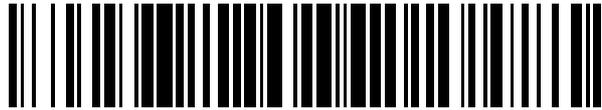


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 396 609**

51 Int. Cl.:

H04B 7/185 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.01.2004 E 04706088 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.10.2012 EP 1590906**

54 Título: **Sistemas y métodos de procesamiento digital de datos de comunicaciones por satélite**

30 Prioridad:

28.01.2003 US 443517 P
29.01.2003 US 443664 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
22.02.2013

73 Titular/es:

THE BOEING COMPANY (100.0%)
100 NORTH RIVERSIDE
CHICAGO, IL 60606-1596, US

72 Inventor/es:

BELL, DOUGLAS, T. y
CLEBOWICZ, BRIAN, A.

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 396 609 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

Sistemas y métodos de procesamiento digital de datos de comunicaciones por satélite.

5 CAMPO TÉCNICO

La presente invención se refiere en general a satélites, y más en particular se refiere a una arquitectura digital para satélites.

ANTECEDENTES

10 Los satélites se han convertido en instrumentos muy valiosos en campos tan diversos como la navegación, las comunicaciones, la monitorización medioambiental, la predicción meteorológica, la radiodifusión y similares. Actualmente, cientos de satélites artificiales orbitan en torno a la tierra, y cada año se lanzan muchos más desde varios países en todo el mundo. Además, actualmente muchos hogares, empresas y organizaciones administrativas utilizan a diario sistemas por satélite para entretenimiento, comunicaciones, recogida de información y otros
15 propósitos.

Un satélite moderno típico tiene un armazón metálico o compuesto, que aloja una fuente de energía (por ejemplo, una o varias baterías, células solares y/o similares) y diversos componentes electrónicos, así como una o varias antenas. Los componentes incluyen generalmente uno o varios "transpondedores", que son grupos que contienen uno o varios receptores de radio, traductores de frecuencia y transmisores. El ancho de banda total del satélite está dado por el número de transpondedores, cada uno de los cuales puede tener un ancho de banda típico de 30 a 70 MHz o similar. Un tipo de satélite disponible comercialmente, por ejemplo, tiene un ancho de banda disponible total de 3528 MHz divididos a través de cuarenta y cinco transpondedores de banda-C y dieciséis transpondedores de banda-Ku. Estos transpondedores se denominan colectivamente la "carga útil" del satélite.

20 Tal como se muestra en la figura 1, una típica carga útil de comunicaciones transmitida/respondida analógica recibe múltiples haces de enlace ascendente desde tierra o desde otro satélite, a través de la antena de enlace ascendente. Cada uno de los haces recibidos es amplificado con un amplificador de bajo nivel de ruido (LNA, low noise amplifier) y sometido a conversión descendente (D/C) para su procesamiento posterior. A continuación, los haces sometidos a conversión descendente pueden ser conmutados, multiplexados (MUX) o encaminados de otro modo y combinados antes de su conversión ascendente y retransmisión sobre un haz de enlace descendente, a tierra o a otro satélite.

35 Aunque algunos satélites transmitidos/respondidos analógicos pueden incluir funcionalidad limitada de conmutación y multiplexación, estas características están restringidas, estando la conmutación limitada a un mapeo punto a punto de haces de antena de enlace ascendente completos a haces de antena de enlace descendente particulares. Esto conduce a ineficiencias graves en la utilización del ancho de banda del satélite. Un cliente de un satélite compra habitualmente un "transpondedor", o un bloque dedicado de ancho de banda en un satélite, durante un periodo de un año o mayor. Los anchos de banda del transpondedor se fijan habitualmente en el satélite durante el diseño (por ejemplo a 33, 50, 70 MHz, etc.) y no son ajustables con precisión después de que el satélite se ha construido. Cada transpondedor proporciona una conexión con potencia y ancho de banda dedicado entre dos puntos terrestres (punto a punto), o entre un punto y zonas geográficas extensas (difusión). Si bien esta disposición es relativamente flexible con respecto al tipo de señales transportadas, existen inconvenientes graves en términos de eficiencia del ancho de banda y del control de la potencia de transmisión. Si un cliente de un satélite necesita algo más de ancho de banda que el que proporciona el transpondedor, por ejemplo, el cliente del satélite debe generalmente comprar otro segmento de ancho de banda "dimensionado por transpondedor" de 33 a 70 MHz. Además, si un cliente de un satélite no utiliza la totalidad de su ancho de banda del transpondedor, este exceso de capacidad queda inutilizado, desperdiciando un producto escaso y valioso. Si bien algunos clientes han intentado tratar esta ineficiencia asignando secundariamente ancho de banda del transpondedor comprado, a otros usuarios finales a través de equipos terminales terrestres dedicados y disposiciones especiales costosas, la asignación secundaria requiere habitualmente que el cliente del satélite confíe en los usuarios finales para controlar su propio uso de potencia y ancho de banda, puesto que no hay disponible ningún control positivo para regular el consumo de potencia y de ancho de banda a bordo del satélite. Además, los satélites "piratas" frecuentemente "montan" señales sobre ancho de banda de transpondedor no utilizado, robando potencia de transmisión y degradando el rendimiento del enlace de comunicaciones para los usuarios legales. Debido en gran parte a estas ineficiencias y a otros factores, el coste de las comunicaciones por satélite sigue siendo relativamente elevado en comparación con los sistemas de comunicaciones terrestres, limitando de ese modo la adopción generalizada de comunicaciones por satélite para muchas aplicaciones.

60 Las cargas útiles de los satélites han evolucionado recientemente para aprovechar las tecnologías digitales a efectos de un control y una flexibilidad mejorados. Las cargas útiles digitales de los satélites funcionan generalmente de manera canalizada o bien de manera regenerativa. En el primer caso, una carga útil digital simula transpondedores analógicos fijos tradicionales, pero añade la capacidad de dividir finalmente, controlar y monitorizar la asignación de ancho de banda y de potencia a bordo del satélite. Las cargas útiles transmitidas/respondidas digitales tienen normalmente la capacidad de llevar a cabo la conmutación de entradas en salidas de manera muy flexible, permitiéndoles actuar como "centrales telefónicas", donde se realiza una solicitud para un canal con características
65

específicas de ancho de banda/potencia y antena, el canal es establecido, utilizado y desconectado a continuación. Esta capacidad de "conmutación de circuitos" asegura que se proporciona solamente el ancho de banda, la potencia de transmisión y la cobertura necesarias, y solamente cuando son necesarias. Puesto que los canales transmitidos/respondidos son meramente señales repetidas, sin ninguna modificación, las cargas útiles con transpondedor pueden transportar cualquier tipo de señal independientemente del formato o del modo de modulación. A diferencia de las cargas útiles transmitidas/respondidas, las cargas útiles regenerativas llevan a cabo la desmodulación y remodulación de las señales de enlace ascendente, recuperando y procesando no sólo la señal del usuario, sino asimismo los datos del usuario incorporados en la señal, permitiendo que la carga útil actúe sobre estos de una manera deseada. En su mayor parte, los datos incorporados se utilizan para enrutamiento autónomo en sistemas basados en paquetes y para funciones de seguridad, tal como en muchos satélites de la administración, o para ambas cosas. En particular, puede llevarse a cabo detección y corrección de errores sobre los datos desmodulados antes de que sean transmitidos, permitiendo de ese modo que las cargas útiles de satélite regenerativas tengan generalmente un mejor comportamiento de enlace que las cargas útiles transmitidas/respondidas. Estas y otras características hacen de las cargas útiles regenerativas las más eficientes disponibles, en términos de control y utilización de la potencia y el ancho de banda. Sin embargo, los sistemas regenerativos están contruidos normalmente para procesar un único conjunto de formatos de datos y señales, que se fija en la fase de diseño. Dichos sistemas no proporcionan habitualmente compatibilidad universal de señales, que puede estar disponible en los que poseen carga útil transmitida/respondida.

A medida que prosigue la evolución de las cargas útiles de satélite, los clientes de los satélites están evolucionando del enfoque transmitido/respondido analógico, al enfoque transmitido/respondido digital y al enfoque regenerativo digital, para obtener los máximos ingresos manteniendo el ancho de banda y la potencia, a partir de las asignaciones del espectro fijadas por ley. Puede ser relativamente fácil hacer los sistemas de transpondedor digital compatibles hacia atrás con los sistemas de transpondedor analógico, puesto que ninguno de estos sistemas proporciona procesamiento de datos a bordo. Sin embargo, los sistemas regenerativos no son generalmente compatibles hacia atrás, debido a sus requisitos de tipos específicos de datos y señales. Si bien la transición desde las cargas útiles transmitidas/respondidas analógicas a las mucho más eficientes cargas útiles transmitidas/respondidas digitales es evidente, el camino para proporcionar la capacidad de carga útil regenerativa aún más eficiente, sin perder a los usuarios de sistemas heredados o requerir que el satélite transporte mucha más electrónica de procesamiento, ha sido difícil. Para evitar las pérdidas de tiempo operativo y para proporcionar un flujo continuo de ingresos, los actuales clientes de los satélites desean generalmente migrar de manera gradual a los usuarios finales transmitidos/respondidos a servicios regenerativos, a lo largo de la vida útil de muchos años de un costoso activo de satélite.

Por lo tanto, es deseable mejorar la flexibilidad y funcionalidad de las cargas útiles de satélite utilizadas en las comunicaciones de datos en escenarios comerciales y/o de la administración. Además, es deseable dar a conocer una carga útil de satélite capaz de mezclar simultáneamente modos transmitidos/respondidos y regenerativos en una carga útil de hardware eficiente, y dar a conocer una programabilidad en servicio para formatos regenerativos de señal y datos. Además, otros aspectos y características deseables resultarán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada y de las reivindicaciones adjuntas, tomadas junto con los dibujos adjuntos y con estos antecedentes de la invención.

En el documento US 6 266 329 B1 se muestra un ejemplo para una programación regional en un satélite de radiodifusión directa que utiliza una matriz de conmutación.

BREVE SUMARIO

De acuerdo con diversas realizaciones a modo de ejemplo, se dan a conocer funciones transmitidas/respondidas digitales y funciones regenerativas digitales dentro de una carga útil de satélite totalmente digital. Combinando funciones transmitidas/respondidas y regenerativas en una plataforma digital común, se consiguen numerosas eficiencias de escala, y se mejoran de manera espectacular la eficiencia y la funcionalidad globales del satélite.

Por lo tanto, se dan a conocer una carga útil digital acorde con la reivindicación 1, un método acorde con la reivindicación 4 y un satélite acorde con la reivindicación 9.

Otros aspectos se refieren de diversas maneras a componentes, sistemas y métodos de satélites. Los conceptos definidos más adelante permiten nuevas técnicas para comercializar recursos de satélite, y varios nuevos modelos de negocio dentro del campo de los satélites. A continuación se definen en detalle estos y otros aspectos de diversas realizaciones ejemplares.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

A continuación se describirá la presente invención junto con las siguientes figuras de dibujos, en las que los números iguales indican elementos iguales, y

la figura 1 es un diagrama de bloques de un ejemplo de carga útil de satélite de la técnica anterior.

la figura 2 es un diagrama de bloques de un ejemplo de satélite con una carga útil de transpondedor flexible;

la figura 3 es un diagrama de bloques de un ejemplo de carga útil digital de satélite;

la figura 4 es una vista en perspectiva de un ejemplo de realización de una carga útil digital de procesamiento de paquetes;

la figura 5 es un diagrama de bloques de un ejemplo de realización de una carga útil digital de procesamiento de paquetes;

5 la figura 6 es un diagrama de bloques de un ejemplo de realización de una carga útil digital de múltiples rebanadas;

la figura 7 es un diagrama de bloques de un satélite a modo de ejemplo, que tiene capacidad de gestión modular de datos;

la figura 8 es un diagrama de bloques de un satélite con una carga útil totalmente digital a modo de ejemplo;

10 la figura 9 es un diagrama de flujo de un proceso a modo de ejemplo, para asignar ancho de banda en una carga útil digital de satélite;

la figura 10 es un diagrama de flujo de un proceso a modo de ejemplo para asignar recursos de satélite; y

la figura 11 es un diagrama conceptual de una implementación digital de satélite a modo de ejemplo.

15 DESCRIPCIÓN DETALLADA

La siguiente descripción detallada es de naturaleza ejemplar y no pretende limitar la invención o la aplicación y los usos de la invención. Además, no se tiene la intención de limitarse a ninguna teoría presentada en los anteriores antecedentes de la invención o en la siguiente descripción detallada.

20 De acuerdo con diversas realizaciones ejemplares, una nueva arquitectura digital da a conocer a una carga útil digital de canalización conmutada, de banda ancha, compatible hacia atrás, para satélites de comunicaciones. Debido a que la cantidad de ancho de banda utilizable disponible a partir de una carga útil digital puede ser mucho mayor que la que se proporciona mediante una carga útil analógica correspondiente, se reduce adecuadamente el coste del ancho de banda proporcionado por el satélite, permitiendo de este modo precios reducidos para los clientes y/o mayores márgenes de beneficio para los proveedores de ancho de banda. Además, la arquitectura digital integrada permite características y funcionalidades adicionales no disponibles previamente en otras cargas útiles de satélite. A modo de ejemplo, diversas realizaciones permiten que los recursos de la carga útil (por ejemplo, ancho de banda, potencia, planes de frecuencia, coberturas de antena, etc.) sean reasignados fácilmente durante el diseño o la fabricación del satélite, o incluso en órbita, por lo tanto mejorando sensiblemente la flexibilidad de los diseños de satélite. Permitiendo que el ancho de banda y otros recursos sean modificados en órbita, el satélite puede adaptarse a las necesidades cambiantes de los clientes, mejorando de ese modo la evaluación de riesgos de las implementaciones de satélite y permitiendo nuevas estrategias comerciales para vender y revender ancho de banda del satélite. A su vez, estas nuevas estrategias proporcionan nuevos flujos de ingresos para los proveedores de ancho de banda, mejorando al mismo tiempo el servicio para los consumidores.

35 Las diversas realizaciones de la nueva arquitectura tienen como resultado una carga útil de satélite totalmente digital que es modular, reconfigurable y programable. Aunque diversas realizaciones de la nueva arquitectura se describen utilizando términos tales como "transpondedor flexible", "gestor modular de datos" y "satélite flexible", puede formarse una amplia gama de realizaciones equivalentes utilizando los conceptos generales definidos en el presente documento.

45 Pasando a continuación a los dibujos y haciendo referencia a la figura 2, se muestra una carga útil 200 de satélite a modo de ejemplo, adecuada para utilizar con comunicaciones por satélite. En la realización mostrada en la figura 2, la carga útil 200 incluye apropiadamente cualquier número de amplificadores de entrada 206A-n, convertidores descendentes (D/C) 208A-n opcionales, amplificadores de salida 210A-l, conmutadores de salida 212A-j y multiplexores de salida 214A-k que están dispuestos para interactuar con una unidad 202 de transpondedor digital para proporcionar el procesamiento digital de haces de entrada 204A-n y crear haces de salida 216A-n que son transmitidos a través de una antena adecuada, a un receptor en otro satélite o en la superficie terrestre.

50 En funcionamiento, cada haz de entrada 204 es recibido a través de una antena adecuada (no mostrada en la figura 2, pero descrita más a fondo después). Cada haz puede ser utilizado para aislar una banda de frecuencias apropiada (es decir, "sub-bandas" o "canales") a amplificar mediante un amplificador de bajo nivel de ruido (LNA, low noise amplifier) u otro amplificador de entrada 206 para mejorar la intensidad de la señal recibida. A continuación, la sub-banda amplificada es sometida a conversión descendente desde la frecuencia recibida hasta una frecuencia intermedia (IF, intermediate frequency) apropiada para procesamiento digital. Si bien la realización mostrada en la figura 2 muestra conversiones descendentes en bloque, de secciones de 250 a 750 MHz de ancho de banda de entrada y conmutación y filtrado de canales de 24 a 72 MHz, pueden utilizarse cualesquiera otros intervalos o bandas de frecuencia en un amplio conjunto de realizaciones alternativas. Por ejemplo, pueden utilizarse convertidores de analógico a digital de alta calidad para muestrear sub-bandas entrantes, a tasas que alcanzan los 550 MHz o superiores, reduciendo o eliminando de ese modo la necesidad de la conversión descendente de las sub-bandas amplificadas en muchas realizaciones, tal como se describe en detalle más adelante. Si bien los satélites convencionales utilizan la mayor parte de las veces la banda C y la banda Ku para recibir o transmitir frecuencias, las técnicas descritas en el presente documento son extensibles a las frecuencias de banda de UHF, L, S y Ka, así como a muchas otras frecuencias.

65

Mientras que las arquitecturas convencionales de conmutación de circuitos (por ejemplo, la que se muestra la figura 1) simplemente conmutaban y multiplexaban canales enteros entre haces de entrada y de salida, diversas realizaciones de unidad digital 202 de transpondedor son capaces de dividir digitalmente cada sub-banda en rebanadas de frecuencia que pueden ser conmutadas, procesadas, encaminadas y recombinadas por separado en sub-bandas de salida, tal como se describe en detalle más adelante. A este respecto, la unidad digital 202 de transpondedor sustituye los multiplexores de entrada y los conmutadores, cableado, etc. asociados, mostrados en la figura 1, proporcionando al mismo tiempo funcionalidad y eficiencia adicionales que no están disponibles en los sistemas anteriores. El procesamiento digital permite varias características nuevas que no estaban disponibles previamente, incluyendo el filtrado con reconstrucción de rebanadas individuales, la monitorización del tráfico, la linealización de la transmisión, la optimización, el control de acceso y similares. Además, el transpondedor digital 202 permite la adaptación del ancho de banda y otras asignaciones de recursos, mejorando por lo tanto enormemente la eficiencia de la carga útil 200. Las asignaciones de ancho de banda de los enlaces ascendentes 204 y los enlaces descendentes 216 pueden ser adaptadas en tiempo real durante el funcionamiento, por ejemplo, para reasignar ancho de banda sobrante a haces o sub-bandas que experimentan demandas de tráfico más elevadas. A continuación se describirán en mayor detalle varias implementaciones de unidades digitales 202 de transpondedor, componentes y técnicas de procesamiento asociadas.

Las sub-bandas de salida ensambladas mediante la unidad digital 202 de transpondedor son amplificadas adecuadamente con amplificadores de tubo de onda progresiva (TWTA, traveling-wave tube amplifiers), amplificadores de potencia de estado sólido (SSPA, solid-state power amplifiers) u otros amplificadores de salida 210 adecuados. Aunque la potencia de salida concreta varía de una realización a otra de acuerdo con factores tales como la altitud sobre la tierra, las frecuencias de transmisión utilizadas, etc., habitualmente puede utilizarse una potencia de salida de unos 50 W en frecuencias de la banda C y una potencia de aproximadamente 80 a 120 W en la banda Ku. Las salidas de parte o la totalidad de los amplificadores de salida 210 pueden conmutarse, multiplexarse conjuntamente en multiplexores 214 de salida, y a continuación retransmitirse a través de las antenas de transmisión para formar haces 216 de salida. Antes de la multiplexación pueden utilizarse divisores de potencia variables funcionales (no mostrados en la figura 1) para asignar potencia a las diversas áreas de cobertura, según proceda.

La figura 3 muestra una disposición lógica de un sistema 300 de satélite digital a modo de ejemplo. A continuación haciendo referencia a la figura 3, una unidad digital 202 de transpondedor a modo de ejemplo comunica apropiadamente con cualquier número de antenas 303A-N de enlace ascendente y cualquier número de antenas 315A-N de enlace descendente para procesar digitalmente haces 204A-N de enlace ascendente y haces 216A-N de enlace descendente, respectivamente. Tal como se ha descrito anteriormente, en diversas realizaciones los haces 204 de enlace ascendente pueden ser sometidos a conversión descendente para permitir el muestreo y la conversión A/D a una frecuencia apropiada, si bien en varias realizaciones alternativas los convertidores descendentes 208 pueden ser eliminados o incorporarse a la unidad 202 de transpondedor.

Las antenas 305 y 315 de enlace ascendente y enlace descendente pueden implementarse con cualesquiera antenas convencionales utilizadas en las comunicaciones por satélite. En diversas realizaciones, las antenas 303 y 315 están implementadas con antenas analógicas de formación del haz que tienen cualquier número de elementos de transmisión/recepción direccionables independientemente. Ejemplos de dichas antenas incluyen las diversas antenas parabólicas de haz puntual, antenas de alimentación multi-haz, antenas compuestas de radiación directa y/o antenas compuestas de elementos en fase, disponibles en Boeing Satellite Systems de Los Ángeles, California y otros.

La unidad digital 202 de transpondedor proporciona adecuadamente funcionalidad de conmutación de a bordo y encaminamiento de subcanales. Puesto que las señales son encaminadas digitalmente dentro de la unidad 202 de transpondedor, generalmente puede proporcionarse un ancho de banda de subcanal variable con una degradación despreciable en la calidad de la señal. Las anchura de los canales, la separación y la conmutación pueden programarse adicionalmente o modificarse en órbita, y parte o la totalidad de los canales de salida pueden configurarse opcionalmente con un control dirigible del nivel de enlace descendente, según proceda. Otras realizaciones pueden asimismo optimizar la conectividad del enlace ascendente, tal como se describe con mayor detalle más adelante (por ejemplo, conjuntamente con la figura 10).

Tal como se muestra en el ejemplo de realización de la figura 3, la unidad 202 de transpondedor digital incluye adecuadamente un módulo 302 de canalizador digital, una matriz 304 de conmutación digital, un combinador digital 306 y un módulo 308 de regeneración digital. Los diversos módulos y subsistemas mostrados en la figura 3 están concebidos como construcciones lógicas; en la práctica, cada subsistema puede implementarse como una combinación de hardware físico y/o componentes de software. Cada haz de enlace ascendente y/o espectro de sub-banda, por ejemplo, puede tener una o varias tarjetas de proceso correspondientes o "rebanadas" asociadas con el mismo, comunicando cada una de las diversas tarjetas sobre un bus común de la placa madre. Se describe una realización de este tipo más adelante junto con la figura 4. Alternativamente, las diversas funciones y asignaciones de canal pueden compartirse entre diversas tarjetas, módulos o componentes en una amplia gama de realizaciones alternativas.

El canalizador 300 incluye circuitos digitales y/o módulos de software capaces de recibir una representación digital del espectro de sub-banda recibido sobre un haz 204 de enlace ascendente, y de dividir el espectro de sub-banda en cualquier cantidad de 'rebanadas' 310 de frecuencia de tamaños iguales o diferentes. En la presente memoria las rebanadas 310 se denominan asimismo "paquetes" debido a que los segmentos de información multiplexados por división de tiempo o por división de código contenidos dentro de las rebanadas pueden ser encaminados fácilmente, independientemente de las otras rebanadas y los otros segmentos en el espectro de sub-banda, tal como se describe a continuación. En diversas realizaciones, el módulo 302 de canalizador digital está implementado con un circuito integrado de aplicación específica (ASIC, application specific integrated circuit). Ejemplos de ASICs formados utilizando tecnologías de semiconductor complementario de óxido metálico (CMOS, complementary metal oxide semiconductor) y similares, están disponibles en Business Machines de Armonk, Nueva York y otros.

La matriz 304 de conmutación consiste en cualquier estructura de hardware y/o de software capaz de dirigir rebanadas 310 de frecuencia entre diversos puertos 312, según proceda. En diversas realizaciones a modo de ejemplo, la matriz 304 de conmutación está implementada con uno o varios ASIC de conmutación asociados con cada sub-banda o tarjeta de procesamiento, estando interconectado cada ASIC dentro de la matriz 304 mediante un bus compartido u otro medio de comunicación, tal como se describe a continuación. Los diversos ASIC pueden ser circuitos integrados fabricados a medida, por ejemplo, o pueden estar fabricados de partir de matrices de puertas programables por el usuario (FPGAs, field programmable gate arrays), que han sido programadas apropiadamente para almacenar y/o enviar datos digitales según proceda, dentro de la matriz 304 de conmutación.

Los puertos 312 son cualesquiera construcciones de hardware o de software (por ejemplo, posiciones de memoria, direcciones de bus, puertos de conexión de tipo UNIX o cualesquiera otras construcciones físicas o lógicas) capaces de recibir rebanadas 310 de frecuencia para su posterior procesamiento. La matriz 304 de conmutación puede proporcionar conmutación dentro del haz y/o en haces cruzados, punto a punto, de multidifusión y/o de radiodifusión. En el ejemplo de realización mostrado en la figura 3, por ejemplo, la rebanada 310A de frecuencia se muestra mapeada directamente al puerto 312A, que está asociado con el mismo espectro de sub-banda 204 que la rebanada 310A. Alternativamente, pueden mapearse una o varias rebanadas 310 a los puertos 312 asociados con uno o varios haces 204 diferentes. La figura 3 muestra la rebanada 310B mapeada a los puertos 312B para una multidifusión dentro del haz, por ejemplo, y la rebanada 310C mapeada a múltiples puertos 312C en haces diferentes, para mostrar un ejemplo de multidifusión en haces cruzados. Debido a que dicha conmutación se lleva a cabo digitalmente, habitualmente se produce poca o ninguna degradación de la señal.

El módulo 308 de regeneración es cualquier construcción o construcciones de hardware y/o software capaces de un procesamiento adicional de los datos digitales codificados dentro de las diversas rebanadas 310 de frecuencia. En un ejemplo de realización, dicho proceso es ejecutado mediante uno o varios chips programables 314 o ASICs fijos, incorporados en la carga útil 300. Puesto que las rebanadas 310 de frecuencia están ya procesadas digitalmente mediante el canalizador, los diversos flujos de bits codificados dentro de cada rebanada 310 pueden ser desmodulados económicamente, procesados adicionalmente y remodulados antes de su transmisión, utilizando cualesquiera algoritmos o técnicas adecuados, sin la enorme duplicación de costosas funciones de muestreo y filtrado. Esta sinergia entre arquitecturas canalizada y regenerativa permite que ambos tipos de procesamiento compartan funcionalidades solapadas y coexistan, sin requerir la duplicación total de circuitos que puede sugerir una inspección superficial. Los tipos de proceso digital que pueden llevarse a cabo incluyen verificación de acceso, cifrado, multiplexación por división de código (por ejemplo, CDMA), regeneración de datos (es decir, recuperación de datos corruptos o confusos), compresión, conmutación de paquetes y/o cualquier otro procesamiento de los datos. La desmodulación/remodulación puede tener lugar en cualquier momento durante el proceso de canalización/enrutamiento, y la remodulación no tiene por qué tener lugar inmediatamente después de cualquier proceso gestionado mediante el módulo 308 de regeneración. Por ejemplo, los datos desmodulados pueden ser canalizados y/o encaminados antes de la remodulación o bien procesados, según proceda. En el ejemplo de realización mostrado en la figura 3, por ejemplo, se muestra una rebanada 310E de frecuencia encaminada a un puerto asociado con un modulador programable opcional 314B asociado con otro haz 204B para su procesamiento.

El módulo combinador 306 consiste en cualquier construcción de hardware y/o de software capaz de reensamblar las diversas rebanadas de frecuencia en las nuevas sub-bandas 216. Después de que las rebanadas 310 de frecuencia son encaminadas a los puertos apropiados 312 y/o procesadas como se desee, los datos recibidos en los diversos puertos 312 asociados con cada haz 216 de enlace descendente son combinados adecuadamente antes de la retransmisión. Las sub-bandas recombinadas son transformadas en señales analógicas que pueden ser transmitidas en una antena 315 de enlace descendente, mediante convertidores digital a analógico (DACs, digital-to-analog converters) 316.

Entonces, en funcionamiento la unidad digital 202 de transpondedor recibe apropiadamente espectros de sub-banda procedentes de los diversos haces 204 de enlace ascendente, divide los espectros de sub-banda en rebanadas de frecuencia que pueden ser encaminadas individualmente a través de los diversos haces, proporciona cualquier procesamiento adicional deseado (por ejemplo, reconstrucción de señal, cifrado, etc.) y recombina las diversas rebanadas para crear nuevos haces 216 de enlace descendente. La capacidad global de la unidad 202 se mejora considerablemente mediante el procesamiento digital adicional de señales y datos, que puede llevarse a cabo sobre paquetes de datos y señales digitalizadas. Además, el ancho de banda eficaz del sistema 300 aumenta

sensiblemente en comparación con los sistemas similares analógicos basados en circuitos, mediante la eficiencia con la que las señales y los datos del usuario pueden empaquetarse conjuntamente para encajar en el ancho de banda disponible con un mínimo de segmentos no utilizables. Esto se debe a que las señales y los datos pueden ser procesados en segmentos relativamente pequeños, en lugar de en circuitos extremo a extremo de tamaño fijo. La eficiencia global del sistema 300 en términos de ancho de banda, consumo de potencia y otros factores se mejora enormemente, puesto que las demandas de capacidad adicional sobre un haz (o una parte de un haz) 204 pueden satisfacerse con el exceso de capacidad disponible en el mismo u otro haz.

A continuación haciendo referencia a la figura 4, una implementación de hardware a modo de ejemplo de la carga útil 400 de procesamiento de señal digital (DSP, digital signal processing) incluye adecuadamente una caja 402 que aloja diversas tarjetas de proceso 404, 406, según proceda. La caja 402 incluye habitualmente cualquier cantidad de ranuras para recibir las diversas tarjetas, así como un bus de la placa madre para facilitar transferencias de datos entre componentes de tarjetas independientes. La caja 402 puede tener asimismo conexiones apropiadas para proporcionar energía eléctrica a cada tarjeta 404, 406.

Puesto que las diferentes realizaciones pueden incorporar cualquier cantidad de tarjetas de proceso, la carga útil DSP 400 se adapta fácilmente a implementaciones de cualquier tamaño, simplemente añadiendo tarjetas de proceso a la caja 402 o eliminándolas de la misma. Varias implementaciones pueden incluir, por ejemplo, cualquier número de tarjetas 404 de transpondedor así como una o varias tarjetas 406 de gestión de recursos. Pueden disponerse asimismo tarjetas redundantes ("de respaldo") para el caso de que una o varias tarjetas fallen durante el funcionamiento. En una realización, la caja 402 soporta tres tarjetas 404 de transpondedor activas y una tarjeta 406 de gestión de recursos, así como una tarjeta de transpondedor de respaldo y una tarjeta de gestión de respaldo.

Cada tarjeta 404, 406 alojada dentro de la caja 402 interactúa adecuadamente con el bus de la placa madre para comunicaciones de datos entre tarjetas. Aunque podría utilizarse cualquier diseño de bus, ejemplos de realizaciones pueden utilizar arquitecturas de bus estándar en la industria, tales como el bus de interconexión de componentes periféricos (PCI, peripheral component interface), VMEbus o cualesquiera otros buses descritos en los diversos estándares IEEE, ARINC, MIL-STD y/o en otros estándares de comunicaciones comerciales y/o militares. En una realización, el bus de la placa madre está basado en una matriz de conmutadores UNILINK de impedancia adaptada, disponible en Business Machines de Armonk, Nueva York.

Las diversas tarjetas 404 de transpondedor que funcionan con la carga útil 400 incluyen habitualmente una o varias entradas que pueden soportar uno o varios canales de entrada, así como una interfaz para el bus de la placa madre, circuitos de proceso adecuados, y cualquier número de salidas. En diversas realizaciones, pueden disponerse de rebanadas de entrada y salida con seis o más canales de entrada de 540 MHz, si bien otras realizaciones pueden tener cualquier número de canales que funcionan en cualquier frecuencia. Diferentes realizaciones pueden incluir cualquier número de rebanadas de entrada y/o de salida (por ejemplo, de 1 a 7 entradas y de 1 a 7 salidas); el número de rebanadas de entrada no tiene por qué coincidir con el número de rebanadas de salida. Además, las tarjetas 404 de transpondedor incluyen habitualmente un microcontrolador, un procesador de señal digital u otro procesador, así como conmutadores de datos distribuidos y circuitos asociados para suministrar energía a la tarjeta. Si bien podría utilizarse cualquier procesador con las diversas realizaciones, un ejemplo de realización utiliza procesadores PowerPC 750 en las tarjetas 404 de transpondedor y en las tarjetas 408 de gestión de recursos. El procesamiento de datos para la matriz 304 de conmutación (figura 3) y otras funciones, pueden compartirse entre múltiples tarjetas 404, 406 para mejorar más la redundancia y la compartición de cargas del sistema 400.

A continuación haciendo referencia a la figura 5, se muestra en su forma lógica una carga útil DSP 500 a modo de ejemplo, que incluye cualquier cantidad de canales 501A-n interconectados mediante el conmutador 510 de datos. Cada canal 501 corresponde generalmente a un espectro de sub-banda recibido en un haz 204 de enlace ascendente, según proceda. Puede procesarse cualquier cantidad de canales 501 en una tarjeta común 404 de proceso de datos, descrita anteriormente. La carga útil 500 incluye asimismo funciones de suministro de energía 518, proceso de telemetría y telecomando (T&C, telemetry and command) 520 y generación de reloj/distribución 522, según proceda. La funcionalidad del proceso de T&C 520 y/o de la generación de reloj 522 puede proporcionarse mediante una o varias tarjetas 406 de gestión de recursos (figura 4), o puede estar compartida entre una o varias tarjetas 404 de proceso de datos.

Cada canal 501 incluye apropiadamente varios módulos para procesar digitalmente señales recibidas. En el ejemplo de realización mostrado en la figura 5, la señal analógica de banda base recibida desde la antena de enlace ascendente es en primer lugar filtrada y sometida a conversión A/D en 502, para producir equivalentes digitales que pueden ser procesados posteriormente. Tal como se ha mencionado anteriormente, el filtrado y la conversión D/A pueden gestionarse dentro de la carga útil 500, o pueden gestionarse en un convertidor D/A independiente que puede estar situado cerca de la antena para reducir el ruido de la señal, la interferencia y otras fuentes de error o distorsión. Las señales digitales de banda base pueden filtrarse adicionalmente 504 o bien conformarse/procesarse para obtener un espectro deseado de sub-banda digital, por ejemplo. Estas señales digitales pueden ser desmoduladas en el módulo 506 de desmodulación, según proceda. El desmodulador 506 funciona apropiadamente a frecuencias variables para adaptarse a diferentes tipos de datos y protocolos para fuentes de datos diferentes. A continuación las señales desmoduladas son descodificadas, desaleatorizadas o procesadas de otro modo 506 en un

flujo de bits digital que puede ser paquetizado, encaminado y/o procesado de otro modo. El módulo 508 de descodificación comunica apropiadamente con el módulo de T&C 520, que reúne información acerca de los datos y proporciona instrucciones de comando para procesar los datos, según se desee. Los datos desmodulados pueden ser canalizados y encaminados desde cualquier puerto de entrada a cualquier puerto de salida en la carga útil 400. Por lo tanto, el conmutador 510 acepta la conmutación y el encaminamiento de circuitos y/o paquetes individuales, mediante el recurso de mapear diversas rebanadas de datos de paquetes descodificados, a uno o varios puertos de salida del conmutador, tal como se ha descrito anteriormente en relación con la figura 3.

El procesamiento adicional de los paquetes de datos descodificados puede tener lugar antes, durante o después del encaminamiento mediante el conmutador 510. Ejemplos de varios tipos de procesos que pueden implementarse incluyen cifrado/descifrado, control de acceso/autenticación, compresión/extracción de datos, conversión de protocolos, regeneración de señal, corrección de errores y similares. Puesto que los paquetes de datos descodificados son simplemente flujos de bits digitales, puede llevarse a cabo cualquier tipo de proceso sobre los datos antes de la remodulación y la conversión D/A. Dichos procesos pueden controlarse y/o llevarse a cabo mediante el módulo T&C 520 y/o mediante otros procesadores en cualquier tarjeta 404 de transpondedor o en cualesquiera tarjetas 406 de gestión de recursos (figura 4).

Después del procesamiento digital y el encaminamiento, los diversos paquetes digitales/rebanadas son recombinados y formateados 512, según proceda. A continuación, los paquetes recombinados pueden ser cifrados, codificados, multiplexados, remodulados o procesados de otro modo mediante el módulo 514, antes de su transmisión en un haz de enlace descendente. La carga útil DSP 500 puede incluir asimismo capacidad de filtrado y conversión D/A 516, o la conversión D/A puede tener lugar más cerca de las antenas de enlace descendente para reducir el ruido, la distorsión y similares.

En la figura 6 se dan a conocer detalles adicionales de una implementación a modo de ejemplo de una carga útil digital 600 con tres rebanadas 406A-C de procesamiento DSP multi-puerto. Haciendo referencia a la figura 6, la carga útil digital 600 incluye apropiadamente cualquier número de rebanadas DSP 406, que incluyen cada una un ADC 604, un canalizador 608, una matriz 622 de conmutación digital, un combinador digital 610 y un DAC 612, además de un módulo opcional 616 de regeneración. Cada rebanada 406 incluye asimismo el circuito 618 de energía para proporcionar energía eléctrica a los diversos componentes de la rebanada, según proceda. Tal como se ha descrito anteriormente en relación con la figura 3, cada uno de los diversos componentes de procesamiento de datos puede estar implementado con circuitos integrados de aplicación específica, o con cualquier otra combinación de hardware y/o software.

Tal como se ha descrito anteriormente, cada rebanada 406 de procesamiento recibe espectros de sub-banda u otras señales de entrada procedentes de una antena de enlace ascendente. En la figura 6, estos espectros de sub-banda se muestran como bandas de frecuencia de 560 MHz dispuestas en grupos de cuatro bandas en un puerto 602 de entrada, aunque otras realizaciones pueden procesar cantidades diferentes de canales y/o canales con anchos de banda variables. Cada una de las señales de entrada son recibidas en la rebanada 618, en la que las señales son transformadas en sus equivalentes digitales mediante el ADC 604. Estos equivalentes digitales pueden proporcionarse de cualquier manera al circuito canalizador 608. En la realización mostrada en la figura 6, se proporcionan equivalentes digitales a través de conexiones de datos en paralelo de 8 bits, si bien las realizaciones alternativas pueden utilizar cualquier nivel de resolución de bits transmitido sobre cualquier conexión en serie y/o en paralelo. Los flujos de bits digitales canalizados son encaminados mediante varios circuitos 622 de conmutación interconectados mediante el bus 620/624 de la placa madre. Tal como se muestra en la figura 6, un bus de datos de tipo UNILINK acopla los diversos ASICs 622 de conmutación en una serie de anillos lógicos en cascada, produciéndose las transferencias de datos de forma lineal a través de interconexiones 624 de conmutación y el bus 620 de retorno. En realizaciones alternativas, los diversos ASICs 622 de conmutación pueden estar interconectados en cualquier malla, red, estrella, línea, anillo o de otro modo. Las rebanadas 310 de conmutación de frecuencia son recombinadas a continuación en los ASICs 610 y/o procesadas digitalmente mediante ASICs 616 de regeneración, según proceda. A continuación, las señales recombinadas pueden ser sometidas a conversión D/A 612 y proporcionadas a las antenas de enlace descendente a través de puertos 614 de salida, según proceda.

Utilizando las estructuras y las construcciones lógicas mostradas en las figuras 2 a 6, pueden ser diseñadas fácilmente cargas útiles digitales de capacidades variables. De nuevo haciendo referencia a la figura 2, una realización de la carga útil digital 202 proporciona funcionalidad de encaminamiento y de reconstrucción de datos, así como opcionalmente ajuste de la potencia de salida, proporcionando linealización de la salida, ajuste de la potencia de salida y/o monitorización de la utilización del tráfico y/o del ancho de banda dentro de la carga útil 202. Por ejemplo, la linealización de la salida puede proporcionarse pre-compensando en los datos proporcionados a los haces de enlace descendente, la distorsión observada durante la transmisión de enlace descendente. Esta pre-compensación puede ser modificada en órbita de manera programable, en respuesta a la distorsión real observada, a las condiciones meteorológicas terrestres y/o a otros factores. De manera similar, la potencia de salida de los diversos haces de enlace descendente puede ser ajustada de forma programable hacia arriba o hacia abajo, según se requiera para compensar cambios meteorológicos, avances tecnológicos u otros factores.

A continuación haciendo referencia a la figura 7, otra realización 700 de carga útil digital 202 proporciona adecuadamente una capacidad mejorada de gestión modular de datos, según proceda. Dichas capacidades de gestión de datos son habitualmente procesadas o controladas mediante el módulo 308 de regeneración (figura 3) y/o el procesador de T&C 520 (figura 5). Puesto que las diversas rebanadas 310 de frecuencia digital (figura 3) pueden ser desmoduladas para extraer un flujo de bits en bruto, la carga útil digital 202 tiene acceso a las señales canalizadas, permitiendo de ese modo que las señales sean procesadas y manipuladas para implementar características adicionales no inmediatamente disponibles en el entorno del satélite. Ejemplos de capacidades de gestión de datos incluyen conmutación de paquetes con disposición en cola adicional, corrección de errores hacia adelante (por ejemplo, utilizando suma de comprobación, CRC, resumen u otras técnicas de corrección de errores), multiplexación basada en código (por ejemplo, acceso múltiple por división de código (CDMA)), y/o seguridad mejorada a través de autenticación del usuario, autenticación del acceso, cifrado de datos y/o similares. Ejemplos de seguridad mejorada incluyen registro en red y/o control de acceso utilizando credenciales digitales (por ejemplo, contraseñas, firmas digitales o similares).

En otra realización, las capacidades de procesamiento de señal digital de la carga útil 202 pueden ampliarse para incorporar formación directa del haz, esencialmente creando una carga útil 800 totalmente digital del satélite, tal como se muestra en la figura 8. Habitualmente dichas realizaciones no requieren capacidades de conversión descendente o de multiplexación de salida, puesto que la carga útil digital 202 es capaz de interactuar directamente con antenas de elementos en fase y/u otras, para procesar datos de enlace ascendente y para formar haces de enlace descendente listos para su transmisión. En dichas realizaciones, la carga útil digital 202 recibe las señales analógicas de banda base desde los amplificadores de entrada 206, y proporciona señales de salida a los amplificadores de salida 802 en forma analógica. Los amplificadores de salida pueden ser amplificadores de potencia de estado sólido (SSPAs, solid state power amplifiers) o cualesquiera otros amplificadores apropiados. Debido a que todo el procesamiento de los datos se gestiona digitalmente dentro de la carga útil 800, se consiguen capacidades mejoradas significativamente, tales como encaminamiento punto a punto, optimización de la potencia de transmisión y la cobertura, funcionalidad anti-interferencia (por ejemplo, anulación) y similares.

Por ejemplo, la anulación, involucra habitualmente la detección de una señal hostil en la antena y la oposición instantánea de una señal "nula" para minimizar la energía de la señal hostil en comparación con las señales amistosas. Debido a que la carga útil digital 202 es capaz de formar haces individuales de enlace descendente y de modificar la potencia de los haces de salida, la funcionalidad de anulación puede implementarse directamente dentro de la carga útil 202 creando una señal de enlace descendente deseada que puede ser dirigida a la fuente hostil. Además, las señales hostiles pueden ser extraídas digitalmente de las señales de enlace ascendente recibidas, y/o pueden utilizarse restricciones de acceso para asegurar adicionalmente las transmisiones de datos dentro de la carga útil 202.

La arquitectura descrita anteriormente proporciona una plataforma para diseñar, construir y manejar satélites y para adaptar el funcionamiento de dichos satélites a aplicaciones específicas deseadas. Por ejemplo, la frecuencia y la cobertura de los haces pueden ser variables y modificarse en órbita. Además, tanto las funcionalidades canalizadas como las regenerativas pueden hacerse disponibles, y estas funcionalidades pueden mejorarse o modificarse mientras el satélite está en órbita. Asimismo, la flexibilidad diseñada en el sistema permite un alto grado de reutilización de la frecuencia manteniendo al mismo tiempo una total flexibilidad de las comunicaciones.

Debido a que varios recursos de la carga útil (ancho de banda, potencia, etc.) pueden fácilmente monitorizarse y regularse en órbita en tiempo real dentro de la carga útil digital 202, por ejemplo, se posibilitan nuevas técnicas para explotar los recursos de la carga útil. Tal como se ha mencionado anteriormente, el ancho de banda y otros recursos pueden monitorizarse (por ejemplo, mediante el módulo 520 de telemetría y telecomando de la figura 5, o similares) para reasignar recursos sobrantes a otros haces, canales o rebanadas que necesitan dichos recursos.

A continuación haciendo referencia a la figura 9, un ejemplo de proceso 900 para la reasignación de recursos dentro de la carga útil 202 incluye apropiadamente las etapas generales de definir una asignación inicial (etapa 902), monitorizar la utilización de recursos (etapa 904) y regular la asignación de recursos al alza (etapas 906 y 908) o a la baja (etapa 910), según sea necesario. Si bien la figura 9 se refiere al ancho de banda como el recurso concreto que está siendo asignado, diversas realizaciones equivalentes asignarán otros recursos tales como energía eléctrica, la cobertura de la antena y similares.

El proceso 900 comienza con una asignación inicial de recursos del satélite (etapa 902). La asignación inicial estará basada en datos históricos o de simulación, iteraciones anteriores del proceso 900, datos experimentales y/o cualesquiera otros factores. A continuación, la utilización de los recursos es monitorizada (etapa 904) a través de las diversas conexiones, canales, rebanadas u otros recursos relevantes, para identificar la capacidad sobrante (etapa 910) o la capacidad utilizada en exceso (etapa 906). Por ejemplo, en el caso del ancho de banda, algunos o todos los canales pueden ser monitorizados para identificar canales concretos con utilidades de ancho de banda por encima o por debajo de ciertos valores umbral. Los valores umbral concretos utilizados pueden determinarse experimentalmente o a partir de datos históricos, o pueden sino determinarse de cualquier otro modo. Alternativamente, las utilidades de recursos reales o estimadas de diversos canales pueden mantenerse en una tabla o en otra estructura de datos. A continuación, el exceso de capacidad identificado en uno o varios canales

infrautilizados (etapa 912) puede ser asignado para su utilización por canales utilizados en exceso (etapa 908), según proceda. A la inversa, los canales que no están utilizados en exceso ni infrautilizados pueden no verse afectados (etapa 914). Se entiende que el proceso 900 mostrado en la figura 9 es principalmente conceptual; en la práctica, podría utilizarse cualquier proceso de monitorización y reasignación de recursos, en una amplia gama de realizaciones alternativas.

El concepto de reasignación de recursos en órbita permite diversos nuevos métodos de negocio para las organizaciones proveedoras de ancho de banda. Por ejemplo, pueden ofertarse a los clientes servicios de ancho de banda variable, que son adaptados a las verdaderas necesidades del cliente de manera más individualizada que el modelo de compra de "circuito transpondedor". Los clientes pueden ser cobrados flexiblemente por el ancho de banda real/potencia de transmisión consumida y zona geográfica cubierta, por ejemplo, en lugar de pagar por un "canal" inflexible de tamaño y potencia fijos que puede estar utilizado en exceso y/o infrautilizado por el cliente en diferentes momentos durante el periodo contractual. Alternativamente, la potencia transmitida y el ancho de banda "sobrantes" o no utilizados, asignados a diversas conexiones de circuito, pueden ser recuperados y utilizados para otras aplicaciones u otros clientes.

En el diagrama de flujo de datos de la figura 10 se muestra otro proceso 1000 facilitado mediante la arquitectura flexible de satélite. El proceso 1000 permite que varias partes controlen independientemente una parte de los recursos de satélite para asignar de ese modo los recursos como se desee. A continuación haciendo referencia a la figura 10, un bloque de recursos 1002 de satélite es dividido y asignado entre uno o varios gestores de recursos 1006A-C que son responsables de subasignar el recurso a diversas entidades 1008A-C que funcionan dentro del dominio del gestor. Aunque no se muestra en la figura 10, en realizaciones alternativas las entidades secundarias pueden también subasignar el recurso a otras entidades (o a múltiples niveles secundarios de entidades). Los gestores 1006 pueden ser comandantes en un campo de batalla, por ejemplo, que asignan dinámicamente ancho de banda de satélite entre las unidades bajo su control. Si se asigna a una unidad una cantidad fija de ancho de banda, por ejemplo, un comandante puede asignar temporalmente una parte grande del ancho de banda a una unidad (por ejemplo, un vehículo aéreo con cámara no tripulado) durante un breve periodo de tiempo para permitir la transmisión de imágenes visuales, grandes archivos de datos o similares. Después de que se reduce la necesidad de ancho de banda, dicho ancho de banda puede ser reasignado a otras unidades para una mejora en la voz, los datos u otro tráfico. Dicha flexibilidad puede ser particularmente útil para operaciones centradas en redes (NCO, network centric operations) y otros propósitos militares, aunque el concepto general podría utilizarse igualmente en escenarios corporativos, industriales, de entretenimiento u otros administrativos. Podría reforzarse el control de acceso dentro de la carga útil 202 (figuras 2 a 8) asignando credenciales digitales (por ejemplo, certificados criptográficos o similares) a los diversos gestores 1006 y a otras entidades 1008, y asociando los diversos certificados a una lista de acceso u otra estructura de datos comprendida en la carga útil 202 (por ejemplo, dentro del módulo T&C 520 o similar). Podrían formularse muchos otros planes y técnicas de asignación en una amplia gama de realizaciones equivalentes.

En algunas otras realizaciones (y haciendo referencia a continuación a la figura 11), la carga útil digital 202 puede combinarse con antenas de elementos en fase multi-haz u otras similares, capaces de proyectar múltiples haces puntuales para mejorar aún más la flexibilidad del satélite 1100. En dichas realizaciones, las sub-bandas de frecuencia pueden ser reutilizadas en los múltiples haces puntuales 1106 de enlace descendente, mejorando de ese modo la eficiencia del ancho de banda. Pueden disponerse asimismo uno o varios haces 1104 de radiodifusión. Estos haces puntuales pueden estar estrictamente adaptados y enfocados para proporcionar ancho de banda exclusivamente en las áreas deseadas, y pueden facilitar asimismo técnicas de salto de frecuencias que mejoran aún más la seguridad.

Por consiguiente, la eficiencia global del satélite puede mejorarse espectacularmente dado que todo el ancho de banda (u otros recursos) del satélite queda disponible para su utilización en todo momento durante el funcionamiento del satélite. Esto proporciona eficazmente una capacidad adicional de recursos que puede venderse o alquilarse, incrementando de este modo significativamente los flujos de ingresos extraídos de la carga útil digital. Además, las características adicionales de procesamiento digital (por ejemplo, seguridad, regeneración de datos, multiplexación de código y similares) mejoran aún más la utilidad y el valor del satélite. Asimismo, la capacidad de reconfigurar la carga útil digital durante el diseño, la fabricación y/o en órbita, proporciona aún más valor a los clientes al reducir el riesgo a largo plazo de la inversión en dichas tecnologías. Puesto que el satélite puede ser reconfigurado en órbita para transmitir, recibir y procesar haces en cualquier frecuencia y transportar cualquier tipo de formas de ondas de datos, la arquitectura permite una amplia gama de aplicaciones y una vida útil del producto mucho más larga que con los satélites disponibles anteriormente.

Si bien en la anterior descripción detallada se ha presentado por lo menos un ejemplo de realización, deberá apreciarse que existen un amplio número de variaciones. Aunque diversos aspectos de la invención se han descrito frecuentemente junto con un satélite de comunicaciones, por ejemplo, las diversas técnicas y sistemas descritos en la presente memoria podrían implementarse fácilmente en otros contextos, incluyendo comunicaciones en aviación, automoción o marítimas, comunicaciones celulares u otros tipos de comunicaciones terrestres, o en cualquier otro entorno. Asimismo, debe apreciarse que la realización ejemplar o las realizaciones ejemplares son solamente ejemplos, y no pretenden limitar en modo alguno el alcance, la aplicabilidad o la configuración de la invención. La

5 anterior descripción detallada proporcionará a los expertos en la materia una hoja de ruta práctica para implementar la realización ejemplar o las realizaciones ejemplares. Pueden realizarse diversos cambios en la función y disposición de los elementos sin apartarse del alcance de la invención, tal como se define en las reivindicaciones adjuntas y sus equivalentes legales. Las diversas etapas de los métodos, procesos y técnicas descritos en las reivindicaciones adjuntas podrían practicarse en cualquier orden temporal, por ejemplo, o podrían practicarse simultáneamente en diversas realizaciones equivalentes.

REIVINDICACIONES

1. Una carga útil digital (202, 300, 500, 600) para procesar un espectro de sub-banda recibido en un haz (204) de enlace ascendente en un satélite (200, 1100) de comunicaciones, comprendiendo dicha carga útil digital:
- 5 un canalizador digital (302) configurado para dividir el espectro de sub-banda en una serie de rebanadas (310) de frecuencia;
- una matriz (304) de conmutación digital configurada para encaminar cada una dicha serie de rebanadas de frecuencia a, por lo menos, uno de una serie de puertos (312) de recepción; y
- 10 un combinador digital (306) configurado para comunicar con los puertos de recepción para recibir dicha serie de rebanadas de frecuencia y reensamblar dicha serie de rebanadas de frecuencia a efectos de formar de ese modo una serie de sub-bandas de salida para su transmisión en un haz de salida (216) del satélite de comunicaciones,
- 15 **caracterizada por** un módulo (308) de regeneración digital configurado para desmodular por lo menos una parte de dicho espectro de sub-banda a efectos de extraer del mismo un flujo de bits digital, para procesar digitalmente el flujo de bits, y para remodular el flujo de bits después del procesamiento, en el que el procesamiento digital del flujo de bits incluye cifrado.
2. La carga útil digital acorde con la reivindicación 1, que comprende además un convertidor analógico a digital (A/D) configurado para recibir el haz de enlace ascendente y para producir a partir del mismo el espectro de sub-banda.
- 20 3. La carga útil digital acorde con la reivindicación 2, en la que el convertidor A/D está configurado además para muestrear el haz de enlace ascendente a una tasa de frecuencia de IF.
- 25 4. Un método de procesamiento de un espectro de sub-banda recibido en un haz de enlace ascendente en una carga útil digital para un satélite de comunicaciones, comprendiendo el método las etapas de:
- dividir digitalmente el espectro de sub-banda en una serie de rebanadas de frecuencia;
- 30 encaminar cada una dicha serie de rebanadas de frecuencia a por lo menos uno de una serie de puertos de recepción;
- desmodular por lo menos una parte de dicha serie de rebanadas de frecuencia para extraer de la misma un flujo de bits digital;
- procesar digitalmente por lo menos una parte de dichas rebanadas de frecuencia;
- 35 en el que el procesamiento digital incluye cifrado del flujo de bits;
- remodular el flujo de bits después del procesamiento; y
- reensamblar digitalmente dicha parte de dicha serie de rebanadas de frecuencia después del procesamiento, para formar de ese modo una serie de sub-bandas de salida para su transmisión en un haz de salida del satélite de comunicaciones.
- 40 5. El método acorde con la reivindicación 4, que comprende además las etapas de monitorizar el espectro de sub-banda para identificar cambios en el consumo de ancho de banda, y de modificar la etapa de encaminamiento en respuesta a los cambios para mejorar de ese modo la eficiencia de la carga útil digital.
- 45 6. El método acorde con la reivindicación 4 o la reivindicación 5, en el que la etapa de procesamiento digital comprende llevar a cabo corrección de errores sobre dicha parte de las rebanadas de frecuencia.
7. El método acorde con cualquiera de las reivindicaciones 4 a 6, en el que la etapa de procesamiento digital comprende llevar a cabo multiplexación por división de código sobre dicha parte de las rebanadas de frecuencia.
- 50 8. El método acorde con cualquiera de las reivindicaciones 4 a 7, en el que dicha etapa de procesamiento digital comprende llevar a cabo control de acceso sobre dicha parte de las rebanadas de frecuencia.
9. Un satélite (200, 1100) que recibe una serie de haces (204) de enlace ascendente y produce una serie de haces (216) de enlace descendente, comprendiendo dicho satélite:
- 55 una antena (303) de enlace ascendente configurada para recibir dicha serie de haces de enlace ascendente;
- una antena (315) de enlace descendente configurada para producir dicha serie de haces de enlace descendente; y
- 60 un convertidor analógico a digital (A/D) (502, 604) configurado para convertir dichos haces de enlace ascendente en equivalentes digitales de enlace ascendente;
- en el que el satélite está **caracterizado por** una carga útil totalmente digital, que comprende:
- un canalizador digital (302) configurado para recibir dichos equivalentes digitales de enlace ascendente y para dividir dichos equivalentes digitales de enlace ascendente en una serie de rebanadas (310) de frecuencia;
- 65 una matriz (304) de conmutación digital configurada para encaminar cada una de dicha serie de rebanadas de frecuencia a por lo menos uno de una serie de puertos (312) de recepción; y

un combinador digital (306) configurado para comunicar con dichos puertos de recepción para recibir dicha serie de rebanadas de frecuencia y para reensamblar dicha serie de rebanadas de frecuencia a efectos de formar de ese modo una serie de sub-bandas digitales de salida; y

5 un convertidor digital a analógico (D/A) (316) configurado para convertir dichas sub-bandas digitales de salida en haces de enlace descendente transmitidos por dicha antena de enlace descendente,

un módulo de regeneración digital configurado para desmodular cada una de dicha serie de rebanadas de frecuencia a efectos de extraer de la misma un flujo de bits digital, para procesar digitalmente dicho flujo de bits, y para remodular dicho flujo de bits después del procesamiento, en el que el procesamiento incluye el cifrado del flujo de bits.

10

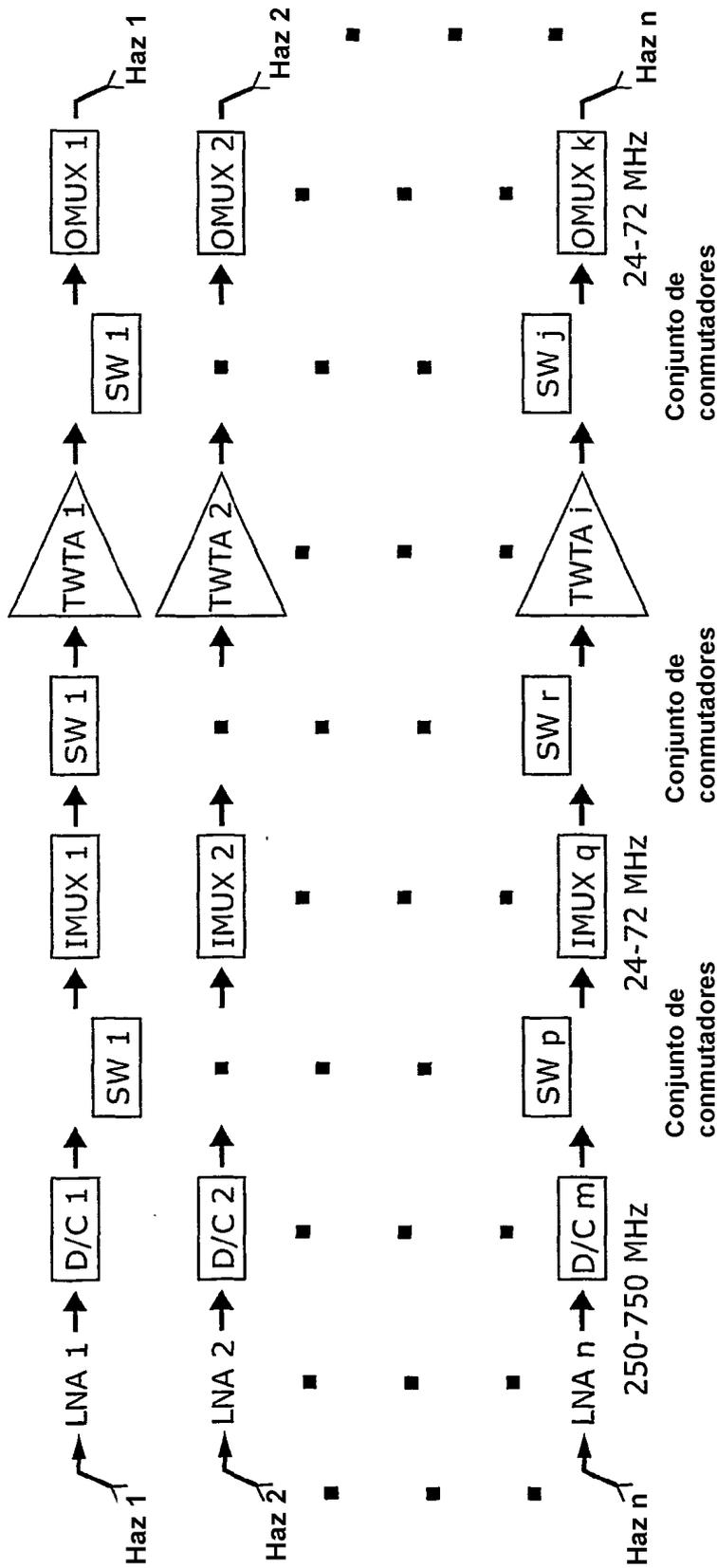


FIG. 1
(técnica anterior)

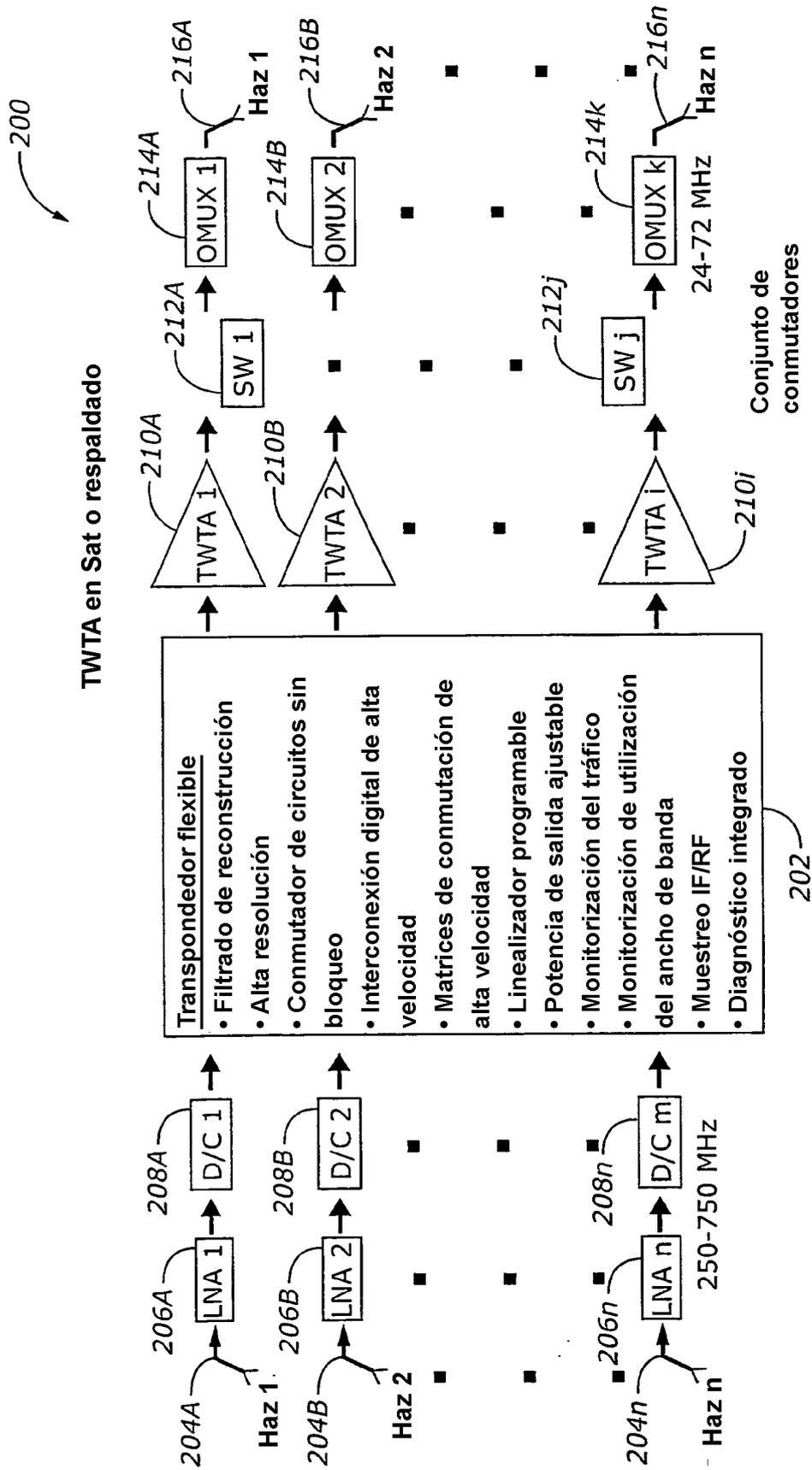


FIG. 2

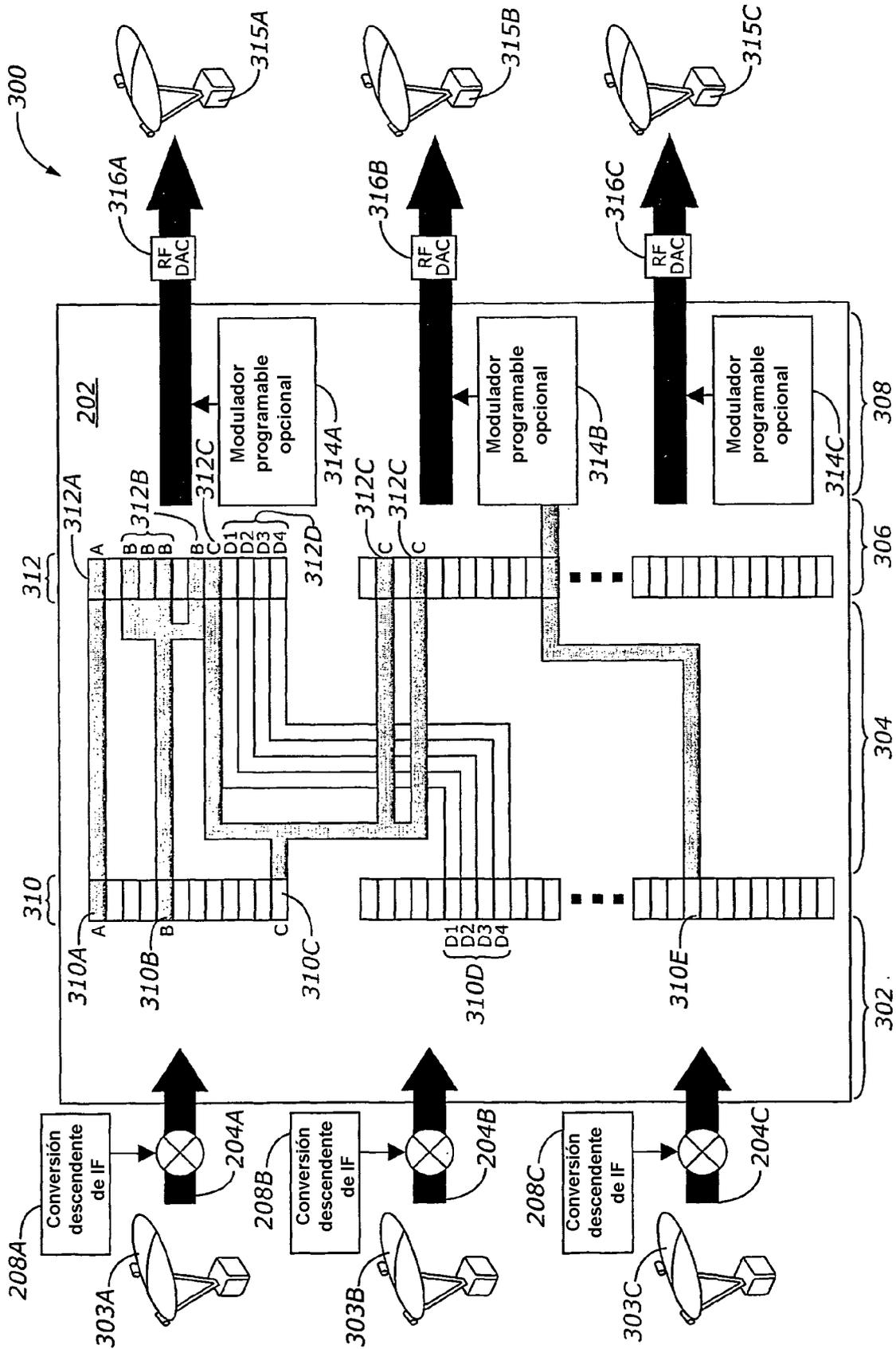


FIG. 3

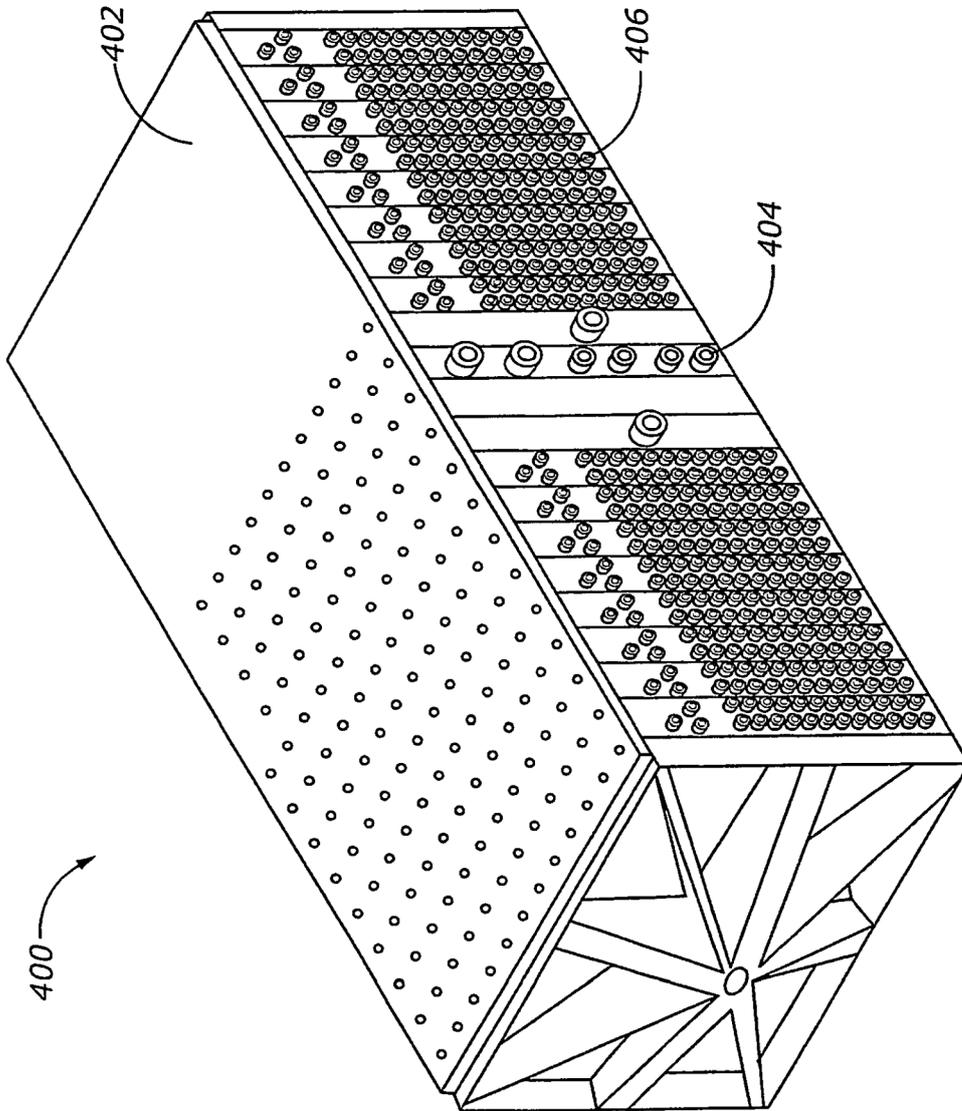


FIG. 4

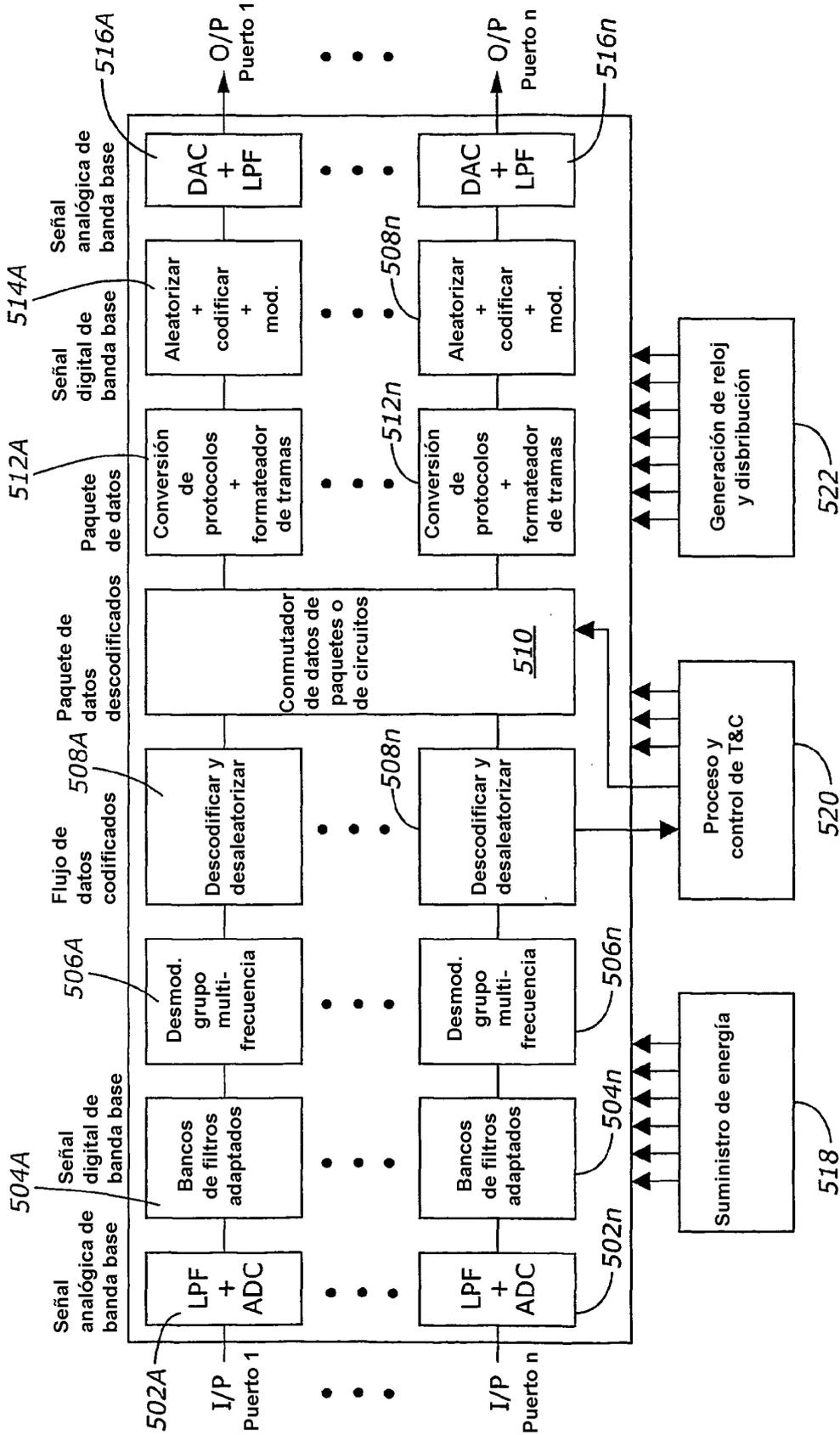


FIG. 5

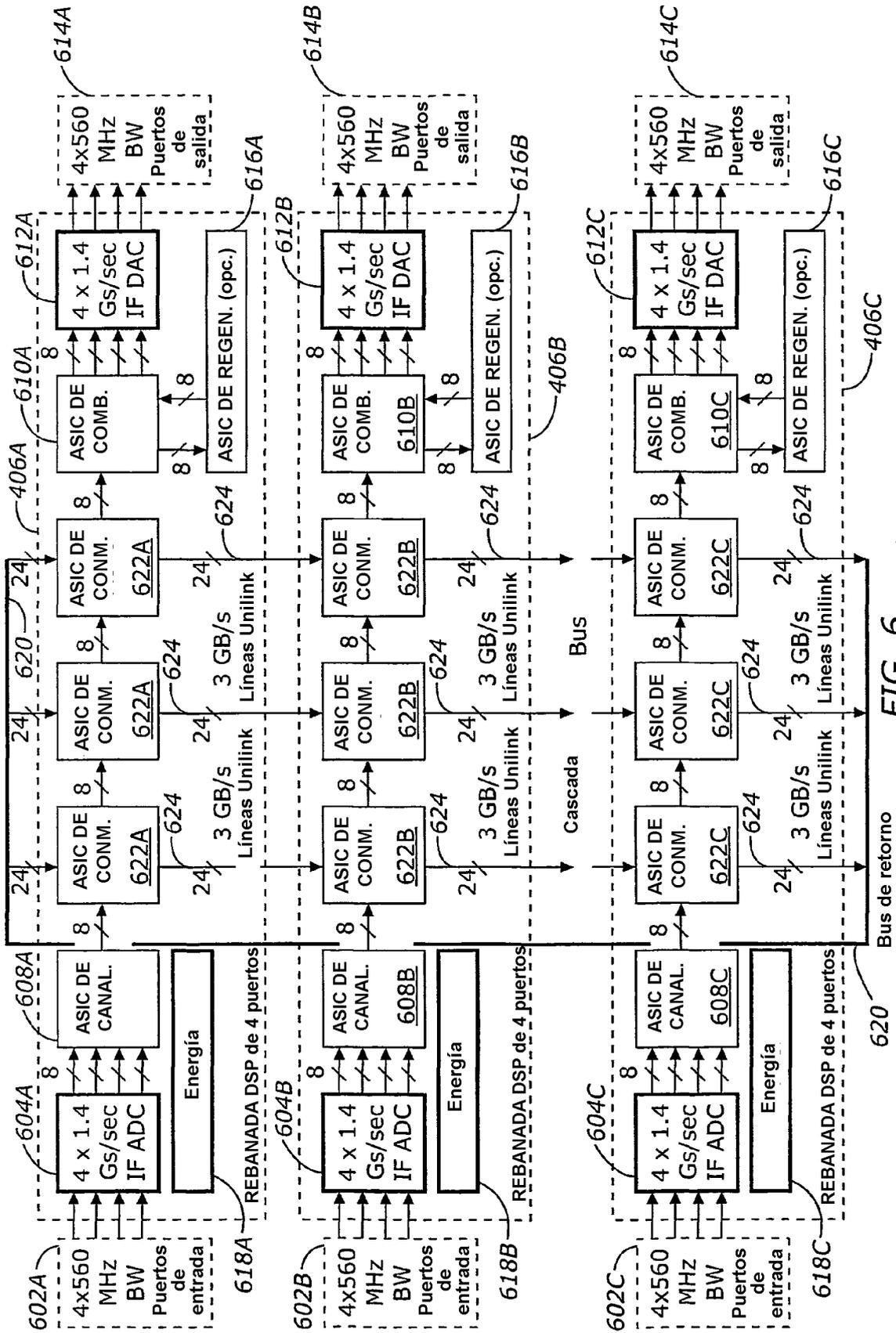


FIG. 6

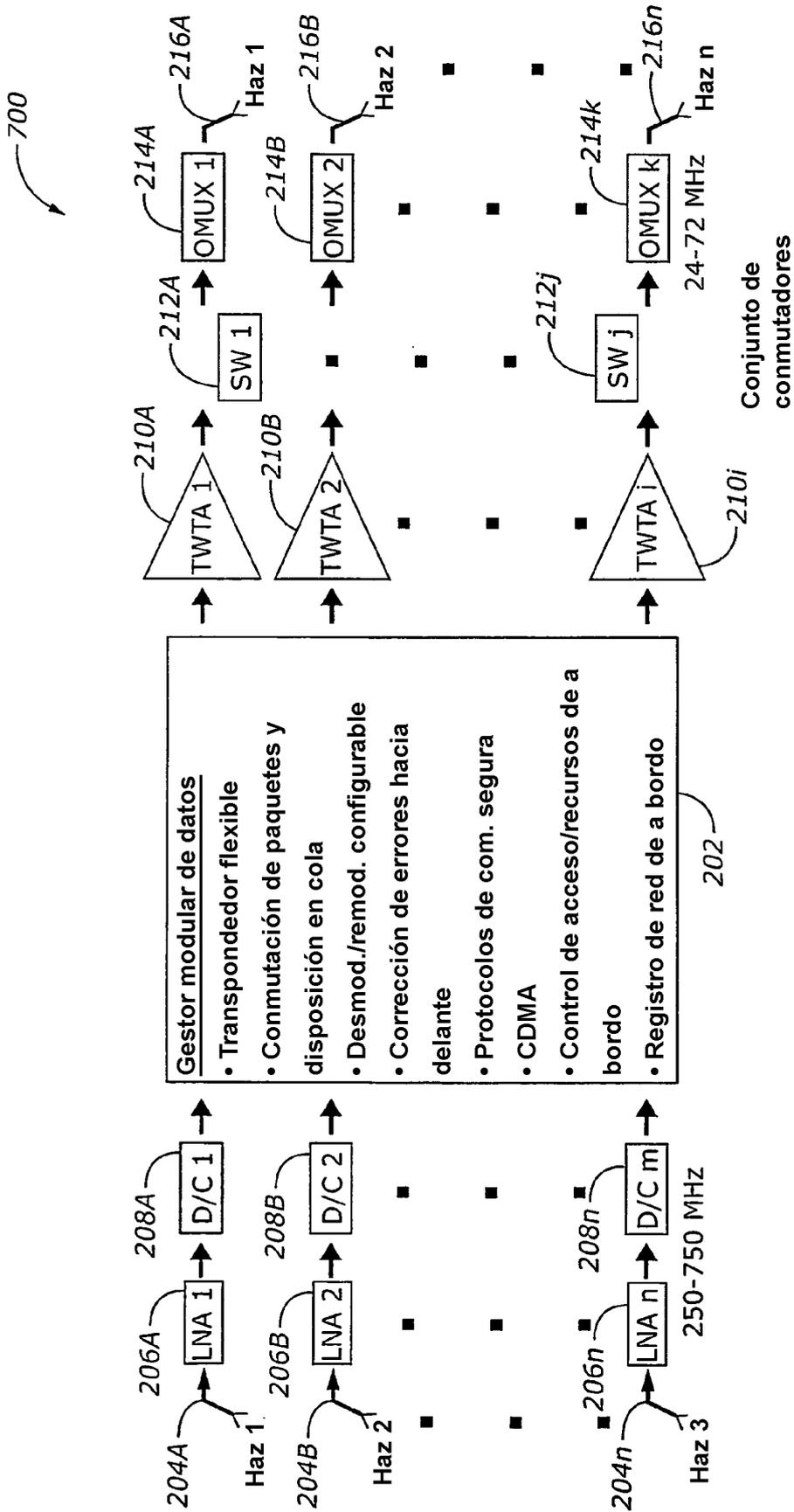


FIG. 7

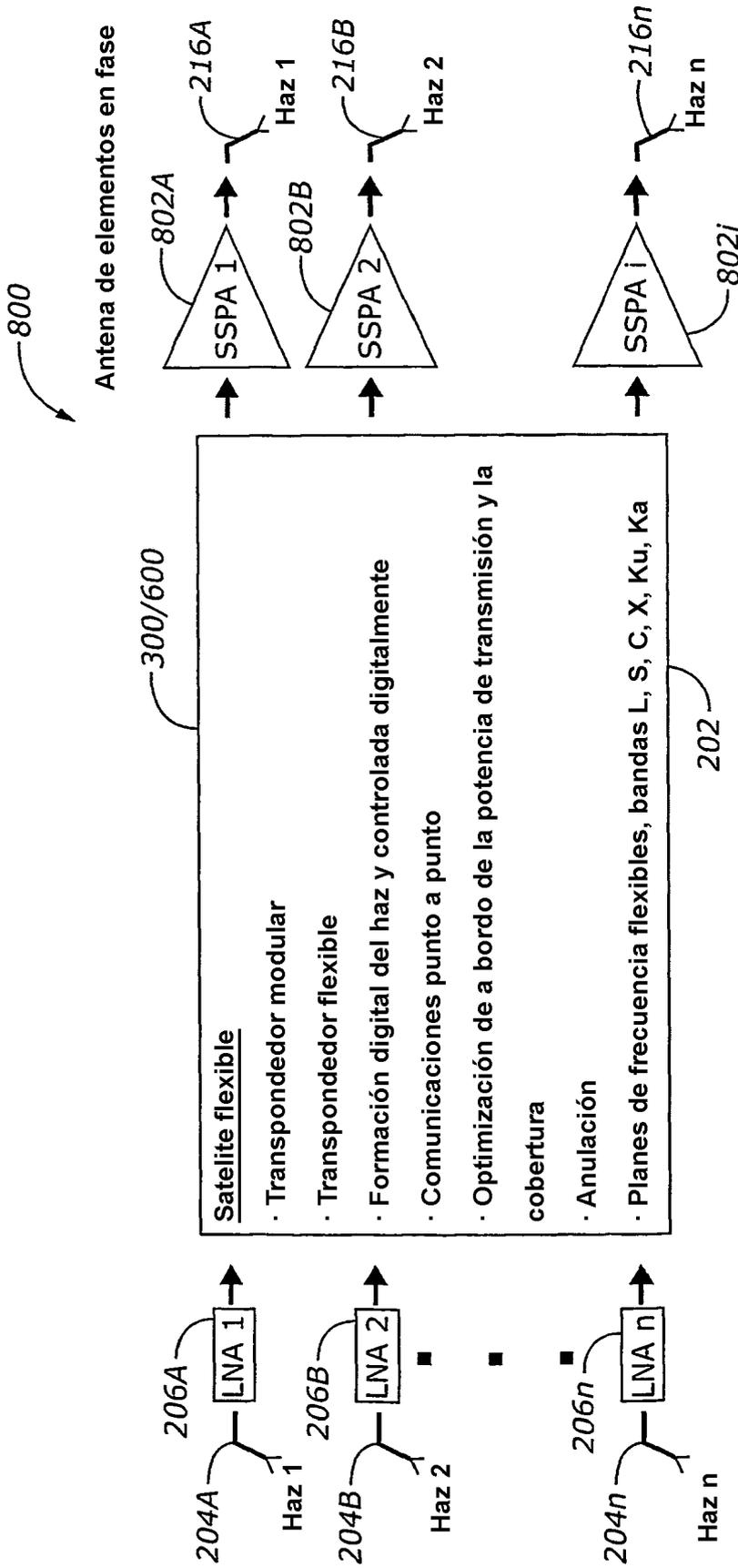


FIG. 8

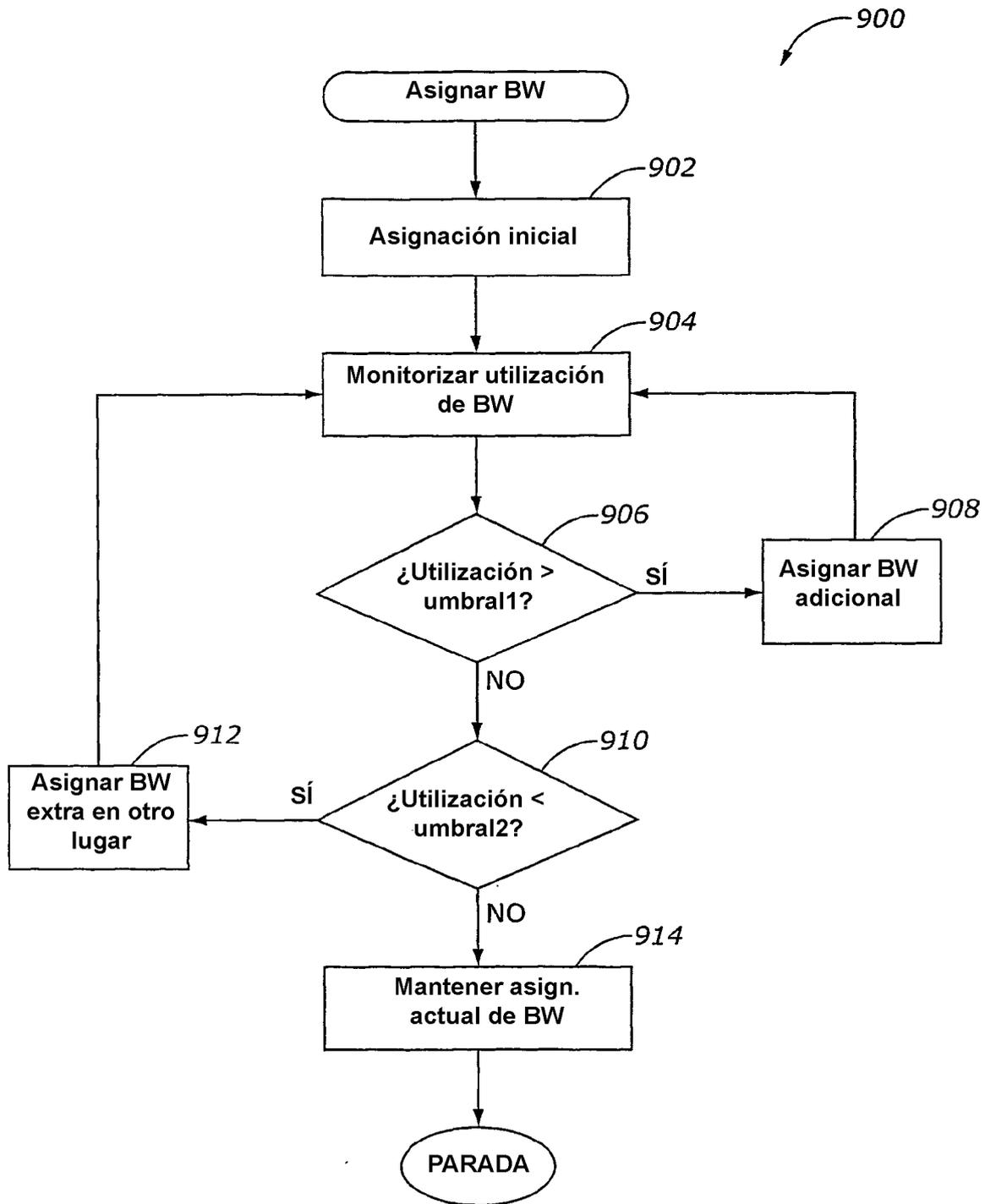


FIG. 9

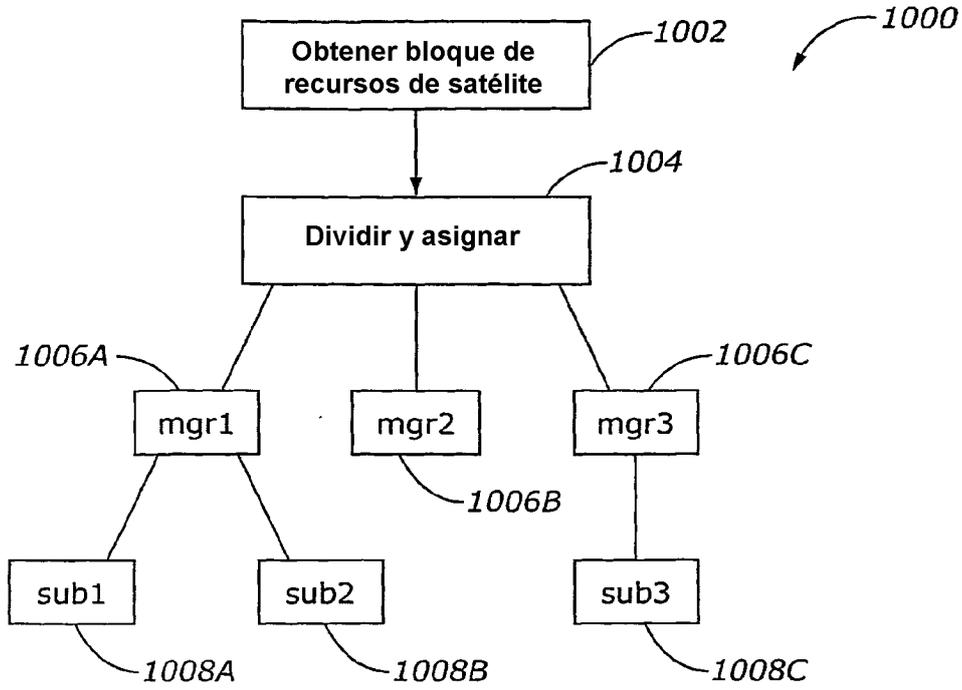


FIG. 10

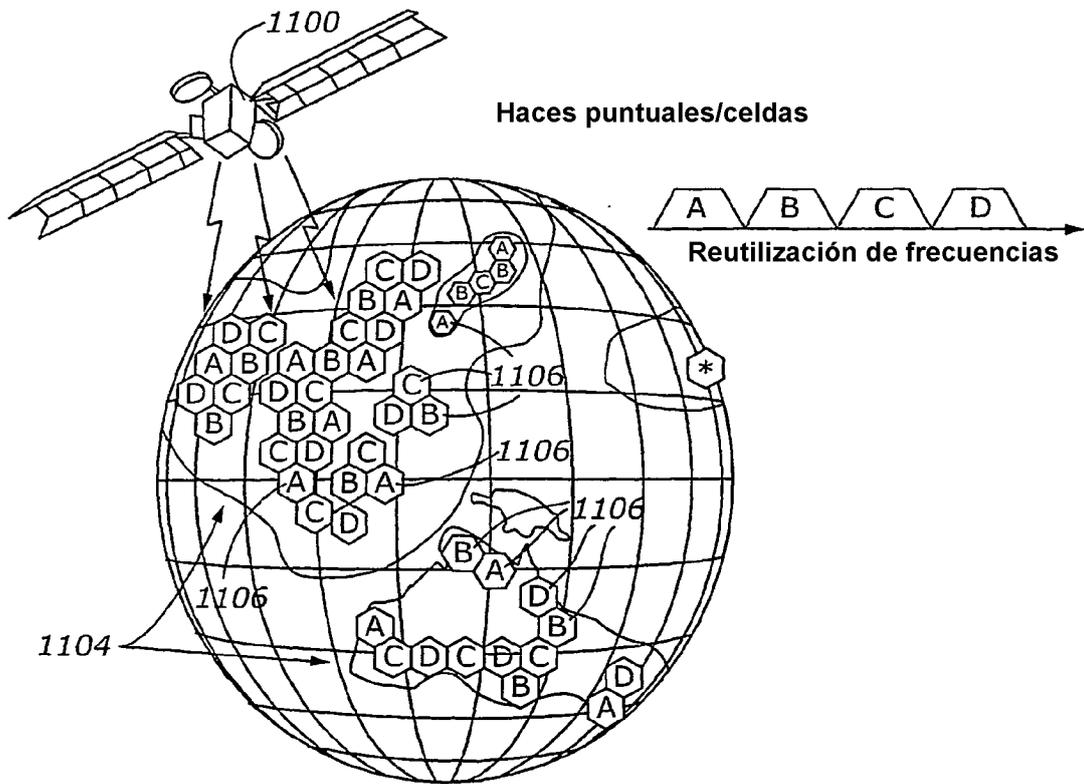


FIG. 11