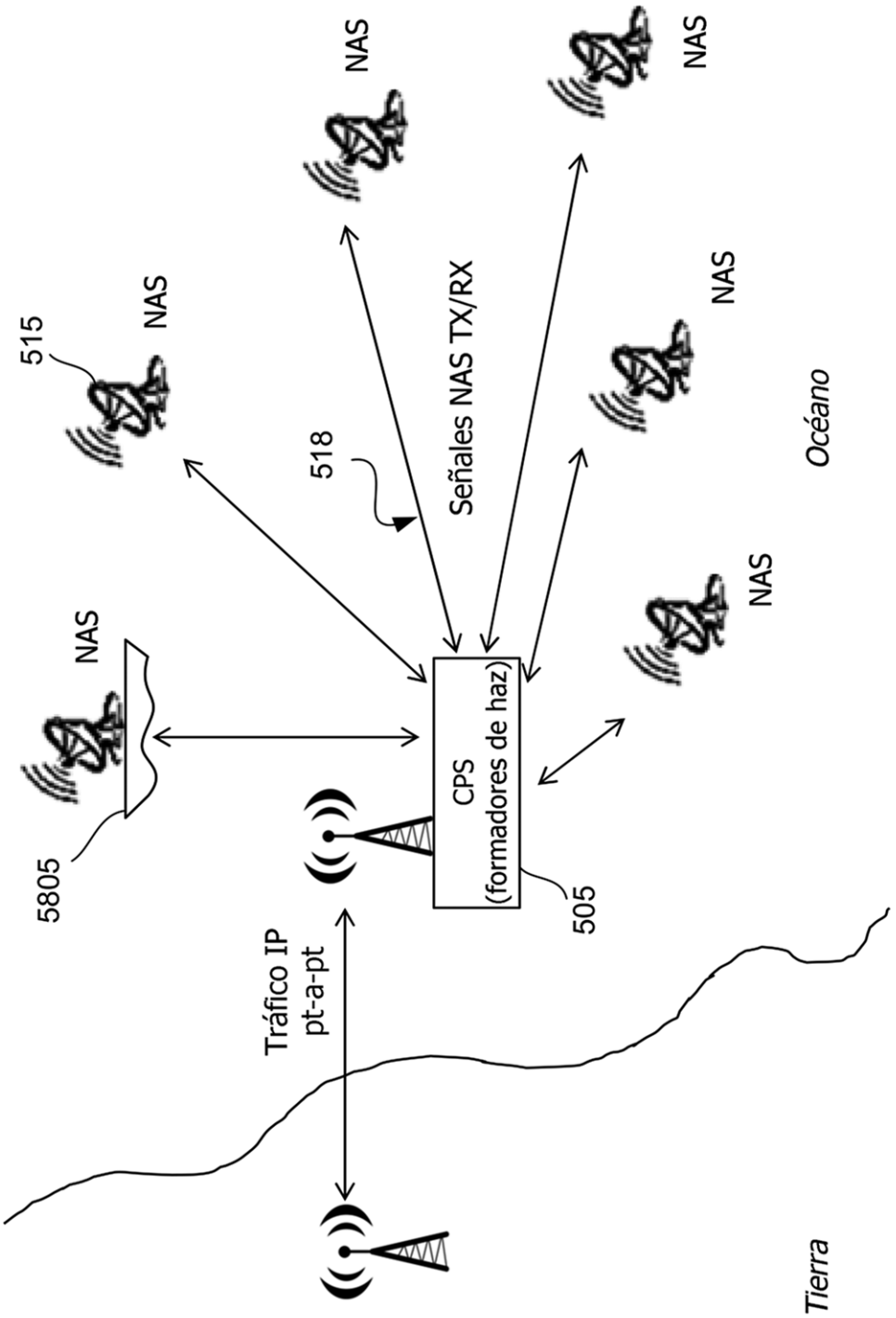
NAS
NAS
NAS
NAS
NAS
NAS
515
518
Señales NAS TX/RX
5805
CPS
(formadores de haz)
505
Tráfico IP
pt-a-pt
Océano
Tierra

FIG. 58

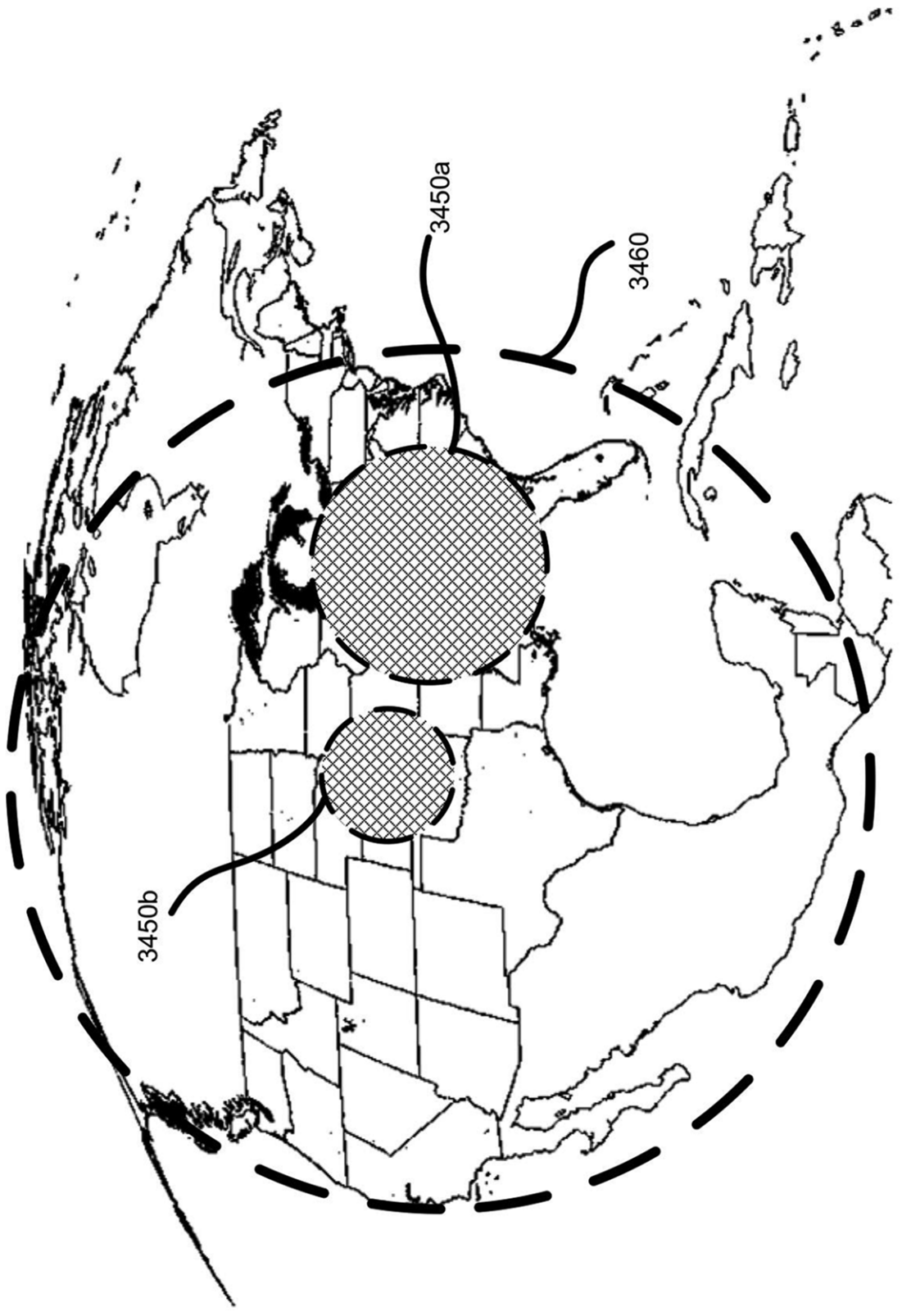


FIG. 59A

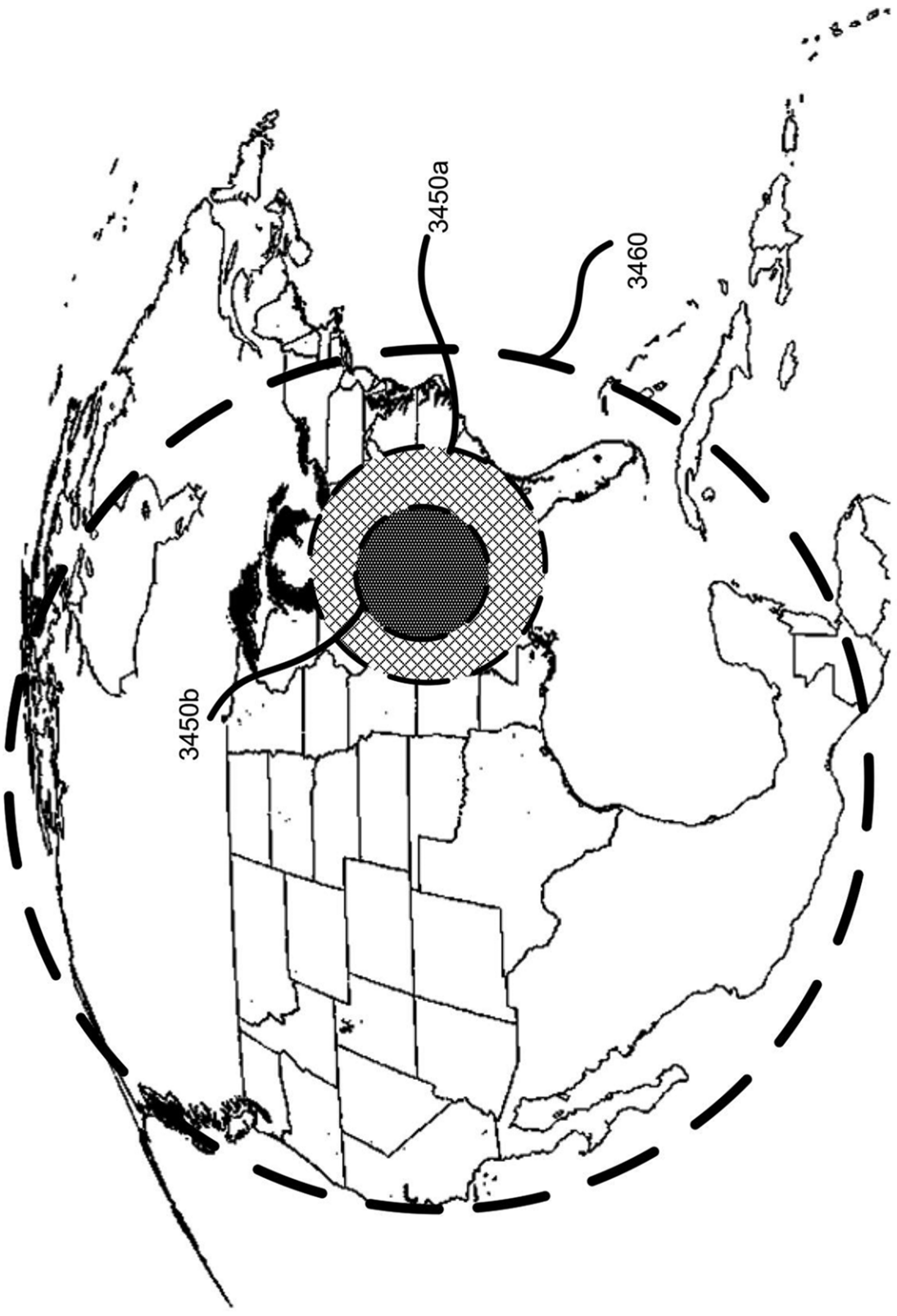


FIG. 59B

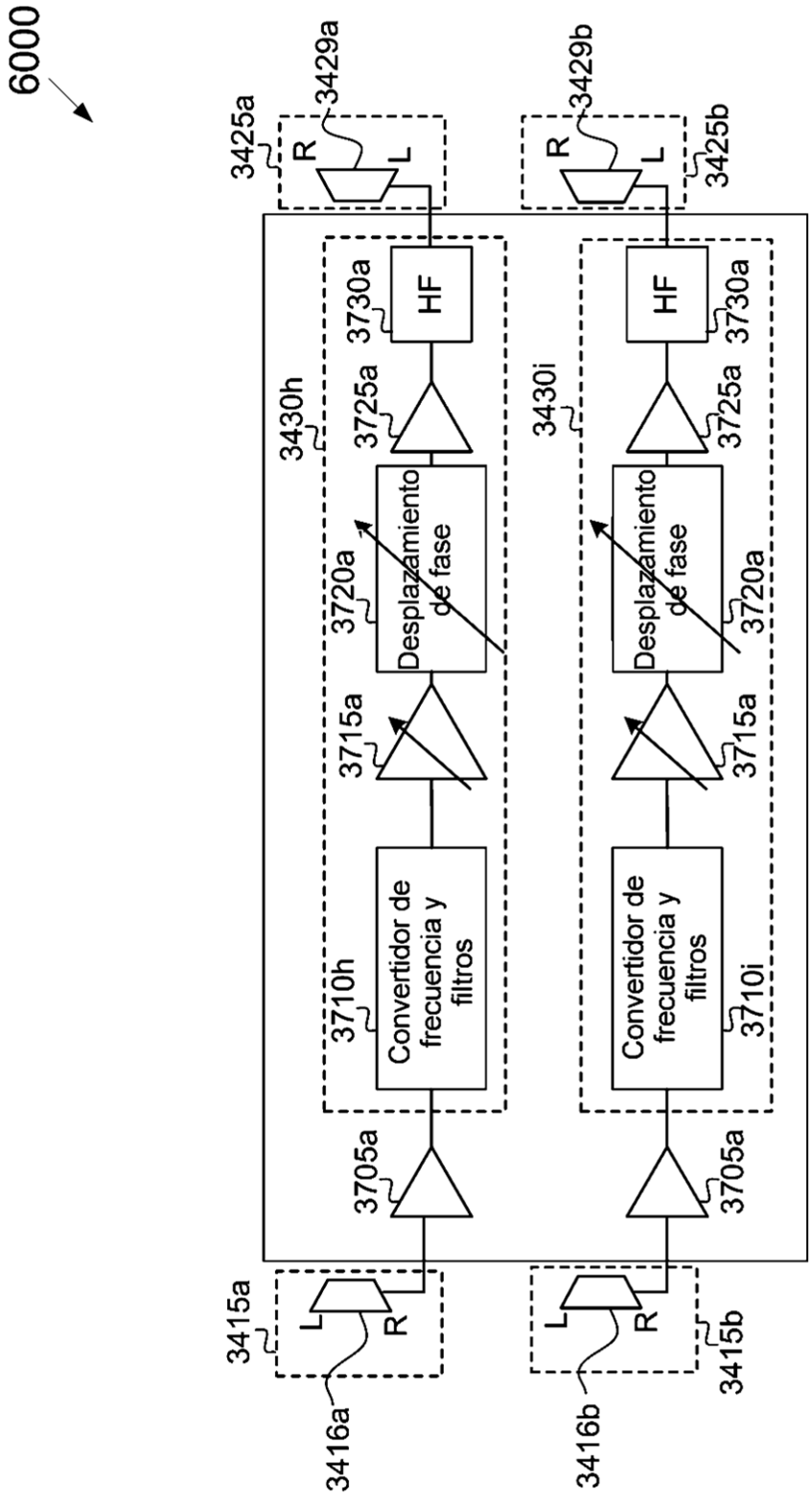
6000
3425a
3429a
R
L
3429b
3425b
3430h
3430i
3730a
HF
3725a
3720a
Desplazamiento de fase
3715a
3710h
3710i
Convertidor de frecuencia y filtros
3705a
3415a
3415b
3416a
3416b

FIG. 60A

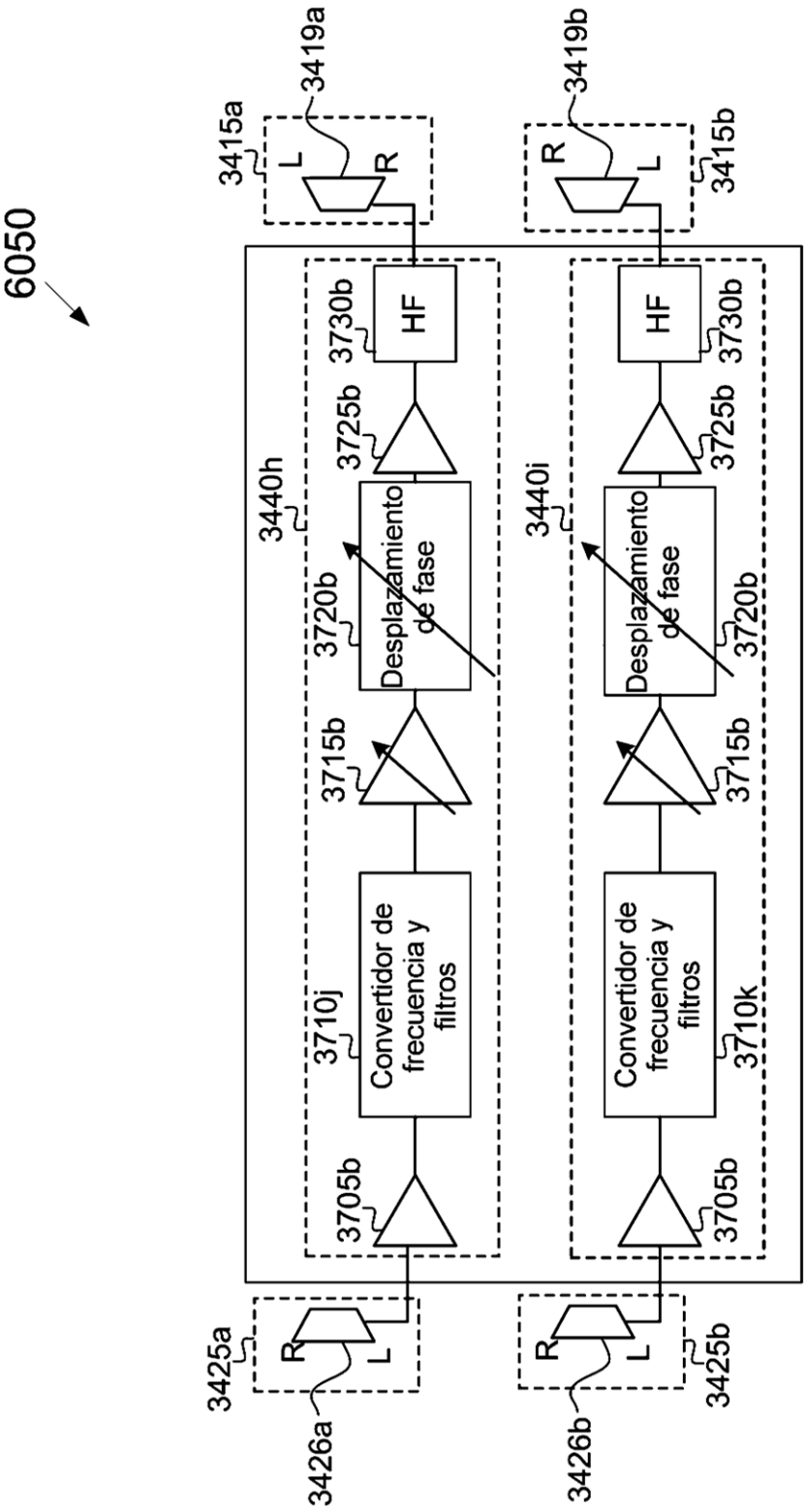
6050
3415a
3419a
L
R
3415b
3419b
R
L
3440h
3440i
3730b
HF
3725b
Desplazamiento de fase
3720b
3715b
3710j
Convertidor de frecuencia y filtros
3710k
3705b
3425a
3426a
3425b
3426b

FIG. 60B

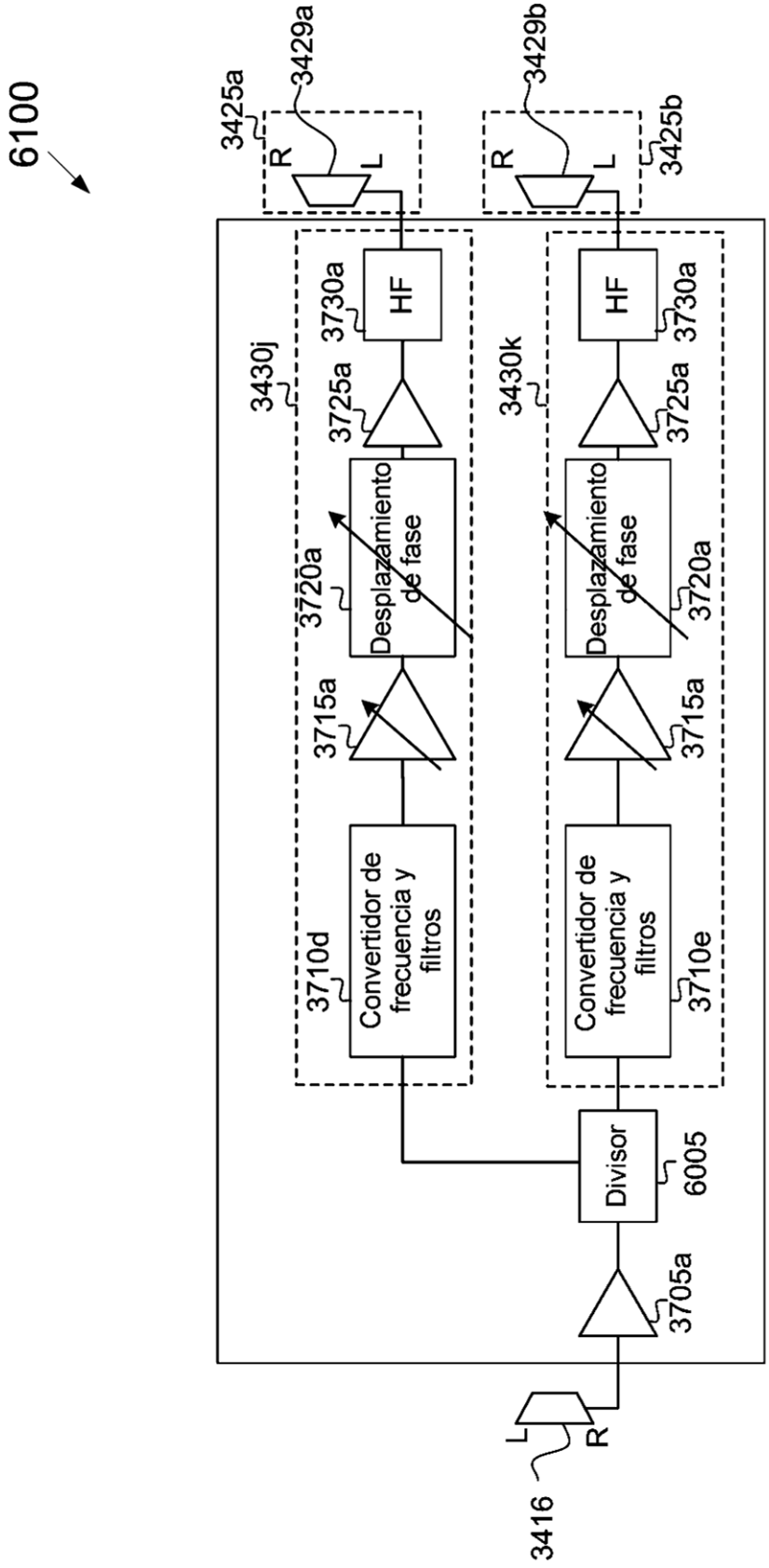
6100
3425a
3429a
R
L
3429b
3425b
3430j
3430k
HF
3730a
3725a
Desplazamiento de fase
3720a
3715a
Convertidor de frecuencia y filtros
3710d
3710e
Divisor
6005
3705a
3416

FIG. 61A

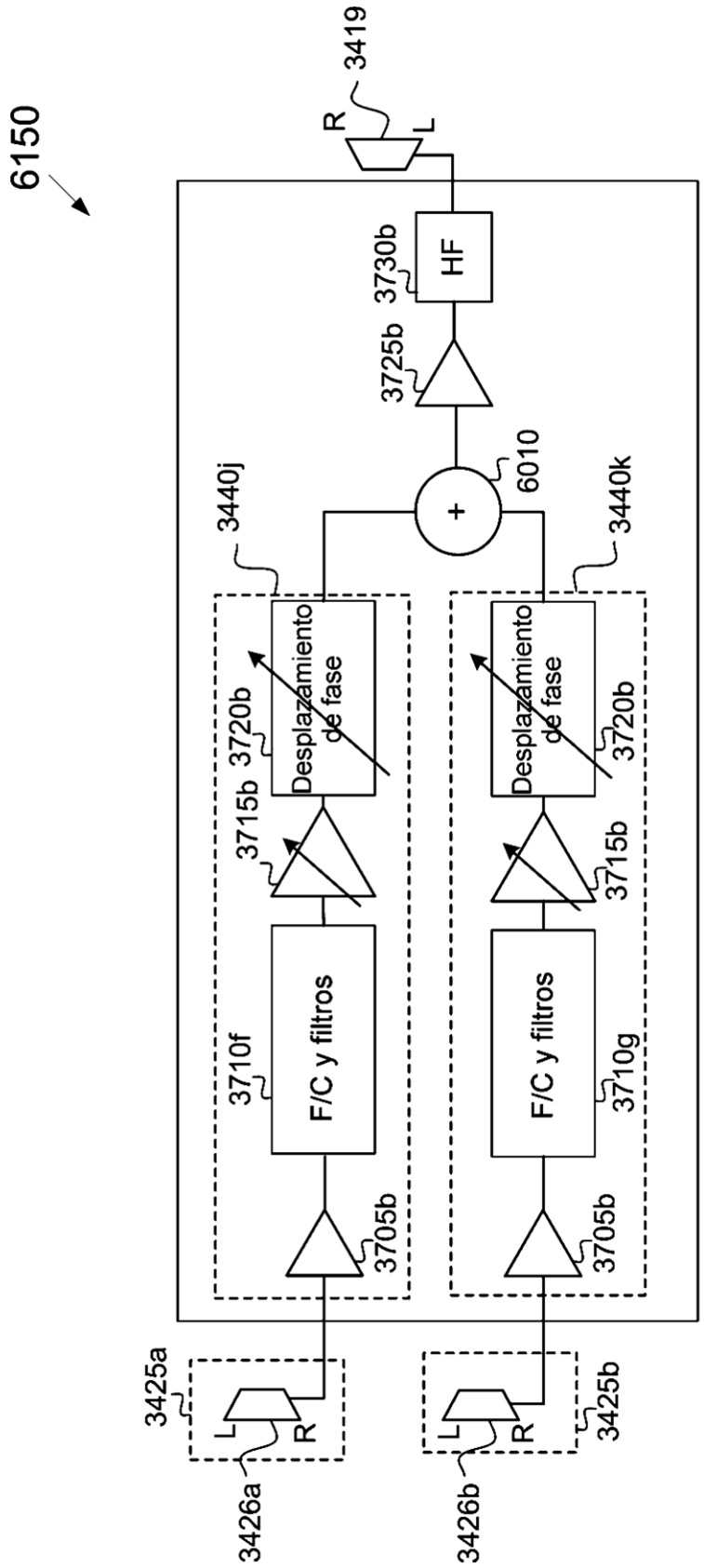
6150
3419
R
L
3730b
HF
3725b
6010
+
3440j
3440k
Desplazamiento de fase
3720b
3715b
F/C y filtros
3710f
3710g
3705b
3425a
3425b
3426a
3426b

FIG. 61B

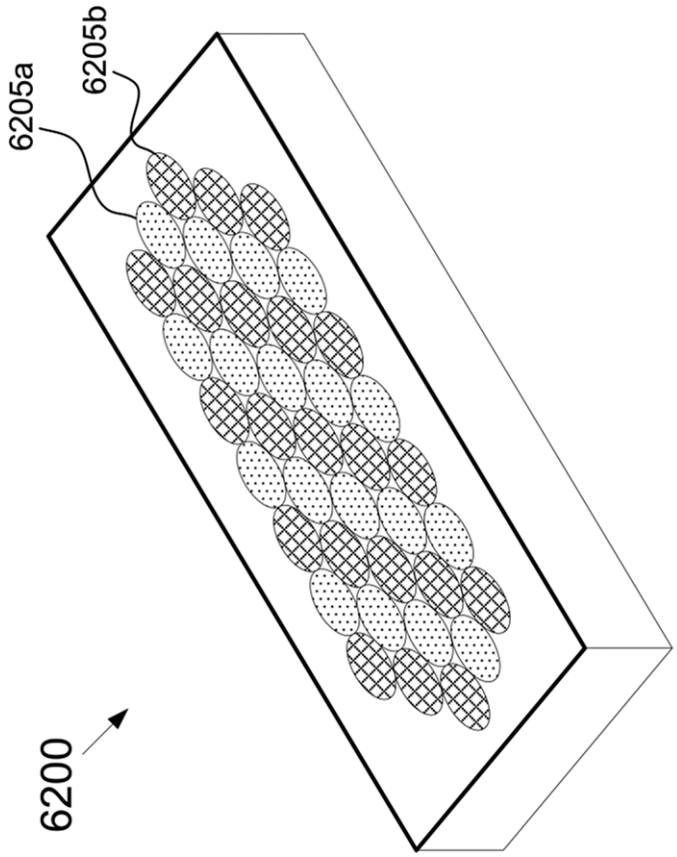


FIG. 62

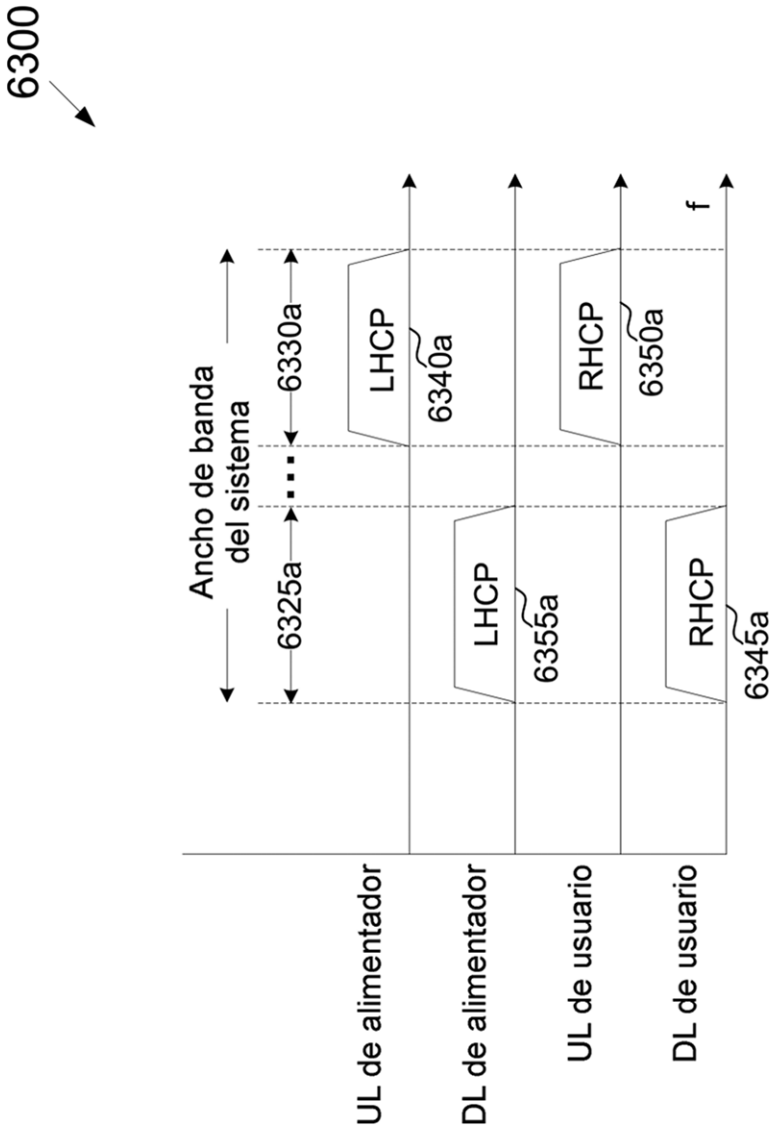
6300
Ancho de banda del sistema
6325a
6330a
LHCP
6340a
LHCP
6355a
RHCP
6350a
RHCP
6345a
UL de alimentador
DL de alimentador
UL de usuario
DL de usuario
f

FIG. 63A

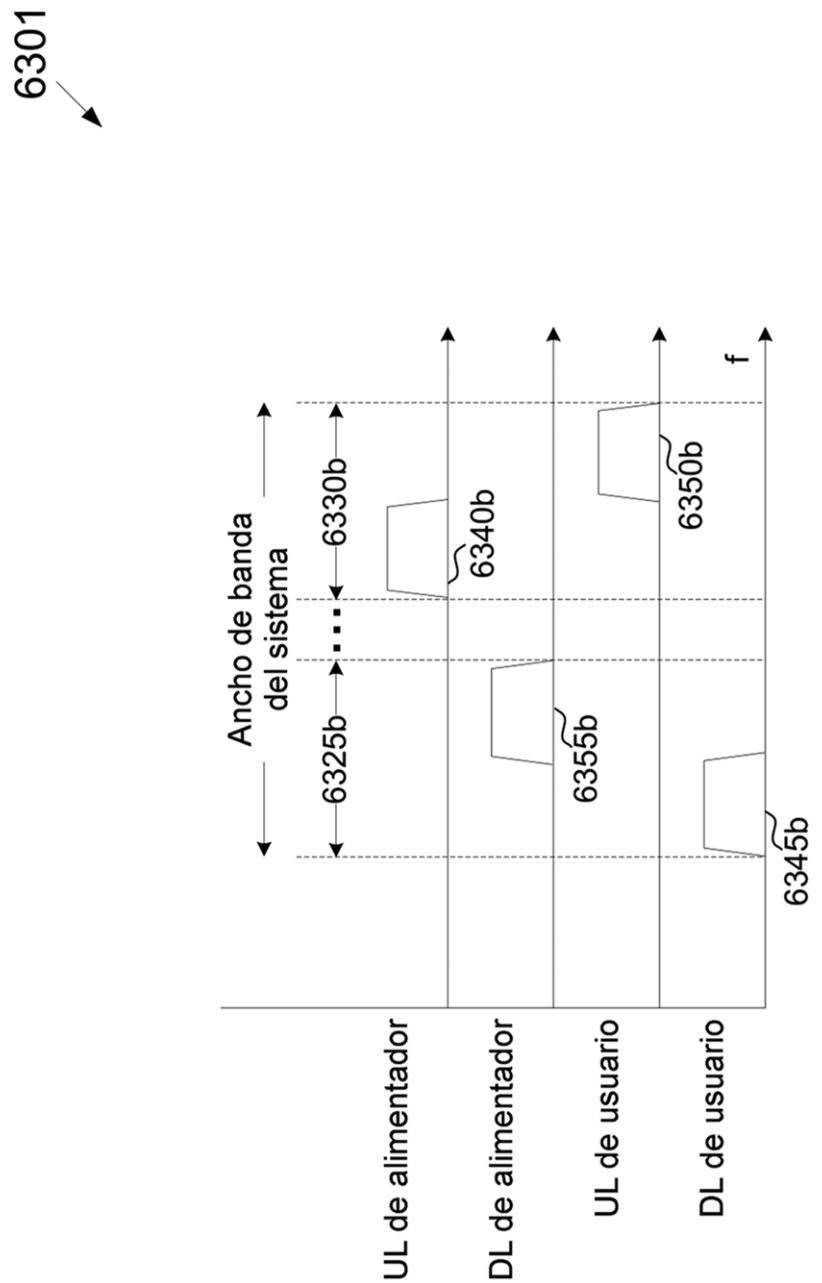
6301
Ancho de banda del sistema
6325b
6330b
6340b
6355b
6345b
6350b
f
UL de alimentador
DL de alimentador
UL de usuario
DL de usuario

FIG. 63B

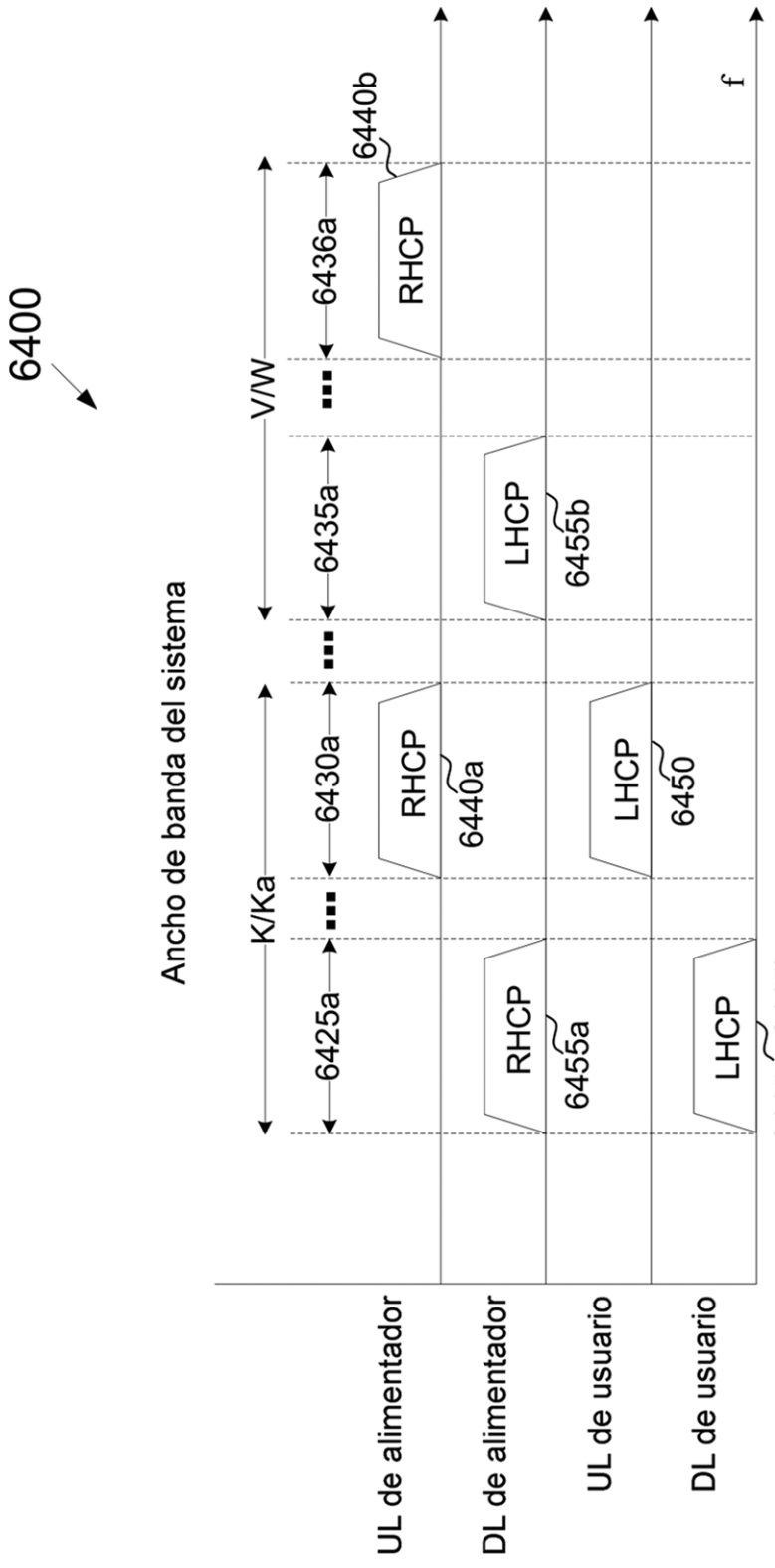
6400
Ancho de banda del sistema
K/Ka
V/W
6425a
6430a
6435a
6436a
6440b
RHCP
6440a
LHCP
6455b
RHCP
6455a
LHCP
6450
LHCP
6445a, 6445b
UL de alimentador
DL de alimentador
UL de usuario
DL de usuario
f

FIG. 64A

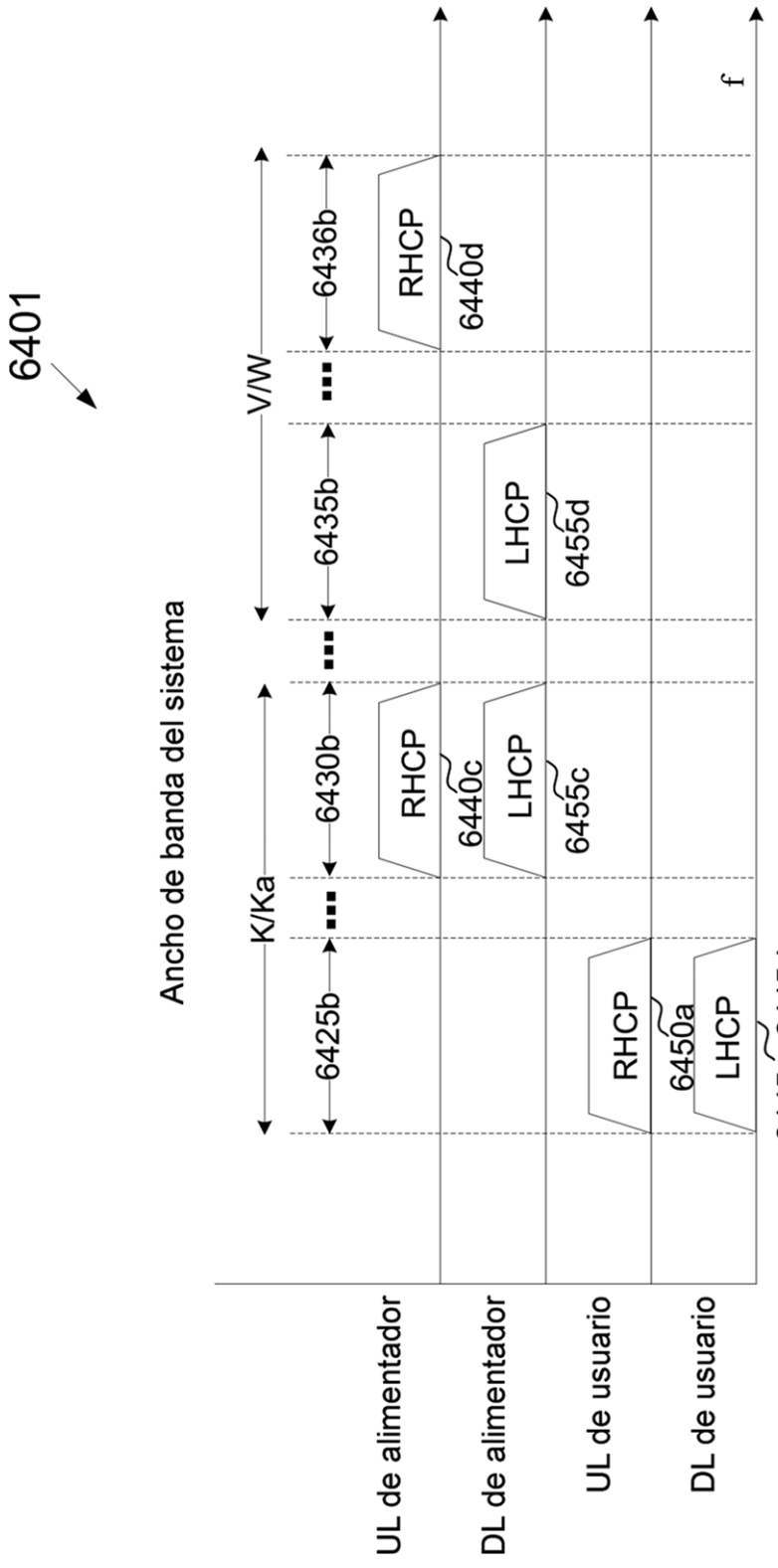
6401
Ancho de banda del sistema
K/Ka
V/W
6425b
6430b
6435b
6436b
RHCP
6440c
LHCP
6455c
RHCP
6440d
LHCP
6455d
RHCP
6450a
LHCP
6445c, 6445d
UL de alimentador
DL de alimentador
UL de usuario
DL de usuario
f

FIG. 64B

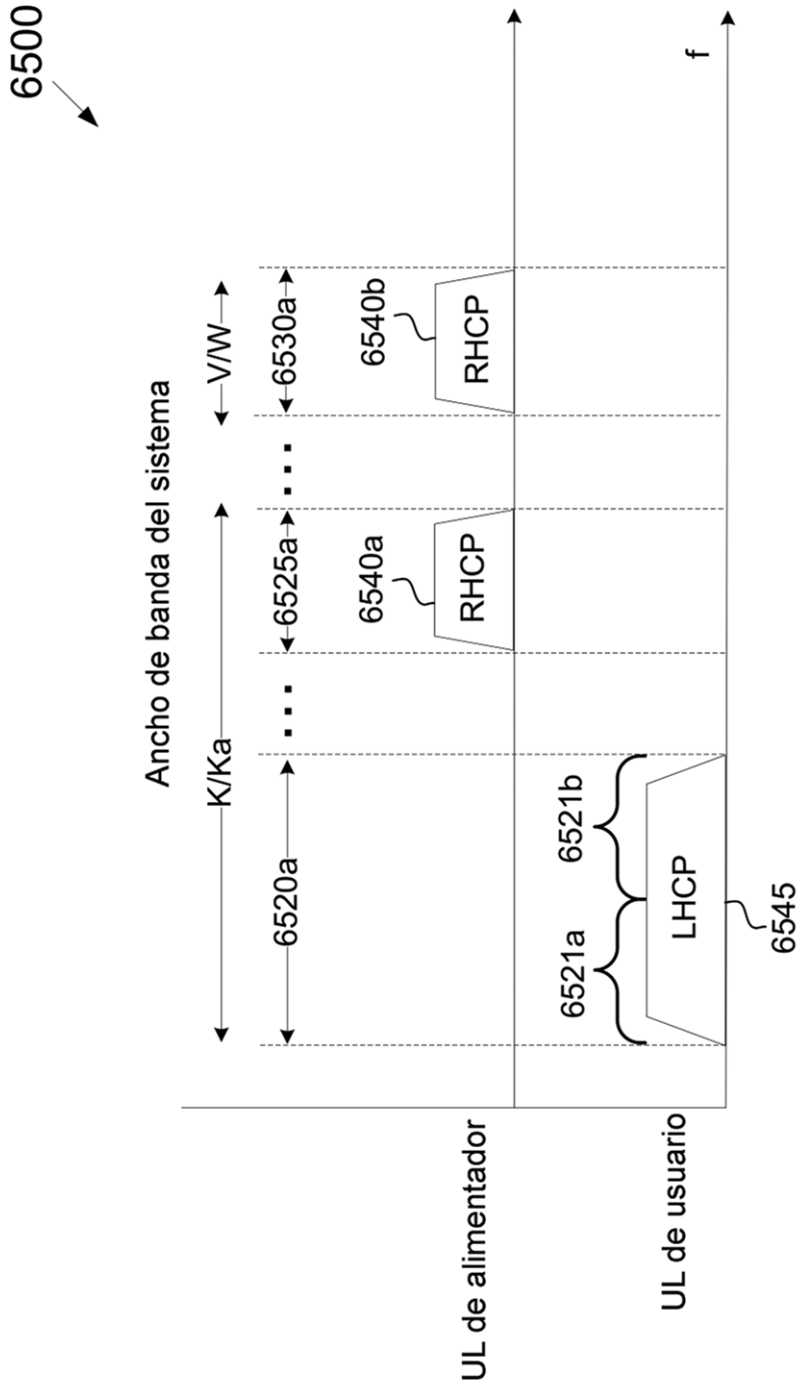
6500
Ancho de banda del sistema
K/Ka
V/W
6520a
6525a
6530a
6540a
6540b
RHCP
RHCP
6521a
6521b
LHCP
6545
UL de alimentador
UL de usuario
f

FIG. 65A

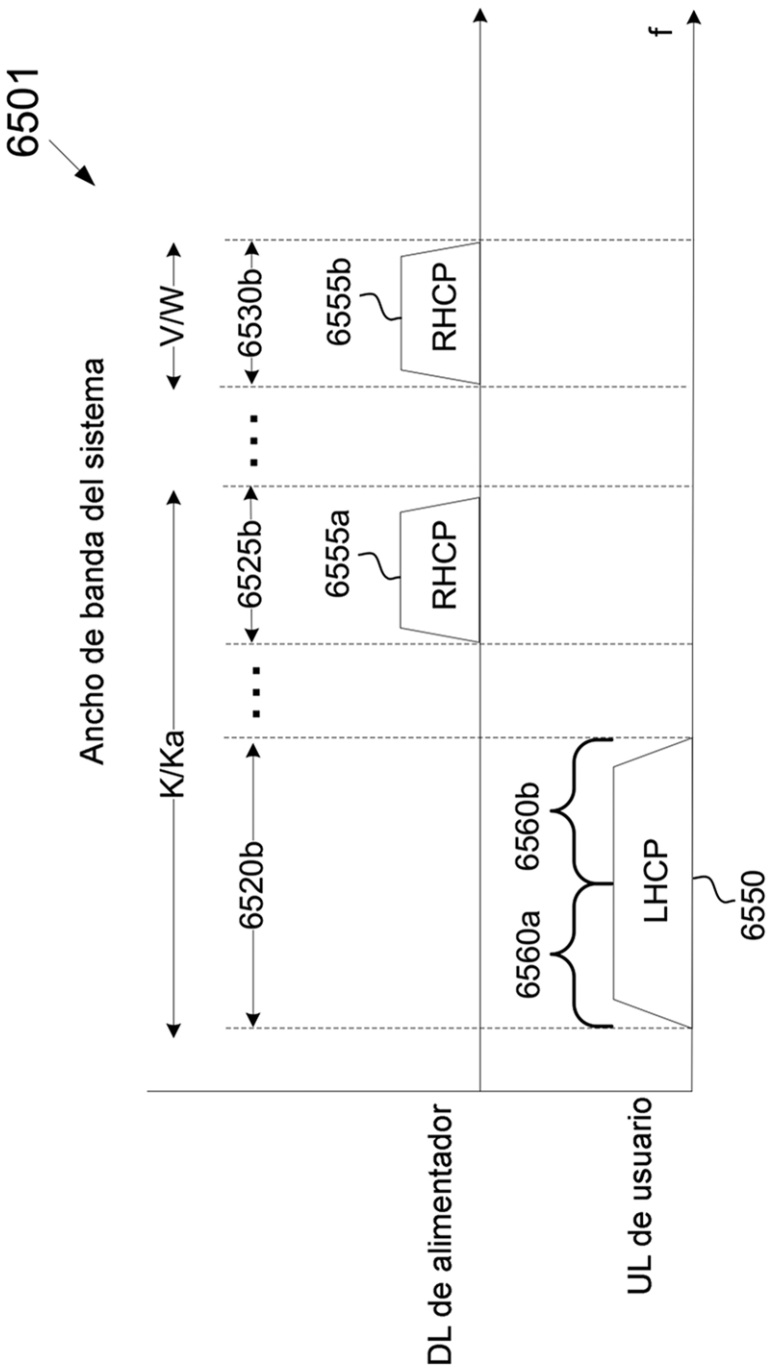
6501
Ancho de banda del sistema
K/Ka
V/W
6520b
6525b
6530b
6555a
6555b
RHCP
RHCP
6560a
6560b
LHCP
6550
DL de alimentador
UL de usuario
f

FIG. 65B

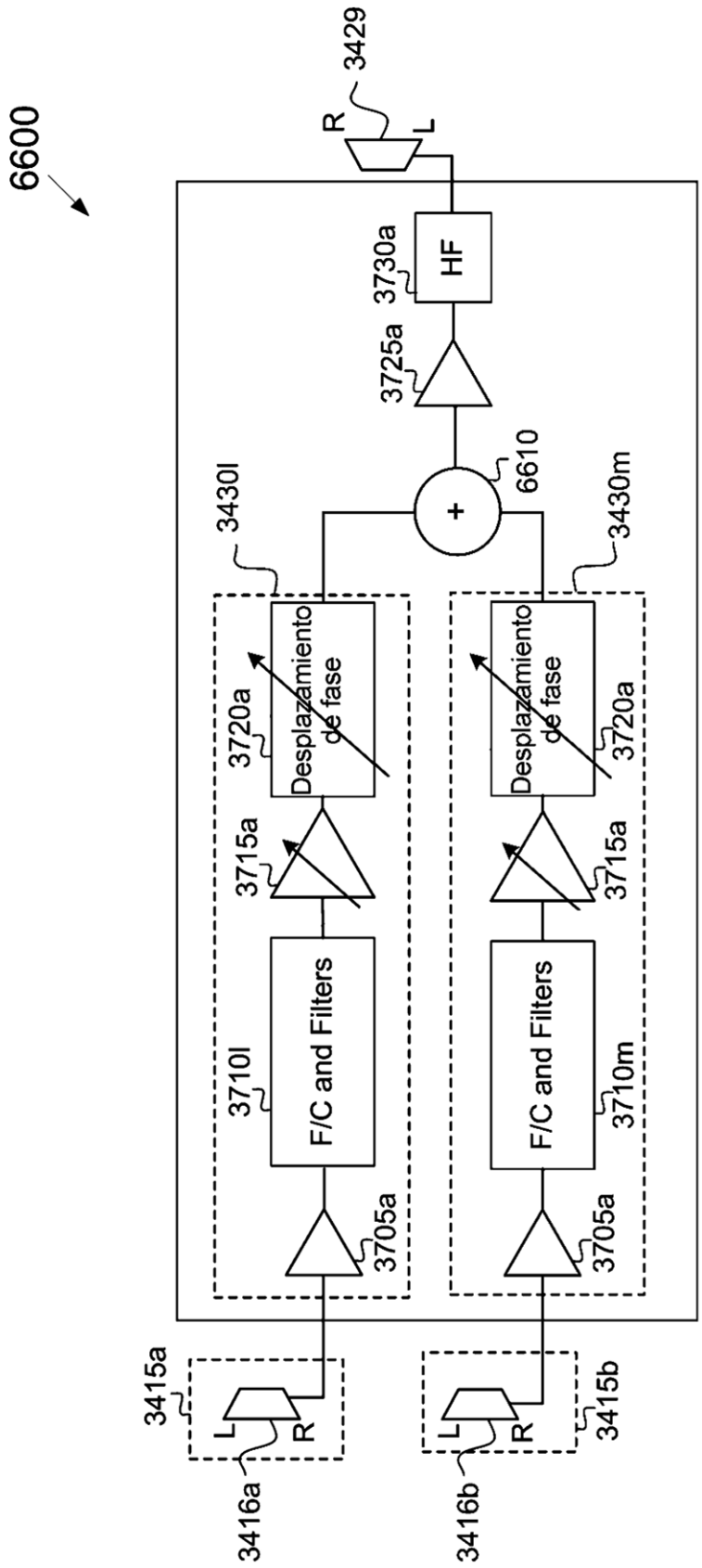
6600
3429
R
L
3730a
HF
3725a
6610
+
3430l
3430m
3720a
Desplazamiento de fase
3715a
3710l
3710m
F/C and Filters
3705a
3415a
3415b
3416a
3416b

FIG. 66A

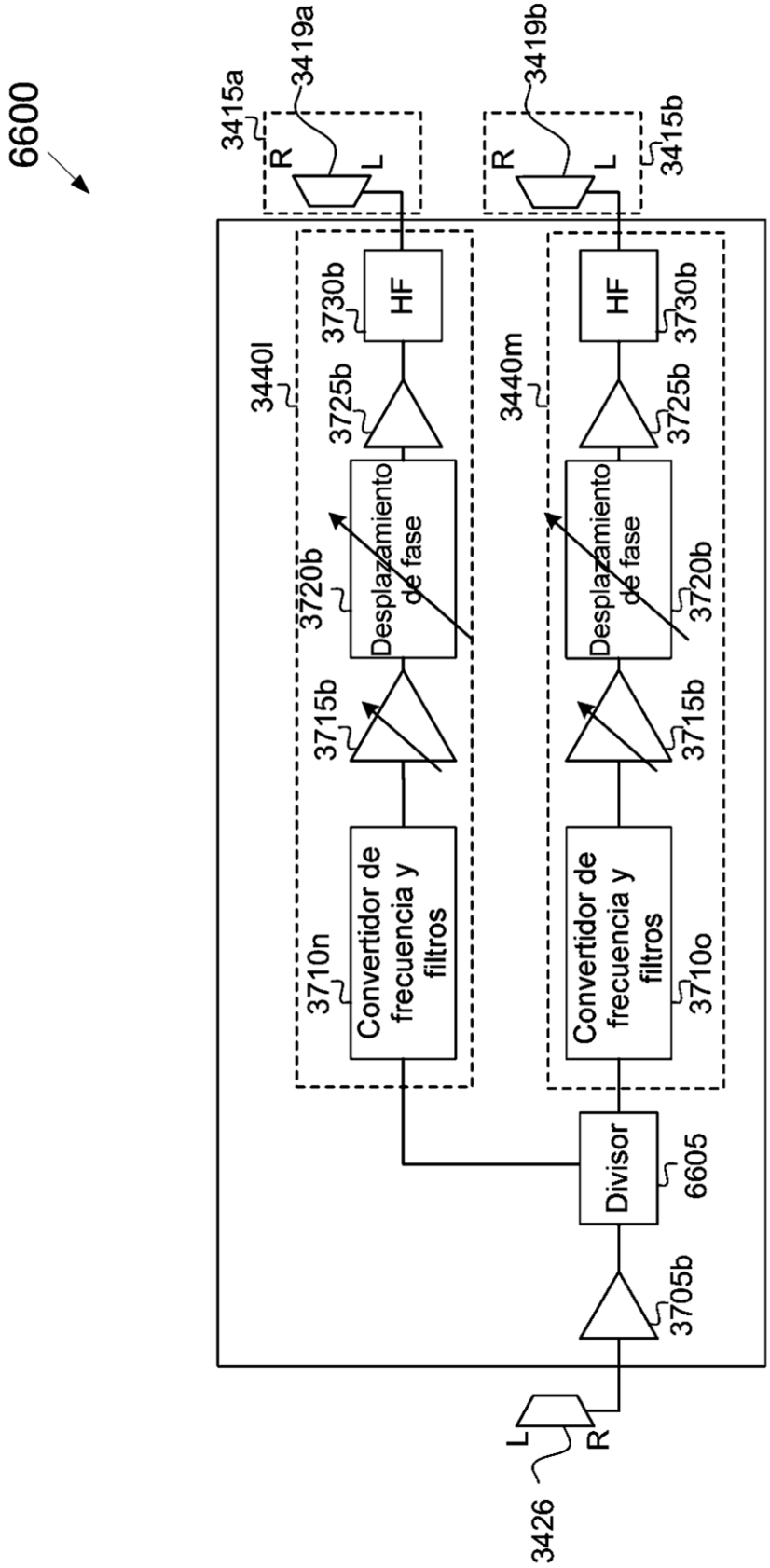
6600
3415a
3419a
R
L
3419b
3415b
3440l
3440m
3730b
HF
3725b
3720b
Desplazamiento de fase
3715b
3710n
Convertidor de frecuencia y filtros
3710o
Divisor
6605
3705b
3426

FIG. 66B