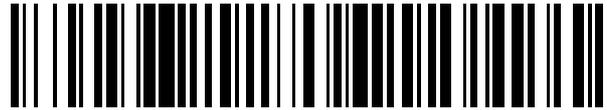


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 410 566**

51 Int. Cl.:

**H04J 14/02**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.07.2009 E 09780262 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.04.2013 EP 2452454**

54 Título: **Asignación de potencia mejorada en la transmisión por fibra óptica**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**02.07.2013**

73 Titular/es:

**TELEFONAKTIEBOLAGET LM ERICSSON (PUBL)  
(100.0%)  
164 83 Stockholm, SE**

72 Inventor/es:

**OLSSON, BENGT-ERIK**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 410 566 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**

Asignación de potencia mejorada en la transmisión por fibra óptica.

**Campo técnico**

5 La invención se refiere a la comunicación óptica en fibras ópticas y, particularmente, a un sistema y un método para comunicación óptica por medio de una asignación de potencia mejorada en una fibra óptica.

**Antecedentes**

10 En la actualidad, la comunicación de alta capacidad por medio de fibra óptica en redes ópticas es un fenómeno común. De hecho, las redes ópticas se han generalizado todavía más en los últimos años en la medida en la que son adecuadas para varios servicios multimedia, por ejemplo, a los que se accede a través del uso extensivo de una transmisión de señales de difusión general por medio de Internet o similares.

15 Las redes ópticas se usan, por ejemplo, en relación con la tecnología denominada FTTx (Fibra Hasta x) o similares, para garantizar una velocidad de transmisión de Gigabits por segundo (Gbps) usando fibras ópticas. El acrónimo FTTx es uno de los diversos términos genéricos para varias arquitecturas de red que usan fibra óptica con el fin de sustituir la totalidad o parte del bucle local de cobre usado habitualmente para telecomunicaciones de última milla. Naturalmente, existen muchas otras aplicaciones para varias transmisiones de fibra óptica de alta capacidad y la invención en la presente no se limita a aplicaciones de FTTx.

Con el fin de utilizar el ancho de banda de fibras ópticas de manera más eficaz, se han desarrollado, por ejemplo, nuevas tecnologías de transmisión, tales como sistemas basados en el Multiplexado por Subportadora (SCM) óptica y similares.

20 El multiplexado por subportadora óptica (SCM) es un esquema en el que múltiples señales se pueden multiplexar y transmitir ópticamente mediante una única longitud de onda óptica modulada, es decir, mediante una única frecuencia portadora óptica. El multiplexado requerido y otro procesado de la señal se pueden realizar en el dominio de la radiofrecuencia (dominio de RF) o en el dominio óptico. No obstante, el dominio de RF se usa de forma ventajosa para el multiplexado y para la mayor parte del procesado de la señal, puesto que los dispositivos de microonda son menos costosos y se han experimentado más que los dispositivos ópticos. Por ejemplo, la estabilidad de los osciladores de microondas y la selectividad de frecuencia de los filtros de microondas son mucho mejores que sus homólogos ópticos. Las condiciones correspondientes son también válidas en el extremo receptor.

30 El documento de RONGQING HUI ET AL: "Subcarrier Multiplexing for High-Speed Optical Transmission", JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, IEEE SERVICE CENTER, NUEVA YORK, NY, US, vol. 20, n.º 3, 1 de marzo de 2002 (01-03-2002), XP011030141, ISSN: 0733-8724, da a conocer un esquema de Multiplexado por Sub-Portadora (SCM) óptica, en el que múltiples señales se multiplexan en el dominio de la Radiofrecuencia (RF) y se transmiten como una señal óptica compuesta usando una única longitud de onda portadora óptica. Se usa un esquema de modulación por banda lateral única óptica (OSSB), y la señal óptica compuesta producida es recibida por un receptor. En el receptor, la señal óptica compuesta es amplificada previamente por un Amplificador de Fibra Dopada con Erblio (EDFA), de ganancia-ancho de banda amplios, y es detectada por un fotodetector de banda ancha. La portadora de la señal óptica compuesta se atenúa y la portadora óptica de la señal óptica compuesta no se debe suprimir de tal manera que la energía en la portadora óptica resulte menor que la energía en la(s) señal(es) transportada(s) por la portadora, puesto que esto provocaría un recorte de la señal. En el receptor se usa un Amplificador de Fibra Dopada con Erblio (EDFA) de ganancia-ancho de banda amplios, para amplificar la señal óptica compuesta recibida amplificando la señal óptica compuesta completa.

45 El documento de GIAMMARCO ROSSI ET AL: "Optical SCM Data Extraction Using a Fiber-Loop Mirror For WDM Network Systems", IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, vol. 12, n.º 7, 1 de julio de 2000 (01-07-2000), XP011047199, ISSN: 1041-1135, da a conocer que una señal combinada de Banda Base/SCM (Multiplexado por Sub-Portadora) se recibe en un receptor en el que el canal de Banda Base Óptica pasa a través de un filtro para un procesado, encaminamiento, transmisión o reinserción posteriores de datos de OSCM nuevos. En este caso, la señal de Banda Base de la señal combinada de Banda Base, SCM se extrae usando un filtro que suprime las subportadoras. De modo similar, en el receptor, el puerto de extracción de OSCM produce una señal SCM de portadora suprimida que se demodula usando un fotodetector de detección directa. La supresión de la portadora se produce por medio de un filtrado en el receptor, es decir, no en el extremo transmisor. El canal de Banda Base de la señal combinada de Banda Base/SCM se extrae en el "Trough Port" en el receptor de D5. De hecho, el canal de Banda Base extraído se puede transmitir adicionalmente. No obstante, si el canal de Banda Base extraído se transmite, entonces el mismo no comprende ninguna subportadora. Por contraposición, las subportadoras son gestionadas por el "puerto de extracción de OSCM" que produce una señal de "DSB SC de portadora suprimida", que se demodula y convierte en una señal eléctrica usando un fotodetector de detección directa. De aquí se deduce que la señal portadora suprimida no es transmitida de forma adicional por el receptor, por lo menos no como una señal óptica.

La Fig. 1a es una ilustración esquemática de un sistema de SCM 10, ejemplificativo y conocido, que comprende una

disposición de transmisor óptico 20 y una disposición de receptor óptico 30 conectadas mediante una fibra óptica 40.

La disposición de transmisor óptico 20 comprende una pluralidad de codificadores E1 a En, que reciben respectivamente, cada uno de ellos, un flujo continuo de datos D1 a Dn. Preferentemente, los flujos continuos de datos de entrada D1, Dn son flujos continuos de datos binarios. Cada flujo continuo de datos D1, Dn es convertido adecuadamente por los codificadores E1, En antes de ser procesado adicionalmente.

Cada codificador E1, En proporciona o recibe otra señal F1, Fn que tiene preferentemente una frecuencia respectivamente de F1, Fn. Cada señal F1, Fn es modulada por el flujo continuo de datos recibidos D1, Dn, respectivamente, para producir señales moduladas Fe1 a Fen. Los codificadores E1, En pueden, por ejemplo, modular las señales F1, Fn por medio de una Modulación por Desplazamiento de Fase en Cuadratura (QPSK) o Modulación de Amplitud en Cuadratura (QAM) o algún otro esquema de modulación de orden superior.

A continuación, las señales codificadas Fe1 a Fen se combinan en un combinador de  $n \rightarrow 1$  Co1 ó similar. El combinador Co1 tiene  $n$  puertos de entrada y un puerto de salida. El combinador Co1 está dispuesto para recibir operativamente las señales codificadas Fe1 a Fen en los puertos de entrada, y producir una señal combinada Fc en el puerto de salida.

La señal combinada Fc se alimenta hacia un transmisor óptico OT1, en el cual la señal combinada Fc modula una señal óptica de una sola frecuencia  $f_{mod}$  que tiene sustancialmente una única frecuencia. Típicamente, la señal de una sola frecuencia  $f_{mod}$  es una señal de láser óptica.

La codificación, la combinación y la modulación óptica antes mencionadas dan como resultado una señal de SCM óptica 12a. La señal de SCM óptica 12a se transmite desde el transmisor óptico OT1 hacia una fibra óptica 40.

Tal como puede observarse en la Fig. 1a, la señal óptica compuesta 12a comprende una señal portadora óptica transmitida  $f_{ta}$  que se corresponde con la señal óptica de una sola frecuencia, modulada,  $f_{mod}$  y una pluralidad de bandas laterales portadoras de información Sb1 a Sbn que comprenden, cada una de ellas, una representación de los flujos continuos de datos codificados D1, Dn respectivamente. La expresión "señal  $f_{ta}$ " usada en la presente debe interpretarse como una señal óptica con sustancialmente una frecuencia  $f_{ta}$  a no ser que se indique lo contrario. Puede observarse también en la Fig. 1a que la señal óptica compuesta 12a tiene solamente un conjunto de los dos posibles conjuntos de bandas laterales. En otras palabras, la señal óptica compuesta 12a es preferentemente una única señal de banda base. Debe enfatizarse que la invención es igualmente aplicable con independencia de si se usa el conjunto inferior o el conjunto superior de los dos posibles conjuntos de bandas laterales. Cada banda lateral Sb1, Sbn de la Fig. 1a está centrada sustancialmente en torno a una frecuencia subportadora  $f_1, f_n$  que es usada respectivamente por las señales F1, Fn proporcionadas a o comprendidas por los codificados E1, En respectivamente. El lector atento observará que la señal 12a es un resultado de un proceso heterodino que mezcla o multiplica por lo menos una señal Fe1, Fen con otra señal  $f_{mod}$ . Esto está en contraposición con un proceso homodino en el que no hay presente ninguna mezcla o multiplicación de señales. De este modo, en un sistema homodino, habría únicamente dicha por lo menos una señal Fe1, Fen y habría ninguna otra señal  $f_{mod}$  a mezclar o multiplicar con dicha por lo menos una señal Fe1, Fen.

La estructura y el funcionamiento generales de los transmisores ópticos tales como la disposición de transmisor óptico 20 de la Fig. 1a son bien conocidos para aquellos expertos en la materia y no es necesario ninguna otra descripción. Por tanto, la disposición de transmisor óptico ejemplificativa 20 dispuesta para recibir operativamente una pluralidad de flujos continuos de datos D1 a Dn y para transmitir operativamente una señal óptica compuesta resultante 12a o similar no requiere ninguna otra descripción.

A continuación se presta atención a la disposición de fibra óptica 40 del sistema de comunicaciones 10. La disposición de fibra 40 ilustrada en la Fig. 1a implica que se puede usar una única fibra. No obstante, la disposición de fibra 40 ilustrada en la Fig. 1a pretende ser una ilustración esquemática de las diversas disposiciones de fibra óptica que se pueden usar. Una disposición de fibra de este tipo puede ser una disposición de enlace de fibra óptica 400. Así, la disposición de enlace de fibra óptica 400 debe interpretarse como una realización de la disposición de fibra óptica 40. Tal como puede observarse en la Fig. 1b, la disposición de enlace de fibra 400 puede comprender una pluralidad de amplificadores ópticos 42 ó componentes similares configurados para mejorar la calidad de la señal 12a antes de que la misma sea recibida por una disposición de receptor óptico 30. La longitud total de la disposición de fibra óptica 40 puede ser de 1.000 kilómetros o mayor. La distancia antes de que sea necesaria la amplificación puede ser de aproximadamente entre 60 y 100 kilómetros. Por lo tanto, la distancia entre dos amplificadores 42 puede ser, por ejemplo, aproximadamente entre 60 y 100 kilómetros.

Adicionalmente, la disposición de receptor óptico 30 del sistema de comunicaciones ópticas 10 comprende un receptor óptico OR1. El receptor óptico OR1 detecta la señal óptica 12a recibida desde la disposición de transmisor 20 para reproducir la señal combinada Fc creada previamente en y transmitida desde la disposición de transmisor óptico 20 antes descrita. La señal combinada reproducida Fc se alimenta hacia un divisor de  $1 \rightarrow n$  Sp1 ó similar. El divisor Sp1 tiene un puerto de entrada y  $n$  puertos de salida. El divisor Sp1 está dispuesto para recibir

operativamente la señal combinada Fc en el puerto de entrada y reproducir las señales codificadas  $Fe1$  a  $Fen$  en los puertos de salida. Las señales reproducidas  $Fe1$  a  $Fen$  se corresponden con las señales codificadas  $Fe1$  a  $Fen$  creadas previamente en la disposición de transmisor óptico 20 antes descrita. A continuación, las señales codificadas  $Fe1$  a  $Fen$  se alimentan respectivamente a los decodificadores Dt1 a Dtn. Los decodificadores Dt1 a Dtn están dispuestos para reproducir los flujos continuos de datos D1 a Dn respectivamente antes descritos.

El lector atento observará que las señales Fc y  $Fe1$  a  $Fen$  y D1 a Dn reproducidas por el receptor óptico OR1, el divisor óptico Sp1 y los decodificadores Dt1 a Dtn son representaciones idealizadas de las señales transmitidas correspondientes. Naturalmente, las señales reproducidas Fc y  $Fe1$  a  $Fen$  y D1 a Dn pueden comprender, por ejemplo, varios componentes de ruido y/o de otras distorsiones, por ejemplo, atenuaciones y distorsiones provocadas por la transmisión a través de la fibra óptica 40 y la reproducción en el receptor OR1, el divisor Sp1 y/o los decodificadores Dt1 a Dtn.

La estructura y el funcionamiento generales de los receptores ópticos, tales como la disposición de receptor óptico ejemplificativa 30 de la Fig. 1a, que está dispuesta para recibir operativamente una señal óptica compuesta 12a o similar y para dar salida operativamente a una pluralidad de flujos continuos de datos resultantes D1 a Dn, son bien conocidos para aquellos expertos en la materia y no requieren de una descripción adicional.

En general, los sistemas de transmisión óptica como el sistema 10 antes descrito (por ejemplo que funcionan a 40 ó 100 Gbit/s) resultan atractivos debido a la capacidad de utilizar formatos de modulación avanzados, por ejemplo, QPSK ó 16-QAM sin la necesidad de receptores ópticamente coherentes. Adicionalmente, dichos sistemas permiten disponer los datos en paralelo sobre múltiples portadoras de RF con el fin de reducir adicionalmente la velocidad de baudios de cada portadora de RF. Esto posibilita la reducción de la velocidad de baudios de cada canal en el Procesador de Señal Digital (DSP) comprendido por los detectores Dt1 a Dtn de la disposición de receptor 30, lo cual es de importancia máxima para permitir una implementación rentable de las funciones requeridas del DSP. Los ejemplos de funciones de DSP en sistemas de transmisión ópticos como el sistema 10 incluyen decodificación de datos, mitigación de defectos de la fibra como la dispersión cromática y la dispersión por el modo de polarización e implementación de codificación con corrección directa de errores (FEC). Preferentemente, estas funciones se deben implementar en matrices de puertas programables in situ (FPGA) disponibles comercialmente o posiblemente ASIC:s CMOS de bajo coste. En la entrada de un DSP de este tipo se usa uno o más Convertidores Analógicos a Digitales (ADC) para digitalizar la señal analógica y estos ADCs también se deben proporcionar de una manera rentable, aunque con una velocidad de muestreo y una resolución suficientes.

Para reducir adicionalmente el coste en los sistemas de transmisión óptica resulta común usar la detección directa implementando la denominada detección cuadrática de la señal óptica, preferentemente mediante la utilización de un único fotodiodo o un detector similar. Un detector cuadrático responde a la energía fotónica de manera que libera electrones ligados. Puesto que el flujo de energía se pondera como el cuadrado del campo eléctrico, del mismo modo lo hace la velocidad a la que se liberan electrones.

No obstante, un problema fundamental con la detección directa de una señal óptica compuesta, tal como la señal 12a, es que se requiere una cantidad de potencia relativamente grande en la señal portadora óptica  $f_{ia}$  con el fin de permitir una conversión en corriente eléctrica sin distorsionar la señal 12a.

De este modo, con el fin de evitar la distorsión de la señal ejemplificativa 12a en la Fig. 1a mientras se usa una detección directa, la señal portadora  $f_{ia}$  debe ser suficientemente grande. La fracción de potencia en la señal portadora  $f_{ia}$  con respecto a la fracción de potencia en las bandas laterales Sb1 a Sbn que representan los canales de datos será entonces muy alta. Hasta el 90 % o más de la potencia óptica total de la señal 12a se puede asignar a la señal portadora  $f_{ia}$ .

En un sistema de transmisión real, existe un límite sobre la potencia óptica máxima permitida en la fibra óptica 40. La potencia óptica máxima permitida en la fibra óptica 40 está limitada principalmente debido a no linealidades de la fibra y a otras propiedades limitativas de la fibra correspondientes a la disposición de fibra 40. Las potencias de entrada por encima de este límite provocarán un deterioro importante de la señal. Adicionalmente, la potencia óptica máxima permitida en la disposición de fibra 40 desde el transmisor óptico OT1 también puede estar limitada por otras señales que se pueden transmitir simultáneamente a través de la disposición de fibra 40, por ejemplo, señales de otros transmisores ópticos en un sistema denso de transmisión Multiplexada por División de Longitud de Onda (WDM). Merece la pena indicar que otros canales de WDM pueden transportar datos con formatos diferentes de velocidad de datos y/o modulación y por lo tanto tener un impacto en la potencia de entrada permitida máxima del canal óptico para el enlace de transmisión. Por otra parte, la potencia óptica máxima permitida en la fibra óptica 40 también puede estar limitada por las propiedades de posibles componentes comprendidos por la disposición de fibra 40 y configurados para mejorar la señal 12a antes de que la misma sea recibida por el receptor óptico OR1. Dichos componentes o similares también pueden tener un límite sobre la potencia máxima permitida en el componente. Estos componentes pueden ser, por ejemplo, amplificadores ópticos 42 ó similares. De este modo, particularmente el primer componente 42a en la disposición de fibra 40 (véase la Fig. 1b) puede limitar por lo tanto la potencia óptica máxima transmitida por la disposición de transmisor óptico 20 a la fibra óptica 40. En conclusión, la potencia óptica máxima permitida en la fibra óptica 40 puede estar limitada por las propiedades de la fibra correspondientes a la

disposición de fibra 40, y/o por otras señales posibles que se pueden transmitir simultáneamente a través de la disposición de fibra 40, y/o por las propiedades de posibles componentes comprendidos por la disposición de fibra 400. Adicionalmente, la potencia óptica máxima permitida en la fibra óptica 40 también puede estar limitada por medidas regulatorias, por ejemplo, regulaciones de seguridad, etcétera. Para los expertos en la materia, resultará trivial determinar la potencia óptica máxima permitida en la fibra óptica 40 para cada combinación particular de factores limitativos. De hecho, esta es una de las actividades fundamentales cuando se diseña una disposición de fibra óptica 40.

Sin embargo, una señal de entrada de alta potencia puede ser necesaria para permitir una transmisión de larga distancia, etcétera, puesto que, en otro caso, la Relación de Señal Óptica/Ruido (OSNR), etcétera, en el extremo receptor puede ser demasiado baja. La OSNR resultante en el receptor depende, entre otros aspectos, de la distancia de transmisión total, el número de amplificadores y la distancia entre amplificadores, así como de la potencia óptica de entrada en cada tramo de fibra.

Teniendo en cuenta lo anterior, resultaría beneficioso proporcionar un esquema según el cual la potencia óptica asignada a las partes portadoras de información de una señal transmitida en una disposición de fibra pueda ser lo más alta posible sin superar la potencia óptica máxima permitida en la fibra óptica aunque proporcionando todavía una detección aceptable en el extremo receptor.

### Sumario

Es un objetivo de la presente invención proporcionar una solución que posibilite la transmisión de una señal óptica hacia una disposición de fibra, en donde la potencia óptica asignada a las partes portadoras de información de la señal pueda ser lo más alta posible sin superar la potencia óptica máxima permitida en la fibra óptica aunque proporcionando todavía una detección aceptable en el extremo receptor.

Este objetivo se logra al menos parcialmente por medio de una primera realización de la invención que proporciona un método para transmitir una señal óptica compuesta, a través de una disposición de fibra óptica. El método comprende las etapas de crear y transmitir una señal óptica compuesta que comprende una o varias bandas laterales, centradas sustancialmente, cada una de ellas, en torno a una subportadora, y una señal portadora atenuada, atenuada de tal manera que la señal óptica compuesta no es detectable linealmente por medio de una detección directa óptica. El método comprende también las etapas de recibir la señal óptica compuesta transmitida y amplificar la potencia de la señal portadora atenuada para crear una señal óptica compuesta amplificada que es detectable linealmente por medio de una detección directa óptica.

Adicionalmente, el objetivo antes mencionado se logra el menos parcialmente mediante otra realización de la invención, que proporciona un sistema de comunicación óptica que comprende un sistema de transmisor óptico, un sistema de receptor óptico, y una disposición de fibra óptica que conecta el sistema de transmisor y el sistema de receptor. El sistema de transmisor está configurado para crear y transmitir una señal óptica compuesta que comprende una o varias bandas laterales, centradas sustancialmente, cada una de ellas, en torno a una subportadora, y una señal portadora atenuada ( $f_{ib}$ ) atenuada de tal manera que la señal óptica compuesta no es detectable linealmente por medio de una detección directa. El sistema de receptor comprende una disposición de amplificación óptica configurada para recibir la señal óptica compuesta transmitida y para amplificar la potencia de la señal portadora atenuada con el fin de crear una señal óptica compuesta amplificada que es detectable linealmente por medio de una detección directa óptica.

Por otra parte, el objetivo antes mencionado se logra por lo menos parcialmente por medio de otra realización de la invención, que proporciona un transmisor óptico configurado para crear y transmitir una señal óptica compuesta que comprende una señal portadora y una o varias bandas laterales, centradas sustancialmente, cada una de ellas, en torno a una subportadora. El transmisor comprende una disposición de atenuación configurada para atenuar la señal portadora con el fin de crear una señal óptica compuesta atenuada que no es detectable linealmente por medio de una detección directa óptica.

Además, el objetivo antes mencionado se logra al menos parcialmente mediante otra realización de la invención que proporciona un receptor óptico que comprende una disposición de receptor óptico configurada para recibir, por medio de una disposición de fibra óptica, una señal óptica compuesta que comprende una señal portadora y una o varias bandas laterales, centrada sustancialmente, cada una de ellas, en torno a una subportadora. El receptor comprende una disposición de amplificación óptica configurada para recibir la señal óptica compuesta y para amplificar la potencia de la señal portadora con el fin de crear una señal óptica compuesta amplificada que es detectable linealmente por medio de una detección directa óptica.

En la siguiente descripción y en las reivindicaciones dependientes se dan a conocer otras ventajas y características ventajosas de la invención.

Debe enfatizarse que la expresión "comprende/comprendiendo" cuando se usa en esta memoria descriptiva se interpreta de manera que especifica la presencia de características, enteros, etapas o componentes mencionados, pero no excluye la presencia o adición de otra u otras características, enteros, etapas, componentes o grupos de los

mismos.

De modo similar, las etapas de los métodos descritos en la presente no se deben ejecutar necesariamente en el orden en el que aparecen, y realizaciones de dichos métodos pueden comprender más o menos etapas sin situarse fuera del alcance de la presente invención.

## 5 Breve descripción de los dibujos

Posteriormente se proporciona una descripción más detallada de la presente invención, en referencia a una pluralidad de realizaciones ejemplificativas según se ilustra en las figuras adjuntas, en las que:

- la Fig. 1a es una ilustración esquemática de un sistema de comunicaciones ópticas 10, conocido, que comprende una disposición de transmisor óptico 20 y una disposición de receptor óptico 30 conectadas por medio de una disposición de fibra óptica 40,
- la Fig. 1b es una ilustración esquemática de una realización de la disposición de fibra óptica 40 en forma de una disposición de enlace de fibra óptica 400 que comprende una pluralidad de amplificadores ópticos 42,
- la Fig. 2a es una ilustración esquemática de un sistema de comunicaciones ópticas 100a ejemplificativo según una realización de la presente invención, que comprende un sistema de transmisor óptico 200a y un sistema de receptor óptico 300a conectados por medio de una fibra óptica 40,
- la Fig. 2b es una ilustración esquemática que muestra la atenuación de la señal portadora  $f_{2, \text{portadora}}$  en una señal óptica compuesta de tal manera que una señal óptica  $f_s$  no se puede detectar linealmente mediante *detección directa*,
- la Fig. 3 es una ilustración esquemática de otro sistema de comunicaciones ópticas 100b ejemplificativo, según otra realización de la presente invención, que comprende un sistema de transmisor óptico 200a y un sistema de receptor óptico 300b conectados por medio de una fibra óptica 40,
- la Fig. 4 es un diagrama de flujo sobre un método de transmisión óptica según una realización ejemplificativa de la presente invención.

## 25 Descripción detallada de realizaciones preferidas

La Figura 2 es una ilustración esquemática de un sistema de comunicaciones ópticas 100a ejemplificativo, según una realización de la presente invención. El sistema 100a comprende un sistema de transmisor óptico 200a y un sistema de receptor óptico 300a conectados por medio de una disposición de fibra óptica 40.

- El sistema de transmisor óptico 200a comprende una disposición de transmisor óptico que está dispuesta para transmitir una señal óptica compuesta que comprende una frecuencia portadora y una o varias bandas laterales. Tal como puede observarse en la Fig. 2a, el sistema de transmisor óptico 200a puede comprender, por ejemplo, la disposición de transmisor óptico 20 conocida, que está dispuesta para transmitir operativamente una señal óptica compuesta 12a que comprende una señal portadora  $f_{1a}$  y una pluralidad de bandas laterales portadoras de información Sb1 a Sbn, según se ha descrito anteriormente en referencia a la Fig. 1a.

- Adicionalmente, el sistema de transmisor 200a comprende una disposición de atenuación 20a que está dispuesta para reducir operativamente la potencia de la señal portadora  $f_{1a}$  en la señal óptica compuesta 12a, con el fin de producir una señal óptica 12b con una señal portadora óptica  $f_{1b}$  que tiene una potencia reducida en comparación con la señal portadora  $f_{1a}$ . Por tanto, en este ejemplo la señal óptica 12b es igual a la señal óptica 12a, excepto que la señal portadora  $f_{1b}$  tiene una potencia reducida en comparación con la señal portadora  $f_{1a}$ . El efecto es que se puede incrementar la fracción de la potencia óptica asignada a las bandas laterales Sb1 a Sbn en la señal 12b. La fracción de la potencia óptica asignada a las bandas laterales Sb1, Sbn se puede incrementar, por ejemplo, a una cantidad que esté por encima del 30 % o por encima del 40 % o por encima del 50 % o por encima del 60 % o por encima del 70 % o incluso por encima del 80 % de la potencia óptica máxima permitida para la transmisión hacia la fibra óptica 40. Esto sigue siendo válido en caso de que la señal óptica 12a y otras señales ópticas se transmitan simultáneamente a través de la disposición de fibra 40, por ejemplo, señales desde transmisores ópticos en un sistema de transmisión denso Multiplexado por División de Longitud de Onda (WDM).

- Se prefiere que la potencia óptica de la señal óptica atenuada 12b, que comprende las bandas laterales Sb1, Sbn, y la señal portadora óptica atenuada  $f_{1b}$ , sea sustancialmente igual a la potencia óptica máxima que se permite transmitir hacia la fibra óptica 40. La expresión "sustancialmente igual" debe interpretarse de tal manera que la potencia óptica de la señal óptica atenuada 12b esté dentro de un intervalo de aproximadamente entre el 80 y el 100 % de la potencia óptica máxima que se permite transmitir hacia la fibra óptica 40. Esto resulta beneficioso puesto que una potencia óptica elevada incrementa la Relación de Señal Óptica/Ruido, etcétera, en el extremo receptor de

la fibra 40.

Se prefiere también que la señal portadora  $f_{ib}$  se atenúe de tal manera que la señal óptica 12b no pueda ser detectada por *detección directa*, es decir, por medio de una detección denominada cuadrática, por ejemplo, utilizando un único fotodiodo o un detector similar, con el fin de aumentar al máximo la potencia en las bandas laterales portadoras de datos.

La Fig. 2b es una ilustración esquemática que muestra una señal óptica compuesta que comprende una señal portadora  $f_{1,portadora}$  y otra señal óptica  $f_s$  que se supone que es una señal sinusoidal pura. La señal portadora  $f_{1,portadora}$  tiene potencia suficiente para mantener el extremo bajo de la curva sinusoidal de la señal  $f_s$  en o por encima de la potencia cero tal como se indica mediante la flecha "bajo" en la Fig. 2b. El detector cuadrático podrá entonces detectar la señal sinusoidal  $f_s$  solamente con una distorsión moderada, con el fin de producir una corriente de fotodetector detectada linealmente  $f_{s,det1}$  ilustrada esquemáticamente en la Fig. 2b. Por contraposición, si la potencia óptica de la señal portadora  $f_{1,portadora}$  es demasiado baja para mantener el extremo bajo de la curva sinusoidal de la señal  $f_s$  en o por encima de la potencia cero, entonces el detector cuadrático no podrá detectar la señal sinusoidal  $f_s$  de una manera linealmente correcta. Por ejemplo, si sustancialmente no existe ninguna señal portadora  $f_{2,portadora}$ , entonces la curva sinusoidal de la señal  $f_s$  estará centrada en la potencia cero, según se indica mediante las flechas "cero" en la Fig. 2b, y entonces el detector cuadrático no podrá detectar la señal sinusoidal  $f_s$  de una manera linealmente correcta. En cambio, el detector cuadrático detectará una señal  $f_{s,det2}$  que se parece a una rectificación de onda completa tal como se ilustra esquemáticamente en la Fig. 2b.

La disposición de atenuación 20a se puede implementar, por ejemplo, por medio de un transmisor óptico OT1 en la disposición de transmisor 20, basándose en un transmisor Mach-Zehnder. Tal como es bien sabido para aquellos expertos en la materia, un transmisor Mach-Zehnder puede transmitir una señal portadora  $f_{ib}$  con potencia reducida si se ajusta la polarización del transmisor Mach-Zehnder. Alternativamente, la disposición de atenuación 20a se puede implementar por medio de un filtro óptico de rechazo de banda estrecha centrado en la frecuencia central de la señal portadora  $f_{ia}$ . La banda estrecha puede ser inferior a 50 MHz, o inferior a 100 MHz, o inferior a 200 MHz, o inferior a 300 MHz, o inferior a 400 MHz o inferior a 500 MHz. Esto es particularmente así en caso de que la señal portadora  $f_{ia}$  a atenuar tenga una frecuencia de aproximadamente entre 10 y 40 GHz. La estructura y el funcionamiento de dichos filtros de banda estrecha son bien conocidos para aquellos expertos en la materia. Otra alternativa consiste en usar un procesado de señal electrónica delante de la disposición de transmisor óptico 20 para producir una señal portadora  $f_{ib}$  con potencia reducida. No obstante, esto requiere un modulador óptico de dos puertos, por ejemplo, un modulador Mach-Zehnder anidado.

La potencia reducida de la señal portadora  $f_{ib}$  se ha ilustrado en la Fig. 2a que comprende una gráfica esquemática de la señal 12b, de manera que muestra una barra que representa la señal portadora  $f_{ib}$  y una primera semielipse que representa una primera banda lateral Sb1 y una segunda semielipse que representa una  $n^{\text{ésima}}$  banda lateral Sbn. En la gráfica, la longitud de onda se representa sobre el eje x, mientras que la potencia se representa sobre el eje y (por ejemplo, en una representación logarítmica). Esta representación y similares son bien conocidas para aquellos expertos en la materia. La barra que representa la señal portadora  $f_{ib}$  tiene sustancialmente la misma altura que la altura máxima de las semielipses que representan las bandas laterales Sb1, Sbn respectivamente. Esto está en clara contraposición con la gráfica esquemática correspondiente de la señal 12a que se muestra en la Fig. 1a, en donde la barra que representa la señal portadora  $f_{ia}$  es sustancialmente más alta que la altura máxima de las semielipses que representan las bandas laterales Sb1, Sbn respectivamente.

Se presta atención a continuación a la disposición de fibra óptica 40 de la Fig. 2a. Se prefiere que la disposición de fibra óptica 40 comprenda por lo menos una fibra óptica sustancialmente de cualquier tipo conocido por aquellos expertos en la materia por ser adecuada para la transmisión de señales ópticas en una red óptica. La red óptica puede ser, por ejemplo, redes FTTx (Fibra Hasta x) o similares, preferentemente que garanticen una velocidad de transmisión de Gigabits por segundo (Gbps) mediante el uso de fibras ópticas tal como se menciona en la sección de Antecedentes anterior.

La disposición de fibra óptica 40 recibe la señal óptica compuesta ejemplificativa 12b para su transporte adicional hacia el sistema de receptor óptico 300a. En este caso, se puede requerir una señal de entrada de alta potencia en caso de transmisiones de larga distancia, etcétera. Si no, la Relación de Señal Óptica/Ruido (OSNR) en el extremo receptor puede ser demasiado baja. No obstante, tal como se indica en la sección de Antecedentes, existe un límite sobre la potencia óptica máxima que se puede permitir en la fibra óptica 40 debido a no linealidades de la fibra, etcétera. Tal como también se ha indicado en la sección de Antecedentes, hasta el 90 % de la potencia óptica total de la señal 12a se puede asignar a la señal portadora  $f_{ib}$  en un sistema multiplexado por sub-portadora (SCM) convencional.

Estos hechos son utilizados por la invención en la medida en la que a la señal portadora  $f_{ib}$  se le ha asignado una potencia reducida tal como se ha descrito anteriormente.

5 No obstante, el uso de una señal portadora  $f_{ib}$  con una potencia óptica reducida no es una medida evidente puesto que esto reduce la probabilidad de lograr una detección exitosa de la señal 12b en el extremo receptor. Si la potencia óptica de la señal portadora  $f_{ib}$  es demasiado baja, se producirá un recorte importante, etcétera, en el detector del receptor óptico OR1. Esto es particularmente así si se usa una detección directa tal como se describe en la sección de Antecedentes. De este modo, en sistemas conocidos se prefiere aumentar al máximo la potencia de la señal entrada, por ejemplo, para permitir una transmisión de larga distancia. Así, la reducción de la potencia de la señal portadora  $f_{ia}$  de una señal óptica 12a a transmitir no es deseable en sistemas de transmisión óptica  
10 conocidos. No obstante, esta opción sí es deseable en un sistema de comunicaciones ópticas de acuerdo con realizaciones de la presente invención.

15 A continuación se proseguirá con el sistema de receptor óptico 300a de la Fig. 2a. El sistema de receptor óptico 300a puede comprender cualquier disposición de receptor óptico que esté dispuesta para recibir operativamente una señal óptica compuesta que comprenda por lo menos una frecuencia portadora y una o más bandas laterales. De este modo, tal como puede observarse en la Fig. 2a, el sistema de receptor óptico 300a puede comprender, por ejemplo, la disposición de receptor óptico 30 conocida que está dispuesta para recibir la señal óptica 12b que comprende una señal portadora  $f_{ib}$  y una pluralidad de bandas laterales portadoras de información Sb1 a Sbn, tal como se ha indicado anteriormente en referencia a la Fig. 1a. Es evidente que la señal 12b se recibe por medio de la disposición de fibra óptica 40.

20 No obstante, tal como se ha descrito previamente, la potencia de la señal portadora  $f_{ib}$  en la señal transmitida 12b se ha reducido con el fin de evitar que se supere la potencia óptica máxima que se permite en la fibra óptica 40. Tal como también se ha indicado anteriormente, la potencia reducida de la señal portadora  $f_{ib}$  puede conducir a una detección deteriorada que distorsione la señal 12b, y particularmente la información portada en las bandas laterales Sb1 a Sbn, especialmente si se usa una detección directa.

25 La invención reconoce y mitiga esto en la medida en la que, en el sistema de receptor óptico 300a de la Fig. 2a, se ha introducido una disposición de amplificación óptica de banda estrecha 32a.

30 La disposición de amplificación óptica 32a está dispuesta para recibir la señal 12b y para amplificar la potencia de la señal portadora  $f_{ib}$  con el fin de producir una señal portadora amplificada  $f_{ia}'$  aunque sin afectar sustancialmente a las bandas laterales Sb1 a Sbn de la señal 12b. La señal portadora amplificada  $f_{ia}'$  y las bandas laterales Sb1 a Sbn forman una señal compuesta amplificada 12a'. La potencia de la señal portadora amplificada  $f_{ia}'$  puede ser menor o mayor que o sustancialmente igual a la potencia de la señal portadora no atenuada original  $f_{ia}$  de la señal 12a a transmitir. No obstante, la potencia de la señal portadora amplificada  $f_{ia}'$  es siempre mayor que la potencia reducida de la señal portadora atenuada  $f_{ib}$ .

35 Se prefiere que la amplificación de la disposición de amplificación de banda estrecha 32a esté centrada en la frecuencia central de la señal portadora  $f_{ib}$ . La banda estrecha puede ser una banda de menos de 50 MHz, o menos de 100 MHz, o menos de 200 MHz, o menos de 300 MHz, o menos de 400 MHz o menos de 500 MHz. Esto es particularmente así en caso de una señal portadora  $f_{ib}$  con una frecuencia central de aproximadamente entre 10 y 40 GHz. La disposición de amplificación de banda estrecha 32a según la realización de la Fig. 2a puede ser, por ejemplo, un Amplificador Óptico de Semiconductores (SOA), por ejemplo, tal como un SOA de Cavidad Vertical (VCSOA) o algún otro SOA selectivo en cuanto a longitud de onda.  
40

45 La señal compuesta amplificada 12a' se proporciona desde la disposición de amplificación 32a a la disposición de receptor óptico 30 del sistema de receptor 300a. El lector atento observará que la señal compuesta amplificada 12a' es una representación idealizada de la señal compuesta transmitida 12b. La señal amplificada 12a' puede comprender, por ejemplo, componentes de distorsión que no están presentes en la señal transmitida 12b, por ejemplo, distorsiones provocadas por la transmisión a través de la fibra óptica 40 y/o por la disposición de amplificación de banda estrecha 32a, etcétera.

50 La señal compuesta amplificada 12a' se ha ilustrado en la Fig. 2a que comprende una gráfica esquemática de manera que muestra una barra que representa la señal portadora amplificada  $f_{ia}'$  y una primera semielipse que representa una primera banda lateral Sb1 y una segunda semielipse que representa una  $n^{\text{ésima}}$  banda lateral Sbn. En la gráfica, la longitud de onda se representa sobre el eje x mientras que la potencia se representa sobre el eje y (por ejemplo, en una representación logarítmica). La barra que representa la señal portadora ejemplificativa  $f_{ia}'$  es más alta que el pico o altura máxima de las semielipses que representan las bandas laterales Sb1, Sbn respectivamente. Puede entenderse fácilmente que la señal portadora amplificada  $f_{ia}'$  es una versión amplificada de la señal

portadora recibida  $f_{ib}$  que es a su vez una versión atenuada de la señal portadora  $f_{ia}$ .

A continuación se presta atención a la Fig. 3, que es una ilustración esquemática de una segunda realización de la presente invención, en forma de otro sistema de comunicaciones ejemplificativo 100b. El sistema 100b comprende un sistema de transmisor óptico 200a y un sistema de receptor óptico 300b conectados entre sí por una disposición de fibra óptica 40.

Preferentemente, el sistema de transmisor óptico 200a y la disposición de fibra óptica 40 son iguales a los descritos anteriormente en referencia a la Fig. 2a. De modo similar, se prefiere que el sistema de receptor óptico 300b sea igual al sistema de receptor óptico 300a descrito anteriormente en referencia a la Fig. 2a. No obstante, la disposición de amplificación óptica de banda estrecha 32a del sistema 300a se ha sustituido en el sistema 300b por una disposición de amplificación óptica de banda estrecha, alternativa, 32b que se basa de forma ventajosa en el efecto de Dispersión de Brillouin Estimulada (SBS).

El uso de la Dispersión de Brillouin Estimulada para amplificar una señal óptica en una fibra óptica es bien conocido de por sí para aquellos expertos en la materia, y no requiere de una descripción detallada. No obstante, a continuación se proporcionará una breve visión general.

Supóngase que la potencia óptica de entrada de una señal en una fibra óptica supera el umbral de SBS, a continuación la señal óptica que va hacia delante se dispersará hacia atrás debido a su interacción con una rejilla acústica generada por medio de un efecto electrostrictivo. Puesto que la rejilla acústica se está moviendo en la dirección de la señal de entrada, óptica, la frecuencia de la luz retrodispersada se verá influida por un efecto Doppler que provoca un desplazamiento de frecuencia por Brillouin, que, en una fibra óptica monomodal, se puede expresar como:

$$v_B = 2nv_a / \lambda_p \quad (1)$$

donde  $v_a$  es la velocidad de la onda acústica en la fibra,  $n$  es el índice de refracción de la fibra, y  $\lambda_p$  es la longitud de onda de la señal de entrada óptica, denominada frecuentemente, en relación con este caso, señal de bombeo de SBS.

A continuación, supóngase que una señal germinal (*seed signal*) de banda estrecha  $V_{germinal}$  con una frecuencia de

$$V_{germinal} = VP - v_B \quad (2)$$

se inyecta en la fibra óptica en la dirección opuesta de la propagación de la señal de bombeo de SBS, donde  $VP$  es la frecuencia de la señal de bombeo de SBS. La interacción de la señal germinal  $V_{germinal}$  con la señal de bombeo de SBS  $VP$  potenciará notablemente la rejilla acústica inducida, provocando una mayor retrodispersión de la señal de bombeo  $VP$  a la señal germinal y amplificando de manera efectiva la señal germinal  $V_{germinal}$ .

En otras palabras, la influencia de la señal germinal  $V_{germinal}$  convierte la Dispersión de Brillouin espontánea de la señal de bombeo de SBS  $VP$  en una Dispersión de Brillouin Estimulada (SBS), donde la luz de retrodispersión estimulada se sumará en fase con la señal germinal  $V_{germinal}$  y amplificará notablemente la señal germinal. A este proceso se le denomina amplificación de Brillouin. Típicamente, la amplificación de Brillouin en fibras ópticas tiene un ancho de banda estrecho menor que 200 MHz, o incluso menor que 150 MHz o incluso menor que 50 MHz.

Resulta evidente a partir de la Fig. 2a que la disposición de amplificación de SBS 32b comprende una fuente de bombeo óptico 322 y una disposición de circulador óptico 326.

La fuente de bombeo óptico 322 está dispuesta para transmitir una señal de bombeo óptico de Brillouin  $f_p$ . Se prefiere que la señal de bombeo de Brillouin  $f_p$  tenga una única frecuencia. Se prefiere también que la fuente de bombeo óptico 322 sea una fuente de láser que transmita una señal de bombeo basada en láser  $f_p$ . La fuente de bombeo óptico 322 puede ser fija o sintonizable.

La disposición de circulador óptico 326 está conectada a la fuente de bombeo óptico 322 y a la fibra óptica 40 y a la disposición de receptor óptico 30. Las propiedades de los circuladores ópticos son bien conocidas para aquellos expertos en la materia y no requieren de una descripción adicional. La disposición de circulador óptico 32 dirige la señal de bombeo de Brillouin  $f_p$  hacia la fibra óptica 40 en dirección al sistema de transmisor 200a, mientras que la disposición de circulador 32 dirige la señal compuesta 12b y cualesquiera señales retrodispersadas de la señal de bombeo  $f_p$  hacia la disposición de receptor óptico 30. Los expertos que disfruten del beneficio de esta exposición observarán que la disposición de circulador óptico 326 se puede sustituir por un acoplador direccional óptico o una disposición direccional óptica similar que presente las propiedades direccionales que se describen a continuación.

Dada la estructura de la disposición de amplificación de SBS 32b, se producirá una amplificación de Brillouin si la

señal de bombeo  $f_p$  y la señal portadora  $f_{ib}$  de la señal compuesta 12b se ajustan apropiadamente una con respecto a otra. Según las anteriores expresiones (1) y (2), se produce una amplificación de Brillouin de la señal portadora  $f_{ib}$  si la señal de bombeo  $f_p$  se ajusta a una frecuencia  $VP$  que provoca un desplazamiento de frecuencia por Brillouin de  $v_B$  tal que  $f_{ib} = VP - v_B$ . En la práctica, se puede obtener y determinar fácilmente una amplificación de Brillouin de la señal portadora  $f_{ib}$ , por ejemplo, haciendo variar la señal de bombeo  $f_p$  hasta que se amplifique la señal portadora  $f_{ib}$ . El resultado es una amplificación de la señal óptica compuesta 12b que crea una señal óptica compuesta amplificada 12b' ilustrada en la Fig. 3.

En esencia, la señal amplificada 12b' es la misma que la señal amplificada 12a descrita anteriormente en referencia a la Fig. 2a, excepto que la potencia de la señal portadora amplificada  $f_{ia}'$  debe ser menor o mayor que o sustancialmente igual a la potencia de la señal portadora no atenuada, original,  $f_{ia}$  de la señal 12a a transmitir. No obstante, la potencia de la señal portadora amplificada  $f_{ia}'$  es siempre mayor que la potencia reducida de la señal portadora atenuada  $f_{ib}$ .

Además de la amplificación de Brillouin de la señal portadora  $f_{ib}$  según se ha descrito anteriormente, la señal de bombeo de Brillouin  $f_p$  también puede provocar una retrodispersión de otras señales ópticas residuales hacia el sistema de receptor 300b, por ejemplo, una retrodispersión de Rayleigh. Esto se ha ilustrado esquemáticamente en la Fig. 2a mediante una barra indicada con  $f_{bs}$ , que está dispuesta a la izquierda de la barra indicada con  $f_{ia}'$  que representa una versión amplificada de la señal portadora  $f_{ib}$ . El hecho de que la barra indicada con  $f_{bs}$  esté situada a la izquierda indica que la señal residual ejemplificativa  $f_{bs}$  puede tener una frecuencia menor que la señal portadora amplificada  $f_{ia}'$ . Se prefiere la eliminación de señales retrodispersadas residuales, tales como la señal  $f_{bs}$ , por ejemplo, mediante filtración. De este modo, la señal retrodispersada residual  $f_{bs}$  se puede eliminar mediante una disposición de filtro 34 que atenúe o elimine cualquier señal retrodispersada residual  $f_{bs}$ . La disposición de filtro 34 puede ser, por ejemplo, un filtro paso-alto o un filtro óptico de rechazo de banda centrado en la señal retrodispersada  $f_{bs}$ .

Otro problema asociado al sistema de comunicaciones ópticas ejemplificativo 100b viene provocado por el ancho de banda tan estrecho de la amplificación de Brillouin. El ancho de banda tan estrecho de la amplificación hace que resulte difícil centrar la amplificación de la disposición de amplificación 32b en la señal portadora  $f_{ib}$ . Naturalmente, esta dificultad se incrementa a medida que el ancho de banda de la amplificación de Brillouin se estrecha y/o la frecuencia de la señal portadora  $f_{ib}$  es menos estable. De acuerdo con una realización de la presente invención, este problema se puede mitigar escalonando la señal de bombeo  $f_p$  para ensanchar el ancho de banda efectivo de la amplificación de Brillouin. El escalonamiento se puede realizar, por ejemplo, sintonizando repetidamente la frecuencia de la señal de bombeo  $f_p$  desde una primera frecuencia inferior a una segunda frecuencia superior. Preferentemente, la primera frecuencia es inferior a la frecuencia de bombeo de SBS  $VP$  que se supone correcta, mientras que la segunda frecuencia es superior a la frecuencia de bombeo de SBS  $VP$  que se supone correcta. La sintonización puede ser, por ejemplo, sustancialmente continua. Alternativamente, la sintonización se puede realizar, por ejemplo, conmutando entre la primera frecuencia y la segunda frecuencia.

Con el beneficio de la descripción anterior, es evidente para los expertos que una señal óptica compuesta 12b que presente una señal portadora  $f_{ib}$  con potencia reducida se puede transmitir sin deteriorar el rendimiento en el extremo detector mediante el uso de un método que comprende las siguientes etapas:

En una primera etapa S1 se llevan a cabo medidas iniciales. Una de las medidas iniciales consiste en proporcionar un sistema de comunicaciones ópticas 100a, 100b con capacidad de comunicar de manera fiable una señal óptica compuesta 12b que comprende una señal portadora atenuada  $f_{ib}$  y una o varias bandas laterales  $Sb1, Sbn$ . En este caso, debe enfatizarse que la invención es aplicable también con independencia de si se usan las bandas laterales inferiores o superiores, excepto en caso de la amplificación de SBS cuando se selecciona el lado de las bandas laterales sin señales ópticas residuales  $f_{bs}$ .

En una segunda etapa S2, se crea una primera una señal óptica compuesta 12a tal como se ha descrito previamente. La señal óptica compuesta 12a se puede crear, por ejemplo, por medio de codificadores E1 a En y un combinador Co1 tal como se ha descrito también previamente.

En una tercera etapa S3, la potencia de la señal portadora  $f_{ia}$  en la primera señal compuesta 12a se atenúa para producir una segunda señal óptica compuesta atenuada 12b que comprende una señal portadora atenuada  $f_{ib}$ . La atenuación de la señal portadora  $f_{ia}$  se puede lograr, por ejemplo, mediante un filtro óptico de rechazo de banda

estrecha centrado en la frecuencia central de la señal portadora  $f_{ia}$ . Alternativamente, en caso de que la señal óptica compuesta 12b se transmita por medio de un transmisor de Mach-Zehnder, se puede lograr una atenuación de la señal portadora  $f_{ia}$ , por ejemplo, ajustando la polarización del transmisor de Mach-Zehnder.

5 La atenuación de la señal portadora  $f_{ib}$  posibilita el incremento de la potencia asignada a las bandas laterales Sb1 a Sbn de la señal compuesta 12b sin superar la potencia óptica máxima que se permite transmitir en la fibra óptica 40. Preferentemente, la potencia óptica asignada a las bandas laterales Sb1, Sbn se incrementa en una magnitud que se corresponde con la magnitud en la que se ha reducido la potencia óptica de la señal portadora  $f_{ia}$  de la señal 12a. Aunque todavía sin superar la potencia óptica máxima que se permite transmitir en la fibra óptica 40. Por ejemplo, la potencia óptica asignada a las bandas laterales Sb1, Sbn se puede reducir en una magnitud menor o  
10 sustancialmente en la misma magnitud que la magnitud en la que se ha reducido la potencia óptica de la señal portadora  $f_{ia}$ .

15 En una cuarta etapa S4, la señal óptica compuesta atenuada 12b se transmite por medio de una disposición de fibra 40. La señal atenuada 12b se puede transmitir, por ejemplo, por medio de un transmisor óptico OT1 tal como se ha descrito previamente, y la disposición de fibra 40 puede ser cualquier fibra óptica adecuada para transmitir una señal óptica compuesta 12a, 12b o similar.

En una quinta etapa S5, se recibe la señal óptica compuesta, atenuada y transmitida 12b. Se prefiere que la señal óptica compuesta 12b se reciba por medio de un sistema de receptor óptico como el sistema de receptor óptico 300a ó 300b descrito previamente o similar.

20 En una sexta etapa S6, la señal óptica compuesta recibida 12b es amplificada y detectada. Se prefiere que la señal portadora atenuada  $f_{ib}$  de la señal 12b se amplifique para proporcionar una tercera señal óptica compuesta amplificada 12a' ó 12b' que comprende una portadora amplificada  $f_{ia}'$  (véase la primera señal óptica compuesta 12a de la Fig. 1a y la segunda señal óptica compuesta 12b de la Fig. 2a-3). La amplificación se puede realizar, por ejemplo, mediante un SOA o un amplificador de Brillouin según se ha descrito previamente.

25 Una séptima etapa S7 se ocupa de las medidas concluyentes del método. Una de las medidas concluyentes consiste en detectar la señal óptica compuesta recibida y amplificada 12a', 12b' y convertir la señal óptica en una señal eléctrica. Se prefiere que la detección se realice mediante un receptor óptico OR1 basado en una detección directa, por ejemplo, utilizando un único fotodiodo o un detector similar según se ha descrito previamente en referencia a la Fig. 1a. Una detección directa es sencilla de implementar y reduce el coste del receptor óptico OR1.

Teniendo en cuenta la descripción anterior, se puede concluir que:

30 El sistema de comunicaciones ópticas 100a; 100b puede tener un sistema de transmisor 200a configurado para crear y transmitir una señal óptica compuesta 12b, de tal manera que la potencia óptica de la señal óptica compuesta transmitida 12b sea sustancialmente igual a la potencia óptica máxima que se permite transmitir en la fibra óptica 40; 400.

35 El sistema de comunicaciones ópticas 100a; 100b puede tener un sistema de transmisor 200a configurado para crear y transmitir una señal óptica compuesta 12b, de tal manera que la fracción de la potencia óptica asignada a las bandas laterales Sb1, Sbn esté por encima del 30 % de la potencia óptica máxima permitida para su transmisión en la disposición de fibra óptica 40; 400.

40 El sistema de comunicaciones ópticas 100a; 100b puede tener un sistema de transmisor 200a configurado para atenuar la potencia de la primera señal portadora  $f_{ia}$  por medio de un filtro de rechazo de banda óptico o por medio de un transmisor de Mach-Zehnder óptico con una polarización ajustada operativamente.

45 El sistema de comunicaciones ópticas 100a; 100b puede tener un sistema de transmisor 200a configurado para crear y transmitir una señal óptica compuesta 12b en forma de una Señal Multiplexada por Subportadora mezclando operativamente por lo menos una señal modulada Fe1, Fen con una señal de una sola frecuencia  $f_{mod}$ . De hecho, el sistema de transmisor 200a puede estar configurado para crear dicha señal modulada Fe1, Fen modulando operativamente otra señal de una sola frecuencia F1, Fn por medio de una Modulación por Desplazamiento de Fase en Cuadratura, QPSK o una modulación de orden superior.

La presente invención se acaba de describir en referencia a realizaciones ejemplificativas. No obstante, la invención no se limita a las realizaciones descritas en la presente. Por el contrario, el alcance completo de la invención queda determinado únicamente por el alcance de las reivindicaciones adjuntas.

**REIVINDICACIONES**

1. Método para transmitir una señal óptica compuesta (12b) a través de una disposición de fibra óptica (40; 400), que comprende las etapas de:
- crear y transmitir una señal óptica compuesta (12b) que comprende: una o varias bandas laterales ( $S_{b1}$ ,  $S_{bn}$ ), centradas sustancialmente, cada una de ellas, en torno a una subportadora ( $f_1$ ,  $f_n$ ), y una señal portadora atenuada ( $f_{tb}$ ) de la señal óptica compuesta (12b) caracterizada porque se atenúa de tal manera que la señal óptica compuesta (12b) no es detectable linealmente por medio de una detección directa óptica, en donde la señal óptica compuesta (12b) es un resultado de un proceso heterodino, y
  - recibir la señal óptica compuesta transmitida (12b) y amplificar la potencia de la señal portadora atenuada ( $f_{tb}$ ) con el fin de crear una señal óptica compuesta amplificada (12a'; 12b') que es detectable linealmente por medio de una detección directa óptica.
2. Método según la reivindicación 1 en donde:
- la potencia de la señal portadora atenuada ( $f_{tb}$ ) se amplifica mientras que las bandas laterales ( $S_{b1}$ ,  $S_{bn}$ ) de la señal óptica compuesta (12b) se ven sustancialmente no afectadas.
3. Método según una cualquiera de la reivindicación 1 ó 2 en donde:
- la potencia de la señal portadora atenuada ( $f_{tb}$ ) se amplifica mediante una disposición de amplificación de banda estrecha 32a que tiene su amplificación centrada en la frecuencia central de la señal portadora ( $f_{tb}$ ).
4. Método según la reivindicación 1 que comprende las etapas de:
- crear y transmitir una señal óptica compuesta (12b) tal que la potencia óptica de la señal óptica compuesta transmitida (12b) es sustancialmente igual a la potencia óptica máxima que se permite transmitir en la fibra óptica (40; 400).
5. Método según una cualquiera de la reivindicación 1, 2, 3 ó 4 que comprende las etapas de:
- crear y transmitir una señal óptica compuesta (12b), en donde la fracción de la potencia óptica asignada a las bandas laterales ( $S_{b1}$ ,  $S_{bn}$ ) en la señal óptica compuesta transmitida está por encima del 30 % de la potencia óptica máxima que se permite transmitir en la disposición de fibra óptica (40; 400).
6. Método según la reivindicación 1 que comprende las etapas de:
- atenuar la potencia de la primera señal portadora ( $f_{ta}$ ) por medio de un filtro de rechazo de banda óptico o ajustando la polarización de un transmisor de Mach-Zehnder óptico.
7. Método según una cualquiera de la reivindicación 1 a 6 que comprende las etapas de:
- crear y transmitir una señal óptica compuesta (12b) en forma de una Señal Multiplexada por Subportadora mediante la mezcla de por lo menos una señal modulada ( $F_{e1}$ ,  $F_{en}$ ) con una señal de una sola frecuencia ( $f_{mod}$ ).
8. Método según la reivindicación 7 que comprende las etapas de:
- crear dicha señal modulada ( $F_{e1}$ ,  $F_{en}$ ) modulando otra señal de una sola frecuencia ( $F_1$ ,  $F_n$ ) por medio de una Modulación por Desplazamiento de Fase en Cuadratura, QPSK o una modulación de orden superior.
9. Sistema de comunicaciones ópticas (100a; 100b) que comprende

- un sistema de transmisor óptico (200a),
- un sistema de receptor óptico (300a; 300b), y
- una disposición de fibra óptica (40; 400) que conecta el sistema de transmisor (200a) y el sistema de receptor (300a; 300b),

5 en donde:

- el sistema de transmisor (200a) está configurado para crear y transmitir una señal óptica compuesta (12b) que comprende: una o varias bandas laterales (Sb1, Sbn), centradas sustancialmente, cada una de ellas, en torno a una subportadora ( $f_1$ ,  $f_n$ ), y una señal portadora atenuada ( $f_{tb}$ ) de la señal óptica compuesta (12b) atenuada de tal manera que la señal óptica compuesta (12b) está caracterizada porque no es detectable linealmente por medio de una detección directa, en donde la señal óptica compuesta (12b) es un resultado de un proceso heterodino, y

- el sistema de receptor (300a; 300b) comprende una disposición de amplificación óptica (32a; 32b) configurada para recibir la señal óptica compuesta transmitida (12b) y amplificar la potencia de la señal portadora atenuada ( $f_{tb}$ ) con el fin de crear una señal óptica compuesta amplificada (12a'; 12b') que es detectable linealmente por medio de una detección directa óptica.

15 10. Transmisor óptico (200a) configurado para crear y transmitir una señal óptica compuesta (12a) que comprende una señal portadora ( $f_{ta}$ ) y una o varias bandas laterales (Sb1, Sbn), centradas sustancialmente, cada una de ellas, en torno a una subportadora ( $f_1$ ,  $f_n$ ), donde la señal óptica compuesta (12b) es un resultado de un proceso heterodino, y

caracterizado porque

20 el transmisor (200a) comprende una disposición de atenuación (20b) configurada para atenuar la señal portadora ( $f_{ta}$ ) con el fin de crear una señal óptica compuesta atenuada (12b) que no es detectable linealmente por medio de una detección directa óptica.

25 11. Receptor óptico (300a; 300b) que comprende una disposición de receptor óptico (30) configurada para recibir, por medio de una disposición de fibra óptica (40; 400), una señal óptica compuesta (12b) que comprende: una o varias bandas laterales (Sb1, Sbn) centradas sustancialmente, cada una de ellas, en torno a una subportadora ( $f_1$ ,  $f_n$ ), una señal portadora atenuada ( $f_{tb}$ ) y donde la señal óptica compuesta (12b) es un resultado de un proceso heterodino, caracterizado porque la señal portadora atenuada ( $f_{tb}$ ) se atenúa de tal manera que la señal óptica compuesta (12b) no es detectable linealmente por medio de una detección directa óptica y

en donde:

30 el receptor (300a; 300b) comprende una disposición de amplificación óptica (32a; 32b) configurada para recibir la señal óptica compuesta (12b) y para amplificar la potencia de la señal portadora ( $f_{tb}$ ) con el fin de crear una señal óptica compuesta amplificada (12a'; 12b') que es detectable linealmente por medio de una detección directa óptica.

12. Receptor óptico (300a; 300b) según la reivindicación 11,

en donde:

35 la disposición de amplificación óptica (32a; 32b) es un Amplificador Óptico de Semiconductores (32a) o un amplificador de Brillouin (32b).

13. Receptor óptico (300a; 300b) según la reivindicación 12,

en donde:

40 el amplificador de Brillouin (32b) comprende una fuente de bombeo óptico (322) y una disposición direccional óptica (326), configurada para transmitir operativamente una señal de bombeo óptico ( $f_p$ ) hacia dicha disposición de fibra óptica (40; 400) en una primera dirección tal que la señal de bombeo ( $f_p$ ) provoca operativamente una amplificación de Brillouin de dicha señal portadora ( $f_{tb}$ ) de la señal óptica compuesta (12b) recibida desde dicha disposición de fibra óptica (40; 400) en una segunda dirección opuesta.

14. Receptor óptico (300a; 300b) según una cualquiera de la reivindicación 12-13,

45 en donde:

el amplificador de Brillouin (32b) escalona la señal de bombeo ( $f_p$ ) para ensanchar el ancho de banda efectivo de la amplificación de Brillouin.

15. Receptor óptico (300a; 300b) según una cualquiera de la reivindicación 12 a 14,

en donde:

- 5 el amplificador de Brillouin (32b) comprende una disposición de filtro (34) configurada para atenuar operativamente una señal de retrodispersión ( $f_{bs}$ ) provocada por la señal de bombeo ( $f_p$ ) además de la amplificación de Brillouin de la señal portadora ( $f_{ib}$ ).

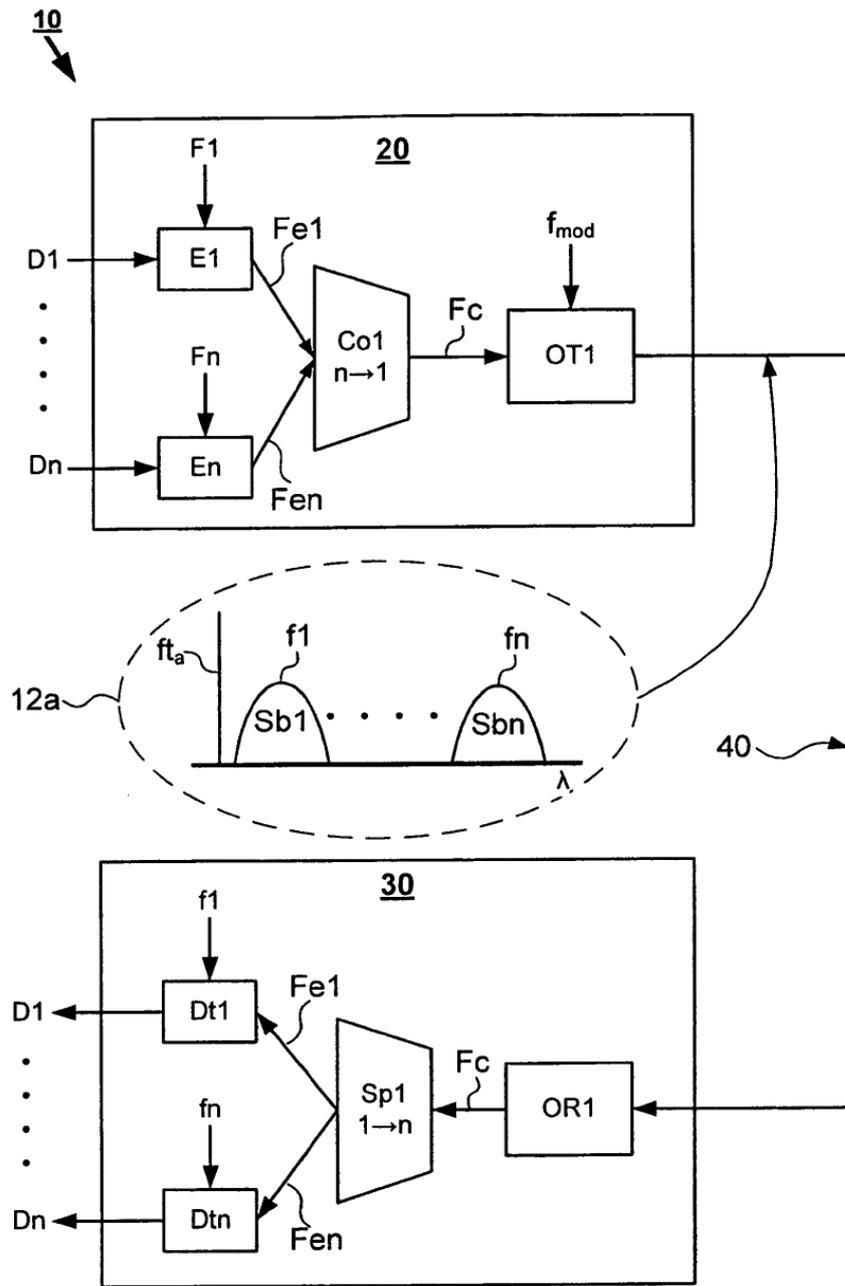


Fig. 1a

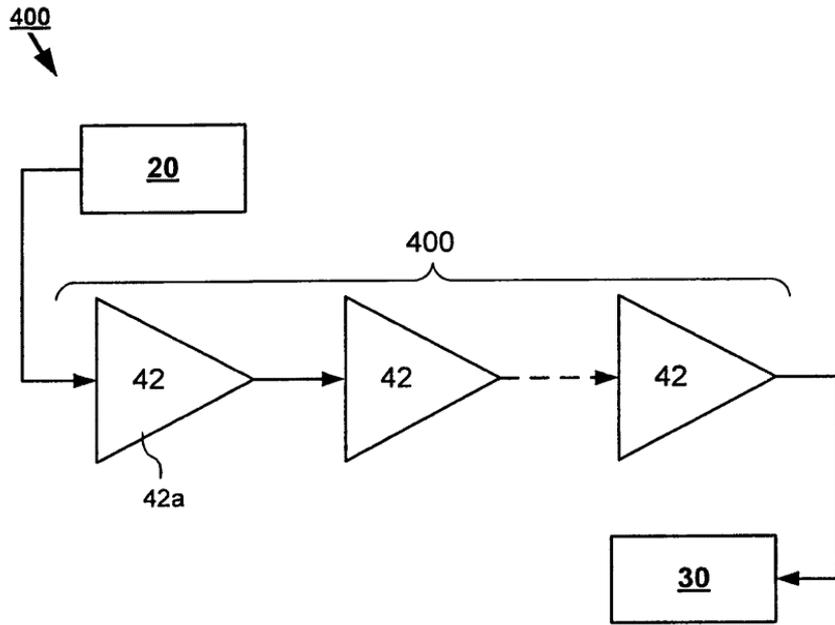


Fig. 1b

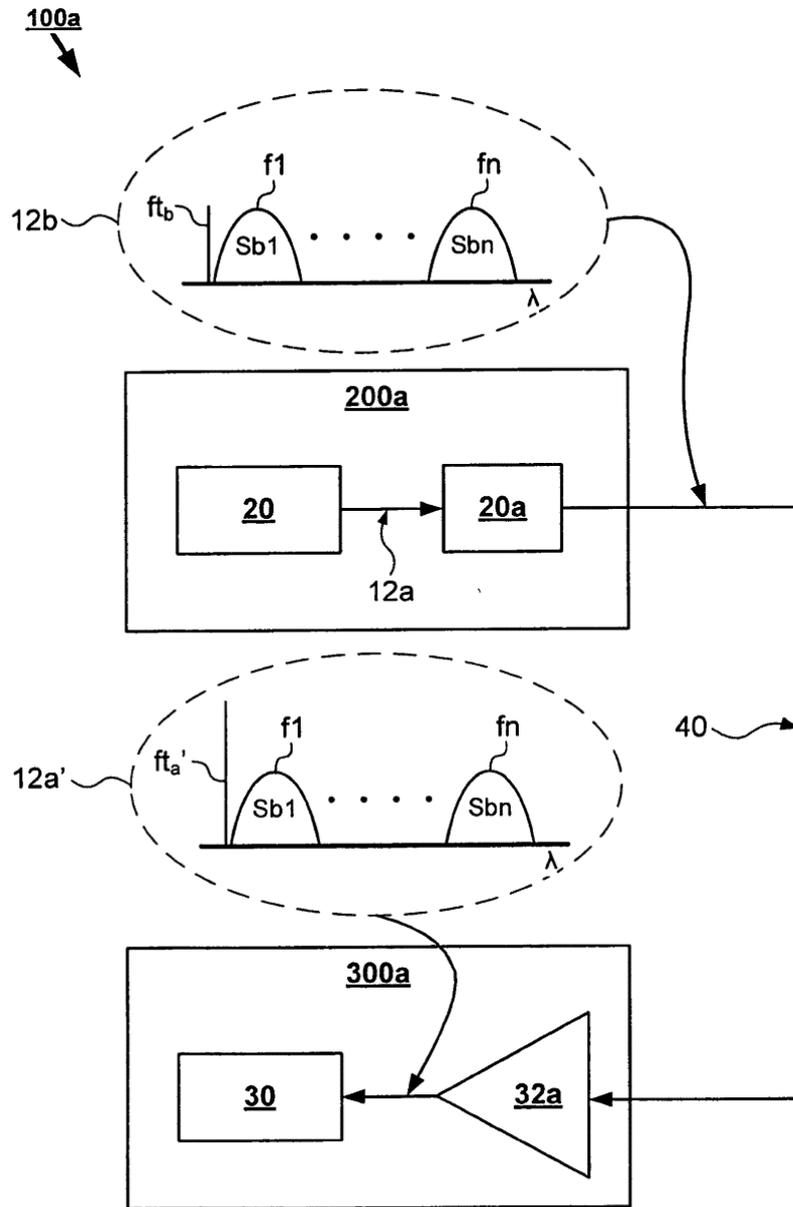


Fig. 2a

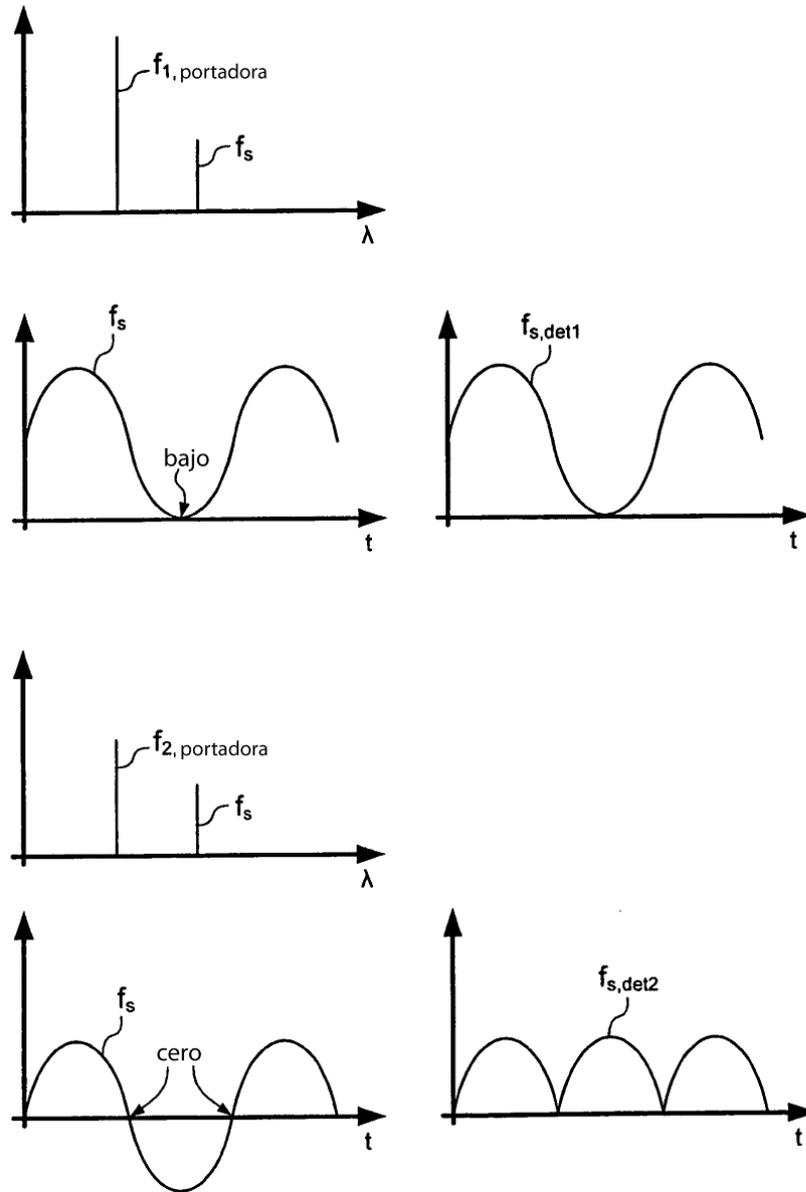


Fig. 2b

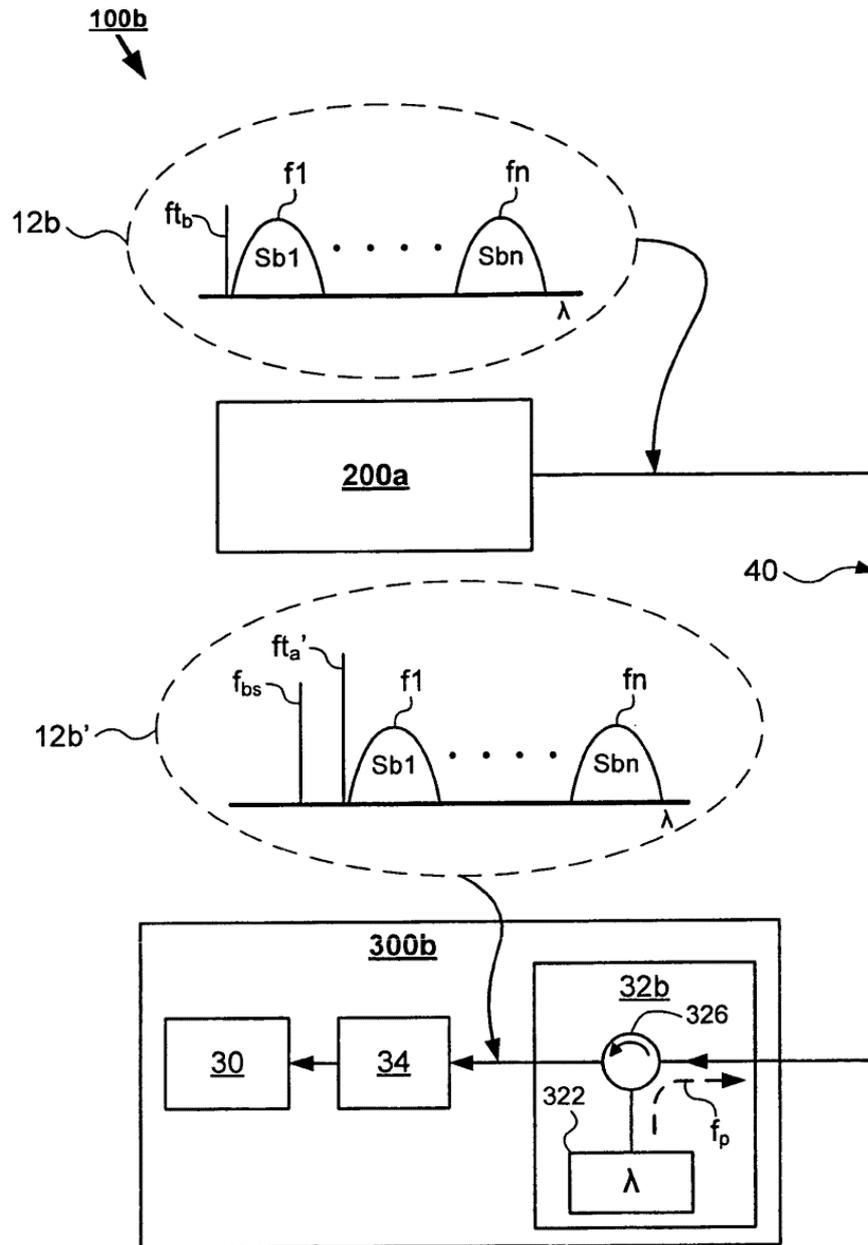
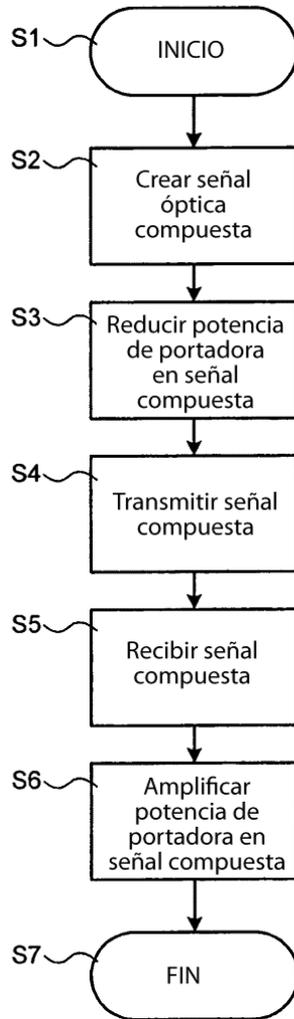


Fig. 3



**Fig. 4**