

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 688 662**

51 Int. Cl.:

H04B 7/185 (2006.01)

H04B 7/204 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.02.2011 E 11153191 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.07.2018 EP 2451088**

54 Título: **Áreas de cobertura flexible para señales de enlace directo en un sistema de comunicación vía satélite de haces puntuales**

30 Prioridad:

03.02.2010 US 301164 P
02.02.2011 US 201113019842
02.02.2011 US 201113019841

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
06.11.2018

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

MILLER, MARK J.

74 Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

ES 2 688 662 T3

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

DESCRIPCIÓN

Áreas de cobertura flexible para señales de enlace directo en un sistema de comunicación vía satélite de haces puntuales

5 **Campo de la invención**

La presente invención generalmente se refiere a sistemas de comunicación vía satélite. La presente invención se refiere, especialmente, a métodos y aparatos para proporcionar distribución dinámica de potencia para señales de enlace directo en un satélite de haces puntuales.

10

Antecedentes

Los satélites de haces puntuales son eficaces para la transmisión y recepción de datos unidifusión y multidifusión. En los satélites típicos de haces puntuales, se usan muchos haces puntuales más pequeños para ofrecer cobertura para un área mayor que se define por la unión de las áreas cubiertas por cada uno de los haces puntuales más pequeños. Se representa un ejemplo en las Figs. 1A a 1C, que muestran cómo un número de haces puntuales, tal como el haz puntual individual 102, proporciona una cobertura del satélite en una gran área 104 de cobertura.

15

20

25

30

La Fig. 2 representa un diagrama simplificado de un enlace directo de un típico sistema por satélite de haces puntuales transparentes mediante el uso de una arquitectura de modelo radial. El hardware representado conecta un haz 224 de usuario (o haz puntual) a un terminal 207 de puerta de enlace (GW) en un haz 208 de GW. El terminal 207 de GW transmite datos a través de un satélite 206 a una pluralidad de terminales del usuario (UT) 226 en el haz 224 del usuario. El satélite 206 en este ejemplo está simplificado, pero muestra elementos clave de la ruta de una señal de enlace directo que incluye una antena 212 de recepción (Rx), un amplificador 214 de bajo ruido (LNA), un convertidor 216 de frecuencia, un amplificador 218 de alta potencia (HPA), y una antena 220 de transmisión (Tx). Muchos UT 226 pueden funcionar en el mismo haz 224 de usuario y recibir datos de una sola señal de transmisión de GW 210 por medio de la multiplexación de los datos en una sola señal 222 descendente integrada (p. ej., la multiplexación de división del tiempo (TDM), multiplexación de división de frecuencia (FDM), y similares). Normalmente, cada UT solamente procesa los datos en el flujo que se dirige a sí mismo. Un satélite normal 206 puede tener una serie de estos conjuntos de hardware de rutas que conecta una cantidad de GW a un número de haces del usuario.

35

40

Algunos satélites convencionales de haces puntuales reemplazan el HPA 218 que se muestra en la Fig. 2 con un amplificador de multipuerto (MPA). Como se muestra en la FIG. 3, un MPA puede incluir una matriz híbrida (HM) 332, HPA 318a, 318b, 318N y una matriz 334 híbrida inversa. Esta configuración puede proporcionar un HPA de mayor potencia mediante el uso de varios HPA 318a, 318b, 318 N en paralelo. Cuando se usa de esta manera, se aplica una señal de entrada $s(t)$ a un puerto de entrada, y se terminan todas las otras entradas (sin señal de entrada). La señal de salida $y(t)$ está presente en el primer puerto de salida, y todos los demás puertos se terminan prácticamente sin ninguna señal existente. La motivación es hacer un HPA de alta potencia al combinar N HPA. En esta configuración, se puede utilizar el MPA para aumentar la potencia de transmisión a un solo haz del usuario.

45

Otro uso convencional de un MPA se representa en la Fig. 4, que muestra un HM 432, HPA 418a, 418b, 418 N y una matriz 434 híbrida inversa. Según se muestra en esta figura, las señales de entrada $N s_1(t)..s_N(t)$ son flujos de datos diferentes con el contenido de cada flujo dirigido para diferentes conjuntos de UT en diferentes haces puntuales. Las señales de entrada $s_1(t)..s_N(t)$ pueden originarse, por ejemplo, desde diferentes terminales de GW. Las señales de salida $y_1(t)..y_N(t)$ son versiones amplificadas de las señales de entrada. Se proporciona un contenido de datos diferente en cada uno de los haces N . En esta configuración, el MPA puede usarse para compartir la potencia de transmisión total entre los distintos haces de usuarios.

50

55

Un único haz 224 de usuario, como se muestra en la Fig. 2, por lo general, cubre un pequeño subconjunto de un área de cobertura deseada. Muchos haces del usuario se emplean de una manera similar a la representada en la Fig. 1 para ofrecer servicio a una mayor área de cobertura. Un GW atiende a cada uno de los haces del usuario, y el mismo GW puede atender a una serie de haces del usuario mediante el uso de frecuencias y/o polarizaciones diferentes. El área total de cobertura es la unión de las áreas cubiertas por los haces individuales del usuario. Esta área de cobertura es la región en donde el servicio del satélite se puede ofrecer a los clientes. Esta área de cobertura se fija y se selecciona durante un proceso de diseño del satélite.

60

El documento EP 1 906 557 A1 describe un sistema de carga útil para satélites en donde se proporciona una pluralidad de dispositivos del transpondedor, donde cada uno de los cuales comprende una sección de entrada que incluye un sistema de antena de enlace ascendente, un sistema del amplificador de bajo ruido, un sistema del convertidor y una sección de salida que incluye un sistema del filtro de entrada, un sistema del amplificador de alta potencia, un sistema del filtro de salida y un sistema de antena de enlace descendente. En estos sistemas, los transpondedores comparten su sistema de amplificador de alta potencia y los amplificadores de alta potencia cuentan con una potencia máxima menor que la potencia total que la carga útil puede transmitir.

65

En "IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES", vol. 54, n.º 12, diciembre de 2006: Arquitectura basada en amplificador de multipuerto en comparación con la arquitectura clásica para las cargas

útiles de telecomunicación en el espacio, Alain Mallet et. al. un amplificador de multipuerto para la sección de potencia de cargas útiles de telecomunicación en el espacio con requisitos de flexibilidad de potencia. En este estudio, se compara una arquitectura basada en MPA con una arquitectura de amplificación clásica en base a un modelo estático y un entorno realista. En el estudio, se usa un MPA de 4 x 4 con división de señal en la entrada del MPA y combinación de señal en la salida, en donde las señales tienen una relación de fase particular.

El diseño, lanzamiento, la adquisición, construcción y prueba del satélite es un proceso largo. Este proceso, por lo general, demora hasta cuatro años o más. El área de cobertura debe especificarse al inicio de este proceso. En muchos casos, el área de cobertura deseada no se conoce bien en estas etapas iniciales de diseño del satélite. Se debe realizar una suposición fundamentada respecto a cuáles podrían ser las mejores áreas de cobertura. En caso de elegirla de forma incorrecta, puede seleccionarse un área de cobertura que tenga pocos clientes potenciales. Esto claramente representa una consecuencia no deseable.

Este problema se complica aún más debido a la larga vida útil operacional de los satélites. Normalmente, los satélites tienen una vida útil operacional de 15 años o más. Durante este tiempo, las áreas objetivo de servicios pueden cambiar radicalmente. Esto puede ocurrir debido al desarrollo de la infraestructura de conexión a tierra (p. ej., los circuitos integrados de la red inalámbrica y de fibra), la reutilización del satélite, el movimiento del satélite a una franja orbital diferente, y similares. Sin embargo, los haces puntuales del satélite y, por lo tanto, las áreas de cobertura, se fijan en la ubicación y, por lo general, no pueden modificarse a pesar de estos cambios.

Además, la carga ofrecida a diferentes haces puntuales puede variar considerablemente durante períodos de tiempo cortos. Por ejemplo, un sistema por satélite que cubre a los Estados Unidos continentales puede estar expuesto a horas de máxima utilización en la costa este que no corresponde a horas de máxima utilización en la costa oeste.

Por lo tanto, existe la necesidad de satélites de haces puntuales mejorados que permitan modificar la capacidad y las áreas de cobertura para ajustarse a las demandas de corto plazo y también a lo largo de toda la vida útil del satélite.

Resumen

Algunas realizaciones de la presente invención proporcionan métodos y aparatos para proporcionar áreas de cobertura flexibles y capacidad flexible para enlaces directos de un satélite de haces puntuales. Esto puede permitir que las áreas de cobertura se definan más adelante en el proceso de diseño y permite cambiar las áreas de cobertura y la capacidad durante la vida útil operacional del satélite.

De acuerdo con una realización de la invención, un método para distribuir la potencia de transmisión de una señal de enlace directo en un satélite de haces puntuales incluye recibir una señal de enlace directo desde una puerta de enlace, generando múltiples versiones de la señal de enlace directo, y descorrelacionando las múltiples versiones de la señal de enlace directo. El método también incluye atenuar de forma selectiva al menos una de las múltiples versiones de la señal de enlace directo y, después de la etapa de atenuación de forma selectiva, amplificar las múltiples versiones de la señal de enlace directo mediante el uso de un amplificador de multipuerto para generar múltiples señales amplificadas. El método también incluye transmitir las múltiples señales amplificadas a múltiples haces puntuales.

De acuerdo con otra realización de la invención, un método para distribuir la potencia de transmisión de una señal de enlace directo en un satélite de haces puntuales incluye recibir una señal de enlace directo desde una puerta de enlace, generando múltiples versiones de la señal de enlace directo, y retardando al menos una de las múltiples versiones de la señal de enlace directo. El método también incluye atenuar de forma selectiva al menos una de las múltiples versiones de la señal de enlace directo y, después de la etapa de atenuación de forma selectiva, amplificar las múltiples versiones de la señal de enlace directo mediante el uso de un amplificador de multipuerto para generar una o más señales amplificadas. La etapa de atenuación de forma selectiva puede utilizar valores de atenuación recibidos de una fuente lejos del satélite de haces puntuales después de haber lanzado el satélite de haces puntuales al espacio. El método también incluye transmitir la única o más de una señales amplificadas como uno o más haces puntuales.

De conformidad con otra realización de la invención, un satélite de haces puntuales configurado para permitir la distribución dinámica de potencia de transmisión a través de las señales de enlace directo incluye una antena configurada para recibir una señal de enlace directo desde una puerta de enlace, y un divisor de 1 a N configurado para generar múltiples versiones de la señal de enlace directo recibida de la puerta de enlace. El satélite de haces puntuales incluye, además, uno o más elementos de descorrelación configurados para descorrelacionar las múltiples versiones de la señal de enlace directo recibida de la puerta de enlace, y uno o más atenuadores configurados para atenuar las múltiples versiones de la señal de enlace directo recibida de la puerta de enlace. El satélite de haces puntuales también incluye un amplificador de multipuerto configurado para amplificar las múltiples versiones de la señal de enlace directo recibida de la puerta de enlace para generar una o más señales amplificadas, y un transmisor configurado para transmitir la única o más de una señales amplificadas como uno o más haces puntuales.

Gracias a la presente invención se pueden obtener numerosas ventajas con respecto a las técnicas convencionales. Por ejemplo, en una realización se introducen versiones retardadas y atenuadas de una señal a un amplificador de multipuerto. Esto permite la potencia de transmisión se distribuya a través de diferentes haces

puntuales. Las versiones de la señal pueden atenuarse con el uso de atenuadores programables. Esto permite que la potencia de transmisión se distribuya de forma dinámica a través de los diferentes haces puntuales. Dependiendo de la realización, pueden existir uno o más de estos beneficios. Estos y otros beneficios se describen a lo largo de toda la memoria descriptiva y especialmente a continuación.

5 **Breve descripción de los dibujos**

Una comprensión de la naturaleza y las ventajas de la presente invención puede llevarse a cabo mediante referencia a los siguientes dibujos. En los dibujos, los componentes o características similares pueden tener la misma etiqueta de referencia. Además, se pueden distinguir varios componentes del mismo tipo mediante la siguiente etiqueta de referencia con una segunda etiqueta que distingue entre los componentes similares. Si solo se utiliza la primera etiqueta de referencia en la memoria descriptiva, la descripción es aplicable a uno cualquiera de los componentes similares que tienen la misma etiqueta de referencia independientemente de la segunda etiqueta de referencia.

15 Las Figs. 1A a 1C son diagramas simplificados que muestran cómo un número de haces puntuales proporcionan cobertura del satélite en una gran área de cobertura;

la Fig. 2 representa un diagrama simplificado de un enlace directo de un típico sistema por satélite de haces puntuales transparentes mediante el uso de una arquitectura de modo radial;

20 la Fig. 3 representa un diagrama simplificado de un amplificador de multipuerto convencional usado para amplificar una sola señal;

la Fig. 4 representa un diagrama simplificado de otro amplificador de multipuerto convencional usado para amplificar varias señales;

25 la Fig. 5 representa un diagrama simplificado de un enlace directo de un satélite de haces puntuales de acuerdo con una realización de la invención;

30 la Fig. 6 representa un diagrama simplificado de una señal de enlace ascendente que incluye una única portadora de multiplexación por división de tiempo (TDM) que se descarga a una pluralidad de haces del usuario de conformidad con una realización de la invención;

35 la Fig. 7 representa un diagrama simplificado de una señal de enlace ascendente que incluye múltiples portadoras de multiplexación por división de frecuencia (FDM) que se descargan a una pluralidad de haces del usuario de conformidad con una realización de la invención; y

40 las Figs. 8A y 8B representan diagramas simplificados que ilustran los ajustes de la capacidad de los haces de conformidad con una realización de la presente invención.

Descripción Detallada

Algunas realizaciones de la presente invención proporcionan métodos y aparatos para proporcionar áreas de cobertura flexibles y capacidad flexible para enlaces directos de un satélite de haces puntuales. En una realización, por ejemplo, un amplificador de multipuerto usa versiones retardadas y atenuadas de una señal para distribuir de forma dinámica potencia de transmisión entre haces del usuario. Esto permite que la potencia de transmisión se distribuya entre los haces del usuario en cualquier proporción deseada.

45 La Fig. 5 representa un diagrama simplificado de un enlace directo de un satélite de haces puntuales de conformidad con una realización de la invención. Esta figura muestra un grupo de haces 524a N del usuario a 524N (donde, $N = 2, 3, \dots$) conectados a un terminal GW 507 en el haz de puerta de enlace 508 a través de un satélite 506. El satélite 506 en este diagrama está simplificado, pero muestra los componentes pertinentes a la descripción. En una realización, los haces 524a N del usuario, ... 524N pueden usar el mismo espectro. Los haces 524a N del usuario, ... 524N pueden formarse a través de la misma antena de transmisión vía satélite utilizando emisiones diferentes, o pueden formarse mediante diferentes antenas 520a de transmisión, ... 520N. Además, el tamaño de los reflectores usados para formar los haces N 524a, ... 524N y, por tanto, la directividad de la antena no necesita ser la misma para cada uno de los haces. Los haces 524a N del usuario, ... 524N forman un grupo de haces. La ubicación de cada uno de los haces en el grupo de haces se puede seleccionar y fijar durante la fase de diseño del satélite.

60 La señal 510 de enlace directo se origina en el terminal GW y el satélite 506 la recibe a través de la antena 512 de recepción. Después de la amplificación convencional de bajo ruido mediante el uso de un LNA 514 y la conversión de frecuencia mediante el uso de un convertidor 516 de frecuencia, la señal $s(t)$ se divide en copias N mediante un divisor 526 de potencia de 1: N . En una realización, los elementos 5281 de retardo, ... 528N se utilizan para decorrelacionar las entradas N a la matriz híbrida (HM) 532. Cada salida del divisor 526 de potencia se retrasa una cantidad D_n mediante el uso de elementos 528a de retardo, ... 528N y se atenúan una cantidad A_n mediante el uso de atenuadores programables 530a, ... 530N. En una realización alternativa, se pueden disponer

uno o más de los atenuadores programables 530a, 530N antes de los elementos 528a de retardo,... 528N de manera tal que las salidas del divisor 526 de potencia se atenúen por una cantidad A_n antes de que se retrasen por una cantidad D_n . Los valores para los atenuadores programables 530a,... 530N se pueden subir al satélite 506 mediante un enlace de comando que se origina desde una ubicación remota (p. ej., una estación de control). Un receptor de comando y un procesador de control (no se muestran) en el satélite 506 pueden recibir estos valores de atenuación y fijar los atenuadores programables 530a,... 530N respectivamente. Un valor de atenuación de $A_n=1$ puede no proporcionar atenuación de la señal y un gran valor de A_n puede proporcionar una gran atenuación de la señal. En la práctica, el valor D_1 no necesita estar presente (puede ser un retardo de cero). Los elementos D_2 a D_N proporcionan valores diferentes para descorrelacionar las entradas N a la HM 532. Se pueden usar otras técnicas para descorrelacionar las señales de conformidad con las realizaciones de la invención.

La HM 532 puede distribuir una señal desde un puerto de entrada a cada uno de sus puertos de salida que es del mismo nivel pero con diferente desplazamiento de fase. La señal en el puerto de salida de la HM 532 tiene contribuciones de la señal de entrada en cada puerto de entrada. Cuando las señales de entrada a la HM 532 no están correlacionadas, la potencia de salida de la HM 532 será la misma en cada puerto de salida para cualquier conjunto de señales N de entrada. Los retardos de entrada $D_1...D_N$ pueden seleccionarse para proporcionar una condición de entrada descorrelacionada. Las potencias de entrada a cada uno de los HPA 518a,... 518N serán iguales entre sí independientemente de los valores de atenuador seleccionados $A_1... A_N$. Los HPA 518a,... 518N proporcionan una ganancia y un desplazamiento de fase ajustados para cada una de las señales N de salida de la matriz híbrida. La matriz 534 híbrida inversa puede ser similar a la HM 532 en relación a que puede distribuir una señal desde un puerto de entrada a cada uno de los puertos de salida que es del mismo nivel pero con diferente desplazamiento de fase. Los desplazamientos de fase a través de la matriz 534 híbrida inversa se fijan con el fin de deshacer la codificación de las señales realizada por la HM 532.

Las realizaciones de la presente invención pueden distinguirse del uso convencional de los MPA ilustrados en las Figs. 3 y 4. En realizaciones de la presente invención, las señales se descorrelacionan a través de un procesamiento específico (p. ej., los elementos de retardo). Además, las realizaciones de la presente invención proporcionan el mismo contenido de datos a todas las entradas N del MPA en niveles ajustables. En comparación, en la configuración de la Fig. 3, las entradas del MPA pueden considerarse descorrelacionadas de forma automática ya que solo se aplica una señal a un puerto de entrada. De forma similar, en la configuración de la Fig. 4 las entradas $s_1(t)..s_N(t)$ pueden considerarse automáticamente descorrelacionadas ya que todas las señales N están compuestas de diferentes datos.

A continuación, se presenta un ejemplo de cómo el satélite que se muestra en la Fig. 5 puede usarse de conformidad con una realización de la invención. Si la señal 510 de enlace ascendente en la entrada del divisor 526 de potencia está representada como $s(t)$, las señales de salida de la matriz 534 híbrida inversa serán una versión amplificada y retardada de $s(t)$. Sin embargo, cada señal de salida se atenuará en un nivel A_n . Si g es la ganancia de potencia de cada HPA 518a,... 518N, y A_n es la atenuación de potencia del n -ésimo atenuador 530n, entonces la señal de salida del n -ésimo puerto de la matriz 534 híbrida inversa puede determinarse mediante el uso de la ecuación:

$$y_n(t) = \sqrt{\frac{g}{A_n}} \cdot s(t - D_n) \quad (1)$$

La potencia promedio se puede determinar utilizando la ecuación:

$$E[y(t)^2] = \frac{g}{A_n} P_s \quad (2)$$

en donde P_s es la potencia de la señal de entrada $s(t)$. Como este ejemplo ilustra, los ajustes del atenuador $A_1...A_N$ pueden usarse para distribuir la potencia de señal entre los haces 524a del usuario,... 524N en cualquier proporción deseada. A modo de ejemplo, el ajuste de $A_n=1$ (sin atenuación) y todos los otros atenuadores con un gran valor colocarán la potencia de los HPA paralelos 518a,... 518N en el haz n . Esto "activa" de forma eficiente el haz n y "desactiva" los otros haces en el grupo de haces. Como otro ejemplo, al seleccionar todos los ajustes del atenuador iguales se producirá una distribución igual de potencia en todos los haces 524a del usuario,... 524N. Obsérvese que la misma potencia no necesariamente significa el mismo EIRP, porque la ganancia de las antenas 520a de transmisión,... 520N que solían generar los haces 524a N de usuario,... 524N no es necesariamente igual. La flexibilidad dentro del grupo de haces proviene de los ajustes del atenuador programable A_1 a A_N , que pueden utilizarse para ajustar la distribución de la EIRP a través de los haces 524a del usuario,... 524N como se desee. Además, la distribución de la EIRP puede cambiarse en cualquier momento durante la vida útil del satélite. La capacidad de personalizar la distribución de la EIRP a través de los haces 524a del usuario,... 524N permite que la capacidad de enlace directo se pueda distribuir en cualquier proporción deseada, por ejemplo, a través de mensajes cortos desde un controlador terrestre.

En una realización, la señal de enlace ascendente del GW puede ser una única portadora que ocupa todo el espectro del haz. Esto se representa en la Fig. 6, que muestra un diagrama simplificado de una señal 610 de enlace

ascendente que incluye una portadora de multiplexación por división de tiempo (TDM). La portadora de TDM se transmite mediante un GW 607 hacia un satélite 606. El satélite recibe la portadora de TDM y la descarga en la señal 622a al haz 624a del usuario en una señal 622N al haz 624N del usuario. Los UT en cada haz solo pueden procesar la porción de la portadora enviada a ellos. La portadora descargada al haz 624N del usuario se ilustra como si fuera más alta que la portadora descargada a la señal 624a para representar diferentes niveles de potencia de transmisión. La potencia de transmisión puede distribuirse entre los haces 624a,... 624N como se explicó anteriormente con respecto a la Fig. 5. En este ejemplo, todos los datos se descargan a cada uno de los haces 624a del usuario,... 624N, aunque se envíe solo un subconjunto de los datos a los UT en cualquier haz dado.

En otra realización, la señal de enlace ascendente del GW puede incluir múltiples portadoras, cada una ocupando partes del espectro. Esto se representa en la Fig. 7, que muestra un diagrama simplificado de una señal 710 de enlace ascendente transmitida por una puerta 707 de enlace. La señal de enlace ascendente incluye portadoras de multiplexación de división de frecuencia (FDM) que se reciben mediante el satélite 706 y se descargan a una pluralidad de haces 724a del usuario,... 724N. Las portadoras de FDM se muestran como si tuvieran diferentes anchuras y diferentes alturas que representan diferentes anchos de banda y diferentes niveles de potencia, respectivamente. Cada portadora puede estar asociada a un haz del usuario particular y puede contener datos dirigidos exclusivamente a los UT en ese haz. En este ejemplo, puede haber más de una portadora asociada a cada haz. En una sola portadora, los datos a múltiples UT pueden estar multiplexados juntos y cada UT puede procesar solamente los datos en la portadora que se dirigen a sí mismo. En este escenario de múltiples portadoras, las portadoras de FDM pueden descargarse en señales 722a,... 722N a los haces 724a del usuario,... 724N respectivamente. Solamente se puede utilizar un subconjunto de las portadoras en un haz del usuario particular. La portadora descargada en la señal 722N se ilustra como más alta que la portadora descargada en la señal 722a para representar los diferentes niveles de potencia de transmisión. Cada UT en un haz puede asignarse para recibir datos en una sola portadora.

También existen híbridos de los dos enfoques anteriores. En dicho ejemplo, se emplean múltiples portadoras en donde se asigna la recepción de tráfico a cada UT en una de las portadoras. Sin embargo, las portadoras individuales podrían atender a UT en más de uno de los haces en un grupo de haces. Este enfoque es similar al enfoque de FDM respecto a que hay múltiples portadoras en la señal de enlace ascendente del GW. Este enfoque también es similar al enfoque de TDM, respecto a que una portadora puede atender a UT que pueden estar en haces diferentes en un grupo de haces.

Un artefacto de la asignación de EIRP flexible entre los haces es que los UT en diferentes haces pueden tener diferentes relaciones de portadora de enlace de descarga a ruido (C/No). En un sistema de TDM de una sola portadora, esto puede producir UT con relaciones de señal de recepción a ruido diferentes (SNR o Es/No). Este mismo escenario puede también ser cierto en situaciones de múltiples portadoras. Esta diferencia en SNR entre UT es similar a la diferencia en la SNR entre los UT en un único haz de un enlace directo de TDM en un sistema convencional. En un sistema convencional, la diferencia de la SNR de UT puede producirse debido a la variación en la ganancia de la antena por satélite en un haz, así como un esfumado de lluvia de enlace descendente en un subconjunto del área del haz. En los sistemas convencionales, la codificación y la modulación adaptativa (ACM) se emplean, comúnmente, para mitigar las diferencias de SNR. En un sistema ACM, la modulación y la tasa de codificación FEC para cada UT se seleccionan de manera exclusiva según su SNR. Los datos a cada UT se transmiten con su tasa de codificación y modulación seleccionadas para permitir que el UT desmodule los datos. Este mismo enfoque ACM funcionará con las variaciones de SNR de los UT en diferentes haces dentro del mismo grupo de haces. Puede ser útil considerar los haces N dentro de un grupo de haces como un único y grande haz con una variación potencialmente grande de SNR. Desde esta perspectiva, es fácil ver cómo se pueden aplicar las técnicas de ACM convencionales. El experto en la técnica reconocería muchas variaciones, modificaciones y alternativas a la luz de la presente descripción.

En una realización, los haces del usuario pueden aislarse espacialmente para reducir la interferencia multitrayectoria. Sin aislamiento espacial, se puede producir una situación de multitrayectoria en la que una transmisión de enlace descendente a un UT puede usar diferentes trayectorias a través de dos o más diferentes haces del usuario. Las múltiples trayectorias pueden producir una interferencia de multitrayectoria. Cuando los haces del usuario dentro de un grupo de haces están separados espacialmente, las trayectorias secundarias y posteriores están considerablemente atenuadas con relación a la trayectoria principal. En este escenario, la interferencia de multitrayectoria será pequeña o inexistente.

Enlaces directos flexibles

Con referencia a la Fig. 5, se puede usar la siguiente notación:

- $s(t)$ puede ser la señal de entrada al divisor de potencia 1: N 526. Esta es la entrada del sistema. La potencia total de la señal de entrada puede determinarse utilizando la ecuación:

$$E \left[|s(t)|^2 \right] = P_s \quad (3)$$

- $\mathbf{x} = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_N(t)]^T$ puede ser el vector de entradas para la matriz híbrida 532.

- $\mathbf{z} = [z_1(t), z_2(t), \dots, z_N(t)]^T$ puede ser el vector de salidas de la matriz híbrida 532.
- $\mathbf{y} = [y_1(t), y_2(t), \dots, y_N(t)]^T$ puede ser el vector de salidas de la matriz 534 híbrida inversa. Esta es la salida del sistema.
- \mathbf{H} puede representar una matriz híbrida de $N \times N$.
- \mathbf{H}^{-1} puede representar una matriz híbrida inversa de $N \times N$.
- $\mathbf{H}\mathbf{H}^{-1} = \mathbf{I}_N$, puede representar una matriz de identidad $N \times N$.
- \mathbf{G} puede representar una matriz diagonal $N \times N$ representando los N HPA paralelos 518a,... 518N. Para simplicidad, se puede asumir la misma ganancia y desplazamiento de fase para los HPA 518a,... 518N de modo que \mathbf{G} pueda representarse como $\mathbf{G} = \sqrt{g} \cdot \mathbf{I}_N$, donde g es la ganancia de potencia del HPA, y el desplazamiento de fase común a través de los HPA 518a,... 518N puede ignorarse. Observe que en la práctica, las ligeras diferencias de aumento y desplazamiento de fase afectan a la relación portadora/interferencia al introducir intercomunicación entre los canales.

Los componentes de la matriz híbrida \mathbf{H} pueden darse por:

$$h_{n,m} = \frac{1}{\sqrt{N}} \exp\left(\frac{j\pi(m-1)(2n-N-1)}{N}\right) \quad (4)$$

en donde n indica el índice de la fila y los rangos de 1 a N y m indican el índice de la columna y los rangos de 1 a N . Los elementos sucesivos en una fila aumentan en la fase por una cantidad de $180 \cdot (2n-N-1)/N$ grados, así que para una matriz híbrida de 4×4 , los desplazamientos de fase son -135, -45, +45, y +135 grados para las filas 1, 2, 3 y 4 respectivamente. Los componentes de la matriz híbrida inversa son simplemente la traspuesta conjugada de la matriz híbrida. La multiplicación de la matriz se puede usar para verificar que $\mathbf{H}\mathbf{H}^{-1} = \mathbf{I}_N$.

El vector de entrada de la matriz híbrida, \mathbf{x} , puede expresarse en términos de la señal de entrada $s(t)$ usando la ecuación:

$$\mathbf{x} = \left[\frac{s(t-D_1)}{\sqrt{A_1}} \quad \frac{s(t-D_2)}{\sqrt{A_2}} \quad \dots \quad \frac{s(t-D_N)}{\sqrt{A_N}} \right]^T \quad (5)$$

La salida de matriz híbrida puede darse mediante la ecuación de matriz:

$$\mathbf{y} = \mathbf{H}^{-1} \mathbf{G} \mathbf{H} \mathbf{x} \quad (6)$$

En una realización, la fase y la ganancia de los HPA 518a,... 518N se corresponden, y las señales de salida a las antenas 520a de transmisión,... 520N se dan por:

$$\mathbf{y} = \sqrt{g} \mathbf{x} = \left[\sqrt{\frac{g}{A_1}} s(t-D_1) \quad \sqrt{\frac{g}{A_2}} s(t-D_2) \quad \dots \quad \sqrt{\frac{g}{A_N}} s(t-D_N) \right]^T \quad (7)$$

Estas señales pueden ser una réplica amplificada y retardada de la señal de entrada $s(t)$, cada una con su propia atenuación seleccionable A_n .

La potencia en la entrada de cada HPA 518 es la potencia de los componentes del vector $\mathbf{z} = \mathbf{H}\mathbf{x}$. Para un sistema de 2×2 (p. ej., $N=2$), las entradas en el HPA (p. ej., HPA 518a,... 518N) son:

$$\mathbf{z} = \mathbf{H}\mathbf{x} = \begin{bmatrix} 1 & -j \\ 1 & j \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1(t) - jx_2(t) \\ x_1(t) + jx_2(t) \end{bmatrix} \quad (8)$$

Usando la ecuación (5) para \mathbf{x} y definiendo $D_1=D_2=0$ (sin elementos de retardo), \mathbf{z} se convierte en:

$$\mathbf{z} = \mathbf{H}\mathbf{x} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{A_1}} - j \frac{1}{\sqrt{A_2}} \\ \frac{1}{\sqrt{A_1}} + j \frac{1}{\sqrt{A_2}} \end{bmatrix} s(t) \quad (9)$$

En este caso, la potencia de ambas señales de entrada del HPA es la misma e igual a $1/A_1+1/A_2$, independientemente de los valores de atenuación relativa. Ambos HPA (p. ej., HPA 518a,...518N) se accionarán en el mismo nivel y producirán el mismo nivel de salida. Sin embargo, esta propiedad no justifica valores de N superiores a 2 a menos que ninguna de las señales de entrada $x_n(t)$ esté correlacionada.

Se pueden seleccionar los valores de retardo D_n de modo que las señales de entrada con la matriz híbrida estén correlacionadas. Como ejemplo, se puede usar un ajuste de retardos $D_n=(n-1)\Delta$, donde Δ es el intervalo del símbolo (T_{sym}). Si los elementos de retardo en el satélite no se pueden establecer con precisión, o si no se puede garantizar que una tasa de símbolo tenga un valor en particular, se puede usar un valor de D_n que sea superior o igual a aproximadamente el doble del máximo periodo de símbolo previsto T_{max} . Esto proporcionará una correlación inferior a 10 % para cualquier índice de símbolo superior a $1/T_{max}$. Con las entradas no correlacionadas, la potencia en la entrada a cada HPA 518 es igual y se puede mostrar como:

$$E[|z_n|^2] = \frac{1}{N} P_s \sum_{m=1}^N \frac{1}{A_m} = \frac{P_s}{NA_p} \quad (10)$$

en donde A_p es la combinación paralela de todos los valores N de atenuadores y se muestra mediante:

$$A_p = \left(\frac{1}{A_1} + \frac{1}{A_2} + \dots + \frac{1}{A_N} \right)^{-1} \quad (11)$$

Para $N=2$, no se necesita proporcionar un retraso para mantener la misma potencia en ambas entradas del HPA. Sin embargo, aún puede ser deseable hacerlo dado que descorrelacionar las entradas con la matriz híbrida, hace que el MPA sea menos sensible a los desequilibrios de fase y de ganancia. El MPA puede comprender los HPA paralelos (p. ej., HPA 518A,... 518N), la matriz híbrida 526, y la matriz 534 híbrida inversa.

En una realización, los HPA 518A,... 518N pueden funcionar en un retroceso de salida (OBO) objetivo de su máxima capacidad de potencia de salida. El OBO puede seleccionarse según un intercambio de linealidad y potencia de salida. Una mayor potencia de salida genera como resultado más EIRP, pero también puede generar distorsión de intermodulación (intermods, en inglés). Los OBO objetivo típicos para las señales de múltiples portadoras pueden estar en el intervalo de aproximadamente 2 a 5 dB. El OBO objetivo puede situarse como una potencia de entrada objetivo P_{in} , y los valores de atenuación pueden definirse de modo que la potencia en cada HPA 518 sea igual al valor deseado P_{in} . Al igualar la ecuación (10) a P_{in} tenemos:

$$A_p = \frac{1}{N} \frac{P_s}{P_{in}} \quad (12)$$

Con la restricción del atenuador proporcionada por la ecuación (12), una potencia de salida de un único HPA 518 es gP_{in} , y una potencia total de salida de todos los N HPA 518a,... 518N es NgP_{in} . Para matrices híbridas sin pérdidas, la potencia total suministrada a los haces 524a N del usuario,... 524N será la potencia total de salida de los HPA 518a,... 518N (o NgP_{in}). A partir de la ecuación (7), se puede ver que la potencia del n -ésimo puerto de salida de la matriz 534 híbrida inversa es gP_s/A_n . Entonces, la fracción de la potencia total (suma de todas las salidas de los HPA 518a,... 518N) dado el n -ésimo haz es:

$$\alpha_n = \frac{gP_s/A_n}{NgP_{in}} = \frac{P_s}{P_{in}} \frac{1}{NA_n} \quad (13)$$

Usando la ecuación (10) para P_{in} e insertándola en la ecuación (13) se obtiene una fracción de la potencia total asignada al haz n del usuario como una función de las definiciones del atenuador:

$$\alpha_n = \frac{A_p}{A_n} \quad (14)$$

Esto se aplica si la restricción en la ecuación (12) se respeta. En la práctica, la matriz híbrida 532 generalmente no tiene pérdidas y tiene una pequeña pérdida de inserción. Esta pérdida puede aplicarse contra la potencia de salida total y la potencia de salida de cada haz del usuario, de manera que no se vea afectado el cálculo de α_n en la ecuación (14).

En la ecuación (14), α_n puede ser un factor de distribución de potencia para el haz de usuario n y una suma de todos los valores de α_n debería ser igual a 1. A partir de la ecuación (14) puede observarse que un efecto de los valores de atenuación es distribuir la potencia a través de los haces del usuario en un grupo de haces según el peso α_n . Cuando todos los valores de atenuación se fijan al mismo valor ($\alpha_n=A$), entonces $A_p=A/N$ y, por tanto, $\alpha_n = 1/N$, para todos los haces del usuario. Esto genera una distribución de potencia igual a través de todos los haces en el grupo de haces. La distribución de potencia puede producir una reducción de EIRP de N para cada haz. Esto puede parecer indeseable, pero debe observarse que el área de cobertura eficaz aumenta por un factor de N (para los haces N de igual tamaño), de modo que la directividad de la antena debe disminuir necesariamente con el mismo factor. Por consiguiente, la reducción es un artefacto del área de cobertura aumentada.

Cuando A_n se establece en A_p y todos los otros atenuadores se establecen con mayores valores de atenuación, $\alpha_n = 1$ y todos los otros valores del factor de distribución de potencia son extremadamente pequeños (prácticamente cero). Por lo tanto, el haz n tiene la potencia completa de todos los N HPA 518A,... 518n y todos los otros haces prácticamente no tienen potencia. Esta situación corresponde a “activar” el número de haz n y a “desactivar” el resto de haces.

Para una definición arbitraria de fracciones de distribución de potencia seleccionadas $\alpha_1... \alpha_N$, los valores de atenuación correspondientes se pueden determinar como $A_n=A_p/\alpha_n$. A_p es la combinación paralela deseada de todos los valores de atenuación según se determina por medio de la ecuación (12). Esto produce fracciones de distribución deseadas y respeta la restricción de la ecuación (12).

Las Figs. 8A y 8B representan diagramas simplificados que ilustran los ajustes de la capacidad de haces de conformidad con una realización de la presente invención. La Fig. 8A ilustra el ajuste de la capacidad del haz para las horas de máxima utilización en la costa este según una realización. Un haz de alta capacidad y un haz de baja capacidad se muestran como haces individuales incluidos en un solo grupo de haces que abarcan los Estados Unidos continentales. Solo se muestran estos dos haces representativos en la figura, pero pueden existir otros haces en el mismo grupo de haces. El haz de alta capacidad está asociado a un área de cobertura ubicada a lo largo de la costa este. Por otra parte, el haz de baja capacidad está asociado a un área de cobertura ubicada a lo largo de la costa oeste. Esto corresponde al uso del ancho de banda durante las horas de mayor utilización para la costa este y las horas de menos utilización de la costa oeste.

La Fig. 8B ilustra ajustes de capacidad del haz para las horas de máxima utilización de la costa oeste según una realización. Esta figura es similar en muchos aspectos a la Fig. 8A. Sin embargo, los niveles de potencia del haz de la costa oeste y el haz de la costa este se han intercambiado. Ahora, el haz de alta capacidad está asociado con un área de cobertura ubicada a lo largo de la costa oeste. El haz de baja capacidad está asociado con un área de cobertura ubicada a lo largo de la costa este. Esto corresponde al uso del ancho de banda durante las horas de mayor utilización para la costa oeste y las horas de menos utilización de la costa este.

El haz de alta capacidad y el haz de baja capacidad se pueden realizar de forma remota controlando los atenuadores a bordo del satélite de haces puntuales, de la manera descrita anteriormente. Por ejemplo, el haz de alta capacidad puede resultar del ajuste de un atenuador correspondiente A_1 a un valor de atenuación relativamente bajo (p. ej., $A_1 = 1$). Al mismo tiempo, el haz de baja capacidad puede resultar del ajuste de un atenuador correspondiente A_2 a un valor de atenuación relativamente alto (p. ej., $A_2 > A_1$). El haz de alta capacidad tiene mayor potencia y, por lo tanto, una capacidad más potencial para la transmisión de datos. El haz de alta capacidad tiene menor potencia y, por lo tanto, una capacidad menos potencial para la transmisión de datos. En cualquier caso, el uso de modulación y codificación adaptativa (ACM) permite el uso eficiente de la capacidad disponible.

Las Figs. 8A y 8B, por tanto, muestran la forma en que la capacidad puede asignarse de forma flexible entre haces puntuales según los patrones de uso. Cuando son las horas de máxima utilización en la costa este, el satélite de haces puntuales puede configurarse para proporcionar haces puntuales, tal como se ilustra en la Fig. 8A. Unas horas más tarde, cuando sean las horas de máxima utilización en la costa oeste, el satélite de haces puntuales puede configurarse de forma diferente para proporcionar haces puntuales, tal como se ilustra en la Fig. 8B. El experto en la técnica reconocería muchas variaciones, modificaciones y alternativas a la luz de la presente aplicación.

Debe observarse que los métodos y aparatos descritos en esta memoria descriptiva se proveen meramente como ejemplos. Varias realizaciones pueden omitir, sustituir, o agregar varios procedimientos o componentes según sea apropiado. Por ejemplo, debe apreciarse que las características descritas sobre ciertas realizaciones pueden combinarse en diversas otras realizaciones. Además, las realizaciones pueden implementarse mediante hardware, software, firmware, middleware, microcódigo, lenguajes de descripción de hardware, o cualquier combinación de los mismos. Cuando se implementa en software, firmware, middleware, o microcódigo, el código de programa o los segmentos de código para realizar las tareas necesarias se puede almacenar en un medio legible por ordenador tal como un medio de almacenamiento. Los procesadores pueden adaptarse a realizar las

tareas necesarias. El término “medio legible por ordenador” incluye, pero sin limitarse a, dispositivos de almacenamiento portátiles o fijos, dispositivos de almacenamiento óptico, tarjetas SIM, otras tarjetas inteligentes, y otros diversos medios no transitorios capaces de almacenar, contener, o transportar instrucciones o datos.

- 5 Habiendo descrito diversas realizaciones, será reconocido por los expertos en la materia que pueden usarse diversas modificaciones, construcciones alternativas, y equivalentes sin desviarse del alcance de la invención según definido por las reivindicaciones. Por ejemplo, los elementos anteriores pueden ser simplemente un componente de un sistema más grande, en donde otras reglas pueden tomar precedencia sobre o de cualquier otra forma modificar la aplicación de la invención. Asimismo, se pueden realizar una serie de etapas antes, durante, o después de considerar los elementos anteriores.
- 10

REIVINDICACIONES

1. Un método para distribuir la potencia de transmisión de una señal de enlace directo en un sistema de comunicación vía satélite de haces puntuales, comprendiendo el método:

5 recibir una señal de enlace directo de una puerta de enlace;
 generar múltiples versiones de la señal de enlace directo;
 atenuar de forma selectiva al menos una de las múltiples versiones de la señal de enlace directo;
10 después de la etapa de atenuación de forma selectiva, amplificar las múltiples versiones de la
 señal de enlace directo mediante el uso de un amplificador de multipuerto (MPA), para generar
 múltiples señales amplificadas, en donde la amplificación de las múltiples versiones de la señal de
 enlace directo comprende:

15 procesar las múltiples versiones de la señal de enlace directo mediante el uso de una
 matriz híbrida, para generar una pluralidad de señales procesadas por matriz híbrida;
 amplificar la pluralidad de señales procesadas por matriz híbrida mediante el uso de una
 pluralidad de amplificadores de alta potencia (HPA), para generar señales amplificadas por
 HPA; y
20 procesar las señales amplificadas por HPA mediante el uso de una matriz híbrida
 inversa para generar las múltiples señales amplificadas;

 transmitir las múltiples señales amplificadas a múltiples haces puntuales, correspondiéndose cada
 haz puntual a un área de cobertura de haces puntuales.
- 25 2. El método de la reivindicación 1 en donde las múltiples versiones de la señal de enlace directo se
 descorrelacionan antes de la etapa de amplificación.
- 30 3. El método de la reivindicación 2 en donde la descorrelación de múltiples versiones de la señal de enlace
 directo comprende retardar al menos algunas de las múltiples versiones de la señal de enlace directo.
- 35 4. El método de la reivindicación 1 en donde la etapa de atenuación de forma selectiva utiliza valores de
 atenuación recibidos de una fuente lejos del satélite de haces puntuales, después de haber sido lanzado
 al espacio el satélite de haces puntuales.
- 40 5. El método de la reivindicación 1 en donde la etapa de atenuación de forma selectiva determina una
 distribución de la potencia de transmisión de las múltiples señales amplificadas en respuesta a la carga
 de tráfico ofrecida prevista.
- 45 6. Un satélite de haces puntuales configurado para permitir la distribución dinámica de la potencia de
 transmisión a través de señales de enlace directo, que comprende:

50 una antena configurada para recibir una señal de enlace directo de una puerta de enlace;
 un divisor de 1 a N configurado para generar múltiples versiones de la señal de enlace directo
 recibida de la puerta de enlace;
 uno o más atenuadores programables configurados para atenuar de forma selectiva las múltiples
 versiones de la señal de enlace directo recibida de la puerta de enlace;
 un amplificador de multipuerto (MPA) configurado para amplificar las múltiples versiones de la
 señal de enlace directo recibida de la puerta de enlace para generar una o más señales
 amplificadas, en donde el MPA comprende:

55 una matriz híbrida configurada para procesar las múltiples versiones de la señal de
 enlace directo recibida de la puerta de enlace, para generar una pluralidad de señales
 procesadas de matriz híbrida;
 uno o más amplificadores de alta potencia (HPA) configurados para amplificar la pluralidad de
 señales procesadas por matriz híbrida, para generar señales amplificadas por HPA; y
 una matriz híbrida inversa configurada para procesar las señales amplificadas por HPA,
 para generar la una o más señales amplificadas;

60 un transmisor configurado para transmitir la una o más señales amplificadas como uno o más
 haces puntuales, correspondiéndose cada haz puntual a un área de cobertura de haces
 puntuales.
- 65 7. El satélite de haces puntuales de la reivindicación 6 que además comprende uno o más elementos de
 descorrelación configurados para descorrelacionar las múltiples versiones de la señal de enlace directo
 recibidas de la puerta de enlace.

8. El satélite de haces puntuales de la reivindicación 7 en donde el uno o más elementos de descorrelación se configuran para retrasar al menos una de las múltiples versiones de la señal de enlace directo para descorrelacionar las múltiples versiones de la señal de enlace directo.
- 5 9. El satélite de haces puntuales de la reivindicación 6 en donde el uno o más atenuadores programables se controlan para responder a la carga ofrecida prevista.
10. El satélite de haces puntuales de la reivindicación 6 que además comprende:
- 10 un receptor configurado para recibir valores de atenuación de un lugar alejado del satélite de haces puntuales; y
- un procesador configurado para establecer una atenuación del uno o más atenuadores programables basados en los valores de atenuación, en donde el receptor está configurado para recibir los valores de atenuación después de haber sido lanzado el satélite de haces puntuales al
- 15 espacio.

Área de cobertura total
104

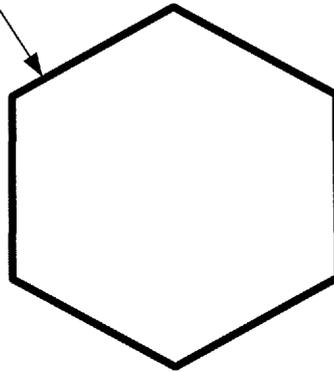


FIG. 1A

Área de cobertura total
104

Haz de cobertura individual
102

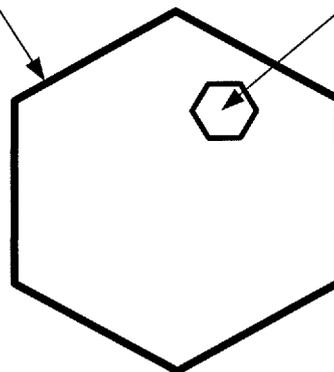


FIG. 1B

Área de cobertura total
104

Haz de cobertura individual
102

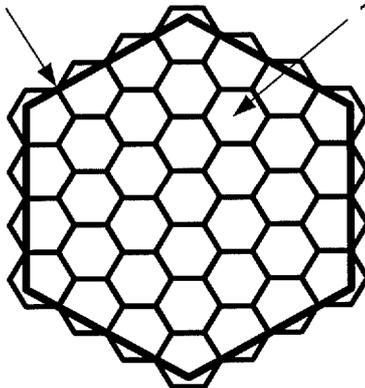


FIG. 1C

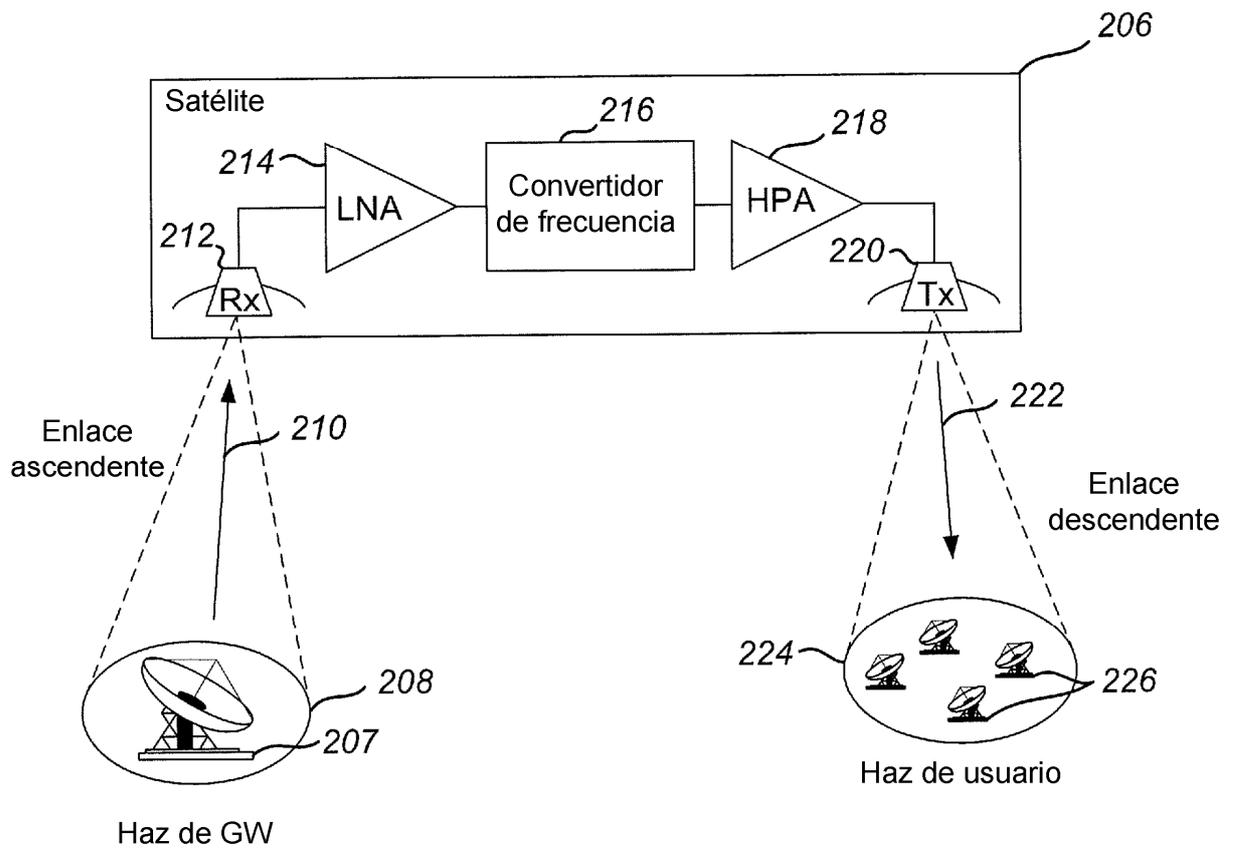


FIG. 2

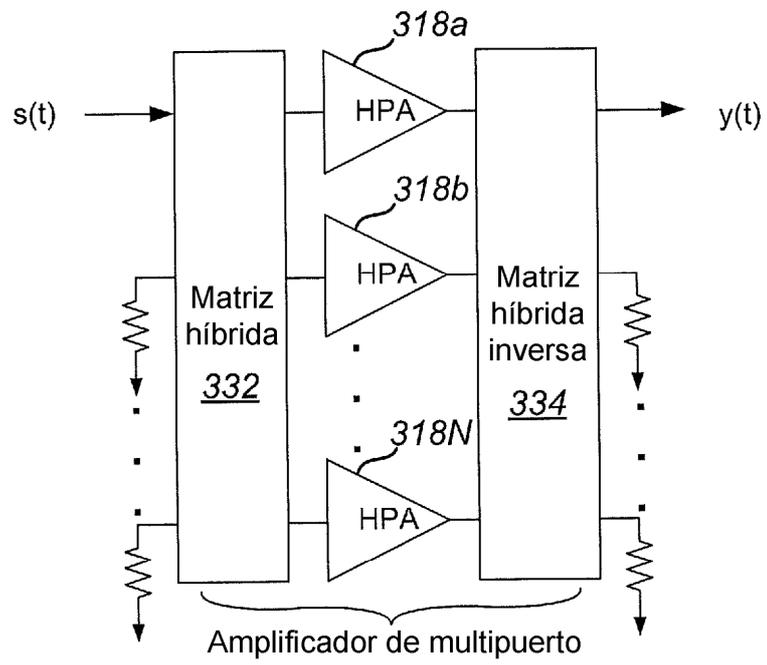


FIG. 3

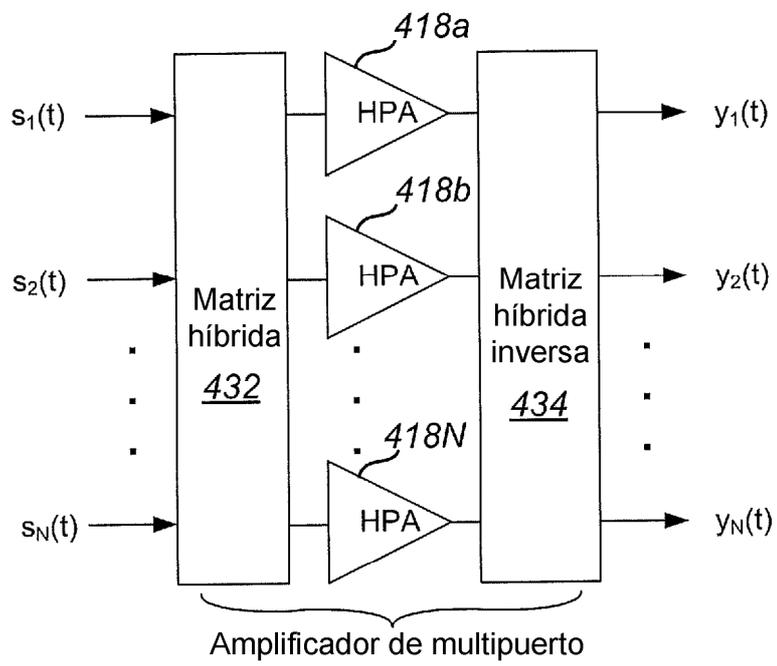
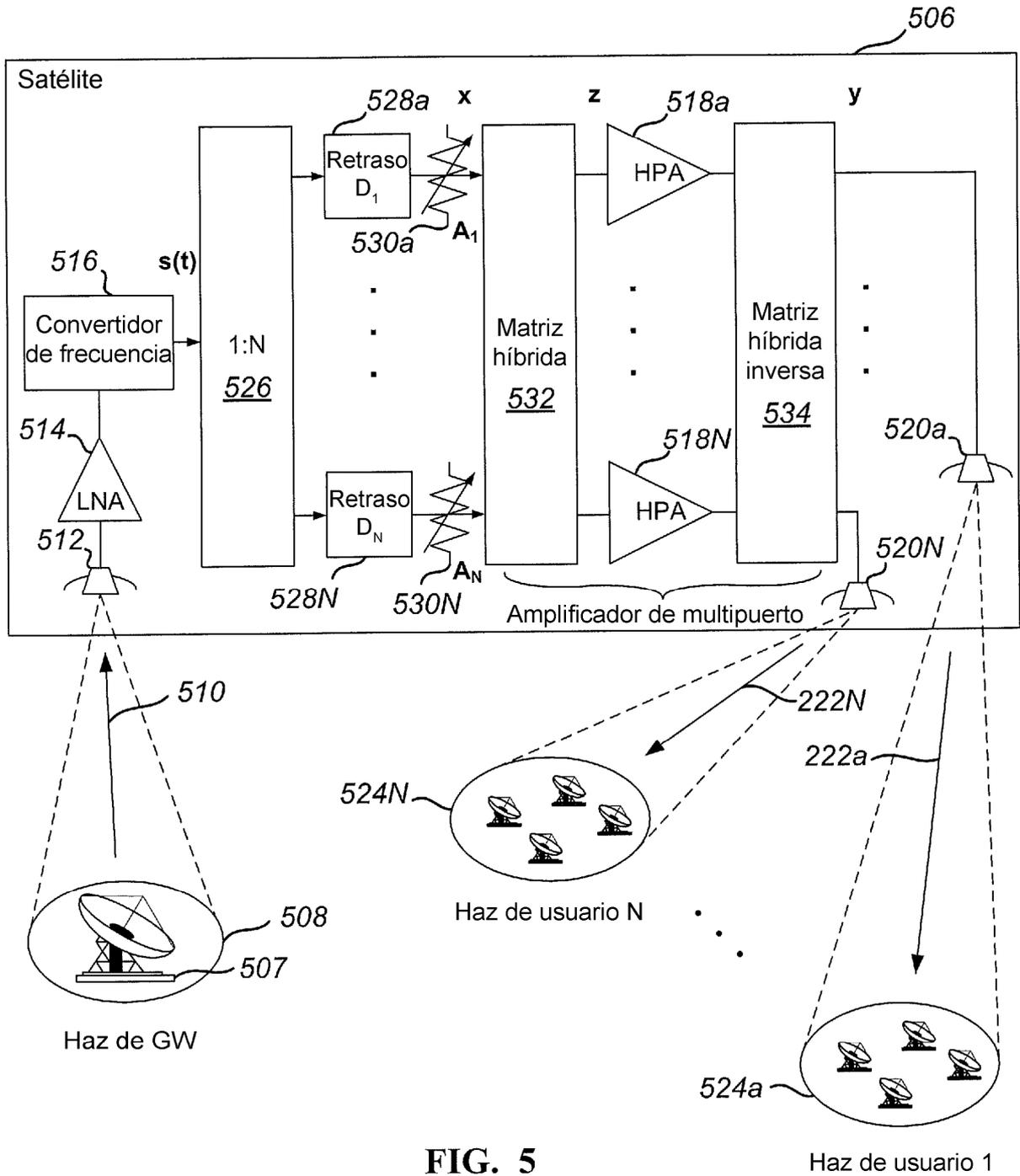


FIG. 4



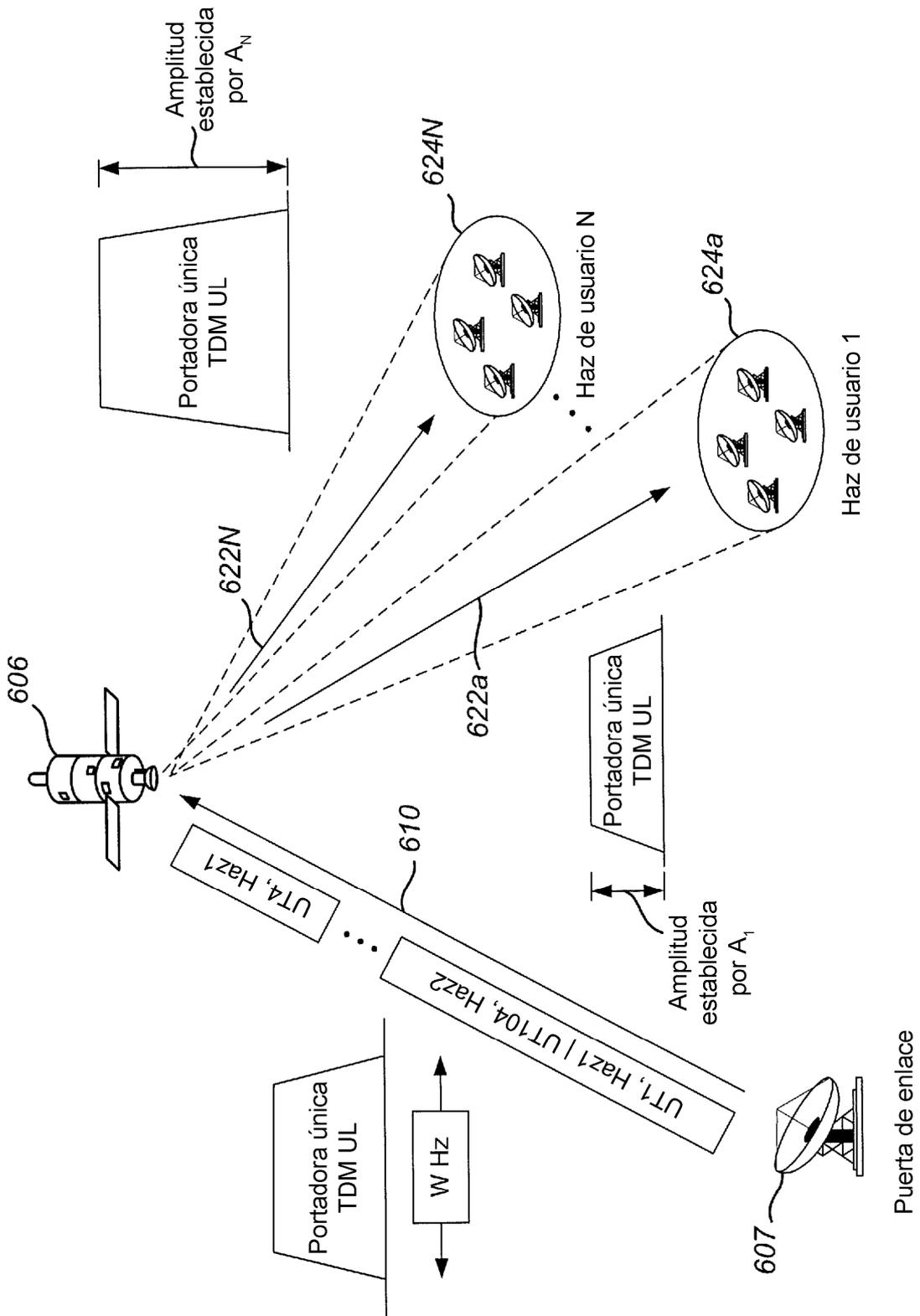


FIG. 6

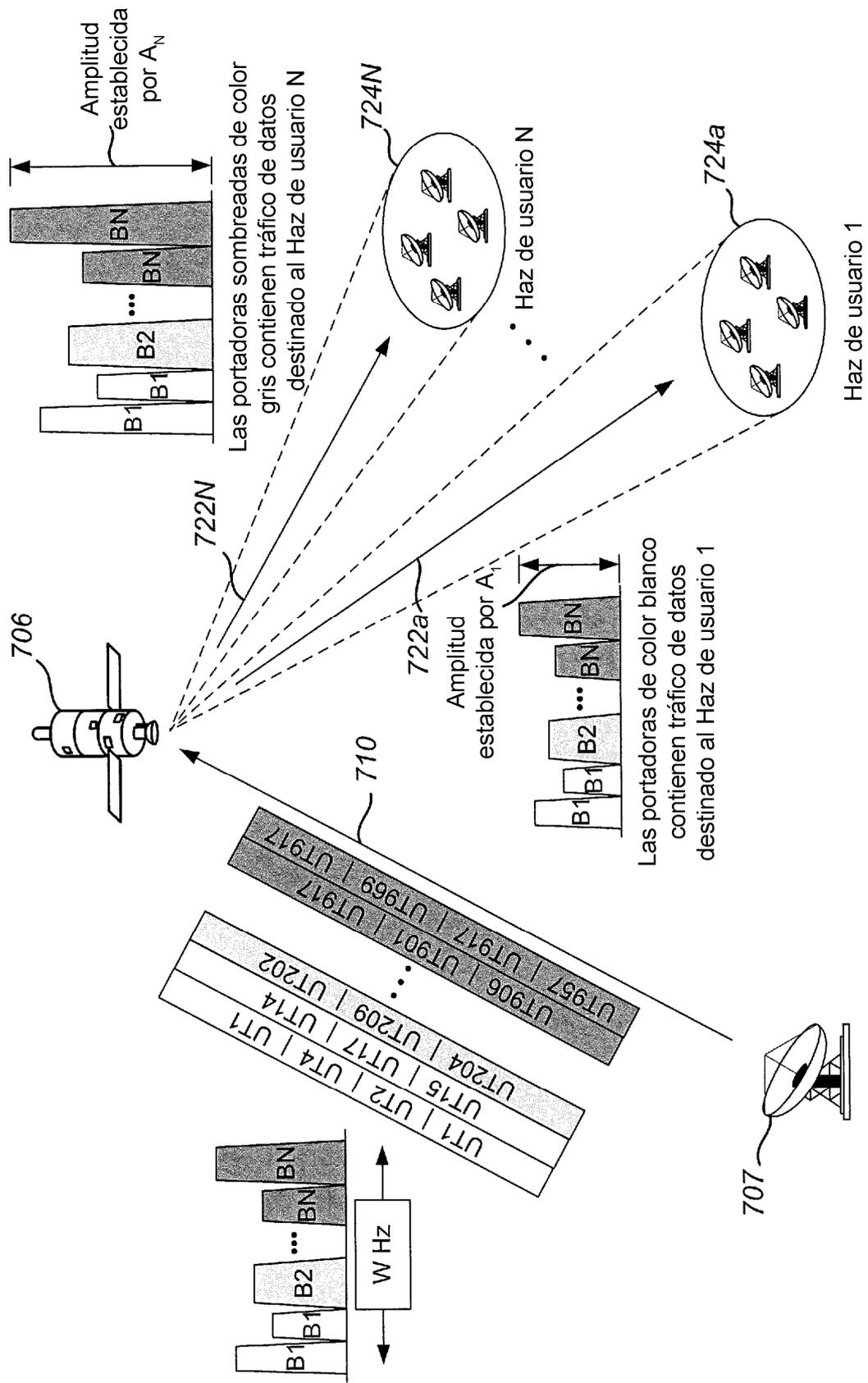
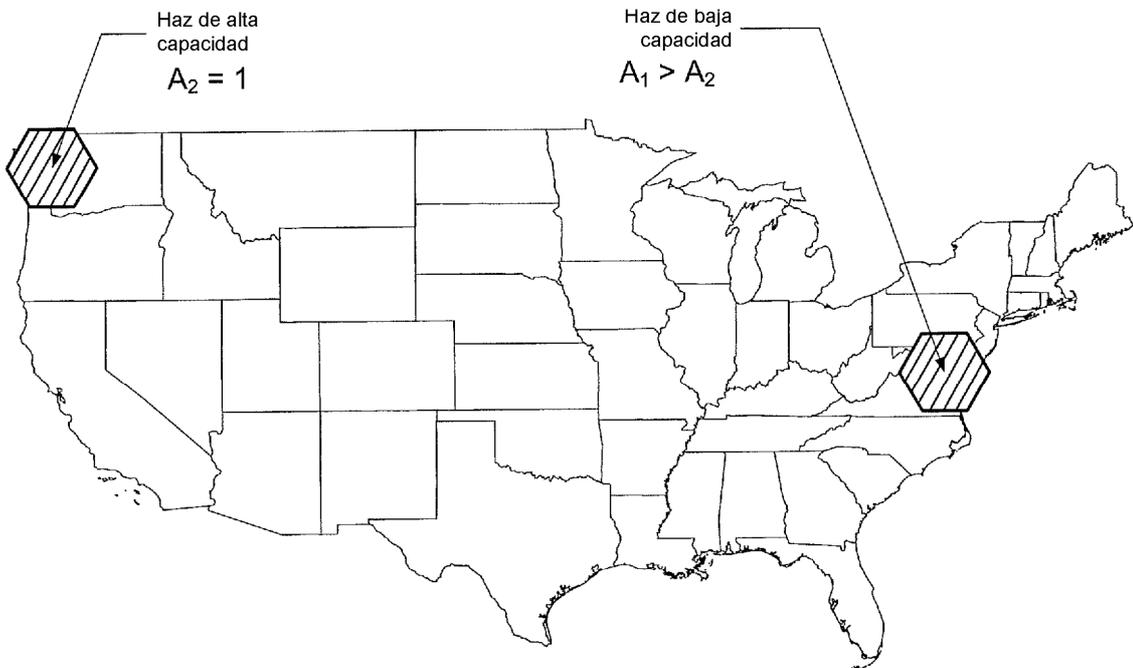


FIG. 7



Ajuste de la capacidad de haz: Hora de máxima utilización de la costa este

FIG. 8A



Ajuste de la capacidad de haz: Hora de máxima utilización de la costa oeste

FIG. 8B