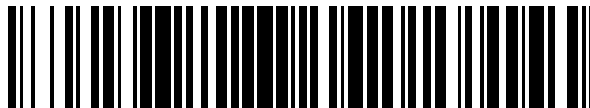


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 377 319**

51 Int. Cl.:  
**H04L 27/34** (2006.01)  
**H04B 7/185** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **03777627 .5**  
96 Fecha de presentación: **16.10.2003**  
97 Número de publicación de la solicitud: **1559253**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **03.08.2005**

54 Título: **Maximización de eficiencias energética y espectral para modulaciones por capas y convencional**

30 Prioridad:  
**25.10.2002 US 421288 P**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**26.03.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**26.03.2012**

73 Titular/es:  
**THE DIRECT TV GROUP, INC  
2230 E. IMPERIAL HIGHWAY  
EL SEGUNDO, CA 90245, US**

72 Inventor/es:  
**CHEN, Ernest, C.**

74 Agente/Representante:  
**Carpintero López, Mario**

ES 2 377 319 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**

Maximización de eficiencias energética y espectral para modulaciones por capas y convencional

**Referencia cruzada a las solicitudes relacionadas**

5 La presente solicitud reivindica el beneficio a tenor del título 35, U.S.C., §119(e) de la siguiente solicitud de patente provisional de los Estados Unidos, que se incorpora por referencia en el presente documento:

La solicitud de los Estados Unidos con n.º de serie 60/421.288, presentada el 25 de octubre de 2002, a nombre de Ernest C. Chen, titulada "MAXIMIZING POWER AND SPECTRAL EFFICIENCIES FOR LAYERED AND CONVENTIONAL MODULATIONS".

10 La presente solicitud es también una solicitud de continuación en parte y reivindica el beneficio a tenor del título 35 de U.S.C., §120 de la siguiente solicitud de patente de utilidad de los Estados Unidos en trámite junto con la presente y transferida legalmente:

La solicitud de los Estados Unidos con n.º de serie 09/844.401, presentada el 27 de abril de 2001 con n.º de publicación US-2002-0181604-A1, a nombre de Ernest C. Chen, titulada "LAYERED MODULATION FOR DIGITAL SIGNALS".

**15 Antecedentes de la invención****1. Campo de la invención**

La presente invención se refiere a sistemas y procedimientos para una transmisión de señales eficiente energéticamente y en cuanto al espectro, en particular unas señales que usan modulaciones por capas.

**2. Descripción de la técnica relacionada**

20 Los sistemas de comunicación de señales digitales se han usado en varios campos, lo que incluye transmisión de señal TV digital, o bien terrestre o por satélite. A medida que evolucionan los varios sistemas de comunicación de señales digitales y servicios, hay una pujante demanda de un caudal de datos aumentado y de servicios añadidos. No obstante, es más difícil implementar una u otra mejora en los sistemas antiguos y servicios nuevos cuando es necesario sustituir el hardware heredado existente, tal como transmisores y receptores. Los sistemas y servicios nuevos se ven beneficiados cuando éstos pueden usar el hardware heredado existente. En el ámbito de las comunicaciones inalámbricas, el presente principio se resalta adicionalmente por la disponibilidad limitada de espectro electromagnético. Por lo tanto, no es posible (o al menos no es práctico) meramente transmitir unos datos potenciados o adicionales a una nueva frecuencia.

30 El procedimiento convencional de aumentar la capacidad espectral es moverse a una modulación de un orden más alto, tal como de una modulación por desplazamiento de fase en cuadratura (QPSK) a una modulación por desplazamiento de fase de ocho símbolos (8PSK) o la modulación de amplitud en cuadratura de dieciséis estados (16QAM). Desafortunadamente, los receptores de QPSK no pueden demodular las señales de 8PSK o de 16QAM convencionales. Como resultado, los clientes heredados con receptores de QPSK han de mejorar sus receptores con el fin de continuar recibiendo cualesquiera señales transmitidas con una modulación 8PSK o 16QAM.

35 Es ventajoso para los sistemas y procedimientos de transmisión de señales dar cabida a un caudal de datos potenciado y aumentado sin requerir una frecuencia adicional. Además, es ventajoso para las señales de caudal potenciado y aumentado para receptores nuevos que sean compatibles con versiones anteriores de los receptores heredados. Hay además una ventaja para un sistema y procedimientos que permitan que las señales de transmisión se mejoren a partir de una fuente separada del transmisor heredado.

40 Se ha propuesto que una señal de modulación por capas, que transmite de forma no coherente unas señales de capa tanto superior como inferior, puede emplearse para cumplir estas necesidades. Véase la solicitud de utilidad con n.º de serie 09/844.401. Tales sistemas de modulación por capas permiten un caudal de información más alto con compatibilidad con versiones anteriores. No obstante, incluso cuando no se requiere una compatibilidad con versiones anteriores (tal como en el caso de un sistema enteramente nuevo), la modulación por capas puede ser aún ventajosa debido a que ésta requiere una potencia de pico de amplificador de tubo de ondas progresivas (ATOP) significativamente más baja que la de un formato de modulación 8PSK o 16QAM convencional para un caudal dado.

50 En el caso de sistemas de modulación por capas diseñados para ser compatibles con versiones anteriores de señales y receptores heredados, tal como los receptores de televisión por satélite existentes para sistemas tales como DIRECTV, los requisitos de potencia para producir unas señales por capas adicionales son excesivos. Algunos sistemas y procedimientos se han propuesto recientemente para facilitar las señales de modulación por capas. No obstante, ninguno de estos sistemas propone unos sistemas o procedimientos que tratan los elevados requisitos de potencia de implementación de señales de modulación por capas compatibles con versiones anteriores, en particular con respecto a las aplicaciones de televisión por satélite.

El documento de Arslan y col., "Co-channel interference cancellation with successive cancellation in narrowband TDMA systems" (IEEE, 2000, págs. 1070 a 1074) describe el uso de receptores coherentes en un sistema de radio móvil de TDMA que usa la sustracción de las señales recibidas para reducir la interferencia en el mismo canal. El documento WO99/00957A1 da a conocer un aparato para recibir y decodificar una señal modulada usando un esquema de codificación jerárquico.

Por consiguiente, hay una necesidad de unos sistemas y procedimientos que mitigan los elevados requisitos de potencia de implementación de señales de modulación por capas compatibles con versiones anteriores, en particular con respecto a las aplicaciones de televisión por satélite. La presente invención cumple éstas y otras necesidades tal como se describe a continuación en el presente documento.

## 10 **Sumario de la invención**

La presente invención se define en las reivindicaciones adjuntas.

### **Breve descripción de los dibujos**

Haciendo referencia a continuación a los dibujos, en los que unos números de referencia similares representan unas partes correspondientes a través de la totalidad del presente documento:

15 la figura 1 es un diagrama que ilustra una visión de conjunto de un único sistema de distribución de vídeo por satélite;

la figura 2 es un diagrama de bloques que muestra una configuración de enlace ascendente típica para un único transpondedor de satélite;

la figura 3A es un diagrama de un flujo de datos representativo;

20 la figura 3B es un diagrama de un paquete de datos representativo;

la figura 4 es un diagrama de bloques que muestra una realización del modulador para la señal de enlace ascendente;

la figura 5 es un diagrama de bloques de un receptor/decodificador integrado (IRD);

25 las figuras 6A a 6C son unos diagramas que ilustran la relación básica de las capas de señal en una transmisión de modulación por capas;

las figuras 7A a 7C son unos diagramas que ilustran una constelación de señal de una segunda capa de transmisión a través de la primera capa de transmisión después de la demodulación de primera capa;

la figura 8A es un diagrama que muestra un sistema para transmitir y recibir señales de modulación por capas;

30 la figura 8B es un diagrama que muestra un transpondedor de satélite a modo de ejemplo para recibir y transmitir señales de modulación por capas;

la figura 9 es un diagrama de bloques que muestra una realización de un IRD potenciado capaz de recibir señales de modulación por capas;

la figura 10A es un diagrama de bloques de una realización del sintonizador/modulador potenciado y de un codificador de FEC;

35 la figura 10B muestra otra realización del sintonizador/modulador potenciado en la que la sustracción de capa se realiza en la señal por capas recibida;

la figura 11A muestra los niveles de potencia relativos de unas realizaciones a modo de ejemplo de la presente invención;

40 la figura 12 ilustra un sistema informático a modo de ejemplo que podría usarse para implementar unos módulos o funciones seleccionados de la presente invención;

la figura 13 es un diagrama que ilustra unas etapas de procedimiento a modo de ejemplo que pueden usarse para poner en práctica una realización de la invención;

las figuras 14A a 14E ilustran la banda de protección tal como se usa en una aplicación de modulación por capas;

45 las figuras 15A y 15B ilustran el impacto de la proporción de ancho de banda en exceso sobre el error de sincronismo de símbolos;

las figuras 16A a 16H ilustran algunos esquemas de modulación por capas a modo de ejemplo; y

las figuras 17A a 17C ilustran un plan de implementación en tres fases para mejorar un sistema de televisión por satélite existente.

### **Descripción detallada de la realización preferente**

5 En la siguiente descripción de la realización preferente, se hace referencia a los dibujos adjuntos que forman una parte de la misma, y en los que se muestra a modo de ilustración una realización específica en la que la invención puede ponerse en práctica. Ha de entenderse que pueden usarse otras realizaciones y pueden hacerse cambios estructurales sin alejarse del alcance de la presente invención.

#### 1. Visión de conjunto

10 Tal como se describe en más detalle a continuación en el presente documento, la modulación por capas (LM) reconstruye la señal de capa superior y la elimina de la señal recibida para dejar una señal de capa inferior. El rendimiento de la demodulación de señal de capa inferior requiere una buena cancelación de señal, que a su vez requiere la señal reconstruida para incluir efectos de amplitud y de fase precisos a partir del trayecto de propagación de señal, filtro y bloque de bajo ruido (LNB). Los valores de estos parámetros cambian de receptor a receptor y por lo tanto han de estimarse en cada receptor.

15 Una dificultad con la implementación de las técnicas de modulación por capas, tal como se da a conocer en la solicitud de utilidad con n.º de serie 09/844.401, presentada el 27 de abril de 2001, a nombre de Ernest C. Chen, titulada "LAYERED MODULATION FOR DIGITAL SIGNALS", es que la señal de capa superior requiere una potencia de ATOP de satélite excesiva más allá de los niveles actuales para una cobertura de los Estados Unidos continental típica (CONUS). La presente invención reduce las potencias requeridas a unos niveles de límites de potencia de  
20 ATOP convencionales actuales. Por lo tanto, no hay necesidad de esperar a que la tecnología de potencia de ATOP se desarrolle adicionalmente antes de que la modulación por capas pueda implementarse. Además, los esquemas de señal que se dan a conocer adicionalmente aumentan el caudal de información con la modulación por capas debido a que la totalidad del ancho de banda se usa más de forma eficiente.

25 La técnica de modulación por capas tal como se da a conocer anteriormente en la solicitud de utilidad con n.º de serie 09/844.401 establecía que la señal de capa superior ha de portar una potencia sustancialmente más alta que la de la señal de capa inferior a fin de que la técnica funcione. Normalmente, tales aplicaciones compatibles con versiones anteriores (BWC) necesitan más potencia que las aplicaciones no BWC para la señal de capa superior. Unos escenarios de despliegue a modo de ejemplo requieren unos niveles de potencia de señal de capa superior significativamente más allá de la tecnología de potencia de ATOP de satélite para las aplicaciones BWC.

30 Como ejemplo, los sistemas DIRECTV y GALAXY LATIN AMERICA combinados tienen más de 10 millones de abonados que reciben señales de QPSK a partir de satélites. El procedimiento convencional de aumentar el caudal de información sobre los transpondedores existentes conmutaría directamente a un esquema de modulación de un orden más alto tal como 8PSK o 16 QAM. Desafortunadamente, el presente enfoque requeriría un paso a enlace de reserva de todos los IRD en el sector para ser capaz de recibir la nueva señal. En cambio, un despliegue con las técnicas de la presente invención (y la solicitud de utilidad con n.º de serie 09/844.401), en el contexto de la  
35 modulación por capas, permitiría que los IRD existentes continuaran recibiendo la señal heredada sin modificación. Los abonados nuevos y/o mejorados emplearían un nuevo IRD para recibir la nueva señal además de la señal heredada, ambas de las cuales comparten el ancho de banda. Los ahorros potenciales de esta transición son de cientos de millones de dólares, que representan los costes de la sustitución obligatoria de todas los IRD existentes.  
40 Además, un paso a enlace de reserva de todos los IRD a lo largo de un corto periodo de tiempo, tal como se requiere por el enfoque convencional, no sería logísticamente factible.

45 Además, la técnica de modulación por capas puede usarse en unos sistemas de comunicación fuera de los sistemas de televisión por satélite tales como DIRECTV. Por ejemplo, el caudal de los terminales de muy pequeña apertura (VSAT) para los nuevos clientes podría aumentarse en un modo de BWC sin interrumpir el servicio a las decenas de miles de clientes existentes. Otro ejemplo serían los aumentos de caudal para sistemas de comunicaciones de voz y datos bidireccionales que usan unos satélites geosíncronos y de órbita terrestre baja (LEO). Otras posibilidades más incluyen unas aplicaciones BWC y no BWC de servicios de módem por cable, cable digital y radiodifusión terrestre digital.

50 En las situaciones en las que no se requiere BWC, la modulación por capas puede usarse también para proporcionar unos caudales más altos que las formas de onda convencionales usando los mismos niveles de potencia. Usando QPSK y/o 8PSK para las capas de modulación para un nuevo sistema de servicio, no habrá necesidad de unos ATOP de transpondedor sumamente lineales y/o procedimientos especiales para compensar de forma adecuada la no linealidad de ATOP. La modulación por capas puede por lo tanto conseguir la elevada eficiencia espectral de la modulación 16 QAM con su modulación QPSK de dos capas.

55 Varias realizaciones de la presente invención que reducen de forma efectiva los requisitos de potencia para la modulación por capas hacen la técnica de modulación por capas incluso más atractiva en términos de eficiencia energética y de ancho de banda en muchas aplicaciones. En las secciones a continuación en el presente documento, se describen un sistema de distribución de vídeo por satélite y un hardware asociado a modo de

ejemplo que implementan la modulación por capas. El sistema y el hardware pueden emplear los esquemas de señal eficientes energéticamente y en cuanto al espectro de la presente invención.

## 2. Sistema de distribución de vídeo

5 La figura 1 es un diagrama que ilustra una visión de conjunto de un único sistema de distribución de vídeo por satélite 100. El sistema 100 de distribución de vídeo está compuesto por un centro 102 de control en comunicación con un centro 104 de enlace ascendente a través de un enlace 114 de tierra o de otro tipo y con una estación 110 receptora de abonado a través de una red telefónica pública conmutada (PSTN) u otro enlace 120. El centro 102 de control proporciona un material de programa (por ejemplo, programas de vídeo, programas de audio y datos) al centro 104 de enlace ascendente y coordina con las estaciones 110 receptoras de abonado para ofrecer, por ejemplo, unos servicios de programa de pago por visión (PPV), lo que incluye la facturación y el descifrado asociado de los programas de vídeo.

15 El centro 104 de enlace ascendente recibe el material de programa y la información de control de programa a partir del centro 102 de control, y usando una antena 106 de enlace ascendente y un transmisor 105, transmite el material de programa y la información de control de programa al satélite 108 a través de la señal 116 de enlace ascendente. El satélite recibe y procesa esta información, y transmite los programas de vídeo y la información de control a la estación 110 receptora de abonado a través de la señal 118 de enlace descendente usando el transmisor 107. La estación 110 de recepción de abonado recibe esta información usando la unidad de exteriores (ODU) 112, que incluye una antena de abonado y un convertidor de bloque de bajo ruido (LNB).

20 En una realización, la estación de recepción de abonado antena es una antena de banda Ku con una forma ligeramente de óvalo de 18 pulgadas (45,7 cm). La ligera forma de óvalo se debe a la alimentación descentrada de 22,5 grados del LNB (convertidor de bloque de bajo ruido) que se usa para recibir señales que se reflejan a partir de la antena de abonado. La alimentación descentrada coloca el LNB fuera de la trayectoria de tal modo que ésta no bloquea ninguna área superficial de la antena lo que minimiza la atenuación de la señal de microondas entrante.

25 El sistema 100 de distribución de vídeo puede comprender una pluralidad de satélites 108 con el fin de proporcionar una cobertura terrestre más amplia, para proporcionar unos canales adicionales, o para proporcionar un ancho de banda adicional por canal. En una realización de la invención, cada satélite está compuesto por 16 transpondedores para recibir y transmitir material de programa y otros datos de control a partir del centro 104 de enlace ascendente y proporcionar éstos a las estaciones 110 de recepción de abonado. Usando unas técnicas de compresión de datos y de multiplexión las capacidades de canal, dos satélites 108 que trabajan de manera conjunta pueden recibir y radiodifundir más de 150 canales de audio y vídeo convencionales (que no son de HDTV) a través de 32 transpondedores.

35 A pesar de que la invención que se da a conocer en el presente documento se describirá con referencia a un sistema 100 de distribución de vídeo basado en satélite, la presente invención puede también ponerse en práctica con una transmisión basada en tierra de la información de programa, ya sea por unos medios de radiodifusión, cable, u otros medios. Además, las diferentes funciones asignadas de forma colectiva entre el centro 102 de control y el centro 104 de enlace ascendente tal como se describe anteriormente pueden volver a asignarse según se desee sin alejarse del alcance pretendido de la presente invención.

40 A pesar de que lo anterior se ha descrito con respecto a una realización en la que el material de programa que se entrega al abonado 122 es material de programa de vídeo (y audio) tal como una película, el procedimiento anterior puede usarse para entregar un material de programa que comprende meramente información de audio o también otros datos.

### 2.1 Configuración de enlace ascendente

45 La figura 2 es un diagrama de bloques que muestra una configuración de enlace ascendente típica para un transpondedor de único satélite 108, que muestra cómo un material de programa de vídeo se envía por enlace ascendente al satélite 108 mediante el centro 102 de control y el centro 104 de enlace ascendente. La figura 2 muestra tres canales de vídeo (que pueden aumentarse respectivamente con uno o más canales de audio para música de alta fidelidad, información de banda sonora, o un programa de audio secundario para transmitir lenguajes extranjeros), un canal de datos a partir de un subsistema 206 de guía de programa y una información de datos informáticos partir de una fuente 208 de datos informáticos.

50 Los canales de vídeo típicos se prevén por una fuente 200A a 200C de programas de material de vídeo (a la que se hace referencia de forma colectiva a continuación en el presente documento como fuente(s) 200 de programas). Los datos a partir de cada fuente 200 de programas se proporcionan a un codificador 202A a 202C (a la que se hace referencia de forma colectiva a continuación en el presente documento como codificador(es) 202). Cada uno de los codificadores acepta una indicación de tiempo de programa (PTS) a partir del controlador 216. La PTS es una indicación de tiempo binaria de vuelta a cero que se usa para garantizar que la información de vídeo se sincroniza de forma adecuada con la información de audio después de codificar y decodificar. Una indicación de tiempo PTS se envía con cada trama I de los datos codificados de MPEG.

En una realización de la presente invención, cada codificador 202 es un codificador de Grupo de expertos en imágenes móviles segunda generación (MPEG-2), si bien también pueden usarse otros decodificadores que implementan otras técnicas de codificación. El canal de datos puede someterse a un esquema de compresión similar por un codificador (que no se muestra), si bien tal compresión es normalmente o bien innecesaria, o se realiza mediante programas informáticos en la fuente de datos informáticos (por ejemplo, los datos fotográficos se comprimen normalmente en ficheros \*.TIF o ficheros \*.JPG antes de la transmisión). Después de la codificación por los codificadores 202, las señales se convierten en unos paquetes de datos mediante un elemento 204A a 204F de paquetización (al que se hace referencia de forma colectiva a continuación en el presente documento como elemento(s) 204 de paquetización) asociado con cada fuente 200 de programas.

Los paquetes de datos de salida se ensamblan usando una referencia a partir del reloj 214 de sistema (SCR), y a partir del gestor 210 de acceso condicional, que proporciona el identificador de canal de servicio (SCID) a los elementos 204 de paquetización para su uso en la generación de los paquetes de datos. Estos paquetes de datos se multiplexan a continuación en datos en serie y se transmiten.

## 2.2 Protocolo y formato de flujo de datos de radiodifusión

La figura 3A es un diagrama de un flujo de datos representativo. El primer paquete 302 está compuesto por una información a partir del canal 1 de vídeo (datos que provienen de, por ejemplo, la primera fuente 200A de programa de vídeo). El siguiente paquete 304 está compuesto por una información de datos informáticos que se obtuvo, por ejemplo, a partir de la fuente 208 de datos informáticos. El siguiente paquete 306 está compuesto por una información a partir del canal 5 de vídeo (a partir de una de las fuentes 200 de programa de vídeo). El siguiente paquete 308 está compuesto por una información de guía de programa tal como la información que se proporciona por el subsistema 206 de guía de programa. Tal como se muestra en la figura 3A, unos paquetes 310 nulos que se crean por el módulo 212 de paquete nulo pueden insertarse en el flujo de datos según se desee seguido por unos paquetes 312, 314, 316 de datos adicionales a partir de las fuentes 200 de programas.

Haciendo referencia de nuevo a la figura 2, el flujo de datos está compuesto por lo tanto por una serie de paquetes (302 a 316) a partir de una cualquiera de las fuentes de datos (por ejemplo, las fuentes 200 de programas, el subsistema 206 de guía de programa, la fuente 208 de datos informáticos) en un orden que se determina por el controlador 216. El flujo de datos se cifra mediante el módulo 218 de cifrado, se modula mediante el modulador 220 (normalmente, usando un esquema de modulación QPSK), y se proporciona al transmisor 105, que radiodifunde el flujo de datos modulado en un ancho de banda de frecuencia al satélite a través de la antena 106. El receptor 500 en la estación 110 receptora recibe estas señales, y usando el SCID, vuelve a ensamblar los paquetes para generar de nuevo el material de programa para cada uno de los canales.

La figura 3B es un diagrama de un paquete de datos. Cada paquete de datos (por ejemplo, 302 a 316) tiene una longitud de 147 bytes, y está compuesto por un número de segmentos de paquete. El primer segmento 320 de paquete está compuesto por dos bytes de información que contienen el SCID y unas banderas. El SCID es un número de 12 bits único que identifica de forma única el canal de datos del paquete de datos. Las banderas incluyen 4 bits que se usan para controlar otras características. El segundo segmento 322 de paquete está constituido por un indicador de tipo de paquete de 4 bits y un contador de continuidad de 4 bits. El tipo de paquete generalmente identifica el paquete como uno de los cuatro tipos de datos (vídeo, audio, datos, o nulo). Cuando se combinan con el SCID, el tipo de paquete determina cómo se usará el paquete de datos. El contador de continuidad se aumenta una vez para cada tipo de paquete y SCID. El siguiente segmento 324 de paquete está compuesto por 127 bytes de datos de carga útil, que en los casos de los paquetes 302 o 306 es una parte del programa de vídeo que se proporciona por la fuente 200 de programa de vídeo. El segmento 326 de paquete final son unos datos que se requieren para realizar una corrección de errores sin canal de retorno.

La figura 4 es un diagrama de bloques que muestra una realización del modulador 220. El modulador 220 está compuesto opcionalmente por un codificador 404 de corrección de errores sin canal de retorno (FEC) que acepta los primeros símbolos 402 de señal y añade una información redundante que se usa para reducir los errores de transmisión. Los símbolos 405 codificados se modulan mediante el modulador 406 de acuerdo con una primera portadora 408 para producir una señal 410 modulada de capa superior. Los segundos símbolos 420 se proporcionan de forma similar a un segundo codificador 422 de FEC opcional para producir unos segundos 424 símbolos codificados. Los segundos 424 símbolos codificados se proporcionan a un segundo modulador 414, que modula las segundas señales 424 codificadas de acuerdo con una segunda portadora 416 para producir una señal 418 modulada de capa inferior. La señal 410 modulada de capa superior y la señal 418 modulada de capa inferior no tienen por lo tanto correlación. Por lo tanto, la señal 410 de capa superior y la señal 418 de capa inferior pueden transmitirse a unos transpondedores separados en uno o más satélites 108 a través de unas señales 116 de enlace ascendente separadas. Por lo tanto, la señal 418 de capa inferior puede implementarse a partir de un satélite 108 separado que recibe una señal 116 de enlace ascendente separada. No obstante, en la señal 118 de enlace descendente, la señal 410 de capa superior ha de ser una señal con una amplitud lo bastante más grande que la señal 418 de capa inferior, para mantener las constelaciones de señal que se muestran en la figura 6 y la figura 7.

Ha de observarse que puede ser más eficiente reinstalar un sistema existente usando un transpondedor en un satélite 108 separado para transmitir la señal de capa inferior de enlace descendente a través de la señal de enlace

descendente heredada existente en lugar de sustituir el satélite heredado con uno que transmitirá ambas capas de señal de enlace descendente. Puede darse énfasis a dar cabida a la señal heredada de enlace descendente en la implementación de una radiodifusión de enlace descendente por capas.

### 2.3 Receptor/decodificador integrado

5 La figura 5 es un diagrama de bloques de un receptor/decodificador 500 integrado (IRD) (al que se hace referencia también a continuación en el presente documento alternativamente como receptor 500). El receptor 500 está compuesto por un sintonizador/demodulador 504 acoplado en comunicación a una ODU 112 que tiene uno o más bloques de bajo ruido (LNB) 502. El LNB 502 convierte la señal de enlace 118 descendente de 12,2 a 12,7 GHz a partir de los satélites 108 en, por ejemplo, una señal de 950 a 1450 MHz que se requiere por el  
10 sintonizador/demodulador 504 del IRD 500. Normalmente, el LNB 502 puede proporcionar o bien una salida dual o bien una única. El LNB 502 de única salida tiene sólo un conector de RF, mientras que el LNB 502 de dual salida tiene dos conectores de salida de RF y puede usarse para alimentar un segundo sintonizador 504, un segundo receptor 500, o alguna otra forma de sistema de distribución.

15 El sintonizador/demodulador 504 aísla una única señal de transpondedor de 24 MHz modulada de forma digital, y convierte los datos modulados en un flujo de datos digital. El flujo de datos digital se suministra a continuación a un decodificador 506 de corrección de errores sin canal de retorno (FEC). Esto permite que el IRD 500 vuelva a ensamblar los datos que se transmiten mediante el centro 104 de enlace ascendente (que aplicó la corrección de errores sin canal de retorno a la señal deseada antes de la transmisión a la estación 110 de recepción de abonado)  
20 verificando que se recibió la señal de datos correcta, y que corrige los errores, si hay alguno. Los datos corregidos en errores pueden alimentarse desde el módulo 506 de decodificador de FEC hasta el módulo 508 de transporte a través de una interfaz paralela de 8 bits.

25 El módulo 508 de transporte realiza muchas de las funciones de procesamiento de datos que se realizan por el IRD 500. El módulo 508 de transporte procesa unos datos que se reciben a partir del módulo 506 de decodificador de FEC y proporciona los datos procesados al decodificador 514 de MPEG de vídeo y el decodificador 517 de MPEG de audio. Según se necesite, el módulo de transporte emplea una RAM 528 de sistema para procesar los datos. En una realización de la presente invención, el módulo 508 de transporte, el decodificador 514 de MPEG de vídeo y el decodificador 517 de MPEG de audio se implementan todos ellos en unos circuitos integrados. Este diseño favorece una eficiencia tanto energética como de espacio, y aumenta la seguridad de las funciones que se realizan en el interior del módulo 508 de transporte. El módulo 508 de transporte también proporciona un paso para unas  
30 comunicaciones entre el microcontrolador 510 y los decodificadores 514, 517 de MPEG de vídeo y de audio. Tal como se expone más completamente a continuación en el presente documento, el módulo de transporte también trabaja con el módulo 512 de acceso condicional (CAM) para determinar si se permite al receptor 500 el acceso a cierto material de programa. Los datos a partir del módulo 508 de transporte pueden también suministrarse a un módulo 526 de comunicación externo.

35 El CAM 512 funciona en asociación con otros elementos para decodificar una señal cifrada a partir del módulo 508 de transporte. El CAM 512 puede usarse también para realizar un seguimiento y facturar estos servicios. En una realización de la presente invención, el CAM 512 es una amovible tarjeta inteligente, que tiene unos contactos que interactúan en cooperación con los contactos en el IRD 500 para pasar información. Con el fin de implementar el procesamiento que se realiza en el CAM 512, el IRD 500, y específicamente el módulo 508 de transporte  
40 proporciona una señal reloj para el CAM 512.

45 Los datos de vídeo se procesan por el decodificador 514 de vídeo de MPEG. Usando la memoria 536 de acceso aleatorio (RAM) de vídeo, el decodificador 514 de vídeo de MPEG decodifica los datos de vídeo comprimidos y los envía a un codificador o procesador 516 de vídeo, que convierte la información de vídeo digital que se recibe a partir del módulo 514 de MPEG de vídeo en una señal de salida que puede usarse por un visualizador u otro dispositivo de salida. A modo de ejemplo, el procesador 516 puede comprender un codificador del National TV Standards Committee (NTSC) o del Advanced Television Systems Committee (ATSC). En una realización de la invención se prevén unas señales tanto de Vídeo S como vídeo ordinario (NTSC o ATSC). Otras salidas pueden usarse también, y son ventajosas si se procesa una programación de alta definición.

50 Los datos de audio se decodifican de forma similar por el decodificador 517 de audio de MPEG. Los datos de audio decodificados pueden a continuación enviarse a un convertidor 518 de digital a analógico (D/A). En una realización de la presente invención, el convertidor 518 D/A es un convertidor D/A dual, uno para los canales derecho e izquierdo. Si se desea, pueden añadirse canales adicionales para su uso en un procesamiento de sonido ambiente o en programas de audio secundarios (SAP). En una realización de la invención, el convertidor 518 D/A dual en sí mismo separa la información de canal derecha e izquierda, así como cualquier información de canal adicional. Otros  
55 formatos de audio pueden soportarse de forma similar. Por ejemplo, pueden soportarse otros formatos de audio tales como DOLBY DIGITAL AC-3 multicanal.

Una descripción de los procesos que se realizan en los flujos de codificación y decodificación de vídeo, en particular con respecto a la codificación/ decodificación MPEG y JPEG, puede encontrarse en el capítulo 8 de "Digital Television Fundamentals", de Michael Robin y Michel Poulin, McGraw-Hill, 1998, que se incorpora por la presente

por referencia en el presente documento.

El microcontrolador 510 recibe y procesa unas señales de orden a partir de un control remoto, una interfaz de teclado de IRD 500, y/u otro dispositivo 524 de entrada adecuado. El microcontrolador 510 recibe órdenes para realizar sus operaciones a partir de una memoria de programación de procesador, que almacena permanentemente tales instrucciones para realizar tales órdenes. La memoria de programación de procesador puede comprender una memoria de sólo lectura (ROM) 538, una memoria de sólo lectura programable y borrable eléctricamente (EEPROM) 522 o, un dispositivo de memoria similar. El microcontrolador 510 también controla los otros dispositivos digitales del IRD 500 a través de unas líneas de datos y dirección (que se indican por "D" y "A" respectivamente, en la figura 5).

El módem 540 conecta a la línea de teléfono del cliente a través del puerto 120 de PSTN. Éste llama, por ejemplo, al proveedor de programa, y transmite la información de compra de cliente para fines de facturación, y/o otra información. El módem 540 se controla por el microprocesador 510. El módem 540 puede emitir como salida unos datos a otros tipos de puerto de E/S, lo que incluye puertos de E/S de ordenador serie y paralelo convencional.

La presente invención también está compuesta por una unidad de almacenamiento local tal como el dispositivo 532 de almacenamiento de vídeo para almacenar datos de vídeo y/o de audio que se obtienen a partir del módulo 508 de transporte. El dispositivo 532 de almacenamiento de vídeo puede ser una unidad de disco duro, un disco compacto de lectura/ escritura de DVD, una RAM de estado sólido, o cualquier otro medio de almacenamiento adecuado. En una realización de la presente invención, el dispositivo 532 de almacenamiento de vídeo es una unidad de disco duro con una capacidad especializada de lectura/ escritura en paralelo de tal modo que los datos pueden leerse a partir del dispositivo 532 de almacenamiento de vídeo y escribirse en el dispositivo 532 al mismo tiempo. Para llevar a cabo este logro, puede usarse una memoria intermedia adicional, accesible por el almacenamiento 532 de vídeo o su controlador. Opcionalmente, un procesador 530 de almacenamiento de vídeo puede usarse para gestionar el almacenamiento y la recuperación de los datos de vídeo a partir del dispositivo 532 de almacenamiento de vídeo. El procesador 530 de almacenamiento de vídeo puede también comprender una memoria para almacenar en memoria intermedia los datos que pasan al interior y al exterior del dispositivo 532 de almacenamiento de vídeo. Alternativamente o en combinación con lo anterior, puede usarse una pluralidad de dispositivos 532 de almacenamiento de vídeo. Asimismo, alternativamente o en combinación con lo anterior, el microcontrolador 510 puede realizar también las operaciones que se requieren para almacenar y/o recuperar vídeo y otros datos en el dispositivo 532 de almacenamiento de vídeo.

El módulo 516 de procesamiento de vídeo entrada puede suministrarse directamente como una salida de vídeo a un dispositivo de visionado tal como un monitor de ordenador o vídeo. Además, las salidas de vídeo y/o de audio pueden suministrarse a un modulador 534 de RF para producir una salida de RF y/o 8 bandas laterales residuales (BLR) adecuadas como una señal de entrada para un sintonizador de televisión convencional. Esto permite que el receptor 500 funcione con televisiones sin una salida de vídeo.

Cada uno de los satélites 108 está compuesto por un transpondedor, que acepta información de programa a partir del centro 104 de enlace ascendente, y retransmite esta información a la estación 110 de recepción de abonado. Las técnicas conocidas de multiplexión se usan de tal modo que pueden proporcionarse múltiples canales al usuario. Estas técnicas de multiplexión incluyen, a modo de ejemplo, varias técnicas estadísticas u otras técnicas de multiplexión de polarización y de multiplexión en el dominio del tiempo. En una realización de la invención, un único transpondedor que funciona en una única banda de frecuencia porta una pluralidad de canales identificados por una identificación de canal de servicio (SCID) respectiva.

Preferentemente, el IRD 500 también recibe y almacena una guía de programa en una memoria disponible para el microcontrolador 510. Normalmente, la guía de programa se recibe en uno o más paquetes de datos en el flujo de datos a partir del satélite 108. Puede accederse a y buscarse en la guía de programa mediante la ejecución de unas etapas de funcionamiento adecuadas que se implementan mediante el microcontrolador 510 y que se almacenan en la ROM 538 de procesador. La guía de programa puede incluir unos datos para asignar unos números de canal de telespectador a los transpondedores de satélite y a las identificaciones de canal de servicio (SCID), y proporcionar también una información de enumeración de programas de TV al abonado 122 que identifica los eventos de programa.

La funcionalidad que se implementa en el IRD 500 que se representa en la figura 5 puede implementarse mediante uno o más módulos de hardware, uno o más módulos de software que definen unas instrucciones que se realizan por un procesador, o una combinación de ambos.

La presente invención prevé la modulación de señales a unos niveles de potencia diferentes y ventajosamente para que las señales sean no coherentes a partir de cada capa. Además, puede realizarse una modulación y codificación independientes de las señales. Se habilita la compatibilidad con versiones anteriores con los receptores heredados, tal como un receptor de modulación por desplazamiento de fase en cuadratura (QPSK) y se proporcionan unos servicios nuevos a unos receptores nuevos. Un receptor nuevo típico de la presente invención usa dos demoduladores y un remodulador, tal como se describirá en detalle a continuación en el presente documento.



En una realización compatible con versiones anteriores típica de la presente invención, se refuerza la potencia de la señal de QPSK heredada a un nivel de transmisión (y de recepción) más alto. Esto crea un "espacio" de potencia en el que puede funcionar una nueva señal de capa inferior. El receptor heredado no será capaz de distinguir la nueva señal de capa inferior, con respecto al ruido gaussiano blanco, y por lo tanto funciona de la forma usual. La selección óptima de los niveles de potencia de capa se basa en dar cabida al equipo heredado, así como a los nuevos caudal y servicios deseados.

La nueva señal de capa inferior se proporciona con una portadora suficiente con respecto a la proporción de ruido térmico para que funcione de forma adecuada. La nueva señal de capa inferior y una señal heredada reforzada son no coherentes la una con respecto a la otra. Por lo tanto, la nueva señal de capa inferior puede implementarse a partir de un ATOP diferente e incluso a partir de un satélite diferente. La nueva señal de capa inferior es también independiente del formato heredado, por ejemplo, ésta puede ser QPSK u 8PSK, usando el código FEC concatenado convencional o usando un nuevo código Turbo. La señal de capa inferior puede incluso ser una señal analógica.

La señal por capas combinada se demodula y se decodifica demodulando en primer lugar la capa superior para eliminar la portadora superior. La señal por capas estabilizada puede entonces hacer que se decodifique la FEC de capa superior y que los símbolos de capa superior de salida se comuniquen al transporte de capa superior. Los símbolos de capa superior se emplean también en un remodulador, para generar una señal de capa superior idealizada. La señal de capa superior idealizada se sustrae a continuación de la señal por capas estable para revelar la señal de capa inferior. La señal de capa inferior se demodula a continuación y se decodifica por FEC y se comunica al transporte de capa inferior.

Los sistemas, señales y procedimientos que usan la presente invención pueden usarse para complementar una transmisión previamente existente compatible con un hardware de recepción heredado en una aplicación compatible con versiones anteriores o como parte de una arquitectura de modulación por capas previamente planificada que proporciona una o más capas adicionales en una fecha actual o en una posterior.

#### 2.4 Señales por capas

Las figuras 6A a 6C ilustran la relación básica de las capas de señal en una transmisión de modulación por capas recibida. La figura 6A ilustra una constelación 600 de señal de capa superior de una señal de transmisión que muestra los puntos o símbolos 602 de señal. La figura 6B ilustra la constelación de señal de capa inferior de los símbolos 604 sobre la constelación 600 de señal de capa superior en la que las capas son coherentes (o están sincronizadas). La figura 6C ilustra una señal 606 de capa inferior de una segunda capa de transmisión a través de la constelación de capa superior en la que las capas son no coherentes. La capa 606 inferior gira alrededor de la constelación 602 de capa superior debido a las frecuencias de modulación relativas de las dos capas en una transmisión no coherente. Las capas tanto superior como inferior giran alrededor del origen debido a la primera frecuencia de modulación de capa tal como se describe mediante el trayecto 608.

Las figuras 7A a 7C son unos diagramas que ilustran una relación no coherente entre una capa de transmisión inferior a través de la capa de transmisión superior después de una demodulación de capa superior. La figura 7A muestra la constelación 700 antes del primer lazo de recuperación de portadora (CRL) de la capa superior y los anillos 702 de constelación giran alrededor del círculo de gran radio que se indica por la línea discontinua. La figura 7B muestra la constelación 704 después del CRL de la capa superior en la que se detiene la rotación de los anillos 702 de constelación. Los anillos 702 de constelación son los puntos de señal de la capa inferior alrededor de los nodos 602 de la capa superior. La figura 7C muestra una distribución de fase de la señal recibida con respecto a los nodos 602.

Las frecuencias de modulación relativas de las señales de capa superior e inferior no coherentes dan lugar a que la constelación de capa inferior gire alrededor de los nodos 602 de la constelación de capa superior para formar unos anillos 702. Después del CRL de capa inferior, esta rotación se elimina y los nodos de la capa inferior se revelan (tal como se muestra en la figura 6B). El radio de los anillos 702 de constelación de capa inferior es indicativo del nivel de potencia de la capa inferior. El espesor de los anillos 702 es indicativo de la proporción portadora a ruido (CNR) de la capa inferior. Debido a que las dos capas son no coherentes, la capa inferior puede usarse para transmitir unas señales digitales o analógicas diferentes.

La figura 8A es un diagrama que muestra un sistema para transmitir y recibir señales de modulación por capas. Unos transmisores 107A, 107B separados (que incluyen unos ATOP para amplificar las señales), debido a que pueden ubicarse en cualquier plataforma adecuada, tal como los satélites 108A, 108B, se usan para transmitir de forma no coherente unas capas diferentes de una señal de la presente invención. Cada satélite incluye unos transmisores 107C, 107D adicionales que pueden usarse para transmitir unas señales adicionales (a partir de unas señales adicionales de enlace ascendente recibidas) para usarse en el ancho de banda de frecuencia de la señal por capas tal como se detalla a continuación en el presente documento. Las señales 116 de enlace ascendente se transmiten normalmente a cada satélite 108A, 108B a partir de uno o más centros 104 de enlace ascendente con uno o más transmisores 105 a través de una antena 106.

La figura 8B es un diagrama que ilustra un transpondedor 107 de satélite a modo de ejemplo para recibir y transmitir señales de modulación por capas en un satélite 108. La señal 116 de enlace ascendente se recibe por el satélite 108 y se pasa a través de un multiplexor 814 de entrada (IMUX). A continuación de esto, la señal se amplifica con un amplificador 816 de tubo de ondas progresivas (ATOP) y a continuación a través de un multiplexor 818 de salida (OMUX) antes de que la señal 118 de enlace descendente se transmita a los receptores 802, 500.

Las señales 808A, 808B por capas (por ejemplo, unas señales 118 de enlace descendente múltiples) se reciben en unas antenas 812A, 812B receptoras, tal como unas antenas parabólicas de satélite, cada una con un bloque 810A, 810B de bajo ruido (LNB) en los que éstos se acoplan a continuación a unos receptores/decodificadores 500, 802 integrados (IRD). Por ejemplo, el primer satélite 108A y un transmisor 107A pueden transmitir una señal 808A heredada de capa superior y el segundo satélite 108B y un transmisor 107B pueden transmitir una señal 808B de capa inferior. A pesar de que ambas señales 808A, 808B llegan a cada antena 812A, 812B y LNB 810A, 810B, sólo el IRD 802 de modulación de capa es capaz de decodificar ambas señales 808A, 808B. El receptor 500 heredado es sólo capaz de decodificar la señal 808A heredada de capa superior; la señal 808B de capa inferior aparece sólo como ruido para el receptor 500 heredado.

Debido a que las capas de señal pueden transmitirse de forma no coherente, pueden añadirse unas capas de transmisión separadas en cualquier momento usando unos satélites 108A, 108B diferentes u otras plataformas adecuadas, tal como unas plataformas de base en tierra o de altitud elevada. Por lo tanto, cualquier señal compuesta, lo que incluye nuevas capas de señal adicionales serán compatibles con versiones anteriores de los receptores 500 heredados, que harán caso omiso de las nuevas capas de señal. Para garantizar que las señales no se interfieren, el nivel de ruido y señal combinados para la capa inferior ha de encontrarse en o por debajo del ruido de fondo permitido para la capa superior en la antena 812A, 812B receptora particular.

Las aplicaciones de modulación por capas incluyen unas aplicaciones compatibles con versiones anteriores y no compatibles con versiones anteriores. "Compatible con versiones anteriores" en este sentido, describe unos sistemas en los que los receptores 500 heredados no se vuelven obsoletos por la(s) capa(s) de señal adicional(es). En su lugar, incluso si los receptores 500 heredados son incapaces de decodificar la(s) capa(s) de señal adicional(es), éstos son capaces de recibir la señal modulada por capas y decodificar la capa de señal original. En las presentes aplicaciones, se da cabida a la arquitectura de sistema previamente existente mediante la arquitectura de las capas de señal adicionales. "No compatible con versiones anteriores" describe una arquitectura de sistema que hace uso de la modulación por capas, si bien el esquema de modulación que se emplea es de tal modo que el equipo previamente existente es incapaz de recibir y decodificar la información en las capa(s) de señal adicional(es).

Los IRD 500 heredados previamente existentes decodifican y hacen uso de unos datos sólo a partir de la capa (o capas) para cuya recepción se diseñaron éstos, lo que no se ve afectado por las capas adicionales. No obstante, tal como se describirá a continuación en el presente documento, las señales heredadas pueden modificarse para implementar de forma óptima las nuevas capas. La presente invención puede aplicarse a servicios por satélite directos existentes que se radiodifunden a los usuarios individuales con el fin de permitir unas características y servicios adicionales con los receptores nuevos sin afectar de forma adversa los receptores heredados y sin requerir una frecuencia de señal adicional.

## 2.5 Demodulador y decodificador

La figura 9 es un diagrama de bloques que muestra una realización de un IRD 802 potenciado capaz de recibir señales de modulación por capas. El IRD incluye muchos componentes similares como los del IRD 500 heredado de la figura 5. No obstante, el IRD 802 potenciado incluye un trayecto 902 de realimentación en el que los símbolos decodificados por FEC se alimentan de nuevo a un sintonizador/demodulador 904 modificado potenciado y al módulo 908 de transporte para decodificar ambas capas de señal tal como se detalla a continuación en el presente documento.

La figura 10A es un diagrama de bloques de una realización del sintonizador/modulador 904 potenciado y de un codificador 506 de FEC. La figura 10A muestra una recepción en la que la sustracción de capa se realiza en una señal en la que la portadora de capa superior ya se ha demodulado. La capa superior de la señal combinada recibida 1016 a partir del LNB 502, que puede contener un formato de modulación heredado, se proporciona a y se procesa por un demodulador 1004 de capa superior para producir la señal 1020 demodulada estable. La señal 420 demodulada se acopla en comunicación a un decodificador 402 de FEC que decodifica la capa superior para producir los símbolos de capa superior que se emiten como salida para un módulo 908 de transporte de capa superior. Los símbolos de capa superior se usan también para generar una señal de capa superior idealizada. Los símbolos de capa superior pueden producirse a partir del decodificador 402 después de una decodificación de Viterbi ( $BER < 10^{-3}$  o así) o después de una decodificación de Reed-Solomon (RS) ( $BER < 10^{-9}$  o así), en unas operaciones de decodificación típicas que conocen los expertos en la técnica. Los símbolos de capa superior se prevén a través de trayecto 902 de realimentación a partir del decodificador 402 de capa superior a un remodulador 406 que produce de forma efectiva una señal de capa superior idealizada. La señal de nivel superior idealizada se sustrae de la señal 1020 demodulada de capa superior.

A fin de que la sustracción proporcione una señal de capa inferior pequeña y limpia, la señal de capa superior ha de reproducirse con precisión. La señal modulada puede haberse distorsionado, por ejemplo, por la no linealidad del amplificador de tubo de ondas progresivas (ATOP) u otras distorsiones no lineales o lineales en el canal de transmisión. Los efectos de distorsión se estiman a partir de la señal recibida después del hecho o a partir de las características de ATOP que pueden descargarse en el IRD en unas asignaciones 1014AM – AM y/o AM – PM, que se usan para eliminar la distorsión.

Un restador 1012 sustrae a continuación la señal de capa superior idealizada a partir de la señal 1020 demodulada estable. Esto deja la señal de segunda capa potencia inferior. El restador 1012 puede incluir una función de retardo o memoria intermedia para retener la señal 1020 demodulada estable mientras que la señal de capa superior idealizada se está construyendo. La señal de segunda capa se demodula por el demodulador 1010 de nivel inferior y se decodifica por FEC por el decodificador 1008 de acuerdo con su formato de señal para producir los símbolos de capa inferior, que se proporcionan al módulo 908 de transporte.

La figura 10B muestra otra realización en la que la sustracción de capa se realiza en la señal por capas recibida (antes de la demodulación de capa superior). En este caso, el demodulador 1004 de capa superior produce la señal 1022 de portadora superior (así como la salida 1020 de señal demodulada estable). Una señal 1022 de portadora superior se proporciona al remodulador 1006. El remodulador 1006 proporciona la señal remodulada al traductor 1018 de distorsión no lineal que produce de forma efectiva una señal de capa superior idealizada. A diferencia de la realización que se muestra en la figura 10A, la señal de capa superior idealizada en la presente realización incluye la portadora de capa superior para la sustracción con respecto a la señal 808A, 808B combinada recibida.

Otros procedimientos de sustracción de capa equivalentes se les ocurrirán a los expertos en la técnica y la presente invención no ha de limitarse a los ejemplos que se proporcionan en este caso. Adicionalmente, los expertos en la técnica entenderán que la presente invención no se limita a dos capas; pueden incluirse capas adicionales. Las capas superiores idealizadas se producen a través de remodulación a partir de sus símbolos de capa respectivos y se sustraen. La sustracción puede realizarse o bien sobre la señal combinada recibida o bien sobre una señal demodulada. Por último, no es necesario que todas las capas de señal sean transmisiones digitales; la capa más baja puede ser una transmisión analógica.

El análisis siguiente describe la demodulación y la decodificación de capa a modo de ejemplo. Será evidente para los expertos en la técnica que capas adicionales pueden demodularse y decodificarse las de una forma similar. La señal combinada entrante se representa como:

$$s_{UL}(t) = f_U \left( M_U \exp(j\omega_U t + \theta_U) \sum_{m=-\infty}^{\infty} S_{Um} p(t - mT) \right) + f_L \left( M_L \exp(j\omega_L t + \theta_L) \sum_{m=-\infty}^{\infty} S_{Lm} p(t - mT + \Delta T_m) \right) + n(t)$$

en la que,  $M_U$  es la magnitud de la señal de QPSK de capa superior y  $M_L$  es la magnitud de la señal de QPSK de capa inferior y  $M_L \ll M_U$ . Las frecuencias y la fase de la señal para las señales de capa superior e inferior son respectivamente  $\omega_U$ ,  $\theta_U$  y  $\omega_L$ ,  $\theta_L$ . La falta de alineamiento de sincronismo de símbolos entre las capas superior e inferior es  $\Delta T_m$ .  $p(t - mT)$  representa la versión desplazada en el tiempo del filtro  $p(t)$  414 de conformación de impulsos que se emplea en la modulación de señal. Los símbolos de QPSK  $S_{Um}$  y  $S_{Lm}$  son elementos de

$$\left\{ \exp(j \frac{n\pi}{2}), n = 0, 1, 2, 3 \right\}$$

.  $f_U(\cdot)$  y  $f_L(\cdot)$  indican la función de distorsión de los ATOP para las señales respectivas.

Ignorando  $f_U(\cdot)$  y  $f_L(\cdot)$  y el ruido  $n(t)$ , lo que sigue representa la salida del demodulador 1004 al decodificador 1002 de FEC después de eliminar la portadora superior:

$$s'_{UL}(t) = M_U \sum_{m=-\infty}^{\infty} S_{Um} p(t - mT) + M_L \exp\{j(\omega_L - \omega_U)t + \theta_L - \theta_U\} \sum_{m=-\infty}^{\infty} S_{Lm} p(t - mT + \Delta T_m)$$

Debido a la diferencia de magnitud entre  $M_U$  y  $M_L$ , el decodificador 402 de capa superior hace caso omiso de la componente de  $M_L$  de la  $s'_{UL}(t)$ .

Después de sustraer la capa superior a partir de  $s_{UL}(t)$  en el restador 1012, se mantiene lo que sigue:

$$s_L(t) = M_L \exp\{j(\omega_L - \omega_U)t + \theta_L - \theta_U\} \sum_{m=-\infty}^{\infty} S_{Lm} P(t - mT + \Delta T_m)$$

5 Cualesquiera efectos de distorsión, tal como la no linealidad de los efectos de ATOP se estiman para la sustracción de señal. En una realización típica de la presente invención, las frecuencias de capa superior e inferior son sustancialmente iguales. Unas mejoras significativas en la eficiencia del sistema pueden obtenerse usando un descentrado de frecuencia entre capas.

Usando la presente invención, una modulación compatible con versiones anteriores de dos capas con QPSK duplica una capacidad de velocidad de transmisión de 6/7 actual añadiendo un ATOP aproximadamente 6,2 dB por encima de una potencia de ATOP existente. Pueden transmitirse nuevas señales de QPSK a partir de un transmisor separado, por ejemplo a partir de un satélite diferente. Además, no hay necesidad de unos amplificadores de tubo de ondas progresivas (ATOP) lineales como en el caso de 16QAM. Asimismo, no se impone penalización de error de fase sobre las modulaciones de orden más alto tal como en 8PSK y 16QAM.

### 3.0 Niveles de potencia de las capas de modulación

En un sistema de modulación por capas, la relación entre las capas de modulación individuales puede estar estructurada para facilitar unas aplicaciones compatibles con versiones anteriores. Alternativamente, puede diseñarse una nueva estructura de capa para optimizar la eficiencia y/o el rendimiento combinados del sistema de modulación por capas.

#### 3.1 Aplicaciones compatibles con versiones anteriores

La figura 11A muestra los niveles 1100 de potencia relativos de unas realizaciones a modo de ejemplo de la presente invención. La figura 11A no es un dibujo a escala. La presente realización duplica la capacidad de 6/7 velocidad de transmisión previamente existente usando un ATOP 6,2 dB por encima de una potencia radiada isotrópica equivalente (EIRP) de ATOP previamente existente y un segundo ATOP 2 dB por debajo de la potencia de ATOP previamente existente. La presente realización usa unas capas de QPSK superior e inferior que son no coherentes. Una velocidad de transmisión de código de 6/7 se usa también para ambas capas. En la presente realización, la señal de la señal 1102 de QPSK heredada se usa para generar la capa 1104 superior y una nueva capa de QPSK es la capa 1110 inferior. La CNR de la señal 1102 de QPSK heredada es de aproximadamente 7 dB. En la presente invención, se refuerza la potencia de la señal 1102 de QPSK heredada en aproximadamente 6,2 dB lo que lleva el nuevo nivel de potencia hasta aproximadamente 13,2 dB como la capa 1104 superior. El ruido 1106 de fondo de la capa superior es de aproximadamente 6,2 dB. La nueva capa 1110 de QPSK inferior tiene una CNR de aproximadamente 5 dB. La señal y el ruido totales de la capa inferior se mantienen en o por debajo del ruido 1106 de fondo tolerable de la capa superior. La capa 1104 superior de potencia reforzada de la presente invención es también muy robusta, lo que la hace resistente al desvanecimiento por lluvia. Ha de observarse que la invención puede extenderse a múltiples capas con unas velocidades de transmisión de código, codificación y modulaciones mixtas.

En una realización alternativa de la presente aplicación compatible con versiones anteriores, puede usarse una velocidad de transmisión de código de 2/3 para ambas capas 1104, 1110 superior e inferior. En este caso, la CNR de la señal 1102 de QPSK heredada (con una velocidad de transmisión de código de 2/3) es de aproximadamente 5,8 dB. La señal 1102 heredada se refuerza desde aproximadamente 5,3 dB hasta aproximadamente 11,1 dB (4,1 dB por encima de la señal 1102 de QPSK heredada con una velocidad de transmisión de código de 2/3) para formar la capa 1104 de QPSK superior. La nueva capa 1110 de QPSK inferior tiene una CNR de aproximadamente 3,8 dB. La señal y el ruido totales de la capa 1110 inferior se mantienen en o por debajo de aproximadamente 5,3 dB, el ruido 1106 de fondo tolerable de la capa de QPSK superior. En este caso, la capacidad global se mejora en 1,55 y la velocidad de transmisión efectiva para los IRD heredados será de 7/9 de que antes de la implementación de la modulación por capas.

En una realización adicional de una aplicación compatible con versiones anteriores de la presente invención las velocidades de transmisión de código entre las capas 1104, 1110 superior e inferior pueden mezclarse. Por ejemplo, la señal 502 de QPSK heredada puede reforzarse desde aproximadamente 5,3 dB hasta aproximadamente 12,3 dB con la velocidad de transmisión de código sin cambios a 6/7 para crear la capa 1104 de QPSK superior. La nueva capa 1110 de QPSK inferior puede usar una velocidad de transmisión de código de 2/3 con una CNR de aproximadamente 3,8 dB. En este caso, la capacidad total en relación con la señal 1102 heredada es de aproximadamente 1,78. Además, los IRD heredados no sufrirán una disminución de velocidad de transmisión significativa.

#### 3.2 Aplicaciones no compatibles con versiones anteriores

Tal como se discute anteriormente, la presente invención puede usarse también en aplicaciones "no compatibles con versiones anteriores". En una primera realización a modo de ejemplo, se usan dos capas 1104, 1110 de QPSK, cada una a una velocidad de transmisión de código de 2/3. La capa 504 de QPSK superior tiene una CNR de

aproximadamente 4,1 dB por encima de su ruido 1106 de fondo y la capa 1110 de QPSK inferior también tiene una CNR de aproximadamente 4,1 dB. El nivel de ruido y código total de la capa 1110 de QPSK inferior es de aproximadamente 5,5 dB. La CNR total para la señal 1104 de QPSK superior es de aproximadamente 9,4 dB, meramente 2,4 dB por encima de la velocidad de transmisión de señal de QPSK heredada de 6/7. La capacidad es de aproximadamente 1,74 en comparación con la velocidad de transmisión heredada de 6/7.

La figura 11B muestra los niveles de potencia relativos de una realización alternativa en la que ambas capas 1104, 1110 superior e inferior se encuentran por debajo del nivel 1102 de señal heredada. Las dos capas 1104, 1110 de QPSK usan una velocidad de transmisión de código de 1/2. En el presente ejemplo, la capa 1104 de QPSK superior se encuentra aproximadamente 2,0 dB por encima de su ruido 1106 de fondo de aproximadamente 4,1 dB. La capa de QPSK inferior tiene una CNR de aproximadamente 2,0 dB y un nivel de ruido y código total en o por debajo de 4,1 dB. La capacidad de la presente realización es de aproximadamente 1,31 en comparación con la velocidad de transmisión heredada 6/7.

#### 4. Entorno de hardware

La figura 12 ilustra un sistema 1200 informático a modo de ejemplo que podría usarse para implementar unos módulos y/o funciones seleccionados de la presente invención. El ordenador 1202 está compuesto por un procesador 1204 y una memoria 1206, tal como una memoria de acceso aleatorio (RAM). El ordenador 1202 está acoplado operativamente a un visualizador 1222, que presenta unas imágenes tales como ventanas al usuario en una interfaz 1218B gráfica de usuario. El ordenador 1202 puede acoplarse a otros dispositivos, tal como un teclado 1214, un dispositivo 1216 de ratón, una impresora, etc. Por supuesto, los expertos en la técnica reconocerán que cualquier combinación de los componentes anteriores, o cualquier número de componentes, periféricos, y otros dispositivos diferentes puede usarse con el ordenador 1202.

Generalmente, el ordenador 1202 funciona bajo el control de un sistema 1208 operativo almacenado en la memoria 1206, e interactúa con el usuario para aceptar entradas y órdenes y para presentar resultados a través de un módulo 1218A interfaz gráfica de usuario (GUI). A pesar de que el módulo 1218A de GUI se representa como un módulo separado, las instrucciones que realizan las funciones de GUI pueden ser residentes o estar distribuidas en el sistema 1208 operativo, el programa 1210 informático, o implementarse con procesadores y memoria de propósito especial. El ordenador 1202 también implementa un compilador 1212 que permite que un programa 1210 de aplicación escrito en un lenguaje de programación tal como COBOL, C++, FORTRAN, u otro lenguaje se traduzca a un código legible por el procesador 1204. Después de su compleción, la aplicación 1210 accede a y manipula los datos almacenados en la memoria 1206 del ordenador 1202 usando las relaciones y la lógica que se generaron usando el compilador 1212. El ordenador 1202 también está compuesto opcionalmente por un dispositivo de comunicación externo tal como un módem, un enlace de satélite, una tarjeta de Ethernet, u otro dispositivo para comunicarse con otros ordenadores.

En una realización, las instrucciones que implementan el sistema 1208 operativo, el programa 1210 informático, y el compilador 1212 se incorporan de forma tangible en un medio legible por ordenador, por ejemplo, el dispositivo 1220 de almacenamiento de datos, que podría incluir uno o más dispositivos de almacenamiento de datos fijos o amovibles, tal como una unidad zip, unidad 1224 de disco flexible, unidad de disco duro, unidad de CD-ROM, unidad de cinta, etc. Además, el sistema 1208 operativo y el programa 1210 informático se componen de instrucciones que, cuando se leen y se ejecutan por el ordenador 1202, dan lugar a que el ordenador 1202 realice las etapas necesarias para implementar y/o usar la presente invención. El programa 1210 informático y/o las instrucciones de funcionamiento pueden incorporarse también de forma tangible en la memoria 1206 y/o en los dispositivos 1230 de comunicaciones de datos, fabricando de ese modo un producto de programa informático o artículo de fabricación de acuerdo con la invención. En ese sentido, se pretende que las expresiones "artículo de fabricación", "dispositivo de almacenamiento de programa" y "producto de programa informático", tal como se usan en el presente documento, engloben un programa informático accesible a partir de cualesquiera medios o dispositivo legible por ordenador.

Los expertos en la técnica reconocerán que pueden hacerse muchas modificaciones a la presente configuración sin alejarse del alcance de la presente invención. Por ejemplo, los expertos en la técnica reconocerán que cualquier combinación de los componentes anteriores, o cualquier número de componentes, periféricos, y otros dispositivos diferentes puede usarse con la presente invención.

#### 5. Esquemas de modulación para la maximización de la eficiencia energética y espectral

La técnica de modulación por capas (LM) que se describe anteriormente normalmente requiere el uso de los transmisores de los transpondedores en los satélites 108A, 108B, teniendo el transpondedor de capa superior una mayor salida de potencia que los asociados con técnicas de modulación ordinarias. Normalmente, la capa 808A de señal superior ha de modularse por una portadora de una potencia sustancialmente más alta que la capa 808B de señal inferior. Asimismo, las aplicaciones compatibles con versiones anteriores (BWC) normalmente requieren más potencia que las aplicaciones no BWC para la capa 808A de señal superior.

Las realizaciones de la presente invención usan uno o más de cuatro esquemas de señal definidos para mejorar la eficiencia energética y espectral del sistema. Tales mejoras permiten que los sistemas de modulación por capas funcionen a unos niveles de potencia de ATOP convencionales. Los cuatro esquemas de señal se describen en detalle a continuación. Los esquemas de señal pueden emplearse por separado o en combinación para lograr un rendimiento mejorado. En el primer esquema de señal, la velocidad de símbolos de la señal de capa inferior se reduce por debajo de la velocidad de símbolos de la señal de capa superior (o viceversa, si es no compatible con versiones anteriores). En el segundo esquema de señal, la banda de protección que prevé frente a la interferencia de canal adyacente se reduce o se elimina. En el tercer esquema de señal, la proporción de ancho de banda de señal en exceso,  $\alpha$ , se reduce. En el último esquema de señal, pueden usarse múltiples capas de señal para proporcionar un nuevo flujo de datos en la banda de protección de la señal heredada.

La figura 13 es un diagrama que ilustra un procedimiento 1300 a modo de ejemplo que puede usarse para poner en práctica una realización de la invención. En la etapa 1302, una señal de capa superior se amplifica con una primera proporción de ancho de banda en exceso a un primer nivel de potencia dentro de una banda de frecuencia. En la etapa 1304, una señal de capa inferior se amplifica con una segunda proporción de ancho de banda en exceso a un segundo nivel de potencia dentro de la banda de frecuencia, superándose el segundo nivel de potencia por el primer nivel de potencia. Por último, en la etapa 1306, una señal de modulación por capas se transmite para al menos un receptor, comprendiendo la señal de modulación por capas tanto la señal de capa superior como la señal de capa inferior que interfieren una con otra dentro de la banda de frecuencia de tal modo que la señal de capa superior puede demodularse directamente a partir de la señal de modulación por capas y la señal de capa inferior puede demodularse después de sustraer la señal de capa superior a partir de la señal de modulación por capas, en la que sustancialmente no se usa una banda de protección dentro de la banda de frecuencia. El procedimiento anterior puede aplicarse para implementar los esquemas de señal que se describen a continuación en el presente documento en la arquitectura de sistema que se detalla anteriormente.

Normalmente, la señal de capa superior comprende una señal heredada en un sistema de televisión por satélite que tiene una proporción de ancho de banda en exceso reducida sobre la señal heredada original. Por ejemplo, la señal heredada original puede tener una proporción de ancho de banda en exceso de 0,2. Por consiguiente, cada una de las nuevas señales por capas tendrá una proporción de ancho de banda independiente que no supera 0,2. La proporción de ancho de banda en exceso para cualquiera de las señales por capas puede reducirse adicionalmente para no superar 0,1. Además, las señales de capa superior e inferior pueden amplificarse y transmitirse a partir de un satélite y/o antena común o a partir de satélites y/o antenas diferentes.

#### 5.1 Variación de velocidad de símbolos

El primer esquema de modulación implica la reducción de la velocidad de símbolos de la señal de capa inferior, por ejemplo, la nueva señal 808B de capa inferior que funciona sobre la señal 808A heredada de capa superior. La velocidad de símbolos en una señal digital se refiere a la potencia de señal concentrada a lo largo de un ancho de banda más pequeña; duplicar la velocidad de símbolos duplica el caudal y la potencia de portadora (lo que requiere ese ancho de banda disponible adecuado). Reduciendo la velocidad de símbolos por debajo de la de la señal 808A de capa superior, la señal 808B de capa inferior ocupa un ancho de banda más estrecho. Esto quiere decir que una cantidad más pequeña de interferencia se exhibirá en la señal heredada. Por lo tanto, la señal heredada 808A puede establecerse a un nivel de potencia inferior al que se requeriría recibir de otro modo por un receptor 500 heredado. No obstante, una velocidad de símbolos reducida reducirá también el caudal para la señal 808B de capa inferior.

En cambio, la mera reducción meramente de la velocidad de transmisión de código de la señal 808B de capa inferior no reduce el ancho de banda de señal. El espectro de una señal digital se refiere a la potencia de señal que se difunde a lo largo del ancho de banda de señal con independencia de la velocidad de transmisión de código. Una reducción de velocidad de transmisión de código reduciría la CNR requerida. De hecho, una reducción continuada de la velocidad de transmisión de código conduciría finalmente las proporciones portadora a ruido (CNR) por debajo de un umbral aceptable que se requiere para garantizar el enganche de portadora para la demodulación de señal. Además, duplicar la potencia de portadora sólo aumenta la capacidad de Shannon en aproximadamente 1 bps/Hz a una CNR elevada; la potencia requerida aumenta más que de forma lineal con el caudal. Es por estos motivos que cambiar la velocidad de símbolos puede ser más atractivo que cambiar la velocidad de transmisión de código en muchos casos.

#### 5.2 Reducción de banda de protección

Un segundo esquema de modulación requiere reducir o eliminar la banda de protección. En el plan de frecuencias de satélite de radiodifusión de DIRECTV actual, existe una banda de protección de 5,16 MHz entre transpondedores adyacentes de la misma polarización. Esto es una configuración heredada de normas de comunicación por satélite anteriores para la transmisión de FM analógica. La norma de comunicación de FM requiere una CNR relativamente elevada (del orden de 14 dB), y es por lo tanto más susceptible a los efectos de recrecimiento espectral a partir de la no linealidad de ATOP de satélite y otras imperfecciones. De hecho, la banda de protección designada ha proporcionado más que suficiente margen para que la señal de FM rechace la energía de señal difundida debido a la interferencia de canal adyacente (ACI).

En comparación, la señal de los sistemas de radiodifusión directa (DBS) digitales actuales requiere una CNR del orden de 7,6 dB con una modulación QPSK predominante y unos códigos de corrección de errores sin canal de retorno (FEC) concatenada. Con la aparición de los códigos de tipo turbo, tal como los códigos de producto turbo, códigos convolucionales concatenados serie/paralelo y los códigos de control de paridad de baja densidad, que proporcionan unas ganancias de codificación más altas que los códigos convencionales, la CNR requerida cae incluso a niveles inferiores (a alrededor de 5,4 dB para la misma modulación y una velocidad de transmisión de código similar). En lo que sigue, se hace referencia a los códigos de tipo turbo como códigos FEC avanzados, como contraste con los códigos convencionales. De nuevo, siendo otros factores iguales, las señales con unas CNR más pequeñas son menos susceptibles a los efectos de ruido y de interferencia. Por ejemplo, una simulación por ordenador en unas proporciones de potencia de señal de fuera de banda (OOB) de una no linealidad de ATOP típica proporciona una proporción de OOB de aproximadamente  $-20$  dB a  $\pm 12$  MHz con un  $\alpha$  de 0,2, y una proporción de OOB de aproximadamente  $-20$  dB a  $\pm 11$  MHz con un  $\alpha$  de 0,1. Estas simulaciones tanto asumen unas ATOP linealizadas como son conservativas, en base a un filtro de "contención" para la señal no deseada.

Las figuras 14A a 14E ilustran unos efectos de extensión de crecimiento espectral al interior de la banda de protección. La figura 14A es un espectro de señal simulado por ordenador a modo de ejemplo carente de no linealidad de ATOP y con un  $\alpha$  de 0,2. La figura 14B ilustra las características de amplitud y de fase de un ATOP de satélite "linealizado" a modo de ejemplo. La figura 14C ilustra un espectro de señal a modo de ejemplo después de un procesamiento a través de un multiplexor de salida (OMUX) en un satélite con  $\alpha$  de 0,1. Por lo tanto, la señal se ha procesado a través de un multiplexor de entrada (IMUX), el ATOP linealizado y el OMUX. La figura 14D ilustra la proporción de potencia de señal de fuera de banda frente a la frecuencia de corte con un  $\alpha$  de 0,2. El recrecimiento espectral se debe principalmente a la no linealidad de ATOP. Con una banda de protección de 5,16 MHz, la proporción de OOB es de aproximadamente  $-23$  dB a la frecuencia máxima  $f_{\max}$  a  $\pm 17,2$  MHz. Sin la banda de protección, la proporción de OOB es de aproximadamente  $-20$  dB a la  $f_{\max}$  de  $\pm 12$  MHz. La figura 14E ilustra la proporción de potencia de señal de fuera de banda frente a la frecuencia de corte con un  $\alpha$  de 0,1. En este caso, con la banda de protección,  $f_{\max}$  es  $\pm 18,2$  MHz y la proporción de OOB es de aproximadamente  $-24$  dB. Sin la banda de protección,  $f_{\max}$  es  $\pm 11$  MHz y la proporción de OOB es de aproximadamente  $-20$  dB (ha cambiado poco con respecto al caso en el que  $\alpha = 0,2$ ).

Por consiguiente, la banda de protección existente para DIRECTV (y otros sistemas DBS) puede reducirse o incluso eliminarse con sólo un pequeño impacto sobre el rendimiento de la comunicación. Por ejemplo, la eliminación de la banda de protección de DIRECTV podría aumentar la eficiencia espectral en un factor de aproximadamente un 22 % (a partir de la proporción de 29,16/24). El aumento de caudal se logra aumentando la velocidad de símbolos con esta proporción sin la necesidad de aumentar la velocidad de transmisión de código, lo que requeriría más potencia.

### 5.3 Reducción de la proporción de ancho de banda de señal en exceso

Un ancho de banda en exceso reduce la interferencia entre símbolos (ISI). Esto proviene de la recuperación de sincronismo de símbolos y de otros errores a partir del demodulador. ISI es una forma de "interferencia propia"; la degradación en la CNR aumenta con el valor de la CNR. Una proporción de ancho de banda en exceso de 0,2 se usa en los sistemas de DIRECTV actuales. Por unos motivos similares a las que se discuten anteriormente tal como se aplican a la reducción de banda de protección, la degradación a partir de ISI en la CNR no es tan severa para CNR inferiores. El análisis y la simulación muestran que el  $\alpha$  para la comunicación por satélite digital puede hacerse tan bajo como 0,1 sin una degradación de rendimiento significativa. Como referencia, las normas de TV digital terrestre del Advanced Television Systems Committee (ATSC) necesitan una CNR mucho más alta (por lo tanto, más susceptible a los efectos de ISI), aunque la norma sólo estipula una proporción de ancho de banda en exceso de aproximadamente 0,1.

La reducción de la proporción de ancho de banda en exceso de 0,2 a 0,1 para DIRECTV aumenta fácilmente la eficiencia espectral en tanto como un 9 % (a partir de la proporción de 1,2/1,1). Consistente con el esquema de reducción de banda de protección, el aumento de caudal con respecto a una proporción de ancho de banda en exceso reducida se logra aumentando la velocidad de símbolos con la proporción anterior. El aumento de caudal combinado a partir de una reducción de banda de protección y una reducción de proporción de ancho de banda en exceso es de aproximadamente un 32 %. A pesar de que una CNR inferior con respecto al uso de un código FEC avanzado dará como resultado unos errores de recuperación de sincronismo mayores, las simulaciones por ordenador muestran que el ancho de banda en exceso actual proporciona un margen adecuado. Un impacto ligeramente aumentado en la CNR se observa con un error de sincronismo de media cuadrática (RMS) pesimista de aproximadamente 0,075 veces el intervalo de símbolos (no linealidad de ATOP no incluida). Por lo tanto, una proporción de ancho de banda en exceso de 0,1 reduce la señal CNR en aproximadamente 0,151 dB. En comparación, una proporción de ancho de banda en exceso de 0,2 reduce la señal CNR en aproximadamente 0,148 dB, y una proporción de ancho de banda en exceso de 0,35 reduce la señal CNR en aproximadamente 0,136 dB. La no linealidad de ATOP aplanan la forma de onda de señal y por lo tanto aumenta los errores de sincronismo de seguimiento. Esto puede compensarse imponiendo unos requisitos de linealidad ligeramente más altos en las ATOP nuevas. La potencia de señal de capa inferior más pequeña requerida permite que el ATOP funcione más cerca de su región lineal.

Las figuras 15A y 15B ilustran el impacto de la proporción de ancho de banda en exceso sobre el error de sincronismo de símbolos mediante unas simulaciones por ordenador. La figura 15A ilustra el error de sincronismo de símbolos con una proporción de ancho de banda en exceso de 0,1 para un filtro de raíz cuadrada de coseno alzado. La ISI se calcula tomando muestras a partir de los puntos de paso por cero de los símbolos adyacentes. La reducción de CNR se calcula tomando muestras de los valores de no pico de señal. La figura 15B ilustra el error de sincronismo de símbolos con una proporción de ancho de banda en exceso de 0,2. Los resultados son muy similares a los de la figura 15A.

#### 5.4 Modulación por capas en la banda de protección

Si dos nuevas señales por capas se añaden sustancialmente en la banda de protección de la señal de capa superior heredada, la eficiencia espectral puede duplicarse con un pequeño aumento en el ruido de fondo a partir del de la señal heredada. Esto quiere decir es posible añadir un caudal adicional con compatibilidad con versiones anteriores y con un pequeño aumento en potencia de la señal heredada. Habrá un cierto impacto mutuo entre señales en las bandas de protección y heredada debido al recrecimiento espectral, en particular cuando la banda de protección y/o la proporción de ancho de banda en exceso se reducen a partir de sus valores originales tal como sugiere la presente invención. El escenario de caso más desfavorable con respecto al impacto es para la nueva señal de capa inferior en la banda de protección a partir de la señal heredada (por ejemplo, una disminución de sensibilidad de aproximadamente 0,9 dB), una consecuencia de la potencia significativamente más alta de la señal heredada. Una solución para mitigar este efecto es aumentar los niveles de potencia de las señales por capas para superar la degradación a partir de señal heredada. El impacto sobre la señal heredada a partir de la nueva señal de capa inferior es menos severo (por ejemplo, una disminución de sensibilidad de receptor de aproximadamente 0,2 dB). Ambas nuevas capas de señal pueden incluir un código FEC avanzado. Además, implementación de este esquema de modulación proporcionará la infraestructura que puede usarse más tarde para convertir el sistema en un esquema de modulación no compatible con versiones anteriores con una eficiencia espectral maximizada.

#### 5.5 Aplicaciones de Esquemas de modulación a modo de ejemplo

Cuando se combinan los esquemas de modulación que se describen en las secciones 5.1 a 5.4, la eficiencia espectral del sistema heredado puede aumentarse en tanto como un 50 % a la vez que sigue siendo compatible con versiones anteriores del sistema heredado. Cuando los esquemas de modulación anteriores se aplican de forma selectiva a unas aplicaciones no BWC, también se siguen unas mejores eficiencias energética y espectral. Como ejemplo, el uso de una modulación por capas puede aumentar la eficiencia espectral en tanto como un 184 % con sólo aproximadamente 4,3 dB de aumento en relación con la potencia de la señal heredada. En comparación, el sistema 8-PSK (con un código FEC avanzado) sólo conseguiría aproximadamente un 72 % de aumento en la eficiencia espectral, mientras que requiere un aumento de potencia de 1,2 dB.

Las figuras 16A a 16H ilustran algunas implementaciones de modulación por capas a modo de ejemplo. La figura 16A ilustra una implementación de modulación por capas básica que usa una única frecuencia de portadora para ambas capas con una proporción de ancho de banda en exceso de 0,2 para ambas señales de capa superior e inferior. La velocidad de transmisión de código es de 6/7 para ambas señales y la eficiencia espectral es de un 200 % en relación con la señal heredada. Tanto la señal 1600 de capa superior como la señal 1602 de capa inferior ocupan la misma banda 1604 de frecuencia. En este caso, una banda 1606A, 1606B de protección se indica por la ausencia de señal a ambos lados de la banda 1604 de frecuencia.

La figura 16B ilustra la eficiencia espectral de los esquemas de modulación de la presente invención en comparación con la implementación de modulación por capas básica. El eje horizontal es la eficiencia espectral en relación con la de la señal heredada, y el eje vertical es el ruido de fondo efectivo tal como se ve por la señal de capa superior (cuanto más pequeño es el ruido de fondo, menos potencia requiere la señal de capa superior). En este caso, se ignora el requisito de enganche de portadora. Ambas señales de capa superior e inferior tienen una proporción de ancho de banda en exceso de 0,2. La eficiencia espectral mejora hasta un máximo de un 222 % del caudal heredado debido a que la señal de capa inferior incluye la banda de protección cuando se compara con la implementación de modulación por capas básica. La gráfica muestra una curva para variar la velocidad de símbolos así como para variar la velocidad de transmisión de código. Se muestra que variar la velocidad de transmisión de código es más eficiente energéticamente que variar la velocidad de símbolos para la señal de capa superior.

La figura 16C ilustra la eficiencia espectral de los esquemas de modulación de la presente invención en comparación con la implementación de modulación por capas básica, pero considerándose el requisito de enganche de portadora. En este caso, también, ambas señales de capa superior e inferior tienen una proporción de ancho de banda en exceso de 0,2. De nuevo, la eficiencia espectral mejora hasta un máximo de un 222 % debido a que la señal de capa inferior incluye la banda de protección cuando se compara con la implementación de modulación por capas básica. La señal de portadora de capa superior funciona a aproximadamente 1.080 W con una velocidad de símbolos de 20 MHz. La capa inferior portadora señal funciona a aproximadamente 176 W con una velocidad de símbolos de 24,3 MHz. Similar a la figura 16B, la gráfica muestra una curva para variar la velocidad de símbolos así como para variar la velocidad de transmisión de código. Variar la velocidad de transmisión de código es más eficiente energéticamente que disminuir la velocidad de símbolos hasta aproximadamente un 50 %, cuando la portadora se vuelve un problema. El máximo aumento de potencia de capa superior es de aproximadamente 6,5 dB.



Debido a que la reducción de la velocidad de transmisión de código y velocidad de símbolos da como resultado las menos eficiencias espectrales, una implementación de modulación por capas puede comenzar tanto con la velocidad de transmisión de código como con la velocidad de símbolos maximizadas. En este caso, una CNR de al menos 6,5 dB ha de usarse para la señal de capa superior. A continuación, la eficiencia espectral puede reducirse hasta un nivel deseado o asequible en términos de los requisitos de potencia. A medida que la velocidad de símbolos se reduce, el ruido total que se introduce por la capa inferior disminuye de forma lineal. La frecuencia de señal de capa inferior ha de colocarse para minimizar la superposición espectral con la frecuencia de señal de capa superior. A medida que se reduce la velocidad de transmisión de código, el ruido total que se introduce por la señal de capa inferior disminuye a una velocidad de transmisión mayor que lineal. Asimismo, la reducción de la velocidad de transmisión de código se limita por la CNR de fondo requerida para el enganche de portadora de la señal de capa inferior, por ejemplo, de aproximadamente 1,2 dB para una QPSK sin pilotos. Existe generalmente un cruce en la eficiencia espectral entre los procedimientos de reducción de la velocidad de transmisión de código y la reducción de la velocidad de símbolos. Por consiguiente, la velocidad de transmisión de código puede seleccionarse por encima de la eficiencia espectral de cruce y la velocidad de símbolos seleccionarse por debajo de la eficiencia espectral de cruce.

La figura 16D ilustra un esquema de señal de modulación por capas a modo de ejemplo en el que la señal de capa inferior se dispone en la banda de protección de la señal de capa superior. La señal de capa inferior comienza en el borde de la banda de frecuencia para minimizar la interferencia en la señal de capa superior. En el presente ejemplo, la señal de capa inferior (señal de banda de protección) tiene una proporción de ancho de banda en exceso de 0,2 y un nivel de potencia de aproximadamente 72 W. La señal de capa superior (señal heredada) tiene una proporción de ancho de banda en exceso de 0,2 y un nivel de potencia de 398 W. La velocidad de transmisión de código es de 6/7 para la señal de capa superior heredada y la señal de capa inferior de servicio nuevo. El presente ejemplo proporciona una eficiencia espectral de aproximadamente un 150 % en comparación con una señal heredada. Tal como se muestra, sustancialmente no se usa una banda de protección dentro de la banda 1604 de frecuencia.

La figura 16E ilustra la eficiencia espectral del esquema de señal de modulación por capas a modo de ejemplo de la figura 16D. No se muestra interferencia con el ancho de banda de señal de capa inferior hasta 5,2 MHz. La velocidad de transmisión de código se fija a 6/7 para la señal de capa inferior. La eficiencia espectral mejora hasta aproximadamente un 150 % sobre una señal heredada con +2,2 dB sobre la potencia de la señal heredada. No obstante, la eficiencia espectral de un 222 % se obtiene con +6,5 dB de nivel de potencia sobre la potencia de la señal heredada. El recrecimiento espectral se ignora en este caso. Obsérvese que variar la velocidad de símbolos es más eficiente energéticamente que variar la velocidad de transmisión de código hasta un factor de eficiencia espectral de un 180 %. El máximo aumento de potencia de la señal de capa superior es de aproximadamente 6,5 dB.

La figura 16F ilustra otro esquema de señal de modulación por capas a modo de ejemplo en el que la señal de capa inferior se dispone en la banda de protección de la señal de capa superior. En este caso, la señal de capa inferior tiene una proporción de ancho de banda en exceso de 0,1 y un nivel de potencia de aproximadamente 72 W. En este caso, también la señal de capa inferior comienza en el borde de la banda de frecuencia para minimizar la interferencia en la señal de capa superior. La señal de capa superior (señal heredada) tiene una proporción de ancho de banda en exceso de 0,2 y un nivel de potencia de 380 W. La velocidad de transmisión de código es de 6/7. De nuevo, tal como se muestra, sustancialmente no se usa una banda de protección dentro de la banda 1604 de frecuencia.

La figura 16G ilustra la eficiencia espectral del esquema de señal de modulación por capas a modo de ejemplo de la figura 16F. Se muestra menos interferencia en la señal de capa superior por la señal de capa inferior, en comparación con la figura 16E. En el presente ejemplo, la eficiencia espectral mejora aproximadamente un 150 % con +2,0 dB sobre la potencia de la señal heredada. La eficiencia espectral de un 232 % se obtiene con +6,5 dB de nivel de potencia sobre la potencia de la señal heredada. El aumento en la eficiencia espectral se debe a que se encuentra disponible una velocidad de símbolos más alta que con el ejemplo anterior (a pesar de que la señal de capa inferior requiere aproximadamente +0,4 dB). El recrecimiento espectral se ignora de nuevo en este caso. Obsérvese que variar la velocidad de símbolos es más eficiente energéticamente que variar la velocidad de transmisión de código de una eficiencia espectral en hasta un 185 %. El máximo aumento de potencia de la señal de capa superior es de aproximadamente 6,5 dB.

La figura 16H ilustra la eficiencia espectral del esquema de señal de modulación por capas a modo de ejemplo en el que una señal en dos capas se aplica en la banda de protección. En este caso, se muestra una curva de fuerte pendiente con una velocidad de símbolos variable. El esquema de señal es lo más eficiente a unas velocidades de símbolos inferiores y hay poca superposición espectral con la señal heredada. La eficiencia espectral es de aproximadamente un 150 % sin requerirse un aumento de potencia sobre la potencia de la señal heredada. La eficiencia espectral de un 172 % se obtiene con sólo +2 dB de nivel de potencia sobre la potencia de la señal heredada.

A partir de lo anterior, se observa que la potencia puede optimizarse en un sistema de modulación por capas variando la velocidad de transmisión de código y/o de símbolo para las aplicaciones compatibles con versiones anteriores. El cambio adecuado en las velocidades de símbolo y/o de transmisión de código depende de la mejora

de eficiencia espectral y de si la nueva señal es compatible con versiones anteriores. Una mejora de eficiencia espectral inferior (por ejemplo, de hasta un +80 %) ha de emplear una modulación de dos capas de la señal de capa inferior (por ejemplo, en la banda de protección). Una mejora de eficiencia espectral moderada ha de emplear una señal de capa inferior única con una velocidad de símbolos variable. Una mejora de eficiencia espectral elevada ha de emplear una señal de capa inferior única con una velocidad de transmisión de código variable.

Las figuras 17A a 17C ilustran un plan de implementación en tres fases a modo de ejemplo para mejorar un sistema de radiodifusión de televisión por satélite existente. La figura 17A ilustra una primera fase en la que una señal en dos capas se añade a la banda de protección. Se requieren tres transpondedores, uno para la señal heredada y dos nuevos transpondedores para cada capa de la señal de banda de protección. Cada una de las señales de banda de protección por capas puede tener una proporción de ancho de banda en exceso de 0,1, mientras que la señal heredada retiene una proporción de ancho de banda en exceso de 0,2. La CNR para las señales de capa superior e inferior de la banda de protección es de 11,9 dB y de 5,4 dB respectivamente. La señal heredada emplea una CNR de 7,6 dB. Por consiguiente, el transpondedor para la señal heredada no necesita mejorarse para implementar la primera fase a pesar de que las señales por capas pueden establecerse a partir de un satélite intermedio. La eficiencia espectral mejora hasta un 150 % de la heredada. En este caso, la señal 1600 de capa superior y la señal 1602 de capa inferior comparten la banda 1604 de frecuencia con una tercera señal 1608, la señal heredada, que ocupa una mayoría de la banda de frecuencia. En esta fase, la señal 1600 de capa superior y la señal 1602 de capa inferior son diferentes de la tercera señal, es decir, las señales por capas no interfieren con la tercera señal 1608. De forma efectiva, la señal de capa superior y la señal de capa inferior se emplean dentro de la banda de protección de la señal heredada antigua. Por lo tanto, en la nueva señal, sustancialmente toda la banda de protección se usa dentro de la banda 1604 de frecuencia.

La figura 17B ilustra una segunda fase en la que dos señales de capa superior se abarcan por una señal de capa inferior. Una de las señales de capa superior es la señal heredada que ha de tener un nivel de potencia incrementado para superar el "ruido" de la señal de capa inferior. Por consiguiente, el transpondedor para la señal heredada no necesitará mejorarse, por ejemplo, trasladarse a un nuevo satélite. Además, la señal de capa inferior puede también trasladarse a otro transpondedor, por ejemplo, en el mismo nuevo satélite. La CNR para las señales de capa superior e inferior de la banda de protección es de 11,9 dB y de 5,4 dB respectivamente, mientras que la señal heredada emplea una CNR de 13,1 dB. En esta fase, la eficiencia espectral aumenta hasta un 230 %. Como en el caso de la primera fase, la señal 1600 de capa superior y la señal 1602 de capa inferior comparten la banda 1604 de frecuencia con una tercera señal 1608, la señal heredada, que domina la banda de frecuencia. En este caso, la señal 1602 de capa inferior interfiere con la señal heredada así como con la señal 1600 de capa superior. De nuevo, sustancialmente toda la banda de protección se usa dentro de la banda 1604 de frecuencia.

La figura 17C ilustra una tercera fase en la que modulación por capas de la totalidad del espectro se implementa con nuevas señales. La señal de capa superior sustancialmente adopta el papel de la señal heredada mientras que la señal de capa inferior sustancialmente adopta el papel de la señal anterior por capas con la señal de banda de protección de capa superior. La CNR para las nuevas señales de capa superior e inferior son de 11,9 dB y de 5,4 dB respectivamente. La proporción de ancho de banda en exceso es de 0,1 para ambas señales. En esta fase final, la eficiencia espectral aumenta hasta un 264 %. En este caso, la tercera señal de la segunda fase se vuelve la señal 1600 de capa superior sobre la señal 1602 de capa inferior. Sustancialmente toda la banda de protección se usa dentro de la banda 1604 de frecuencia.

Esto concluye la descripción, incluyendo las realizaciones preferentes de la presente invención. La descripción anterior de la realización preferente de la invención se ha presentado con fines de ilustración y de descripción. No se pretende que sea exhaustiva o que limite la invención a la forma precisa que se da a conocer. Muchas modificaciones y variaciones son posibles a la luz de las enseñanzas anteriores.

Se pretende que el alcance de la invención no esté limitado por la presente descripción detallada, sino en su lugar por las reivindicaciones adjuntas a la misma. La memoria descriptiva, ejemplos y datos anteriores proporcionan una descripción completa de la fabricación y el uso del aparato y procedimiento de la invención. Debido a que pueden hacerse muchas realizaciones de la invención sin alejarse del alcance de la invención, la invención se basa en las reivindicaciones adjuntas a continuación en el presente documento.

**REIVINDICACIONES**

1. Un procedimiento para transmitir señales y recibir señales en un receptor (500) heredado y un receptor (802) de modulación por capas, **caracterizado por:**

5           amplificar una parte de señal (410) de capa superior de una señal de enlace descendente con una primera proporción de ancho de banda en exceso a un primer nivel de potencia dentro de una banda de frecuencia de la señal de enlace descendente, en el que la señal de capa superior se modula de acuerdo con una primera portadora;  
 10           amplificar una parte de señal (418) de capa inferior de la señal de enlace descendente con una segunda proporción de ancho de banda en exceso a un segundo nivel de potencia dentro de la banda de frecuencia de la señal de enlace descendente, superándose el segundo nivel de potencia por el primer nivel de potencia, en el que la señal de capa inferior se modula de acuerdo con una segunda portadora;  
 15           transmitir una señal (1016) de modulación por capas, comprendiendo la señal (1016) de modulación por capas tanto la parte de señal (410) de capa superior amplificada como la parte de señal (418) de capa inferior amplificada que interfieren una con otra dentro de la banda de frecuencia, en el que la parte de señal (410) de capa superior amplificada se transmite por un primer transpondedor y la parte de señal de capa inferior amplificada se transmite por un segundo transpondedor y que transmite a la misma polarización;  
 20           demodular la señal (410) de capa superior directamente a partir de la señal de modulación por capas de acuerdo con la primera portadora en un receptor heredado y en un receptor (802) de modulación por capas;  
 y  
 demodular la señal (418) de capa inferior de acuerdo con la segunda portadora después de sustraer una señal (410) remodulada de capa superior a partir de la señal (1016) de modulación por capas en el receptor de modulación por capas y no en el receptor heredado;  
 en el que la señal de capa superior y la señal de capa inferior son no coherentes.

25           2. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la parte de señal (418) de capa inferior incluye una velocidad de símbolos de capa inferior, la parte de señal (410) de capa superior incluye una velocidad de símbolos de capa superior, y en el que la velocidad de símbolos de capa inferior es inferior que la velocidad de símbolos de capa superior.

30           3. El procedimiento de la reivindicación 1 o de la reivindicación 2, en el que sustancialmente no se usa una banda de protección dentro de la banda de frecuencia.

4. El procedimiento de una cualquiera de las reivindicaciones 1, 2 y 3, en el que al menos una de la primera proporción de ancho de banda en exceso y de la segunda proporción de ancho de banda en exceso no supera 0,1.

35           5. El procedimiento de la reivindicación 3, en el que la parte de señal de capa superior se modula con un primer esquema de modulación y la parte de señal de capa inferior se modula con un segundo esquema de modulación diferente del primer esquema de modulación.

6. El procedimiento de una cualquiera de las reivindicaciones 1, 2 y 3, que además comprende la etapa de:  
 40           amplificar una tercera parte de señal de la señal de enlace descendente, teniendo la tercera parte de señal una tercera proporción de ancho de banda en exceso y que se transmite por la al menos una antena para ocupar una mayoría de la banda de frecuencia de la señal de enlace descendente;  
 en el que la señal de capa superior y la señal de capa inferior se transmiten en una parte restante de la banda de frecuencia de la señal de enlace descendente, y la tercera parte de señal comprende una señal heredada y la tercera proporción de ancho de banda en exceso no supera 0,2 y la primera proporción de ancho de banda en exceso y la segunda proporción de ancho de banda no superan 0,1.

45           7. El procedimiento de una cualquiera de las reivindicaciones 1, 2 y 3, en el que la señal de capa superior comprende una señal heredada en un sistema de televisión por satélite.

8. Un sistema de televisión por satélite para transmitir señales y recibir señales, **caracterizado por:**  
 50           un primer amplificador (816) para amplificar una parte de señal (410) de capa superior de una señal de enlace descendente con una primera proporción de ancho de banda en exceso a un primer nivel de potencia dentro de una banda de frecuencia de la señal de enlace descendente, en el que la señal de capa superior se modula de acuerdo con una primera portadora y comprende una señal heredada en el sistema de televisión por satélite;  
 55           un segundo amplificador (816) para amplificar una parte de señal (418) de capa inferior de la señal de enlace descendente con una segunda proporción de ancho de banda en exceso a un segundo nivel de potencia dentro de la banda de frecuencia de la señal de enlace descendente, superándose el segundo nivel de potencia por el primer nivel de potencia, en el que la señal de capa inferior se modula de acuerdo con una segunda portadora y comprende una señal no heredada en el sistema de televisión por satélite y en el que la señal de capa superior y la señal de capa inferior son no coherentes;

- 5 al menos una antena para transmitir una señal (802, 500) de modulación por capas, comprendiendo la señal de modulación por capas tanto la parte de señal (410) de capa superior como la parte de señal (418) de capa inferior que interfieren una con otra dentro de la banda de frecuencia, en el que la parte de señal (410) de capa superior amplificada se transmite por un primer transpondedor y la señal de capa inferior amplificada se transmite por un segundo transpondedor adyacente al primer transpondedor y que transmite a la misma polarización; y
- 10 un receptor heredado configurado para demodular la parte de señal (410) de capa superior a partir de la señal de modulación por capas de acuerdo con la primera portadora y no configurado para demodular la parte de señal de capa inferior;
- 10 un receptor no heredado configurado para demodular la parte de señal (410) de capa superior directamente a partir de la señal de modulación por capas de acuerdo con la primera portadora y configurado para demodular la señal (418) de capa inferior de acuerdo con una segunda portadora sustrayendo una señal remodulada de capa superior (418) a partir de la señal de modulación por capas.
- 15 9. El sistema de la reivindicación 8, en el que la parte de señal (418) de capa inferior incluye velocidad de símbolos de capa inferior, la señal (410) de capa superior incluye una velocidad de símbolos de capa superior y la velocidad de símbolos de capa inferior es menor que la velocidad de símbolos de capa superior.
10. El sistema de la reivindicación 8 o de la reivindicación 9, en el que sustancialmente no se usa una banda de protección dentro de la banda de frecuencia.
- 20 11. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones 8, 9 y 10, en el que la parte de señal de capa superior se modula con un primer esquema de modulación y la parte de señal de capa inferior se modula con un segundo esquema de modulación diferente del primer esquema de modulación.
12. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones 8, 9, 10 y 11, en el que al menos una de la primera proporción de ancho de banda en exceso y de la segunda proporción de ancho de banda en exceso no supera 0,1.

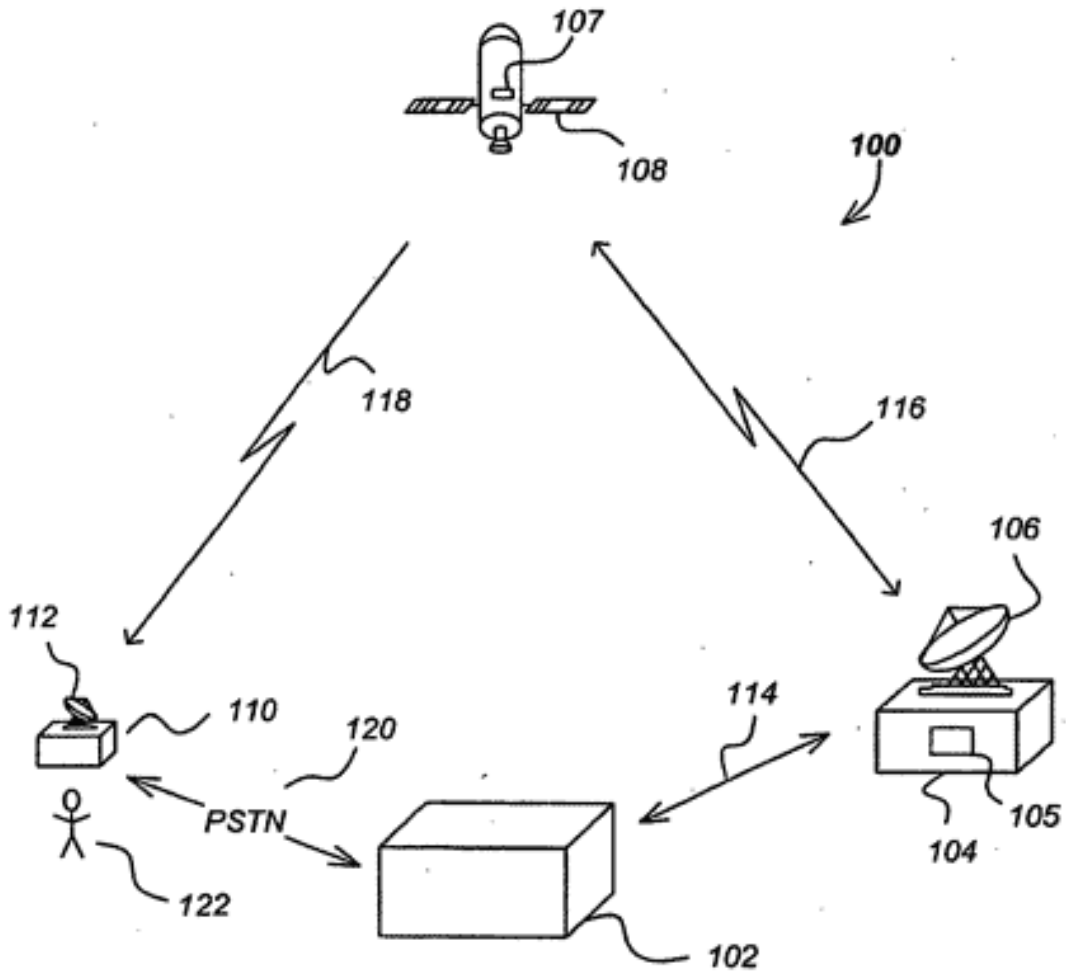


FIG. 1

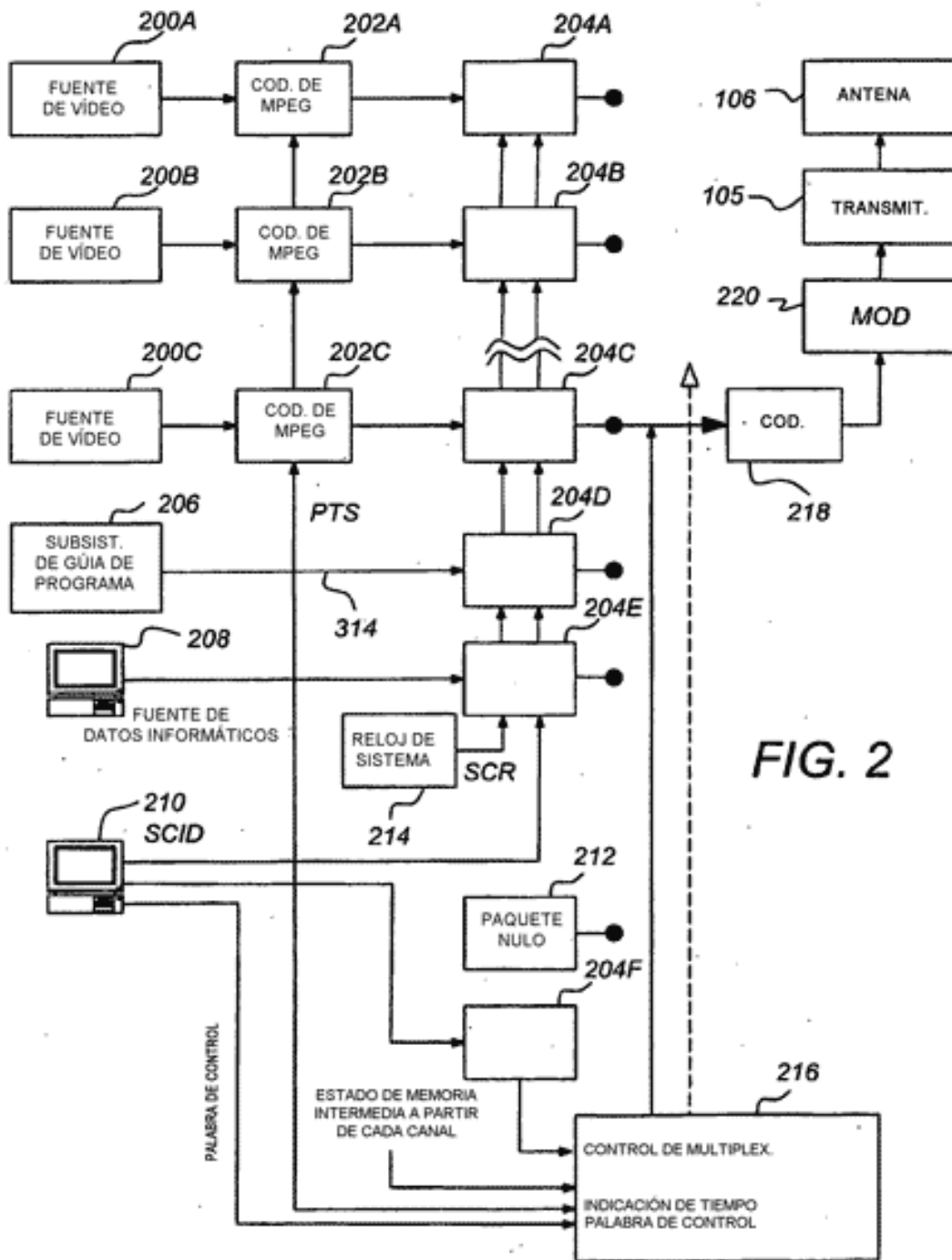


FIG. 2

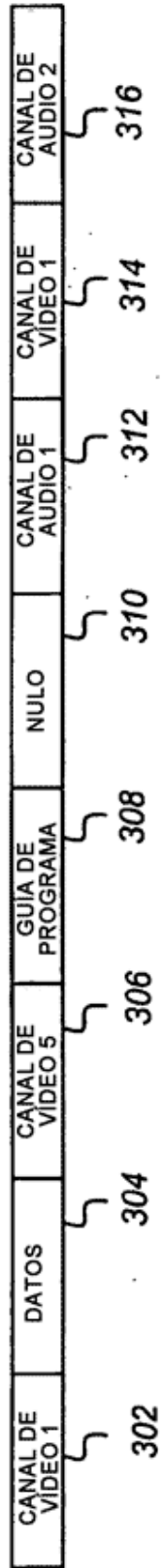


FIG. 3A

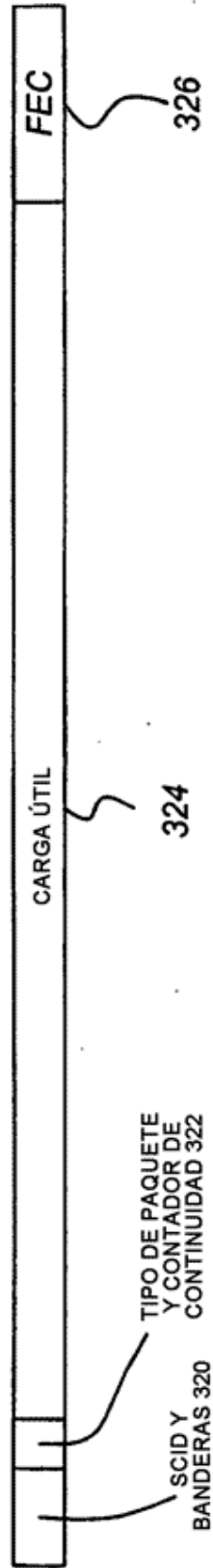


FIG. 3B

220 ↘

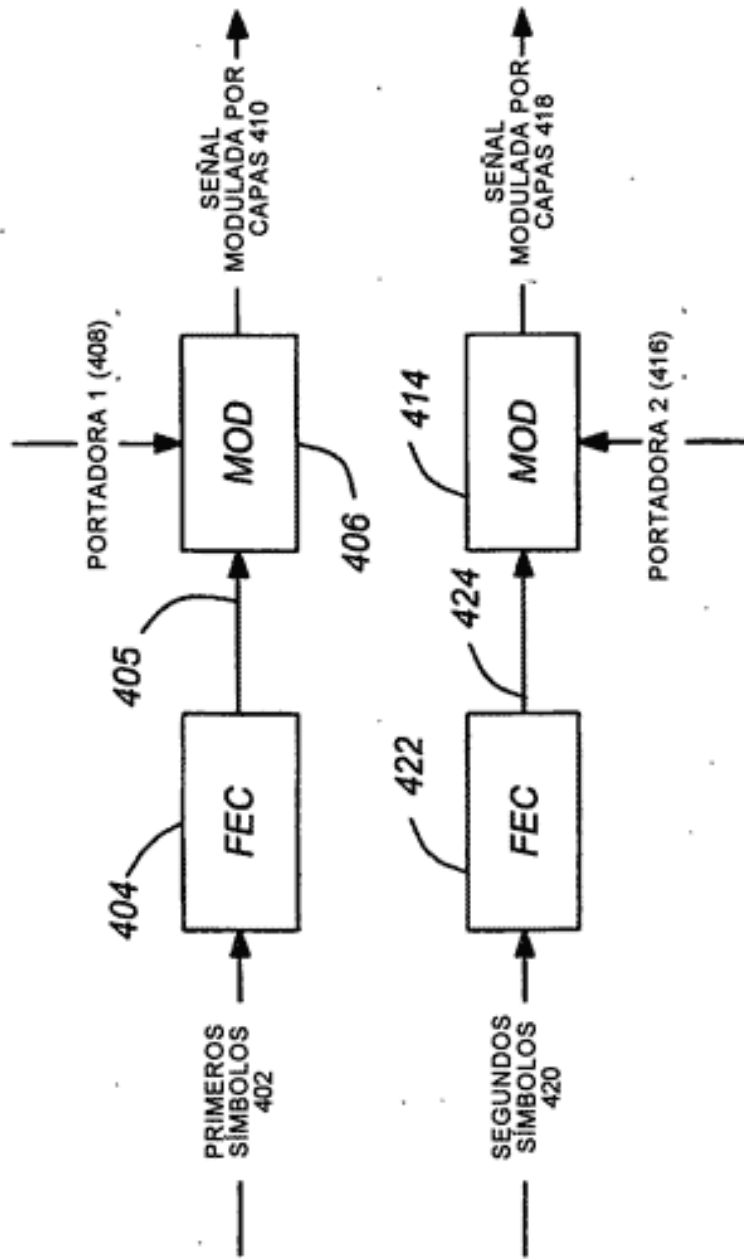


FIG. 4



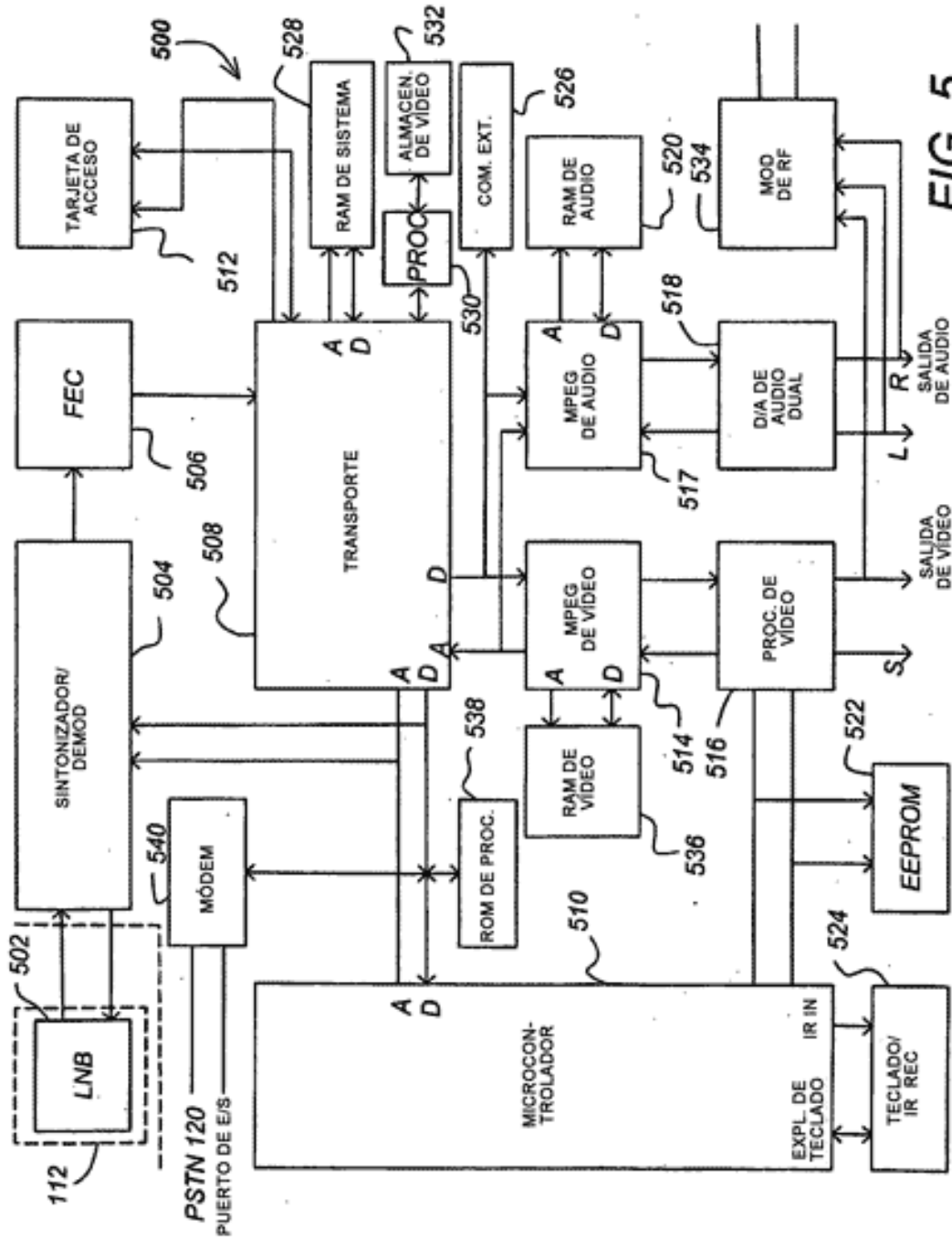


FIG. 5

600 ↘

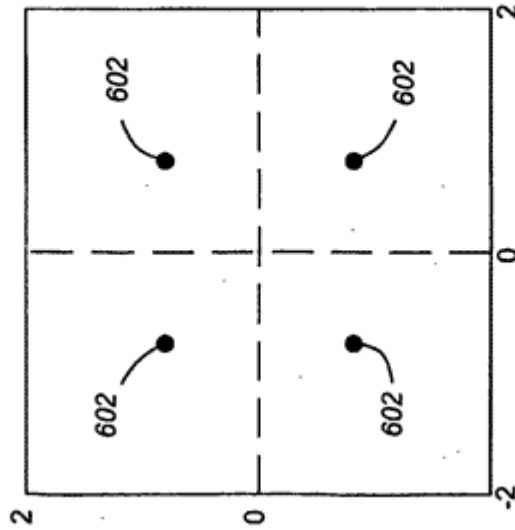


FIG. 6A

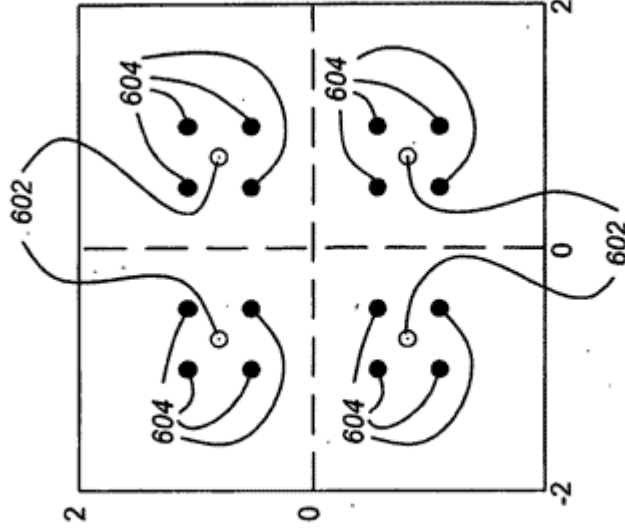
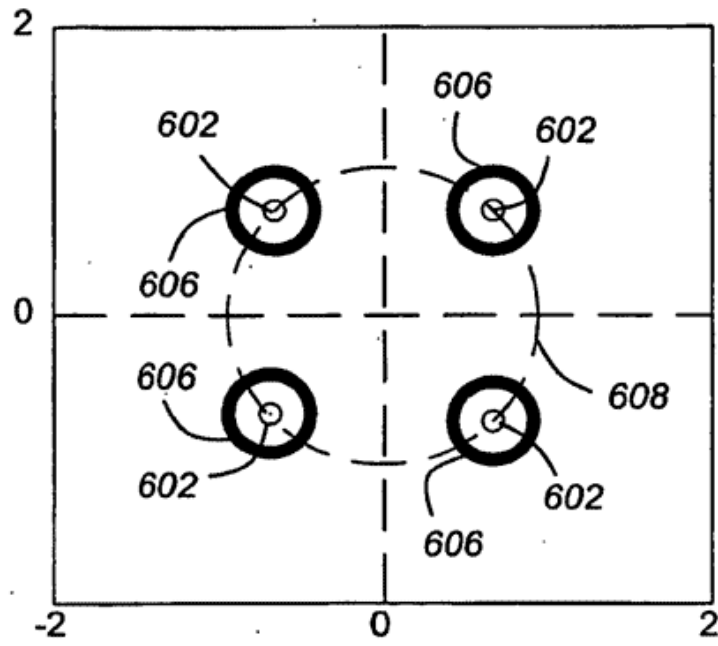


FIG. 6B



**FIG. 6C**

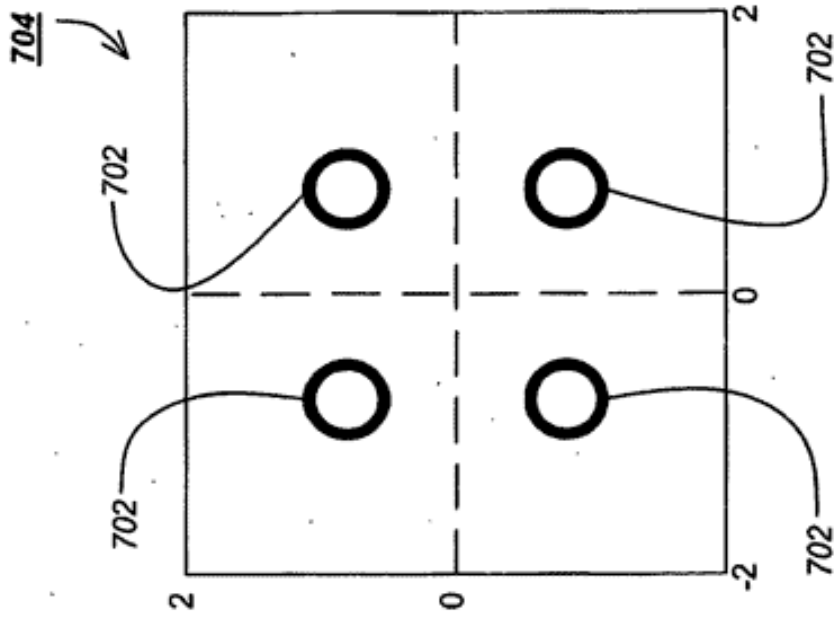


FIG. 7A

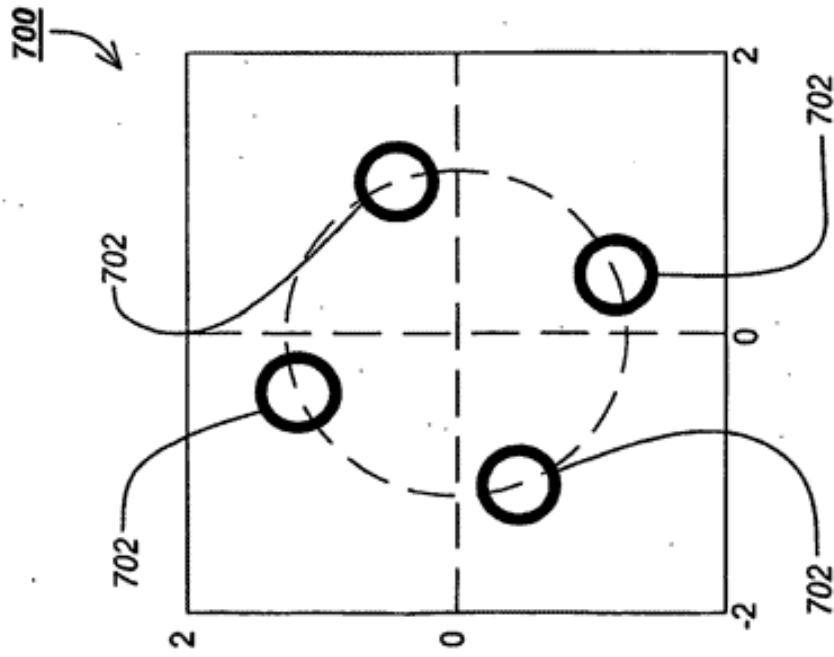


FIG. 7B

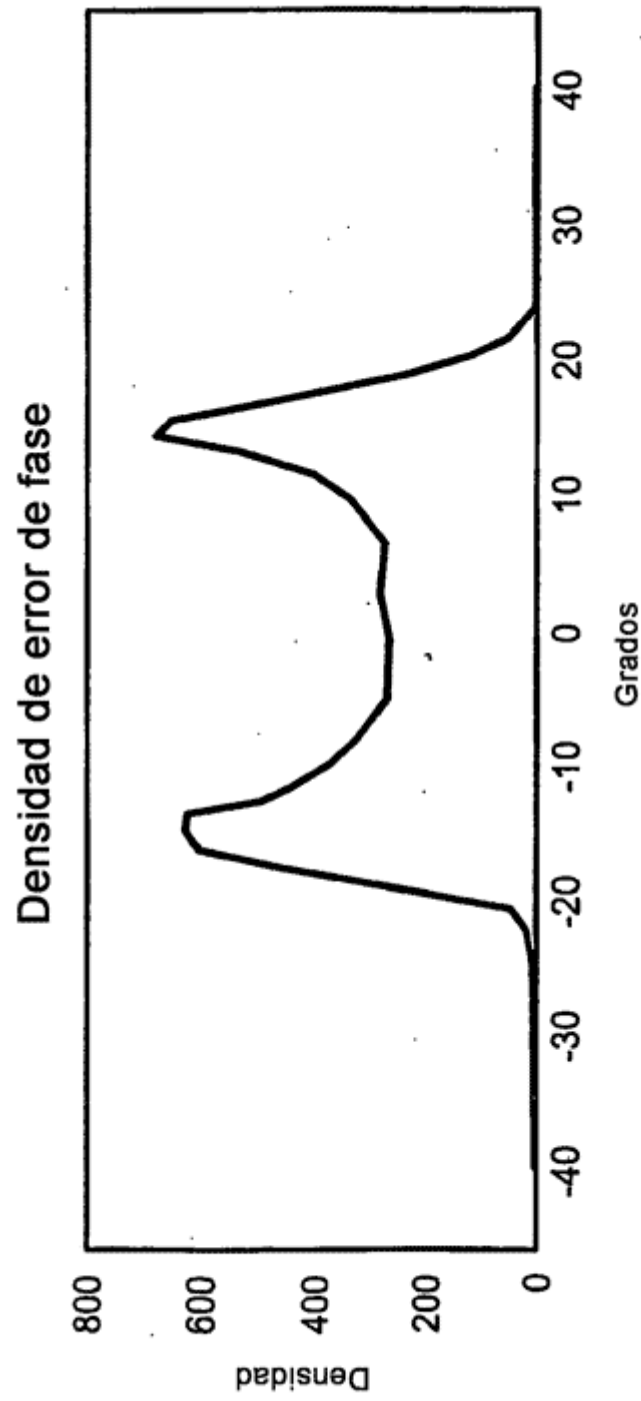


FIG. 7C

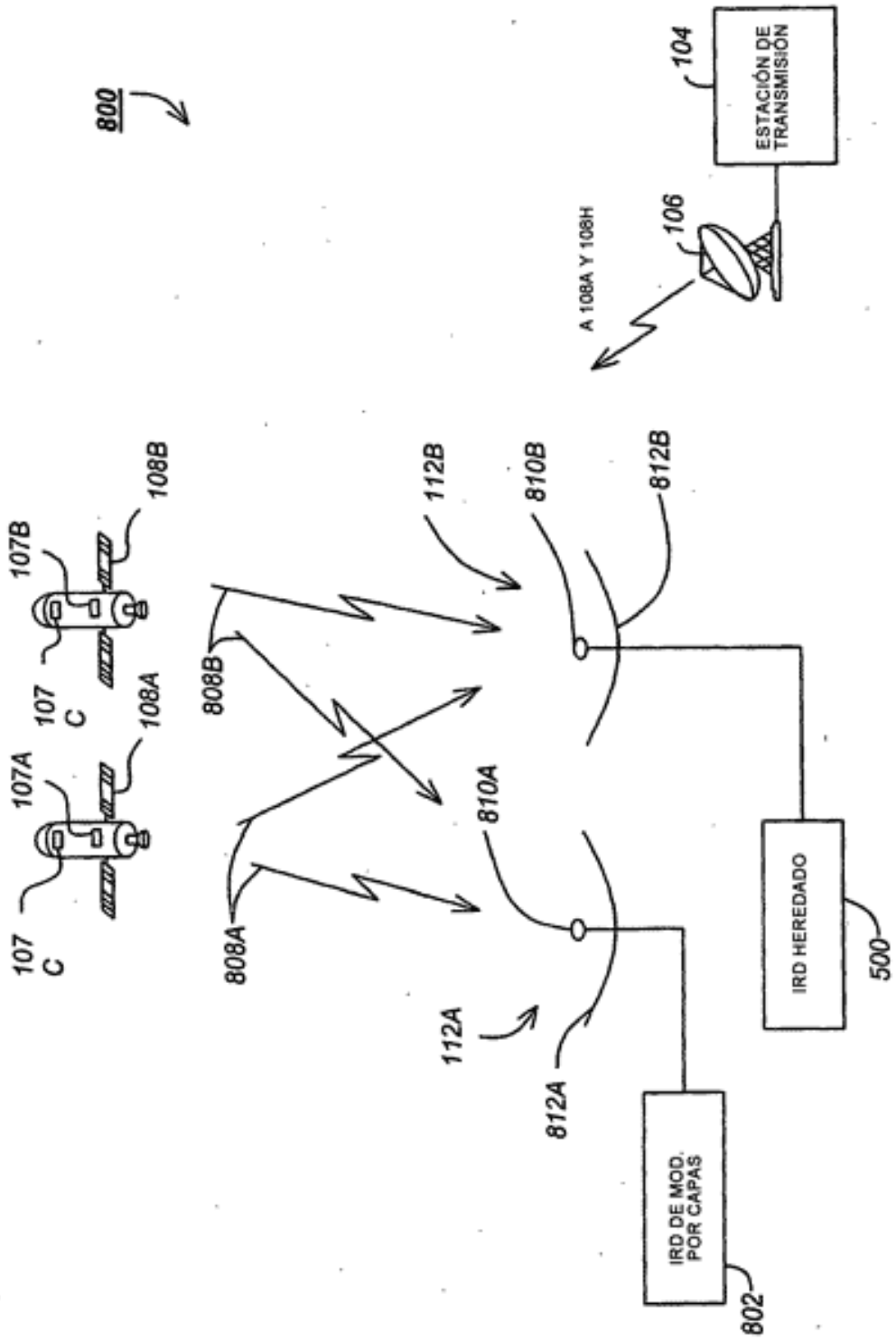


FIG. 8A

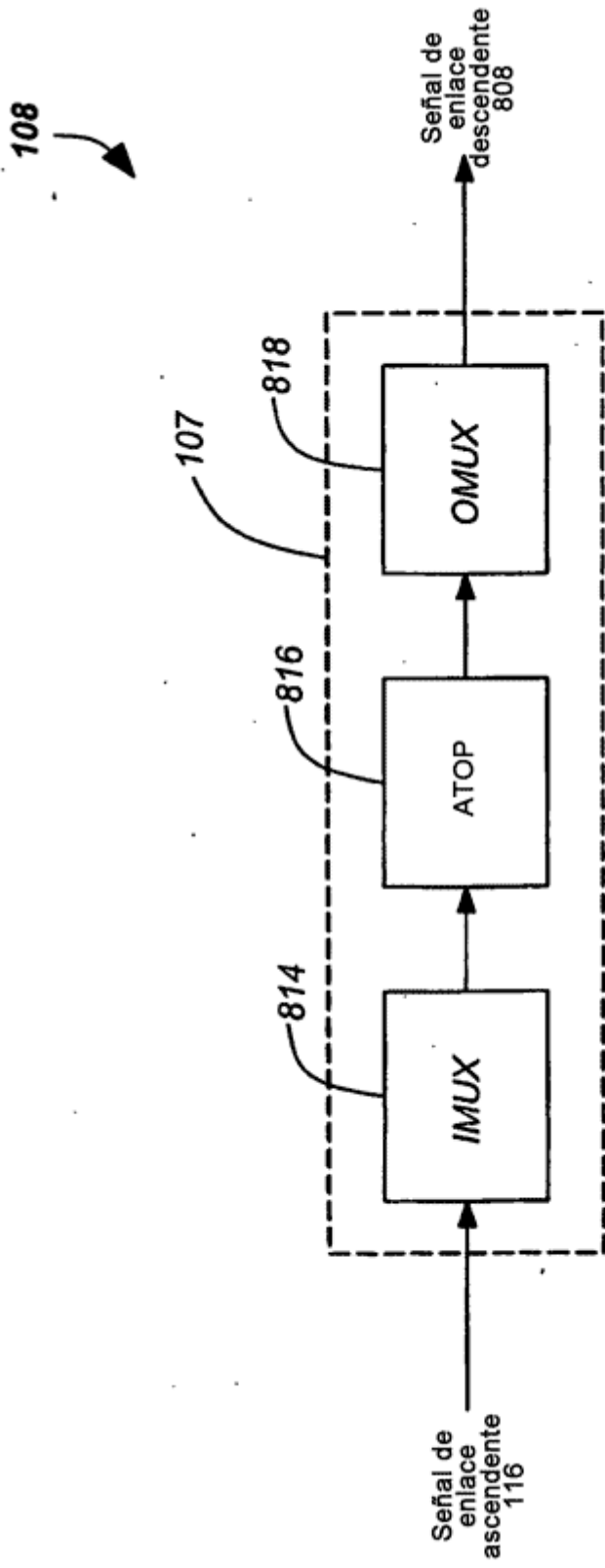


FIG. 8B

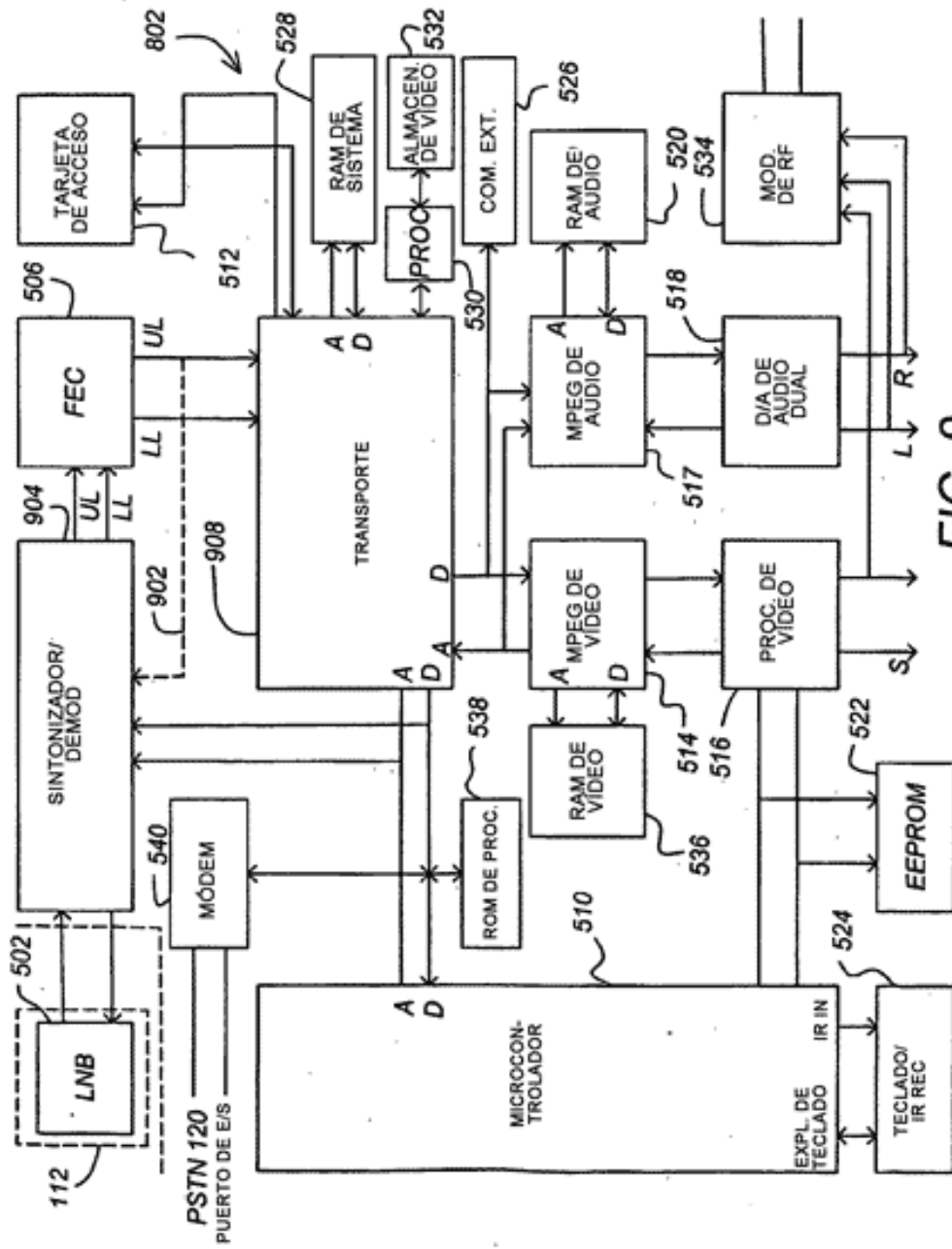


FIG. 9



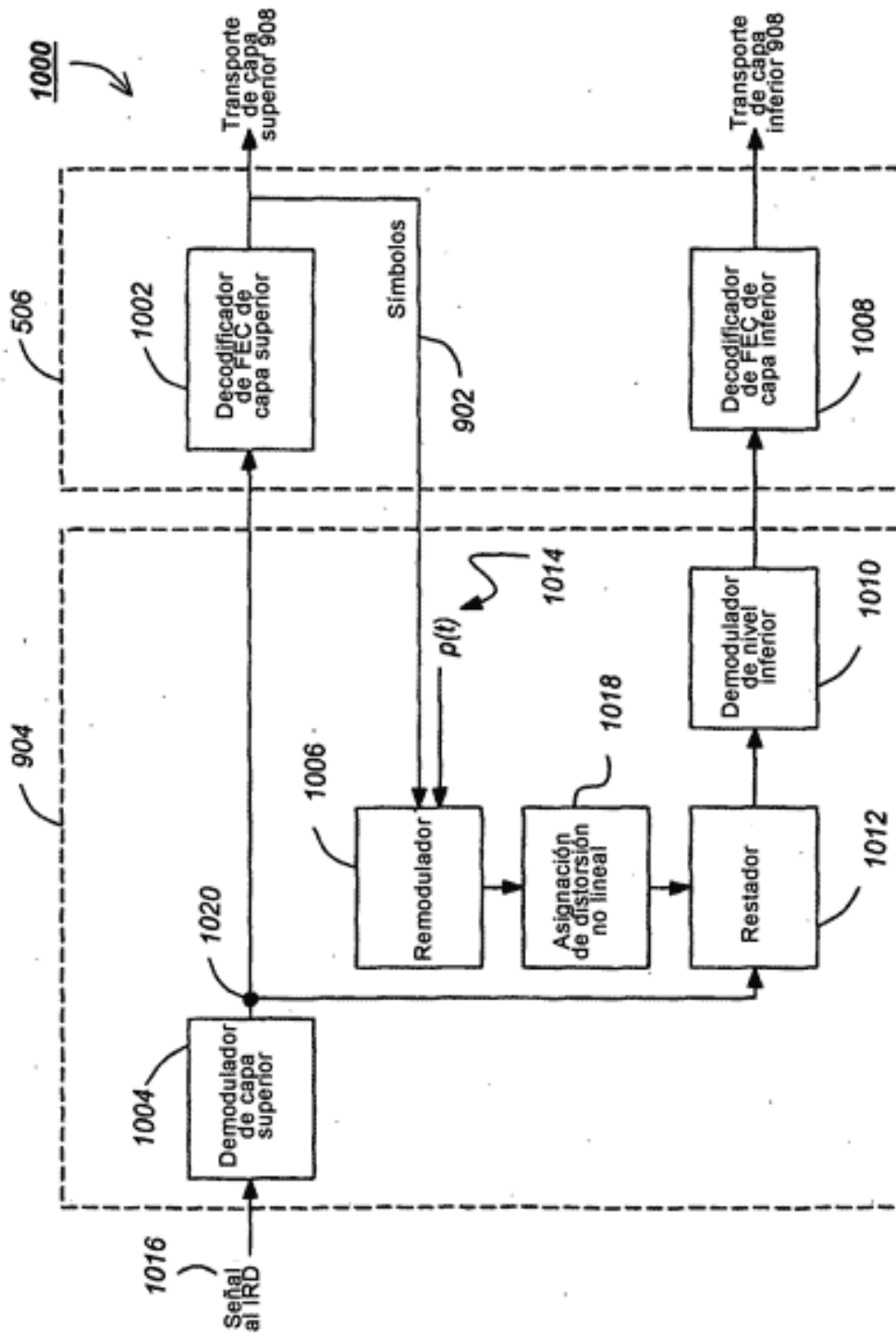


FIG. 10A

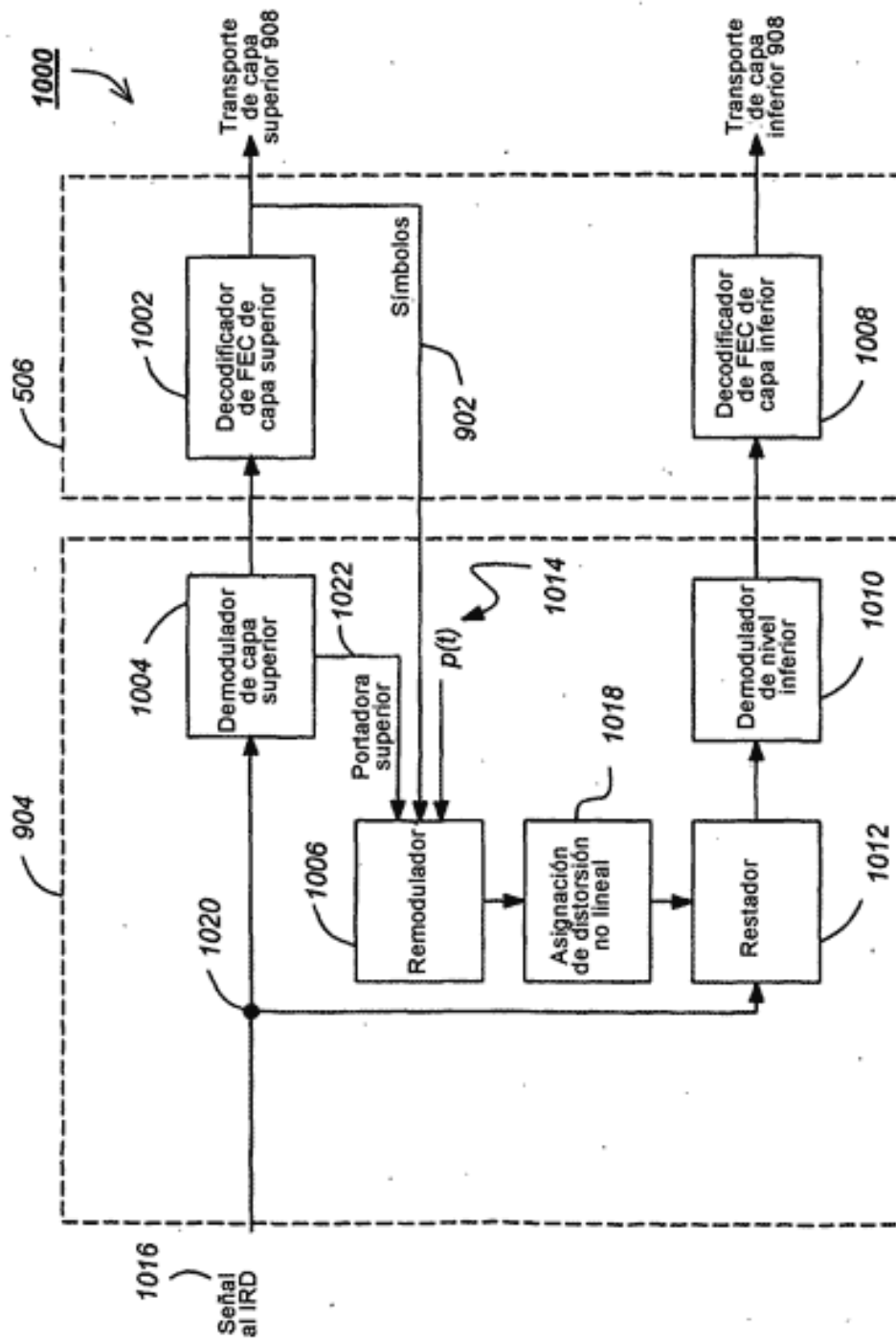


FIG. 10B

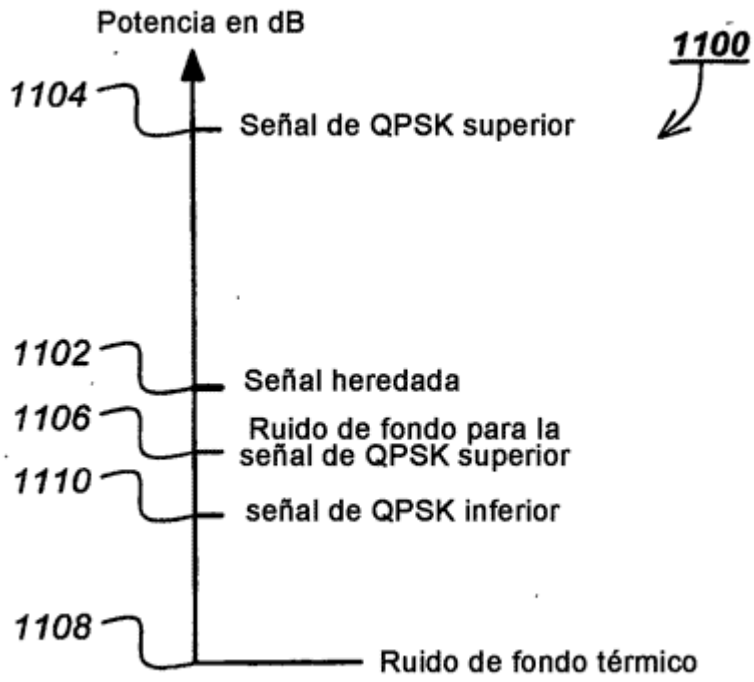


FIG. 11A

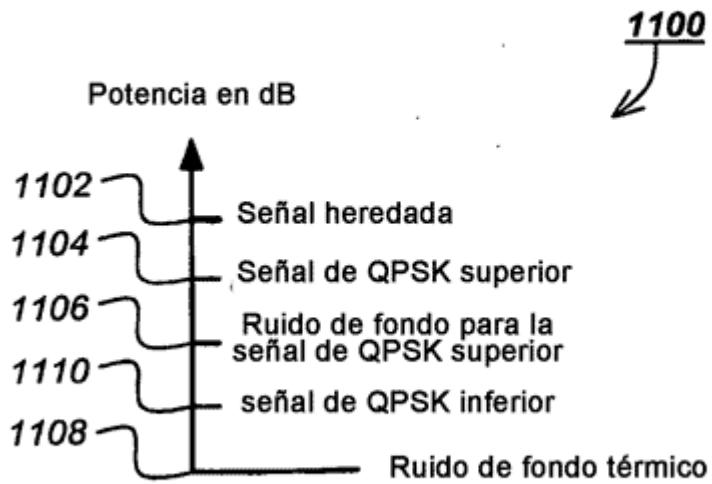


FIG. 11B

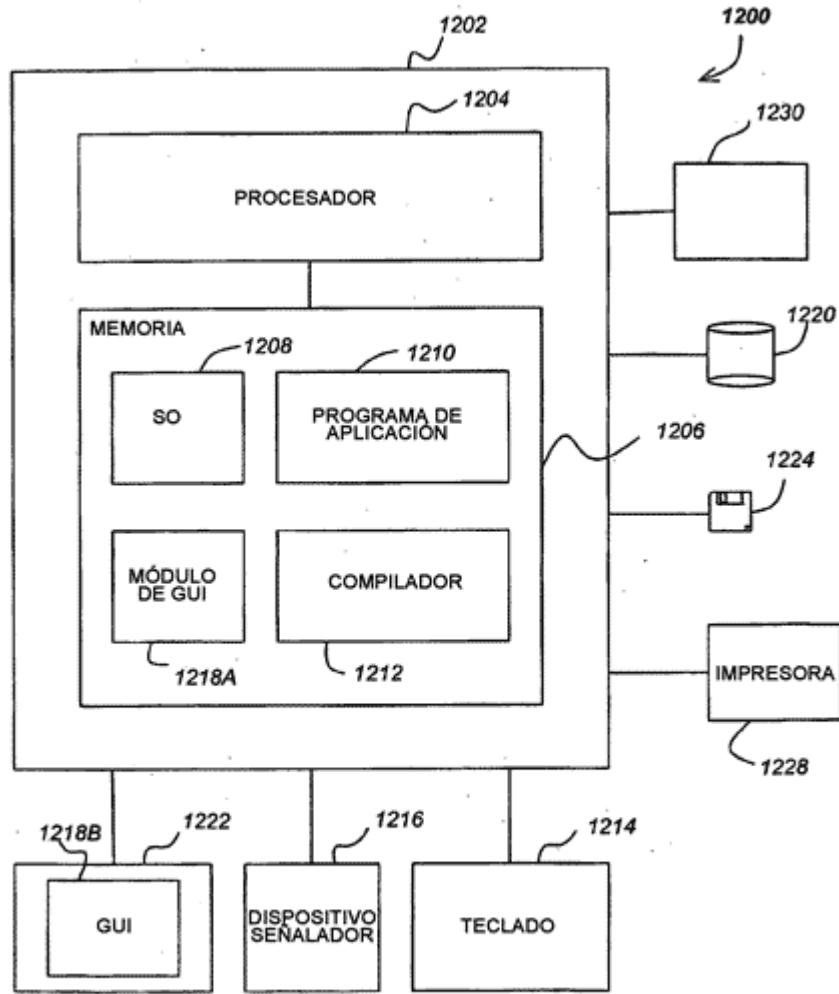


FIG. 12

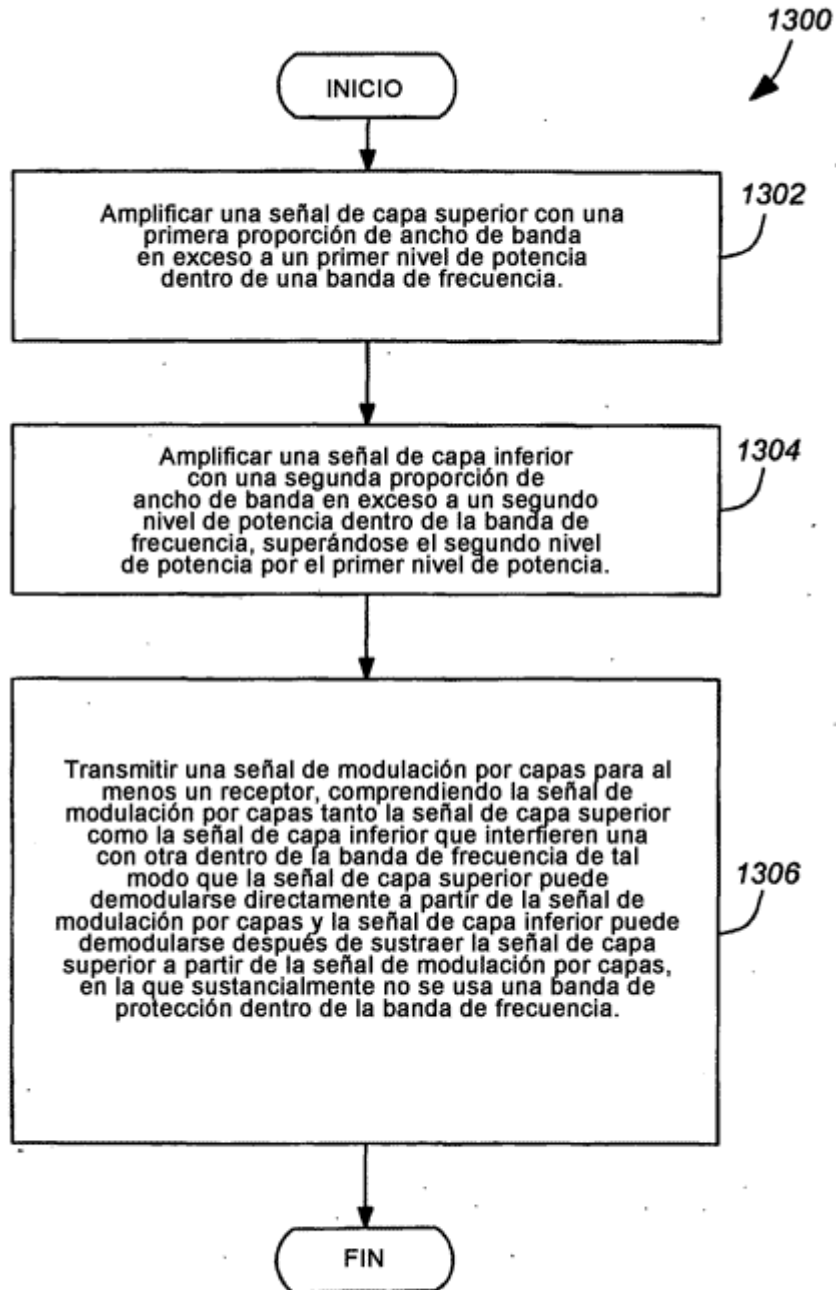


FIG. 13

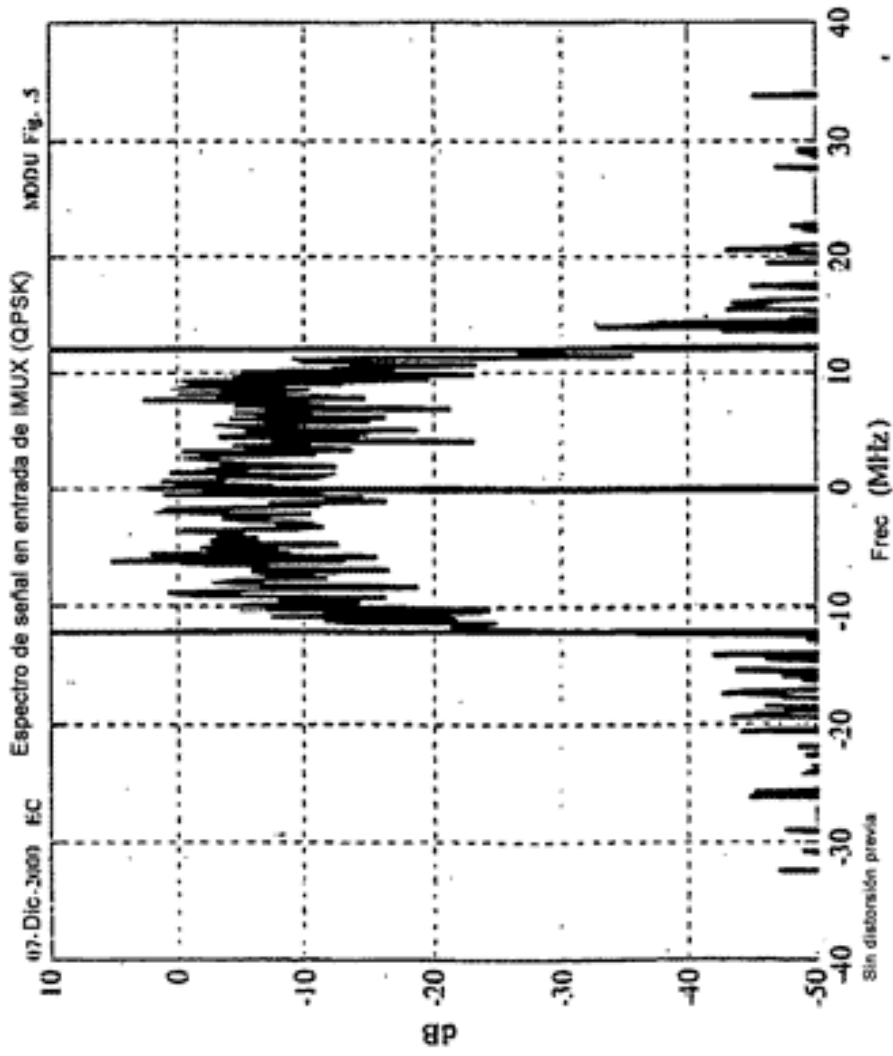


FIG. 14A

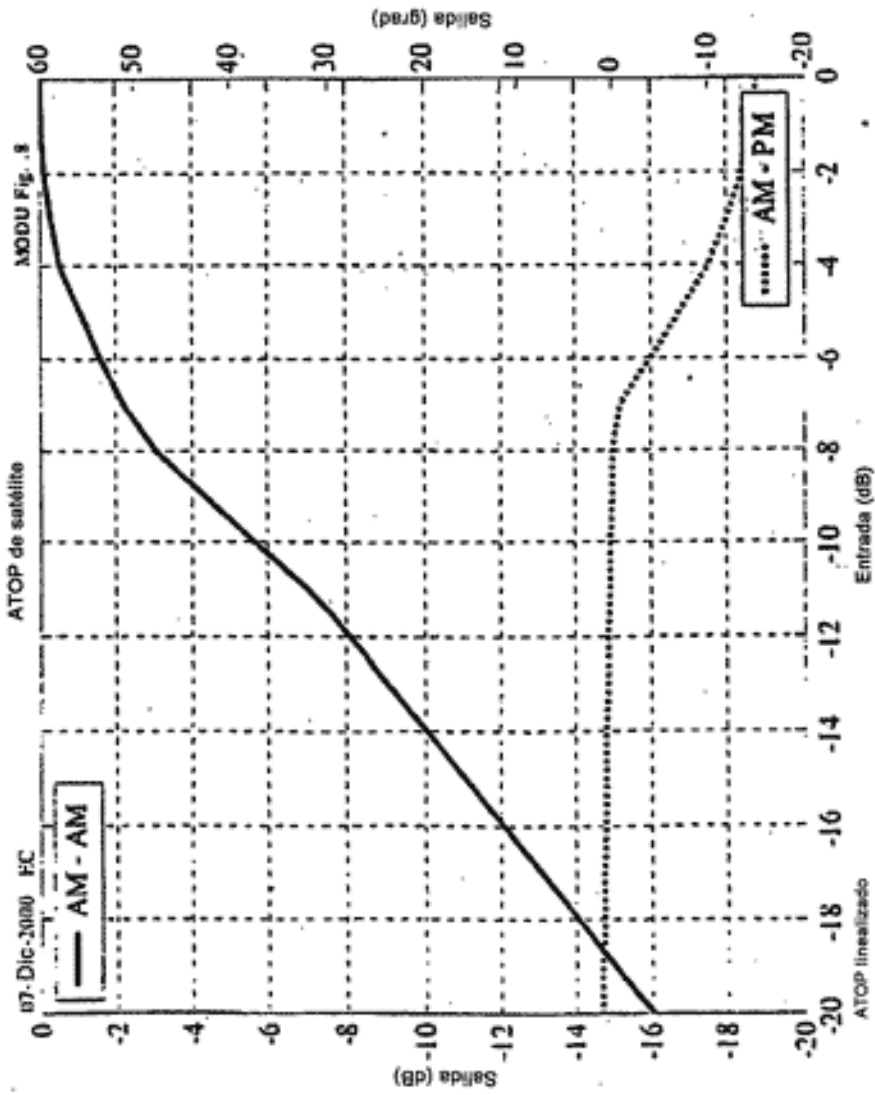


FIG. 14B





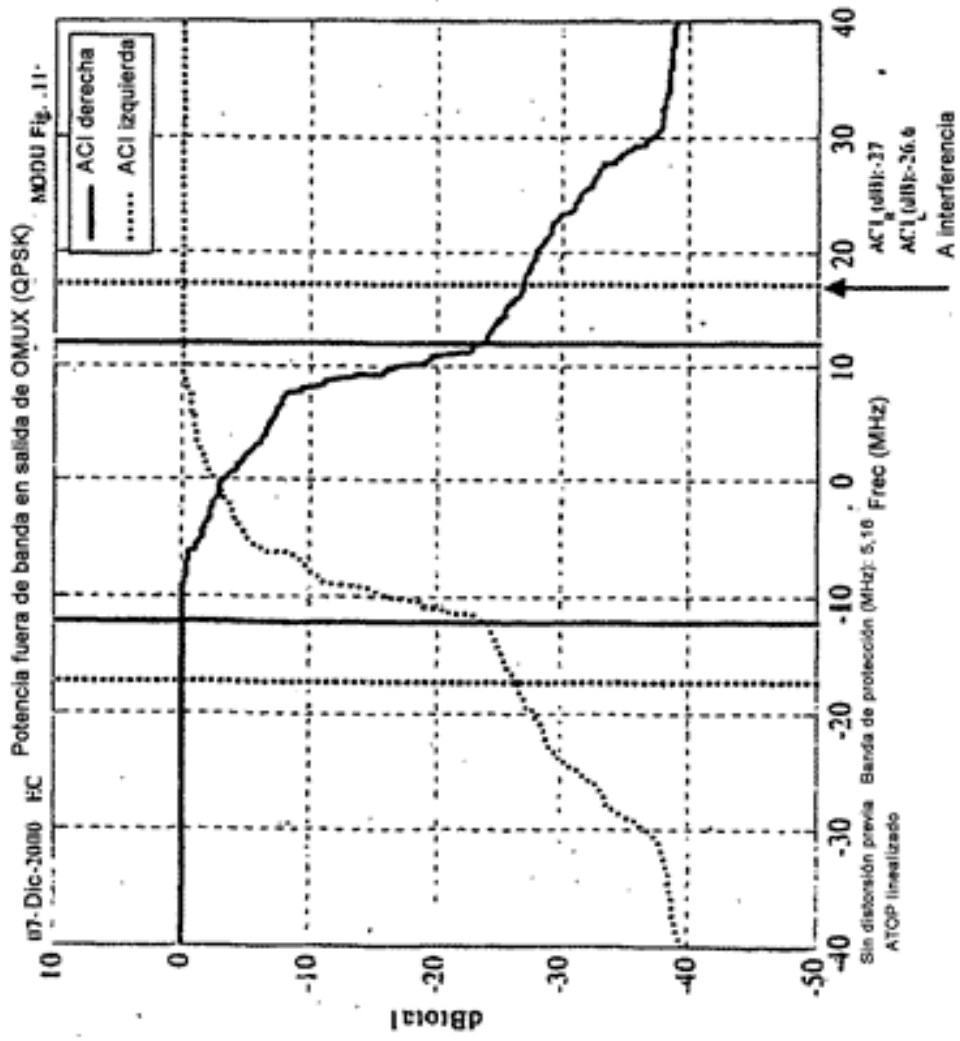


FIG. 14D

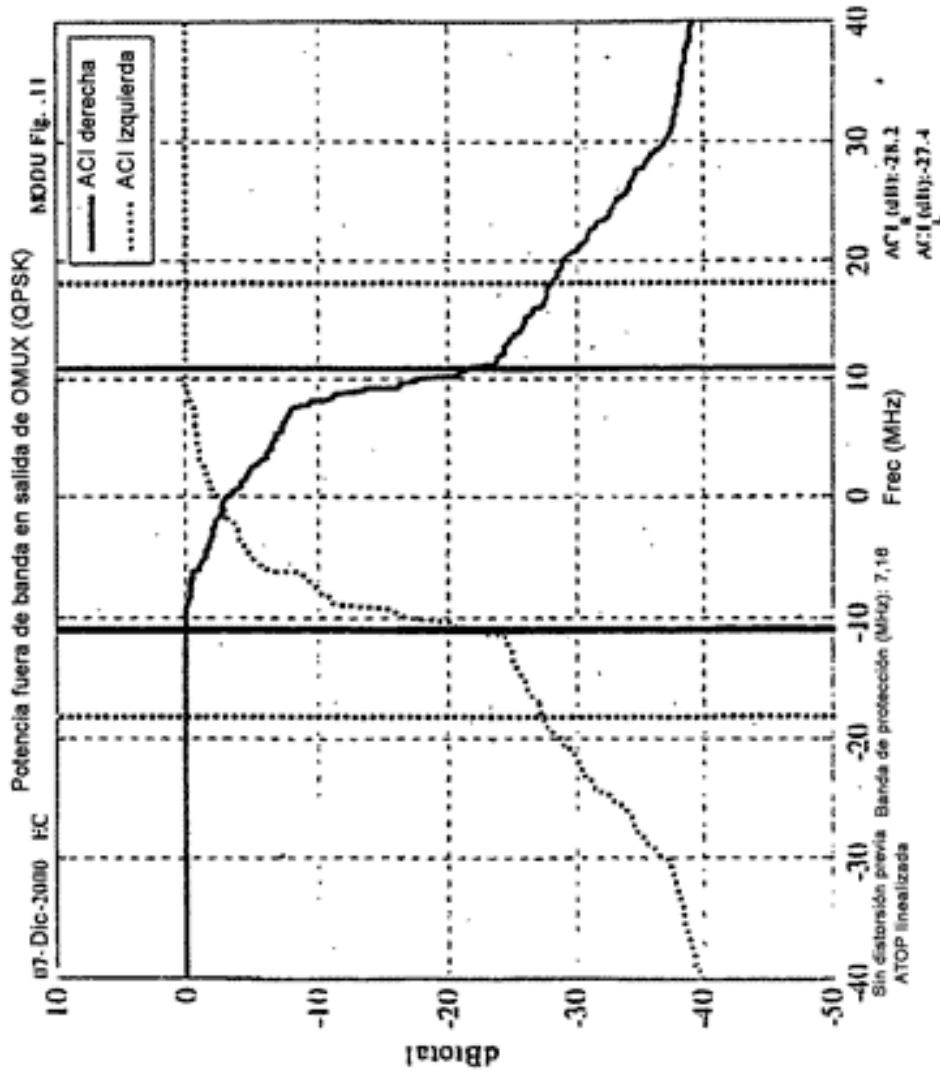


FIG. 14E

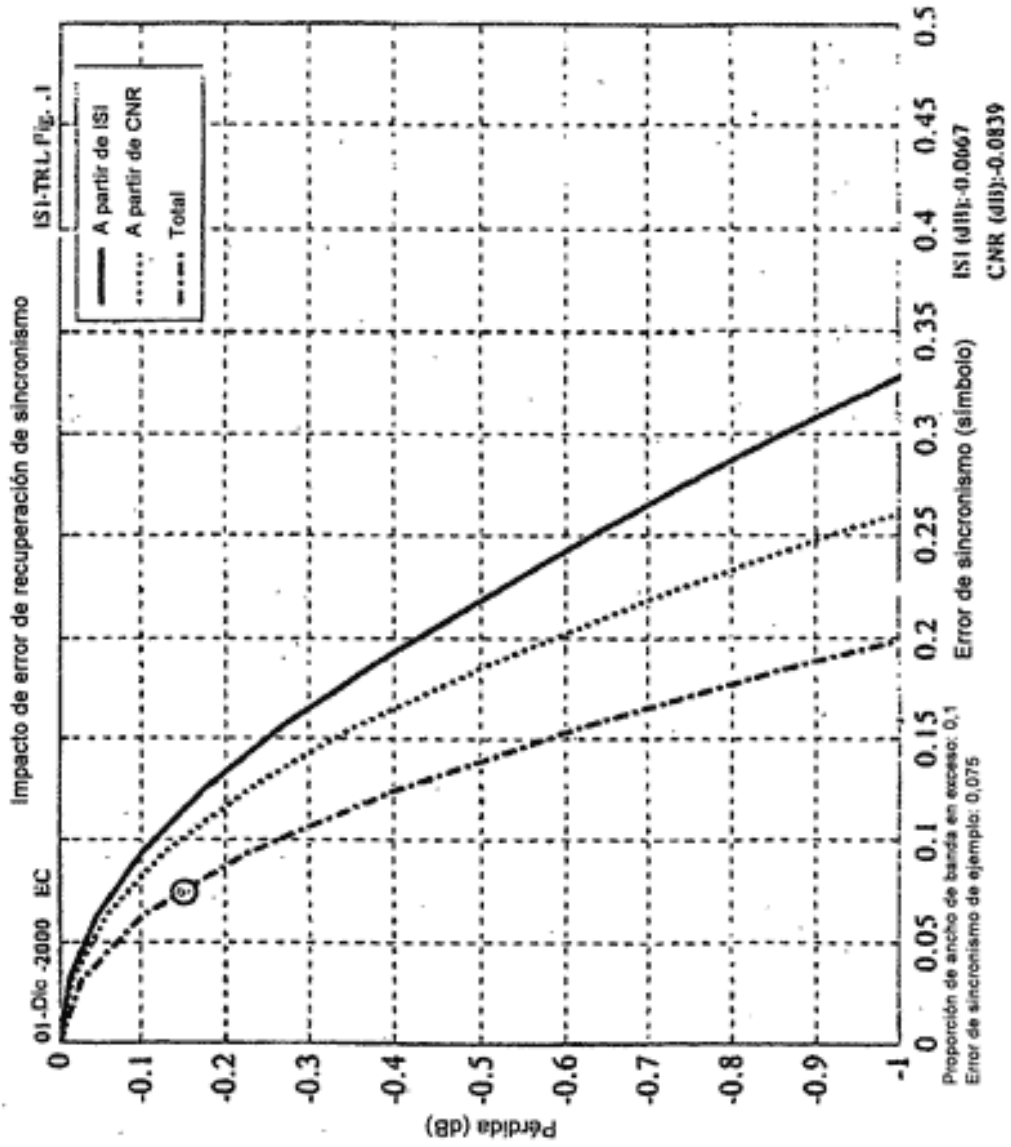


FIG. 15A

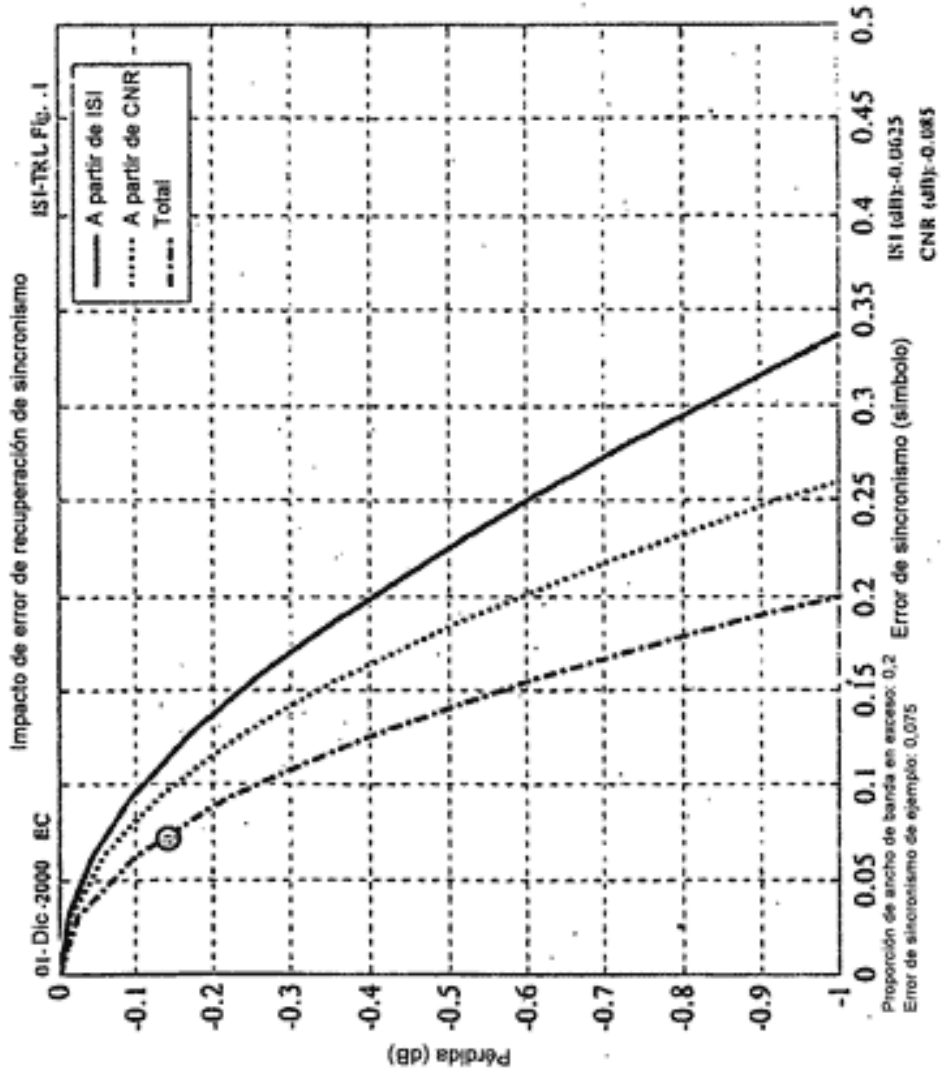


FIG. 15B

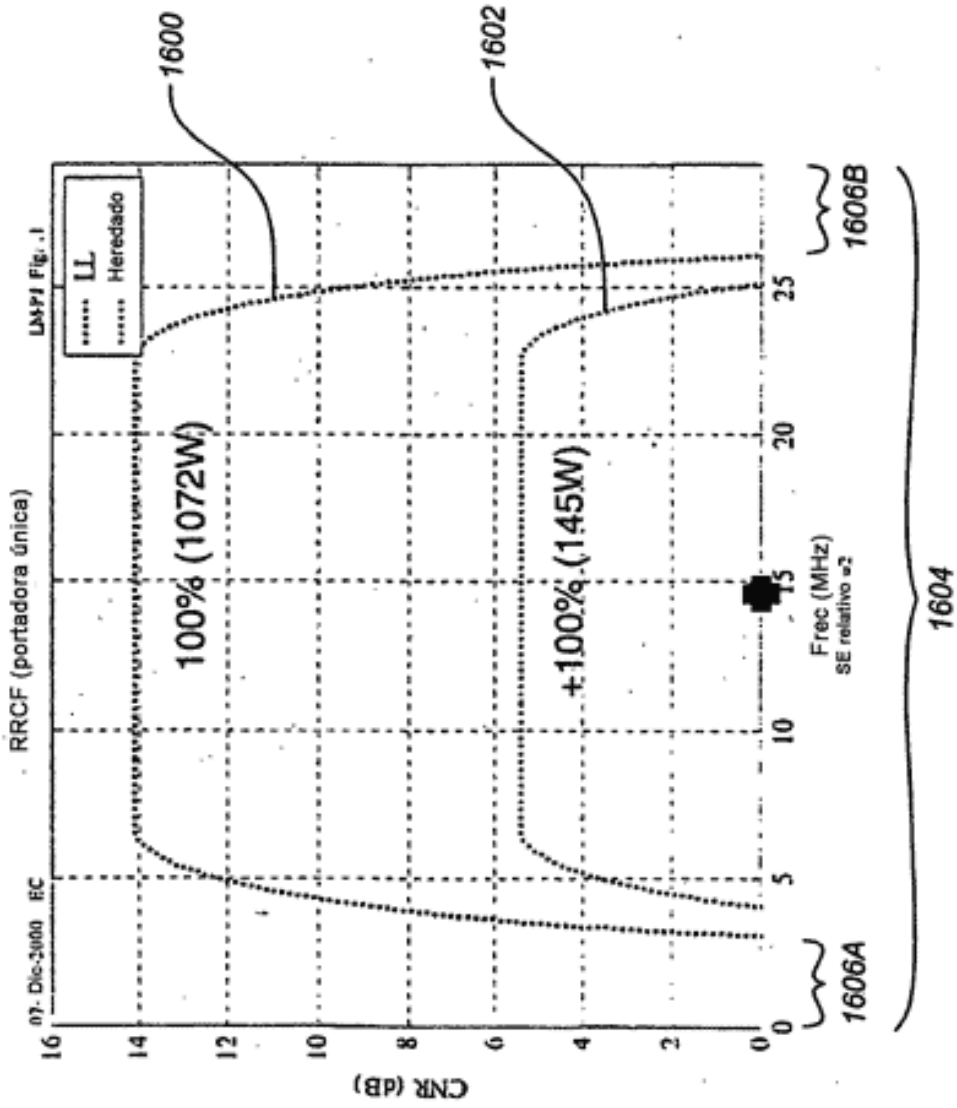


FIG. 16A

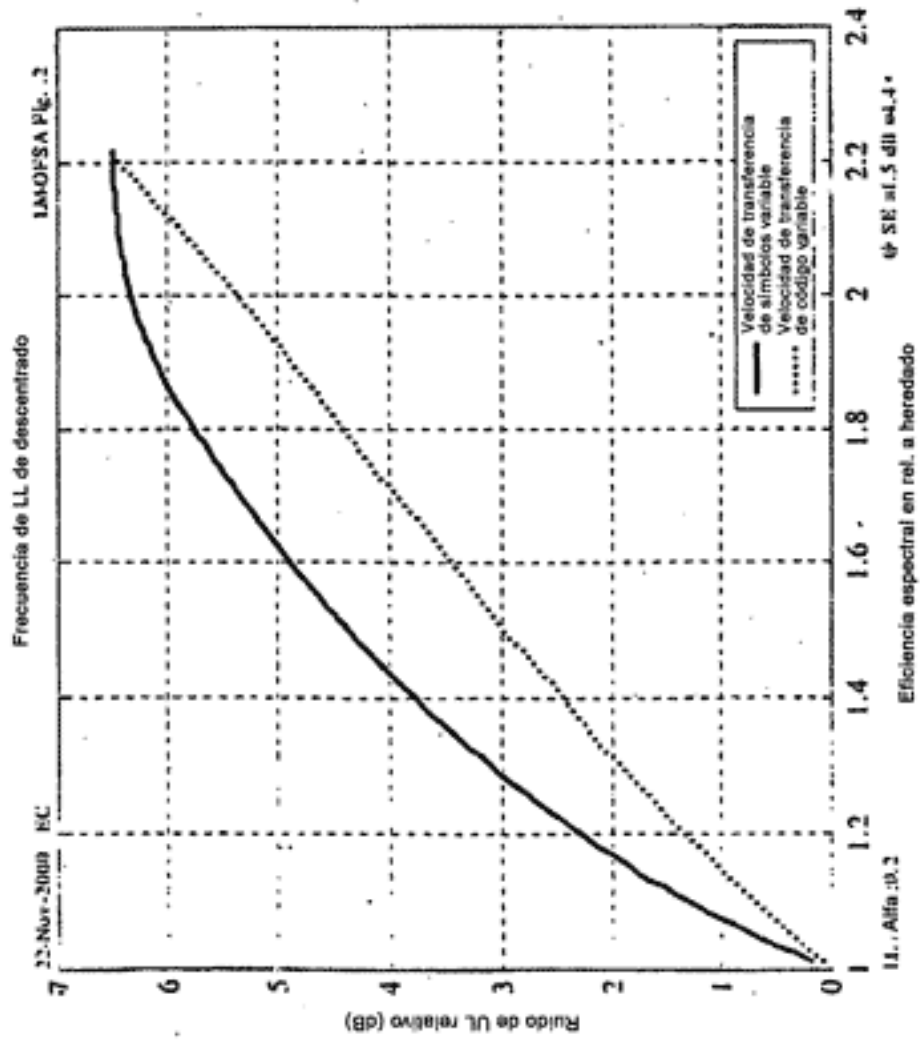


FIG. 16B

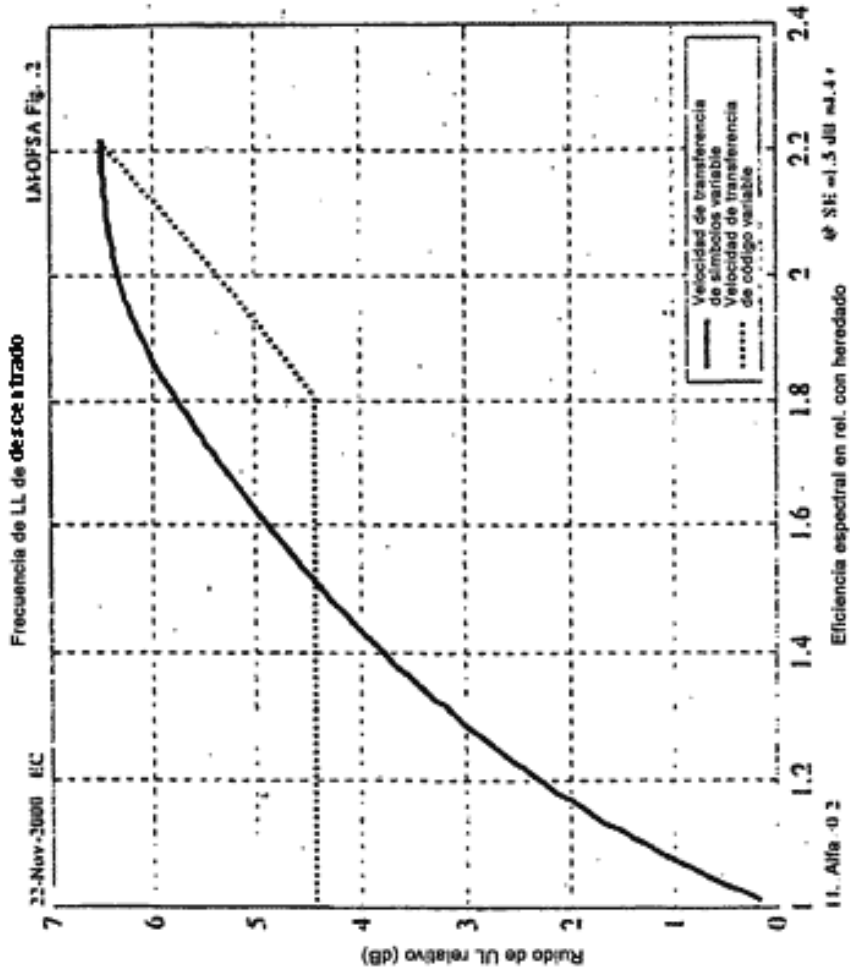
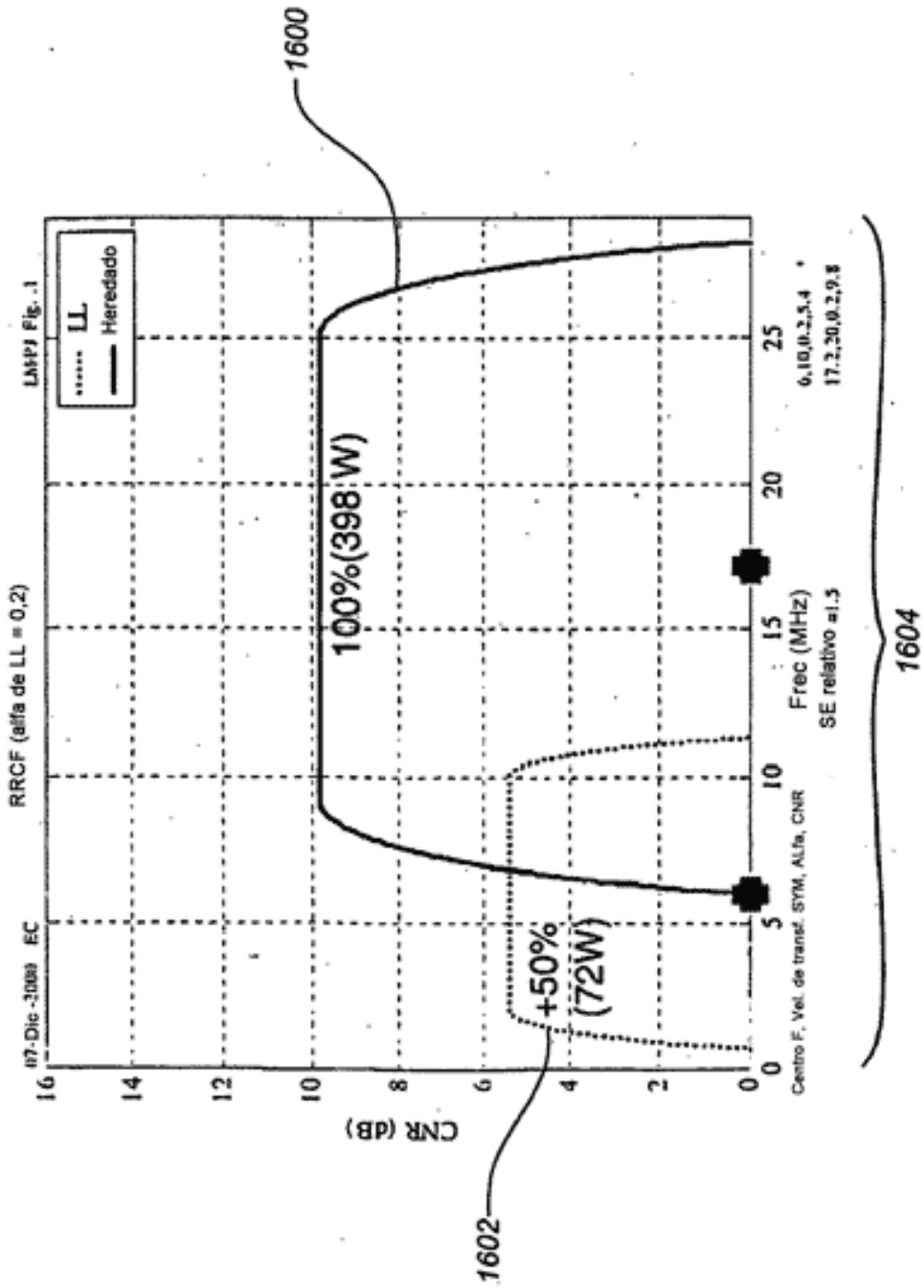


FIG. 16C



**FIG. 16D**



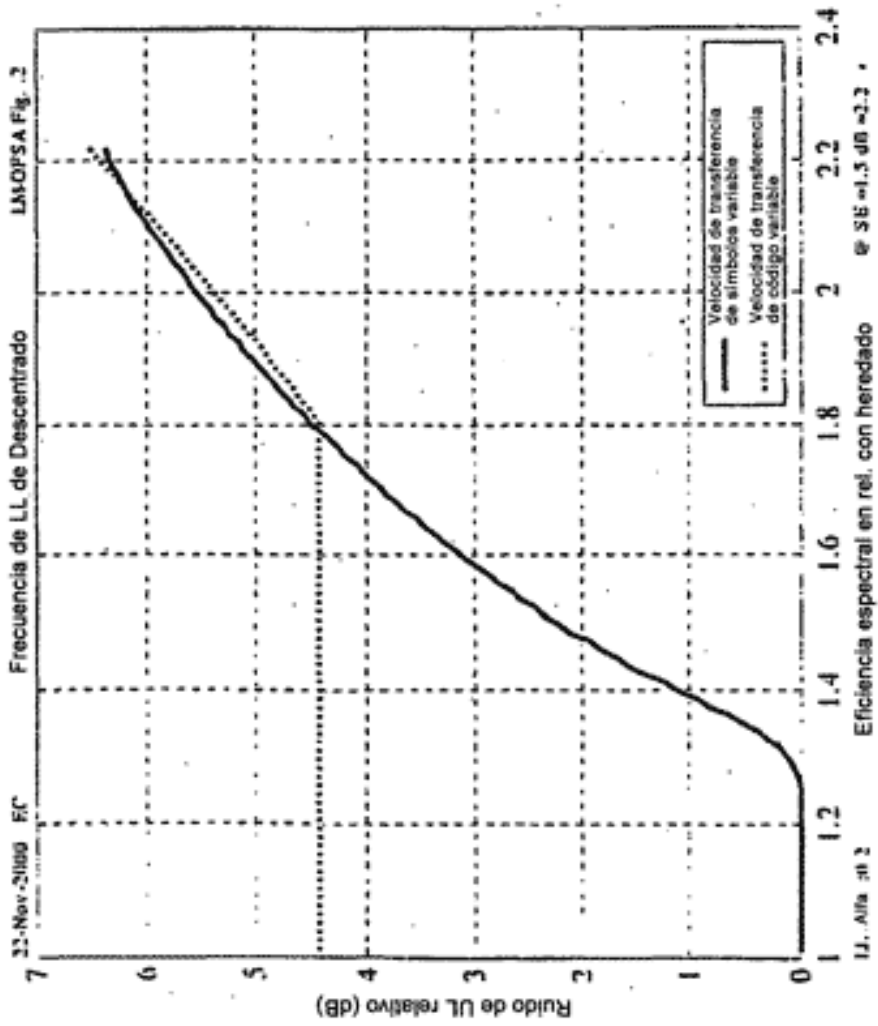


FIG. 16E

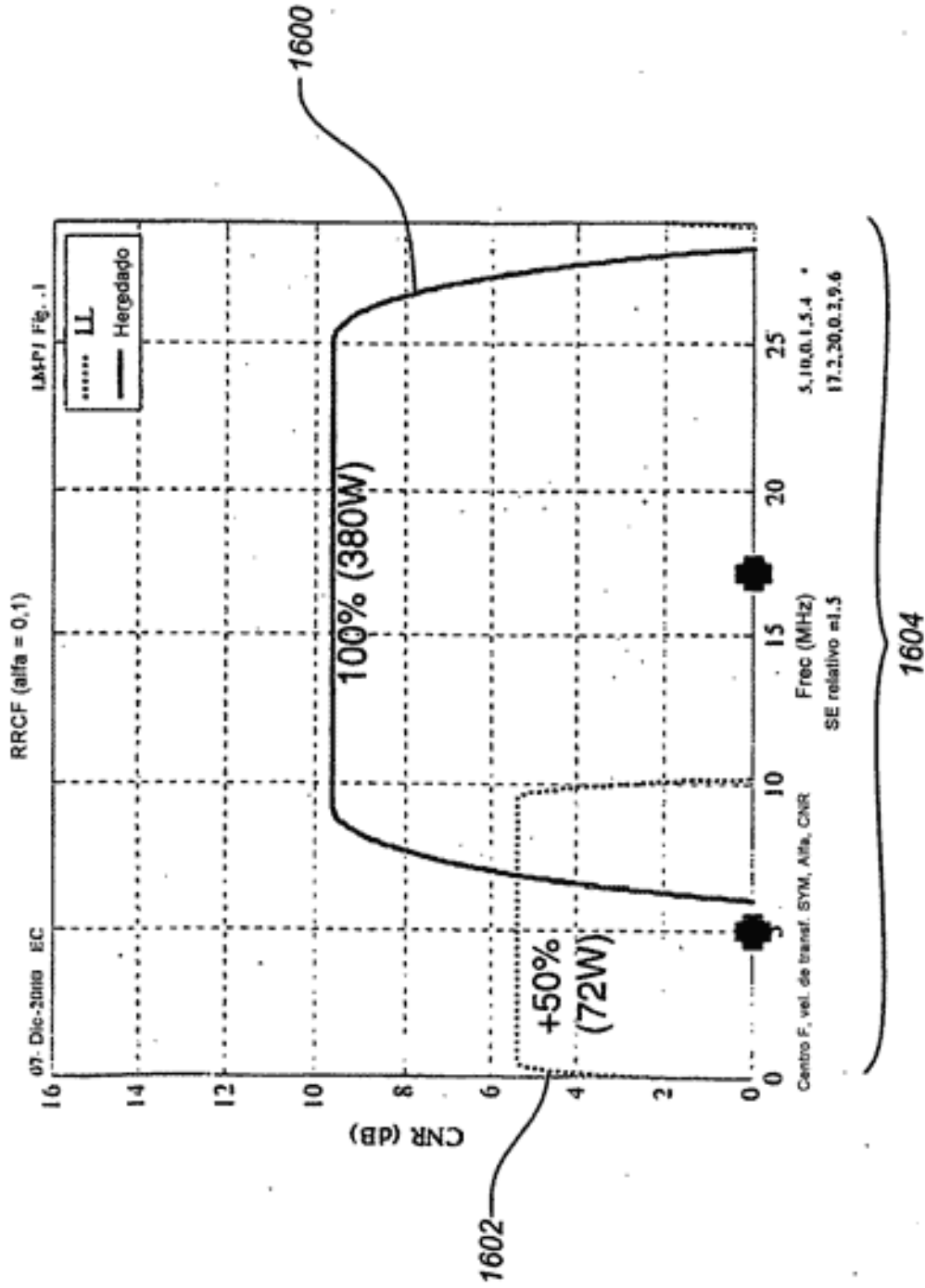


FIG. 16F

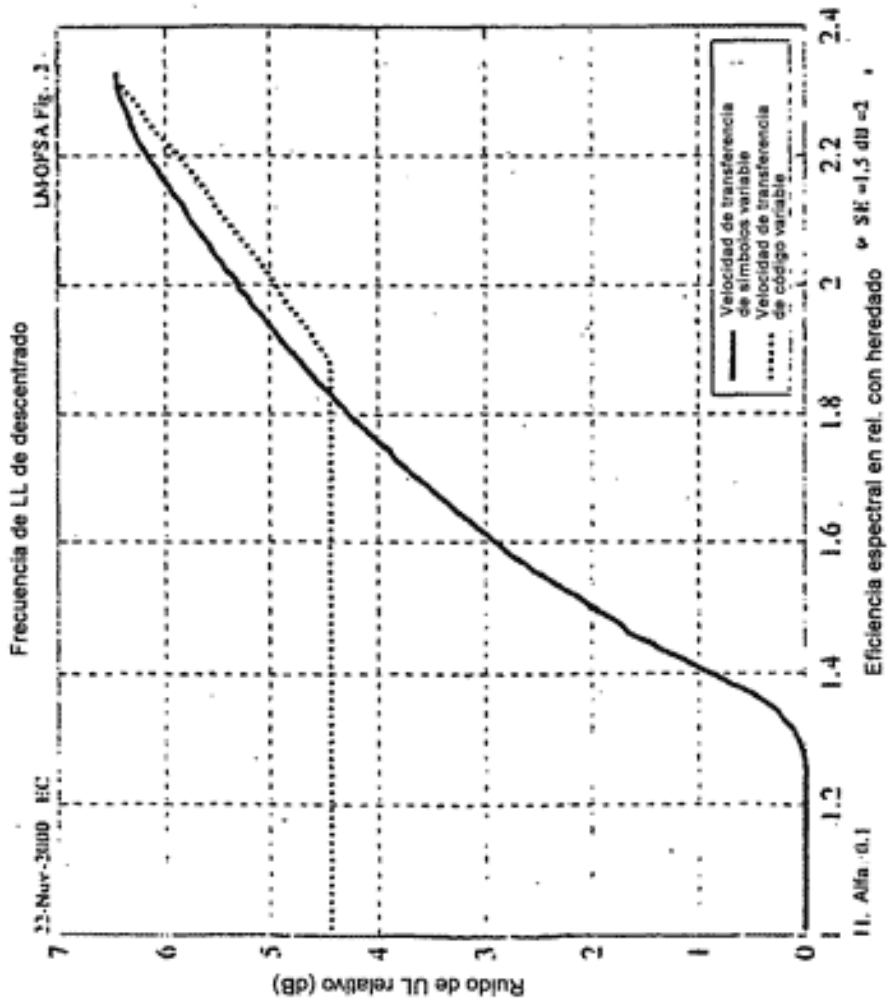


FIG. 16G

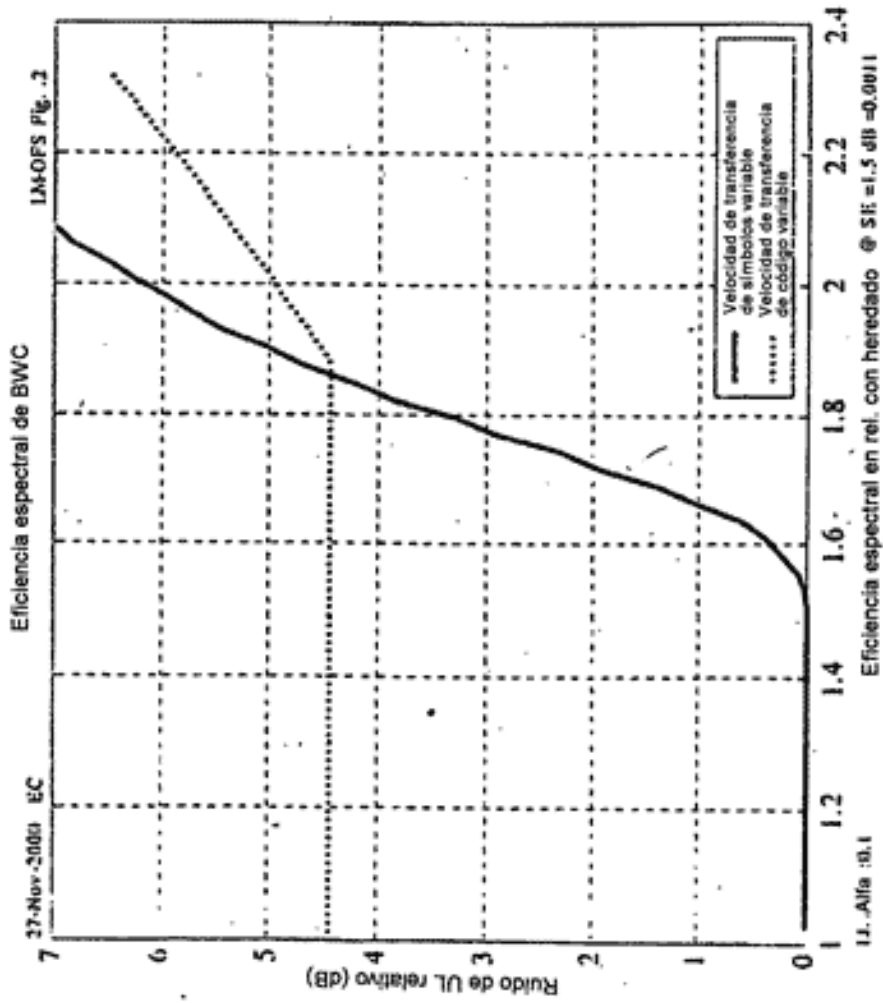


FIG. 16H

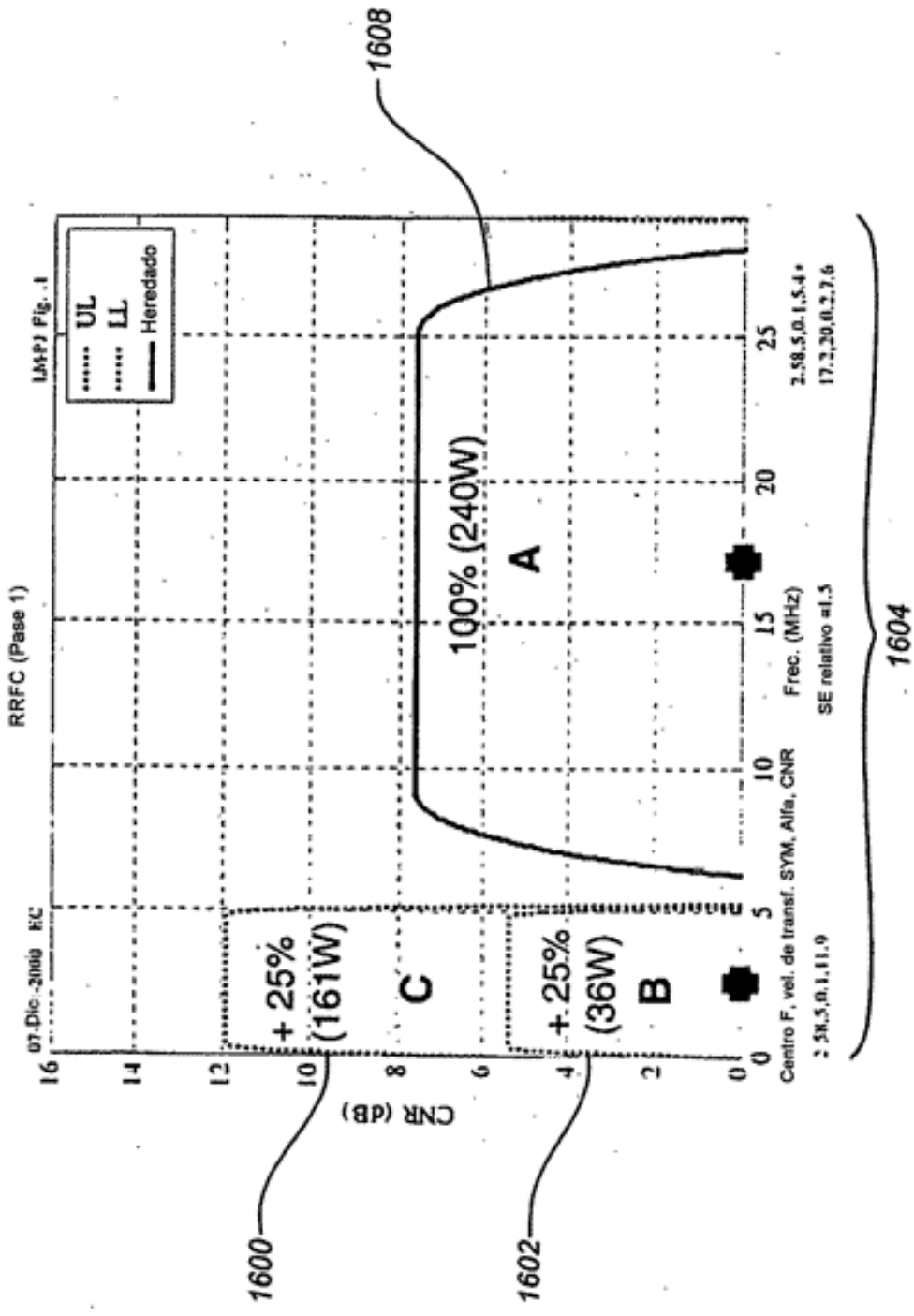


FIG. 17A

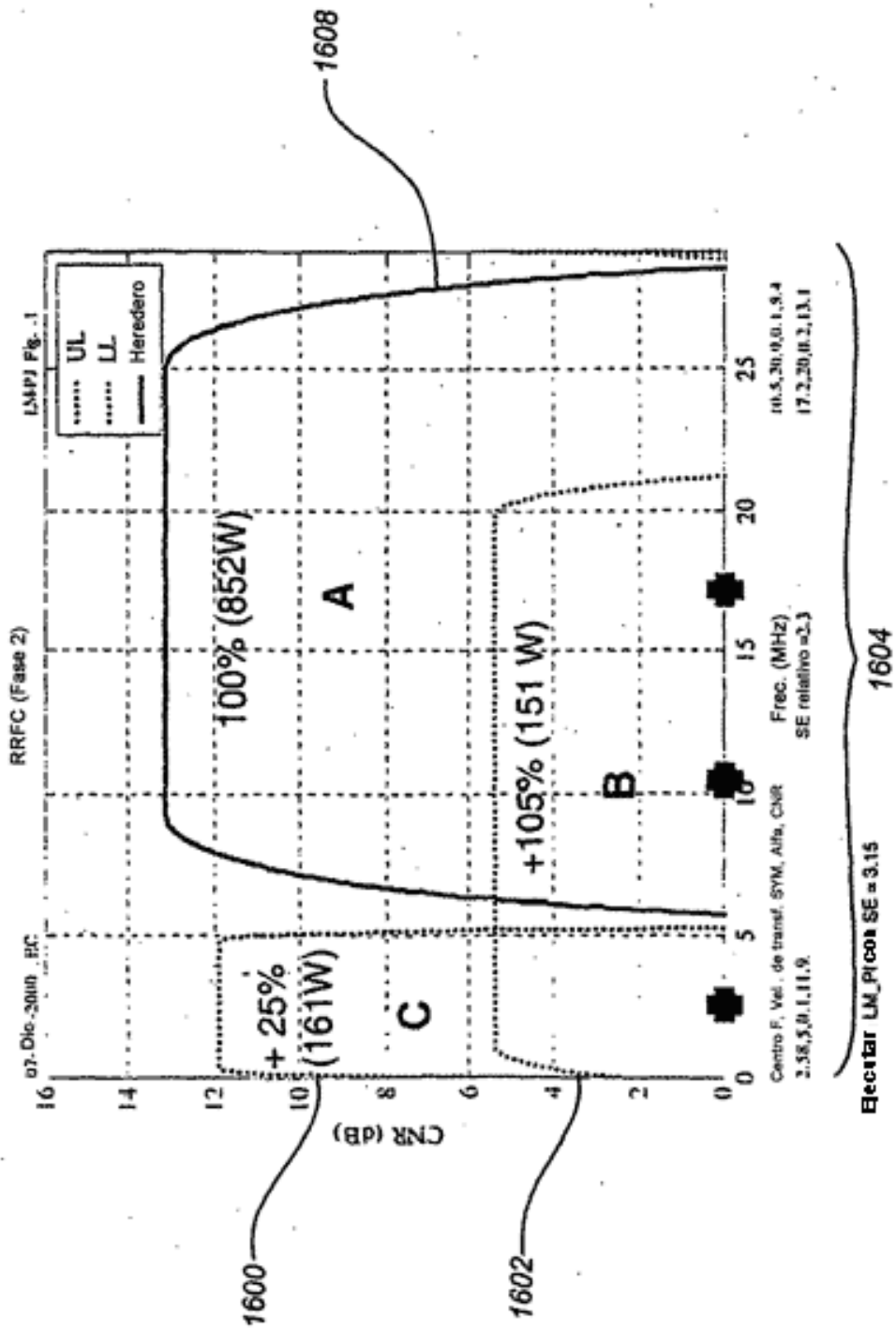


FIG. 17B

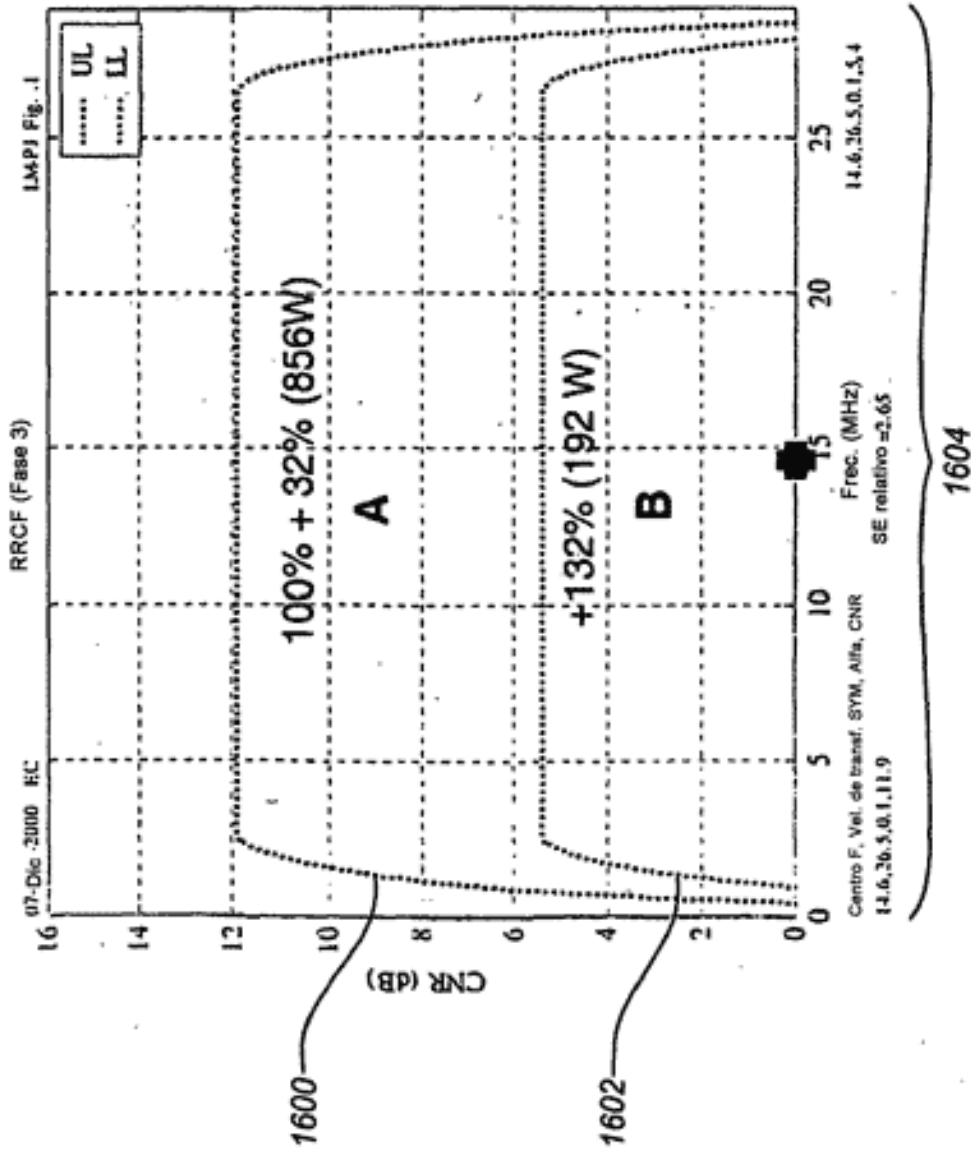


FIG. 17C