

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 430 205**

51 Int. Cl.:

**H04J 14/08** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.11.2007** **E 07848943 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.07.2013** **EP 2225841**

54 Título: **Métodos y sistemas para incrementar el alcance y/o las divisiones en redes ópticas pasivas**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**19.11.2013**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**TROJER, ELMAR y**  
**DAHLFORT, STEFAN**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 430 205 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

Métodos y sistemas para incrementar el alcance y/o las divisiones en redes ópticas pasivas

**Campo técnico**

5 La presente invención se refiere en general a sistemas de telecomunicaciones y, en particular, a métodos y sistemas para incrementar el alcance/las divisiones en redes ópticas pasivas.

**Antecedentes**

10 Las tecnologías y los usos de las comunicaciones han cambiado considerablemente durante las últimas décadas. En el pasado reciente, las tecnologías con hilo de cobre fueron el mecanismo principal usado para transmitir comunicaciones de voz a través de largas distancias. A medida que se introdujeron ordenadores, el deseo de intercambiar datos entre sitios remotos se hizo recomendable para muchas finalidades, tales como las correspondientes a negocios, usuarios individuales e instituciones educativas. La introducción de la televisión por cable proporcionó opciones adicionales para incrementar comunicaciones y distribución de datos desde negocios al público. A medida que la tecnología continuó avanzando, se introdujeron equipos de transmisión de línea de abonado digital (DSL) que permitieron transmisiones de datos más rápidas sobre la infraestructura telefónica existente de hilos de cobre. Adicionalmente, los intercambios bidireccionales de información a través de la infraestructura de cable llegaron a estar disponibles para negocios y el público. Estos avances han fomentando el crecimiento de las opciones de servicio disponibles para su uso, lo cual a su vez hace que aumente la necesidad de continuar mejorando el ancho de banda disponible para distribuir estos servicios, particularmente en la medida en la que se incrementa la calidad de vídeo y la cantidad total de contenido disponible para su distribución.

20 Una tecnología prometedora que ha sido introducida es el uso de fibras ópticas con fines relacionados con las telecomunicaciones. Las normativas de redes de fibra óptica, tales como redes ópticas síncronas (SONET) y la jerarquía digital síncrona (SDH) sobre transporte óptico (OTN), han estado existiendo desde los 80 y permiten la posibilidad de usar la alta capacidad y la baja atenuación de las fibras ópticas para el transporte de larga distancia de tráfico de red agregado. Estas normativas han sido mejoradas y, en la actualidad, usando la OC-768/STM-256 (versiones respectivamente de las normativas SONET y SDH) puede alcanzarse una velocidad de línea de 40 gigabits/segundo con el uso del multiplexado por división en ondas densas (DWDM) sobre fibras ópticas convencionales.

30 En el dominio del acceso, puede hallarse información referente a redes ópticas en las normativas de Ethernet en la Primera Milla (EFM) (IEEE 802.3ah, que se puede encontrar en [www.ieee802.org](http://www.ieee802.org)) que soportan el transporte de datos a través de estructuras de redes de acceso basadas en fibra óptica de punto-a-punto (p2p) y punto-a-multipunto (p2mp). Adicionalmente, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) dispone de normativas para p2mp en relación con el uso de redes de acceso ópticas. Las redes que resultan particularmente interesantes para esta memoria descriptiva son las redes ópticas pasivas (PONs). Por ejemplo, tres PONs que resultan interesantes son, por ejemplo, PONs de Ethernet (EPONs), PONs de banda ancha (BPONs) y PONs con capacidad de gigabits (GPONs), las cuales se presentan a continuación con fines comparativos en la Tabla 1.

35 Tabla 1 – Tecnologías y Propiedades Principales de Redes PON

| Características      | EPON                                    | BPON  | GPON  |
|----------------------|---|---|---|
| Normativas           | IEEE 8702.3ah                           | ITU-T G.983                                 | ITU-T G.984                                       |
| Protocolo            | Ethernet                                | ATM   | Ethernet  |
| Velocidades (Mbps)   | 1.244 ascendente /<br>1.244 descendente | 622/1.244 descendente<br>155/622 ascendente | 1.244/2.488 descendente<br>155 a 2.488 ascendente |
| Tramo (Km)           | 10                                      | 20  | 20  |
| Número de Divisiones | 16                                      | 32  | 64  |

40 Una GPON ejemplificativa 100 en la Figura 1 muestra elementos de una red de distribución óptica (ODN) que interaccionan con diversos puntos extremos de una terminación de red óptica (ONT). Adicionalmente, la GPON 100 usa el multiplexado por división en onda (WDM) sobre las señales ópticas. Tal como se muestra en la Figura 1, uno o más tipos o proveedores 102 de servicios pueden estar en comunicación con una terminación de línea óptica (OLT) 104, la cual está ubicada típicamente en una central telefónica (CO) (no mostrada). La OLT 104 proporciona la interfaz del lado de la red y está típicamente en comunicación con por lo menos una terminación de red óptica (ONT) (o una unidad de red óptica (ONU) que lleva a cabo tareas similares a las de una ONT aunque típicamente para una unidad multifamiliar). Estos proveedores 102 de servicios pueden proporcionar una variedad de servicios, tales como vídeo bajo demanda o televisión de alta definición (HDTV), Voz sobre IP (VoIP) y acceso a internet de alta velocidad (HSIA). La OLT 104 transmite información al WDM 106 el cual multiplexa los datos y transmite los datos ópticamente a un combinador/divisor pasivo 108. A continuación, el combinador/divisor pasivo 108 divide la

señal y la transmite a los WDMs 110 y 116 de aguas arriba. Estos WDMs 110 y 116 demultiplexan la señal y la reenvían a sus ONTs respectivas 112 y 118. Estos WDMs (108, 110 y 116) están típicamente integrados tanto en la OLT como en las ONTs, y se usan para colocar y extraer las longitudes de onda de sentido ascendente y de sentido descendente en función de sus ubicaciones en la red óptica. A continuación, estas ONTs 112 y 118 reenvían la información a sus usuarios finales (EU) respectivos 114, 120 y 122.

Aquellos expertos en la materia entenderán que esta GPON 100 puramente ilustrativa se puede implementar de varias maneras, por ejemplo, con modificaciones en las que funciones diferentes se combinan o se llevan a cabo de una manera diferente. Por ejemplo, estos WDMs (108, 110 y 116) son típicamente duplexores, aunque si se está transmitiendo una señal adicional, por ejemplo, una señal de televisión por cable en una GPON, pueden actuar como triplexores. Adicionalmente en la dirección de sentido descendente, la señal óptica tendría típicamente una longitud de onda diferente de la señal de sentido descendente y usaría los mismos WDMs 106, 110 y 116, que tienen capacidades bidireccionales.

Con la llegada de los servicios antes descritos y las mejoras en curso en las redes ópticas, muchas empresas de telecomunicaciones están optando por modernizar sus redes de acceso centradas en hilo de cobre con redes de acceso de fibra óptica. Algunas de estas modernizaciones incluyen, por ejemplo, el uso de una de las redes PON antes descritas en combinación con fibra hasta el hogar (FTTH), y/o redes híbridas, por ejemplo, fibra hasta el armario de telecomunicaciones (FTTC) combinando EFM óptica y/o PON para el retorno (*backhaul*) de datos con una línea de abonado digital de muy alta velocidad (VDSL2) mediante la reutilización de los últimos centenares de metros o una magnitud similar de hilo de cobre. Estas modernizaciones permiten un incremento de los tipos y la calidad de servicios distribuidos por las empresas a usuarios finales. A continuación en la Tabla 2 se resume una comparación de dos tipos diferentes de redes de distribución ópticas (ODNs).

Tabla 2 – P2P versus P2PM

| P2P  | P2PM (GPON)   |
|--|---|
| Tecnología madura, riesgo bajo                                 | Tecnología nueva, riesgo mayor                                    |
| Favorecido por las compañías que no son telecos en red abierta | Favorecido por T1 (red cerrada)                                   |
| Mercados principales: Europa del Norte y Occidental            | Mercados principales: Estados Unidos y Europa del Sur             |
| Los gastos de capital más bajos en la actualidad               | En la actualidad gastos operativos bajos, erosión de precio mayor |

Con independencia de qué tipo de sistema óptico se despliegue, es decir, p2p o GPON (o ambos), uno de los requisitos principales para los gastos de capital (CapEx) y los gastos operativos (OpEx) es que el sistema óptico utilice una ODN pasiva, por ejemplo, usando únicamente componentes ópticos pasivos entre la central telefónica (CO) y el equipo de usuario (FTTH) o el armario de telecomunicaciones (FTTC). Los ejemplos de los componentes ópticos pasivos incluyen conectores, fibras, empalmes y divisores de potencia pasivos (PPS). Un inconveniente de usar solamente componentes ópticos pasivos es que el alcance de la señal total se llega a reducir en función del número de divisiones en el sistema. Por ejemplo, en una PON típica que se esté comunicando con hasta 64 usuarios finales, la distancia efectiva con intensidad de señal utilizable es aproximadamente 20 kilómetros.

Una magnitud aceptable de pérdidas permisibles atribuibles a divisores (a las que se hace referencia también como "pérdidas de inserción de los divisores") en una ODN viene especificada, por ejemplo, por la especificación G.984.2 para GPONs en función de la clase óptica. Para obtener más información en relación con GPONs en general, se remite a los lectores interesados a las normativas G.984.1-4, que se pueden encontrar en [www.itu.int/rec/T-REC-G/en](http://www.itu.int/rec/T-REC-G/en). Son tres clases ópticas generales la óptica de clase A (que permite una pérdida entre 5 y 20 dB), la óptica de clase B (que permite una pérdida entre 10 y 25 dB) y la óptica de clase C (que permite una pérdida entre 15 y 30 dB). Se considera que una normativa industrial actual usada para GPONs es una clase de óptica B+ que permite una pérdida máxima de 28 dB sobre una ODN. En otras palabras, los transceptores ópticos en una OLT y la(s) ONT(s) deberían poder tener un rendimiento tal que proporcionasen una salida aceptable en una ODN en donde los componentes pasivos, por ejemplo, empalmes, conectores, fibras y divisores, tienen conjuntamente unas pérdidas de inserción de 28 dB. Típicamente, también es necesario que este balance del enlace tenga en cuenta otras penalizaciones de potencia y cierta cantidad de margen del sistema.

Componentes pasivos diferentes dentro de una ODN proporcionan cantidades diferentes de pérdidas durante la transmisión. La siguiente Tabla 3 muestra componentes de ODN típicos y las pérdidas asociadas.

Tabla 3 – Componentes de ODN Típicos y Pérdidas Asociadas

| Componente                | Pérdida Media  | Descripción                          |
|---------------------------|--|--------------------------------------|
| Fibra Monomodo            | 0,4 dB/km @ 1.310 nm<br>0,25 dB/km @ 1.550 nm  | G.652.B                              |
| Conector/Empalme          | 0,1 – 0,2 dB   | Tipo LC/PC                           |
| Divisor/Combinador pasivo | 1x4 7,5 dB<br>1x8 11 dB<br>1x16 14,2 dB<br>1x32 17,8 dB<br>1x64 21,1 dB<br>1x128 23,8 dB | Divisor de Potencia de Tipo Estándar |

5 Tal como puede observarse en la Tabla 3, el divisor típicamente contribuye con la cantidad más grande de pérdidas en una ODN. Por ejemplo, las pérdidas asociadas a una relación de división de 1:64 (que, en la actualidad, es una relación deseada comúnmente) son 21,1 dB, lo cual equivale aproximadamente a las pérdidas generadas al hacer pasar una señal óptica a través de una fibra con una longitud de 53 km (por ejemplo, las pérdidas de la fibra en la longitud de onda de 1.310 nm para transmisiones por encima de 53 km de fibra monomodo). En la siguiente ecuación se muestran las pérdidas de la fibra sobre esa distancia.

$$53 \text{ km} \times 0,4 \text{ dB/km} = 21,2 \text{ dB} \quad (1)$$

10 Considerando desde otra perspectiva las pérdidas ópticas debidas a los divisores con los datos de la anterior Tabla 3, para un sistema B+ con un balance del enlace de 28 dB, un divisor de 1x64 reduciría el alcance (es decir, la distancia de transmisión útil) de la PON a 18 km. De este modo, incluso reducciones pequeñas en las pérdidas de inserción de los divisores podrían dar como resultado incrementos apreciables en el alcance de la señal óptica PON o, posiblemente, en el número de divisiones aunque manteniendo un alcance similar. Por ejemplo, doblar la relación de división implica un incremento de +3 dB en las pérdidas de inserción, lo cual equivale a aproximadamente 7,5 km en el alcance.

15 Existen también otras consideraciones sobre el balance del enlace y se debería hacer frente a las mismas para extender el alcance de una PON. Una de las cuestiones es que para EPONs y GPONs, la estructura de transmisión de sentido ascendente tiene típicamente un alcance menor en comparación con el alcance en la dirección de transmisión del sentido descendente. El motivo de esta diferencia es inherente a la estructura de protocolos de multiplexado por división de tiempo/acceso múltiple por división de tiempo (TDM/TDMA) usada sobre las PONs, tal como se describirá de forma más detallada posteriormente. La división entre enlace descendente y enlace ascendente se efectúa por medio de WDM, en donde el enlace descendente funciona sobre una longitud de onda de 1.490 nm con un ancho de banda de 20 nm y el enlace ascendente funciona sobre una longitud de onda de 1.310 nm con un ancho de banda de 100 nm. Los datos en el enlace descendente se difunden de forma general a todas las ONTs de la PON usando un esquema de TDM en donde cada una de las ONTs toma datos de su intervalo de tiempo asignado en la señal de sentido descendente. La señal óptica de sentido descendente es una onda continua con la misma potencia transmitida hacia todas las ONTs. El transceptor terminal óptico (OTRx) ubicado en la OLT es compartido por todas las ONTs y por lo tanto puede contener una óptica de alta calidad con una potencia de salida elevada.

20 En la dirección de sentido ascendente, se usa un esquema de TDMA (por ejemplo, según se muestra en la Figura 2) en el que se permite que las ONTs 202 y 206 transmitan datos en intervalos de tiempo concedidos sobre su(s) longitud(es) de onda óptica(s). Esto significa que las ONTs 202, 206 transmiten en un modo de ráfagas en sus intervalos de tiempo asignados, en comparación con una transmisión de potencia continua en la dirección de sentido descendente desde la OLT 210. Puesto que las ONTs 202, 206 están ubicadas a distancias diferentes con respecto a la OLT 210, a las ONTs 202, 206 les informa la OLT 210 sobre cuándo, y con qué potencia, transmitir sus ráfagas respectivas de manera que las señales de las ONTs llegan en una estructura de tiempo alineada a la OLT 210. Por ejemplo, la ONT1 202 recibe la transmisión continua 212 y recibe su información desde su intervalo 204 de tiempo asignado. La ONT2 206 lleva a cabo funciones similares y recibe su información desde el intervalo 208 de tiempo. Sobre la base de los datos recibidos, las ONTs conocen su intervalo de tiempo de transmisión lo cual da como resultado un mensaje 214 de sentido descendente en donde las diferentes salidas de ONT se encuentran en un orden secuencial en el tiempo.

30 Dado este planteamiento de TDMA, la OLT 210 incluye típicamente un receptor de ráfagas que decodifica los datos de ONTs que llegan con ligeras fluctuaciones (o asíncronos) con niveles de potencia diferentes. A velocidades mayores de transmisión de datos, la ejecución de este proceso de decodificación constituye un desafío mayor. Por ejemplo, se considera actualmente que los sistemas que funcionen con velocidades de transmisión de 1,25 Gbit/s son rentables, se considera que las velocidades de transmisión del orden de 2,5 Gbit/s son técnicamente viables,

mientras que actualmente se considera que las velocidades de transmisión de entre 5 y 10 Gbit/s no son viables en este tipo de sistema de comunicaciones ópticas. Esto conduce a GPONs que tienen una velocidad de datos asimétrica. El uso de un receptor de ráfagas introduce una penalización por ráfagas en el área de entre 3 y 6 dB en función de la calidad de los componentes en el OTRx. Juntando esta penalización por ráfagas con una pérdida ligeramente mayor en la banda de sentido ascendente (aproximadamente 0,15 dB/km) y la necesidad de usar componentes ópticos menos caros (diplexor, triplexor) en las ONTs debido a motivos de escalabilidad, la transmisión en la dirección de sentido ascendente se convierte en la dirección limitativa para este tipo de sistema óptico.

Para superar este desafío de obtener una distancia de transmisión mayor con una señal óptica utilizable, aunque manteniendo también un número elevado de divisiones permisibles, pueden considerarse diferentes soluciones posibles. En general, o bien es necesario reducir las pérdidas introducidas por los divisores, o bien es necesario amplificar la señal o ambas opciones. En relación con la posible solución de amplificación, tal como se ilustra de forma general en la Figura 3 existen varias opciones. En dicha figura, tres ubicaciones potenciales para añadir un elevador para la amplificación son la CO 302, un nodo remoto 304, o con cada ONT 310 y 312 en una ubicación tal como hogar1 306 y hogar2 308. El elevador en la CO 302 se muestra como un elevador 314 cerca de la OLT 316, el elevador en el nodo remoto 304 se muestra como un elevador 318 aguas abajo del divisor combinador pasivo 320 y en los hogares (o cerca de las ONTs) los elevadores se muestran como elevadores 322. La colocación de un elevador o amplificador en cualquiera de estas ubicaciones trae consigo problemas asociados diferentes. Por ejemplo, resultaría económicamente prohibitiva la ubicación de un elevador 322 con cada ONT 310 y 312 debido al alto número de ONTs en un sistema. Si un elevador 318 fuera a colocarse en un nodo remoto 304, esto añadiría una necesidad de potencia y tal vez más visitas de mantenimiento, a una ubicación que por otro lado sería pasiva. En relación con la colocación de un elevador 314 en la CO 302 cerca de la OLT 316, esto tampoco carece de problemas puesto que el elevador 314 únicamente se puede hacer funcionar en un modo de baja potencia debido a las no linealidades en la fibra. Por otra parte, puesto que un sistema de GPON típico está limitado en sentido ascendente y la sensibilidad de entrada de un pre-amplificador en el elevador 314 de OLT es aproximadamente -28 dBm, esta solución constituiría un gasto añadido sin ningún valor para la señal de sentido ascendente.

Por consiguiente, las realizaciones ejemplificativas descritas en la presente proporcionan sistemas y métodos que permiten, por ejemplo, o bien reducir las pérdidas de la señal o bien mejorar la intensidad de la señal óptica en una PON. La patente U.S. n.º 7.280.762 describe un sistema de comunicaciones ópticas que dispone de ecualización dinámica de ganancia. La publicación de patente U.S. n.º 2004/136053 describe un amplificador óptico, un método de control de la característica de longitud de onda pasante en un amplificador óptico, y un sistema de transmisión óptico. La patente U.S. n.º 6.961.524 describe una ecualización de canal wdm en redes ópticas con capacidad de adición/sustracción. La solicitud de patente europea n.º 1.033.834 A2 describe un sistema de comunicaciones ópticas y un amplificador óptico de multiplexado por división de longitud de onda. La solicitud de patente europea n.º 1.089.477 A2 describe un método de monitorización de desviación de potencia de luz entre longitudes de onda y un ecualizador y un amplificador ópticos que hacen uso del método.

## Sumario

Los sistemas y métodos según la presente invención hacen frente a esta necesidad y a otras reduciendo las pérdidas de la señal o mejorando la intensidad de la señal óptica en una red óptica pasiva (PON).

Según una realización ejemplificativa, un método para comunicaciones ópticas incluye las etapas de: recibir una pluralidad de señales ópticas de sentido ascendente en una red óptica pasiva (PON), comprendiendo cada una de dicha pluralidad de señales ópticas una trama de ráfaga PON transmitida desde un transmisor diferente de sentido descendente; recibir información de planificación para cada una de la pluralidad de señales ópticas, en donde la información de planificación incluye por lo menos información de temporización y de potencia asociada a la pluralidad de señales ópticas; y ajustar cada una de la pluralidad de señales ópticas o bien amplificando o bien atenuando cada una de la pluralidad de señales ópticas sobre la base de la información de planificación para mitigar potencias de señal no uniformes de la trama de ráfaga PON.

Según otra realización ejemplificativa, un nodo para comunicaciones ópticas comprende: por lo menos un puerto de entrada para recibir una pluralidad de señales ópticas de sentido ascendente; comprendiendo cada una de la pluralidad de señales ópticas una trama de ráfaga PON transmitida desde un transmisor diferente de sentido descendente; un planificador para recibir información de planificación para cada una de la pluralidad de señales ópticas, en donde la información de planificación incluye por lo menos información de temporización y de potencia asociada a la pluralidad de señales ópticas; y un ajustador para ajustar cada una de la pluralidad de señales ópticas o bien amplificando o bien atenuando cada una de la pluralidad de señales ópticas sobre la base de la información de planificación con el fin de mitigar potencias de señal no uniformes de las tramas de ráfaga PON.

## Breve descripción de los dibujos

Los dibujos adjuntos ilustran realizaciones ejemplificativas, en las que:

la Figura 1 representa una Red Óptica Pasiva de Gigabits (GPON);

la Figura 2 ilustra Terminaciones de Red Óptica (ONTs) que usan un esquema de acceso múltiple por división de

tiempo (TDMA);

la Figura 3 ilustra opciones de colocación de elevadores potenciales en una PON;

la Figura 4 muestra un divisor de potencia pasivo (PPS) de 1:N;

5 la Figura 5 representa una estructura de divisor de potencia pseudo-pasivo (PPPS) según realizaciones ejemplificativas;

las Figuras 6(a)-(b) muestran señales asociadas a una unidad de control y conmutación (CSU) según realizaciones ejemplificativas;

la Figura 7 muestra funciones aplicadas para generar señales de salida a partir de la CSU según realizaciones ejemplificativas;

10 la Figura 8 ilustra un diagrama de temporización de sentido ascendente según realizaciones ejemplificativas;

la Figura 9(a) ilustra un primer trayecto de luz en una unidad de conmutación de luz (LSU) según realizaciones ejemplificativas;

la Figura 9(b) muestra un segundo trayecto de luz en una LSU según realizaciones ejemplificativas;

15 la Figura 10 ilustra la recepción de dos flujos continuos de luz y sus trayectos asociados en una LSU según realizaciones ejemplificativas;

la Figura 11 muestra un ecualizador de potencia (PE) en una OLT según realizaciones ejemplificativas;

la Figura 12 muestra un PE ubicado de forma remota entre una OLT y un divisor de potencia pasivo;

la Figura 13 muestra un diagrama de flujo de un método para incrementar el alcance de la señal según realizaciones ejemplificativas;

20 la Figura 14 muestra un diagrama de flujo de un método para reducir la pérdida de la señal según realizaciones ejemplificativas;

la Figura 15 representa un diagrama de flujo de un método para incrementar la distancia de transmisión según realizaciones ejemplificativas;

25 la Figura 16 muestra un diagrama de flujo de un método para incrementar la distancia de transmisión según realizaciones ejemplificativas; y

la Figura 17 representa un diagrama de flujo de un método para incrementar el intervalo de señales ópticas según realizaciones ejemplificativas.

### Descripción detallada

30 La siguiente descripción detallada de las realizaciones ejemplificativas se refiere a los dibujos adjuntos. Los números de referencia iguales en dibujos diferentes identifican los elementos iguales o similares. Además, la siguiente descripción detallada no limita la invención. El alcance de la invención queda definido en cambio por las reivindicaciones adjuntas.

35 Tal como se ha mencionado anteriormente, resulta deseable proporcionar mecanismos y métodos que permitan reducir las pérdidas de las señales, mejorar la intensidad de la señal en una red óptica pasiva (PON), o ambas, aunque la presente invención no se limita a ello tal como se describirá posteriormente. Según se ha descrito anteriormente en Antecedentes, una PON típica (ya sea una PON con capacidad de Gigabits (GPON), una PON de banda ancha (BPON) o una PON de Ethernet (EPON)) incluye algún tipo de divisor el cual es una fuente de pérdida de transmisión. En la actualidad hay disponibles comercialmente diferentes divisores de potencia pasivos (PPS) tales como el divisor de estrechamiento gradual bicónico fusionado (FBT) o el divisor de circuito plano de ondas de luz (PLC). Los planteamientos técnicos que usan cualquiera de los tipos de PPS pueden dar como resultado PONs con sustancialmente las mismas características de transmisión.

40 En una PON, un divisor óptico típicamente divide la potencia equitativamente entre las señales en una relación de 1:N. La Figura 4 muestra un divisor PPS 400 de 1:N en el que una señal óptica 401 entra en el divisor y se le da salida en forma de dos señales ópticas de la misma intensidad 402 y 403. A continuación, estas dos señales ópticas se dividen a su vez presentándolas a puertos subsiguientes del divisor, dividiendo equitativamente cada vez la intensidad de la señal entre dos señales ópticas. Tal como puede observarse en la Figura 4, una señal se convierte en dos señales, dos señales se convierten en cuatro señales y cuatro señales se convierten en ocho señales hasta N señales. Las pérdidas de inserción teóricas atribuibles a estos divisores se pueden calcular, por ejemplo, usando la siguiente ecuación:

Pérdidas =  $-10\log(N)$  dB

(2)

Esto significa que las pérdidas se incrementan en aproximadamente 3 dB por cada doblamiento de los puertos del divisor. Adicionalmente, estos PPSs 400 son pasivos (es decir, no incrementan la ganancia de la señal óptica) y recíprocos, lo cual significa que el PPS se puede usar en ambas direcciones (el PPS puede actuar como un combinador aunque con las mismas pérdidas de inserción. De este modo, en el caso de una GPON que use un PPS, la luz que viaja desde la dirección de la ONT (sentido ascendente) a la OLT experimenta las pérdidas de inserción completas de  $-10\log(N)$  dB.

### Divisor de potencia pseudo-pasivo

Según realizaciones ejemplificativas, una estructura de divisor de potencia pseudo-pasivo (PPPS) 500 según se muestra en la Figura 5 se puede usar para minimizar las pérdidas de inserción de los divisores, así como para proporcionar otras ventajas con el fin de mejorar la distancia con intensidad de la señal óptica utilizable dentro de una PON. El PPPS 500 incluye dos trayectos de señal de datos óptica (sentido ascendente y sentido descendente), un trayecto de potencia (luz y eléctrico) y un trayecto de control. Tal como se muestra mediante las flechas en la Figura 5, a las señales ópticas que pasan a través del PPPS 500 desde un lado 502 de la OLT hacia un lado 528 de la ONT se les hará referencia en la presente como señales ópticas de "sentido descendente" o de "enlace descendente". Por el contrario, a las señales ópticas que pasan a través del PPPS 500 en la dirección opuesta (hacia el lado 502 de la OLT) se les hará referencia en la presente como señales ópticas de "sentido ascendente" o de "enlace ascendente". Para señales que entran en o salen del PPPS 500, se usan multiplexores de longitudes de onda regulares, tales como filtros de película delgada y bajas pérdidas (TFFs) 504 (lado del sentido ascendente), 506, 508 y 510 (lado del sentido descendente) para separar/combinar longitudes de onda de enlace ascendente, de enlace descendente y de bombeo según se requiera. Alternativamente, en lugar de usar un TFF 504, 506, 508 y 510, se podría usar una rejilla de agrupación de longitudes de onda (AWG). En el trayecto de sentido descendente, se reciben señales ópticas desde el lado de la OLT 502 por medio del TFF 504. El TFF 504 puede recibir por lo menos dos señales ópticas de sentido descendente sobre dos longitudes de onda o intervalos de longitudes de onda diferentes. Una señal óptica de sentido descendente incluye los datos de sentido descendente para las diversas ONTs, que se pueden transmitir sobre una o más longitudes de onda ópticas reservadas para la transmisión de datos, y la segunda señal óptica de sentido descendente (que es potencia lumínica 516) se puede transmitir sobre una longitud de onda diferente, es decir, diferente con respecto a las longitudes de onda de datos de sentido descendente y sentido ascendente usadas por la PON. A continuación, la longitud de onda de sentido descendente se reenvía a un amplificador opcional 512 (el cual podría ser, por ejemplo, o bien un amplificador óptico de semiconductores (SOA), o bien un amplificador de fibra, tal como, un amplificador de fibra dopada con fósforo (PDFA) o un amplificador Raman) para su amplificación antes de que la señal óptica de sentido descendente, que es una señal de onda continua de alta velocidad, se divida en un PPS 514 de 1:N.

Si hay presente y se usa un amplificador opcional 512, es necesario suministrar potencia al amplificador opcional 512. Se reenvía potencia lumínica 516 desde el TFF 504 a una unidad de bombeo de potencia (PPU) 518. Esta potencia lumínica 516 se puede usar de diferentes maneras para alimentar diferentes dispositivos dentro del PPPS 500 según resulte necesario. Por ejemplo, si el amplificador opcional 512 es un PDFA o un amplificador Raman, se puede bombear potencia lumínica 516 a través de la unidad 518 de potencia al amplificador opcional PDFA 512 con fines relacionados con la alimentación de potencia. Si el amplificador opcional 512 es un SOA, entonces la potencia lumínica 516 se puede convertir en electricidad en la unidad de conversión de potencia (PCU) 520, y la potencia eléctrica se envía al amplificador opcional SOA 512 para su uso. La potencia lumínica 516 se puede convertir, por ejemplo, en electricidad por medio de elementos fotovoltaicos con una eficiencia de conversión de hasta aproximadamente 80%. En la mayoría de realizaciones ejemplificativas, en función del láser de bombeo y de la longitud de onda usados, se puede generar por lo menos 1 W de potencia eléctrica a partir de luz transmitida sobre una fibra monomodo convencional con un alcance de entre 10 y 20 km.

Adicionalmente, otros dispositivos que pueden encontrarse dentro del PPPS 500 reciben potencia de las unidades 518 y 520 según se requiera. Por ejemplo, otros amplificadores, tales como un amplificador óptico variable (VOA) 522 ó un amplificador de fibra dopada con torio (TDFa) pueden recibir o bien potencia lumínica o bien potencia eléctrica en función de qué tipo de amplificador se use, y la potencia eléctrica se envía a la unidad de control y conmutación (CSU) 524. Las realizaciones ejemplificativas antes descritas con respecto a la alimentación del PPPS 500 mostrado en la Figura 5 también se pueden modificar de tal manera que la potencia lumínica se reciba desde el lado 528 de la ONT en lugar del lado de la OLT 502. Por ejemplo, en un sistema con 64 divisiones que permite 64 ONTs, mientras una ONT está transmitiendo datos, las otras 63 ONTs pueden transmitir luz para alimentación de potencia. Esto puede observarse en la Figura 5, donde se está reenviando potencia lumínica 538 desde la LSU 526 a la PPU 518 con fines relacionados con la alimentación de potencia. Como puede observarse, cuantas más divisiones permisibles, más ONTs, mayor será la posible potencia recibida para su uso en el PPPS 500.

Después de la amplificación óptica, en caso de que se produzca, en el amplificador opcional 512, la señal óptica se envía al PPS 514. El PPS 514 divide la señal óptica recibida en N señales para cada uno de los N TFFs del lado de sentido descendente, tal como se muestra mediante el TFF1 506, el TFF2 508 y el TFFn 510. Esta división de la señal óptica se lleva a cabo típicamente según una manera que se ha descrito anteriormente con respecto a la Figura 4. A continuación, estos TFFs (506, 508 y 510) reenvían las señales ópticas a sus ONTs asociadas.

Según realizaciones ejemplificativas, el PPPS 500 tiene la capacidad de actuar como un combinador en la dirección del sentido ascendente. Se reciben señales ópticas desde las ONTs 1 a N (representadas mediante el lado 528 de la ONT) asociadas a la GPON. Estas señales ópticas se reciben de acuerdo con sus intervalos de tiempo predeterminados en sus TFFs asociados (TFF1 506, TFF2 508 y TFFn 510). Desde el TFF1 506 una señal óptica recibida se reenvía a su unidad de acoplador con derivación<sup>1</sup> (TCU1) asociada 530, presentando la TCU1 530, por ejemplo, una baja relación de derivación de aproximadamente entre el 1 y el 5% de la potencia de la señal. La TCU1 530 envía la señal óptica recibida a la unidad 526 de conmutación de luz y una señal de control de activación/desactivación a la unidad 524 de conmutación de control. La LSU 526 recibe también señales ópticas desde las otras TCUs, por ejemplo, la TCU2 532 a la TCUn 534. La CSU 524 recibe también señales de control de activación/desactivación desde las otras TCUs, por ejemplo, la TCU2 532 a la TCUn 534. A partir de las señales de control recibidas, la lógica de control dentro de la CSU 524 ordena a la LSU 526 cuándo girar espejos (no mostrados en la Figura 5, que se describe posteriormente) dentro de la misma para recibir la señal óptica apropiada. De esta manera, la LSU 526 crea una señal combinada, de una manera sustancialmente sin pérdidas para el sentido ascendente de transmisión desde todas las ONTs del sentido descendente. Más abajo se proporcionan más detalles en relación con la CSU 524 y la LSU 526.

La señal combinada se envía desde la LSU 526 a un amplificador opcional 522 (si estuviera presente), tal como un amplificador óptico variable (VOA) para su amplificación. Alternativamente, si la potencia es una limitación o resulta deseable mantener pasiva parte del sistema, podría usarse un atenuador óptico variable en lugar del amplificador opcional 522. Adicionalmente, en función de la necesidad y/o el tipo de amplificador usado como amplificador opcional 522, también puede llevarse a cabo una ecualización y/o atenuación tal como se describe también de forma más detallada posteriormente. Para facilitar esta amplificación, el amplificador opcional 522 recibe potencia apropiada según se requiera (de una manera similar a la descrita antes para el amplificador opcional 512) y una señal de control desde la CSU 524 para configurar la atenuación deseada. Desde el amplificador opcional 522, a continuación la longitud de onda de enlace ascendente se envía al TFF 504 para la transmisión en sentido ascendente hacia el lado 502 de la OLT.

Tal como se ha descrito anteriormente, el funcionamiento de la CSU 524 y la LSU 526 ayuda a reducir las pérdidas de la señal óptica en la dirección del sentido ascendente. Según realizaciones ejemplificativas, la CSU 524 lleva a cabo dos tareas. A saber, la CSU 524 envía señales de temporización a la LSU 526 y señales de control al amplificador opcional 522 (si estuviera presente). Las señales asociadas a la CSU 524 según una realización ejemplificativa, se ilustran en las Figuras 6(a)-(b) e incluyen señales de entrada de las TCUs 530, 532 y 534, una señal de salida S 602 y una señal de salida A 604. Desde las diversas TCUs se reciben señales de entrada (a las que se hace referencia también en la presente como señales de activación/desactivación de control), por ejemplo, L<sub>1</sub> 606 se recibe desde la TCU1 530 y L<sub>N</sub> 608 se recibe desde la TCUn 534. Estas señales de entrada incluyen información referente a la temporización con relación a los diferentes intervalos de transmisión de ONT e información sobre la potencia de transmisión de las señales recibidas desde las diferentes ONTs. Pueden observarse ejemplos de estas señales de entrada en las señales 610, 612 y 614, donde se muestran diferentes niveles de potencia e intervalos de tiempo para cada una de las señales 610, 612 y 614.

Sobre la base de estas entradas recibidas, se envía una señal de temporización S 602 desde la CSU 524 a la LSU 526. La señal S 602 tal como se muestra en la señal 616 presenta una serie de picos. Cada pico en la señal 616 le indica a la LSU 526 que conmute el trayecto de luz para que se reciba la siguiente señal de ONT. Por ejemplo, el pico 620 podría indicar la conmutación al trayecto de luz asociado a la señal de ONT proveniente de la TCU2 508. La señal A 604 se usa, por ejemplo, para configurar la amplificación (o atenuación en función de si, como amplificador opcional 522, se usa un amplificador o un atenuador) para el amplificador opcional 522 e incluye niveles de temporización y potencia asociados a la señal óptica combinada que se transmite en sentido ascendente desde la LSU 526 tal como se muestra en la señal 618.

Estas señales ejemplificativas se pueden describir adicionalmente usando el diagrama de la función de la CSU 524 tal como se muestra en la Figura 7. Las señales de entrada ópticas L<sub>1</sub> 606 a L<sub>N</sub> 608 se reciben en las CSU 524 y experimentan una conversión óptica a eléctrica 702. Estas señales convertidas se envían para su procesado por parte de un generador 704 de funciones que genera la suma (llevada a cabo en el dominio electrónico) y transmite la suma en forma de dos salidas. La señal de salida A 604 se puede enviar al amplificador opcional 522 sin ningún procesado adicional, pero la otra señal de salida tiene una diferenciación de la suma llevada a cabo con respecto al tiempo (d/dt) 706 antes de convertirse en la señal de salida S 602 y transmitirse a la LSU 526.

La temporización involucrada con las señales recibidas que conduce, por ejemplo, a la conmutación de espejos dentro de la LSU 526, se puede efectuar, por ejemplo, de acuerdo con las constantes de temporización que se describen en G.984.1-4 para GPONs. Por ejemplo, la G984.2 especifica el tiempo suplementario físico (Tplo) que precede a cualquier ráfaga de sentido ascendente. Este tiempo suplementario se usa para cinco procesos físicos en la GPON, que son los siguientes: (1) tiempo de activación/desactivación del láser, (2) tolerancia de deriva de temporización, (3) recuperación del nivel, (4) recuperación del reloj y (5) inicio de la delimitación de la ráfaga. Se especifican ventanas de temporización para velocidades de sentido ascendente relevantes tal como se muestra a continuación en la Tabla 4.



Tabla 4 – Ventanas de Tiempo para Velocidades de Sentido Ascendente

| Velocidad de Sentido Ascendente (Mbit/s) | Bytes Suplementarios (Bytes) | Tiempo Correspondiente |
|--|------------------------------|------------------------|
| 1.244,16 (real)                          | 12 (96 bits)                 | 77 ns                  |
| 2.488,43 (futuro)                        | 24 (192 bits)                | 77 ns                  |

La Figura 8 muestra un diagrama ejemplificativo de temporización de sentido ascendente asociado a señales ópticas de sentido ascendente que pueden pasar a través del PPPS 500. El diagrama de temporización de sentido ascendente ilustra los tipos de datos de sentido ascendente enviados, la secuencia de temporización relativa y número de bits permitidos para cada campo de datos de sentido ascendente basándose en las dos velocidades de transmisión diferentes. El tiempo de guarda (Tg) 802 y los tiempos de activación/desactivación del láser responden por 32 bits con una velocidad de transmisión de 1,25 Gbit/s y 64 bits para una velocidad de transmisión de 2,5 Gbit/s. El tiempo correspondiente, Tg 802, es en la actualidad 25,7 ns y, como tal, el tiempo de guarda Tg 802 es suficientemente largo para permitir la conmutación de los espejos en la LSU 526 y para configurar el amplificador opcional 522 (o atenuador óptico opcional). El tiempo de guarda podría ser incluso mayor en función de las implementaciones del sistema óptico. Por ejemplo, la adición de cajas ampliadoras del alcance al sistema requeriría la extensión de la banda de guarda a por lo menos 72 bits, lo cual se corresponde con un tiempo de 57 ns. Por otra parte, puede observarse a partir de la Figura 8 que la longitud mínima de una ráfaga de sentido ascendente viene dada por una ráfaga que contiene únicamente tara de la capa física (PLOu) a una velocidad de 1,25 Gbit/s, que en total contiene 44 bits de preámbulo, 20 bits de delimitador, 1 byte de paridad entrelazada (BIP), 1 byte de ID de ONU y 1 byte de informe de estado. Para una velocidad de transmisión de 2,5 Gbit/s, la PLOu en total contiene 108 bits de preámbulo, 20 bits de delimitador, 1 byte de paridad entrelazada (BIP), 1 byte de ID de ONU y 1 byte de informe de estado. Convirtiendo este bloque de datos en una referencia de tiempo, la ráfaga mínima duraría entonces 70,6 ns a una velocidad de transmisión de 1,25 Gbit/s y 61 ns a una velocidad de transmisión de 2,5 Gbit/s. De este modo, en el mínimo, los espejos en la LSU 526 permanecerán en una única posición sin la necesidad de conmutación para 61 ns. Esto a su vez significa que el periodo mínimo para la señal de conmutación S 602 de la LSU 526 debería ser del orden de la suma de los periodos de tiempo para Tg 802 más el tiempo asociado a la PLOu, que es aproximadamente 87 ns ó 11,49 MHz. Por lo tanto, según realizaciones ejemplificativas, una CSU 524 debería generar la señal S 602 y la señal A 604, por ejemplo, a una velocidad mayor que 11,49 MHz.

A continuación se describirá una LSU ejemplificativa 526 usando la CSU ejemplificativa 524 antes descrita y señales y lógica de control asociadas. La LSU 526 se puede implementar, por ejemplo, como un dispositivo mecánico en el dominio del tiempo, que es no recíproco y por lo tanto permite una conmutación básicamente sin pérdidas de trayectos de luz. Las Figuras 9(a)-9(b) muestran un dispositivo ejemplificativo de 2:1, en el que un espejo giratorio 900 conmuta la luz de diferentes fibras de entrada a la fibra 902 de salida. Inicialmente, en la Figura 9(a), la luz está entrando desde la fibra de entrada1 904 y va hacia la unidad 908 de espejo y sale dirigiéndose a la fibra 902 de salida. A continuación, se completa la señal de la fibra de entrada1 904, y la unidad 908 de espejo cambia su posición, por ejemplo, a la posición indicada como una línea discontinua. Esta rotación de la unidad 908 de espejo se puede llevar a cabo en una manera por pasos durante las ventanas de transmisión de ONT, por ejemplo, un periodo de interrupción (tal como se muestra mediante el tiempo 808 de desactivación de TX en la Figura 8), bajo el control de la CSU 524 a través de la señal S 602. En este momento, la unidad 908 de espejo está preparada para recibir una señal óptica desde la fibra de entrada2 906. En la Figura 9(b) puede observarse que la unidad 908 de espejo se ha girado, está recibiendo en este momento una señal óptica desde la fibra de entrada2 906 y está dirigiendo esa señal óptica a la fibra 902 de salida. Aunque la LSU 526 mostrada en la Figura 9 es un dispositivo de conmutación de 2:1, debería entenderse que la LSU 526 se puede implementar de forma más general como un dispositivo de conmutación de N:1, siendo N una potencia de 2 y usándose los N dispositivos de una manera similar a la mostrada con respecto a los divisores en la Figura 4.

Para enlaces ascendentes de GPON, hay disponible un tiempo de, por ejemplo, 25 ns para voltear/girar el espejo en la LSU 526. Con un diámetro de modo mayor que, por ejemplo, 9,72  $\mu\text{m}$  para la transmisión monomodo y suponiendo que el 95% de la potencia está dispuesto en 5x el radio del modo en el revestimiento, la dimensión del espejo puede ser, por ejemplo, aproximadamente 36  $\mu\text{m}$ . Este tamaño queda claramente dentro de las capacidades actuales de las técnicas de fabricación de silicio, por ejemplo, en la que elementos de tecnología de un tamaño de 0,9  $\mu\text{m}$  se pueden colocar en silicio actualmente. Según una realización ejemplificativa, una LSU 526 de tipo chip de silicio que use espejos MEMS ópticos tendrá unas pérdidas de inserción menores que 1 dB y un tiempo de conmutación de, por ejemplo, 25 ns. No obstante, se pueden usar según se desee diferentes combinaciones de tiempo de conmutación y pérdidas, particularmente cuando influyen variables potenciales tales como el coste, cambios en la temporización en sentido ascendente, cambios de normativas y facilidad de fabricación de dispositivos. Otra tecnología de conmutación ejemplificativa que se puede usar para implementar la LSU 526 trabaja sobre el principio del conmutador acoplador vertical (VCS)/SOA y tiene un tiempo de conmutación bajo, por ejemplo, inferior a 1,5 ns, y unas pérdidas bajas, aproximadamente 0 dB. El principio del VCS/SOA se puede describir de manera general como la división del trayecto de las ondas en un resonador alineado verticalmente que está introduciendo una amplificación. Así, la división de la señal se ve compensada por una pequeña amplificación en el resonador. Para implementar la LSU 526 también se pueden utilizar todavía otras técnicas de conmutación. Por ejemplo, para fabricar la LSU 526 se puede usar una variedad de otras tecnologías de conmutación en espacios

ópticos, mostradas en la siguiente Tabla 5, tales como conmutadores electro-ópticos basados en un Interferómetro de Mach-Zehnder (MZI), SOA o VCS así como conmutadores holográficos, dispositivos de microespejo del Sistema Micro-ElectroMecánico (MEMS) denominados MEMS Ópticos (OMM) y tecnología de deflectores de haces electro-ópticos también pueden llevar a cabo la función de conmutación en la LSU 526.

Tabla 5 – Conmutadores en Espacio Óptico

| Ref.                     | Material                         | Principio  | Efecto de conmutación         | del x O  | Tiempo de conmutación | Pérdidas (dB) | Interferencia cruzada (dB) | PDL (dB) | Potencial/Voltaje |
|--------------------------|----------------------------------|--|-------------------------------|----------|-----------------------|---------------|----------------------------|----------|-------------------|
| MZI EO                   | Sustrato de InP/InGaAsP a granel | MZI  | EO                            | 4x4      | 200 ps                | <6 (F-F)      | < -13                      | < 1      | 4,5 V             |
| DOS VCS                  | Sustrato de InP/InGaAsP a granel | VCS/SOA  | Inyección de portadores       | de 4x4   | < 1,5 ns              | 0 (F-F)       | -50                        |          | 5 V               |
| Conv DOS VCS             | Sustrato de InP/InGaAsP a granel | Conversión w/ VCS/SOA (a Gbit/s)   | Inyección de portadores y XGM | de 4x4   | < 1,5 ns              | 0 (F-F)       | -9                         |          | 5 V               |
| Ramificación en Y EO     | PZT/PLZ (Nb:ST) sustrato         | Arquitectura de encaminador-selector   | EO                            | 8x8      | ~ 20 ns               | -5            | -40                        |          | 10 V              |
| Ramificación en Y DOS SC | InP / InGaAsP                    | Arquitectura de encaminador-selector ensamblaje híbrido                      | Inyección de portadores       | de 8x8   | < 100 ns              | 25            | -13                        | -3       | 340 mW            |
| HOLOGR                   | Cristal de KLTN                  | Electroholografía de doble fase  |                               | 240x240  | 30 ns                 | ~ 4           |                            |          | < 300 W           |
| Deflectores de haz EO    | AlGaAs/GaAs Sustrato cerámico    | Deflectores de agrupamiento de guías de ondas (dispositivo en espacio libre) | Modulación de fase EO         | de 64x64 | < 20 ns               | ~ 15          | -19,5                      |          |                   |

Según otra realización ejemplificativa, la LSU 526 se puede alimentar por medio de los láseres del lado de la ONT que no están transmitiendo en ese momento una señal de datos óptica. A continuación se describirá esta característica ejemplificativa con respecto a la Figura 10. La Figura 10 muestra unos datos 1002 de fibra de salida que están recibiendo actualmente una señal óptica 1012 desde la fibra de entrada<sup>1</sup> 1008 sobre la base de la posición actual de la unidad 1010 de espejo. La fibra de entrada<sup>2</sup> 1006 está recibiendo una señal óptica 1010 desde una primera ONT que está siendo dirigida a la potencia 1004 de la fibra de salida. En un entorno PON, típicamente una única ONT está transmitiendo cada vez tal como se ha descrito anteriormente con respecto a la Figura 2. No obstante, en esta realización ejemplificativa, los láseres de las otras ONTs están transmitiendo luz para alimentación de potencia sobre la misma longitud de onda que la ONT que está transmitiendo datos. La CSU 524 controla la unidad 1014 de espejo en la LSU 526, de tal manera que se están recibiendo los datos correctos y la(s) otra(s) señal(es) óptica(s) recibida(s) se están reenviando al destino correcto, es decir, como potencia lumínica 538 a la PPU 518. Adicionalmente, la LSU 526 podría recibir potencia de una manera similar a la descrita anteriormente para el amplificador opcional 522 ó la CSU 524, según se desee.

Después de que se combine la señal óptica en la LSU 526, la misma se hace pasar al amplificador opcional 522. El amplificador opcional 522 es típicamente un amplificador óptico variable (VOA) (o atenuador óptico variable) que se usa para amplificar o atenuar la amplitud de la señal según se requiera. La variación de la amplitud se produce típicamente debido a que ONTs diferentes están ubicadas a distancias diferentes con respecto al PPPS 500. De este modo, un VOA 522 amplifica o atenúa las señales para que presenten una amplitud sustancialmente similar sobre la base de la señal de control recibida A 604 desde la CSU 524, antes de enviar las señales ópticas al TFF 504 para su transmisión al lado 502 de la OLT. Este uso de un VOA 522 proporciona la ventaja adicional de permitir que la OLT de sentido ascendente use un intervalo de decisión fijado para determinar si una señal es válida o no, lo cual puede reducir la penalización por las ráfagas.

Según otra realización ejemplificativa, el PPPS 500 puede actuar como un acoplador inteligente y llevar a cabo algunas de las tareas y funciones realizadas tradicionalmente por una OLT. Por ejemplo, se puede almacenar lógica en una memoria (no mostrada) dentro del PPPS 500 que, conjuntamente con capacidades de procesado, puede llevar a cabo tareas tales como supervisión óptica, por ejemplo, monitorizar e informar sobre daños y roturas de las fibras, terminación de protocolos que permitan una interoperabilidad entre diferentes PONs, así como diversas funciones de seguridad. Adicionalmente, este acoplador inteligente ejemplificativo puede llevar a cabo una reflectometría óptica en el dominio del tiempo (OTDR) para ejecutar un establecimiento mejorado de correspondencias de la red óptica lo cual podría proporcionar una información mejor para emparejar ONTs con sus distancias específicas con respecto al acoplador. La memoria y las funciones de procesado se pueden añadir al PPPS 500 como entidades independientes, o se pueden combinar con las capacidades de la CSU 524.

Aquellos expertos en la materia apreciarán que, según las realizaciones ejemplificativas antes descritas, se han presentado métodos y sistemas para reducir las pérdidas de inserción en PONs. Esta reducción de las pérdidas de inserción se puede usar para proporcionar un mayor alcance para señales ópticas en una PON. Alternativamente, o de forma conjunta con un aumento del alcance de la señal en una PON, esta reducción de las pérdidas de inserción puede proporcionar la oportunidad de incrementar el número de divisiones en la PON desde, por ejemplo, un número típico de divisiones usado en las GPONs de la actualidad, por ejemplo, 64, hasta un número mucho mayor de divisiones, por ejemplo, 512, 1.024, 2.048 ó más, en función del alcance deseado y de la reducción concreta de pérdidas de inserción obtenida para una implementación particular. La siguiente descripción de ecualizadores de potencia proporciona otras técnicas ejemplificativas para reducir las pérdidas de inserción en una PON.

### **Ecualizador de potencia**

Tal como se ha descrito anteriormente, la inserción de un PPPS 500 en una PON puede reducir las pérdidas de la señal óptica e incrementar el alcance de la misma. Tal como se ha mencionado en Antecedentes, otra alternativa para incrementar el alcance de la señal es amplificar la señal de tal manera que se eviten algunos de los problemas asociados a los elevadores. Por consiguiente, otras realizaciones ejemplificativas incluyen el uso de un ecualizador de potencia (PE) en una PON. Según diferentes realizaciones ejemplificativas, diferentes tipos de ecualizadores de potencia se pueden colocar en diferentes ubicaciones dentro de una PON para incrementar el alcance de la señal óptica tal como se describirá posteriormente.

Los ecualizadores de potencia se pueden describir en general como dispositivos que ecualizan señales ópticas a través de un ajuste de amplitud típicamente aplicando ganancia o atenuación. Estos ecualizadores de potencia típicamente reciben alimentación de potencia desde una fuente de alimentación para llevar a cabo estos ajustes, y también reciben típicamente información referente a las señales ópticas con el fin de efectuar dichos ajustes. En la solicitud de patente, número de publicación US 2004/0247246 A1, presentada el 23 de octubre de 2003, de Lee et al, se describe un ejemplo de un ecualizador de potencia. En la publicación de Lee et al. (en lo sucesivo en la presente "Lee"), se coloca un ecualizador de potencia entre el divisor óptico pasivo y la OLT en una PON. Un ejemplo de un ecualizador de potencia descrito en Lee usa un SOA conjuntamente con un circuito de control activo de ganancia y un elemento de retardo que modifica la señal óptica basándose en amplitudes medidas de señales ópticas entrantes. Mientras que el ecualizador de potencia de Lee modifica la intensidad de la señal sobre la base de amplitudes determinadas recibidas, otros tipos de ecualizadores de potencia (así como otras ubicaciones para colocar ecualizadores de potencia ópticos dentro de un sistema) ofrecen potencialmente otras ventajas interesantes

en las PONs tal como se describirá posteriormente.

Los PEs particularmente interesantes según estas realizaciones ejemplificativas se pueden descomponer en las dos categorías generales en el presente documento: adaptativos o planificados. En un tipo de PE adaptativo, las modificaciones sobre las señales ópticas recibidas se basan en mediciones de las amplitudes de las señales ópticas recibidas. Un método para determinar la potencia de la señal óptica recibida es dividir (derivar) una pequeña porción de la potencia óptica recibida a un diodo PIN (un diodo con una región de semiconductor no dopada entre una región de semiconductor tipo p y tipo n) para su medición. Adicionalmente, en un tipo de PE adaptativo, con frecuencia es necesario tener en cuenta un retardo de procesamiento mientras el sistema determina la amplitud de la señal con derivación y ajusta de forma correspondiente el PE para ecualizar las señales ópticas recibidas. Además, por comparación, un tipo de PE adaptativo tiende a ser rápido, o a reaccionar rápidamente, mientras que un tipo de PE planificado puede ser más lento y tiende a ser menos costoso que un tipo de PE adaptativo.

En un tipo de PE planificado, según realizaciones ejemplificativas, un planificador del sistema está en comunicación con el PE. El planificador del sistema sabe cuándo la OLT recibe señales de las diversas ONTs, y sabe con qué potencia(s) óptica(s) están transmitiendo las ONTs de sentido ascendente. El planificador del sistema obtiene esta información durante un "procedimiento de telemetría" que se produce durante el arranque de la ONT. Esta información permite que el planificador ajuste el PE en el tiempo para la llegada de una nueva señal de ONT.

En relación con el procedimiento de telemetría, la finalidad principal del procedimiento de telemetría es que la ONT sincronice su tiempo con respecto a la OLT midiendo el retardo de ida y vuelta. La OLT conoce la potencia de la señal de la ONT (recién instalada) a partir de la primera señal enviada, (con independencia del tipo de mensaje), midiendo la potencia óptica media del mismo modo que los dispositivos de punto extremo en un sistema de punto-a-punto, que no llevan a la práctica ninguna telemetría, conocen sus respectivas potencias de la señal. En nuestra PON ejemplificativa, la primera señal de la ONT forma parte del proceso de telemetría. Por lo tanto, el planificador de la OLT sabe cuánto debería atenuarse cada señal de ONT para que todas ellas tengan el mismo, o sustancialmente el mismo, nivel de potencia después del procesamiento por parte del PE. Además, el planificador de la OLT determina la planificación de las subsiguientes comunicaciones de datos después de la telemetría, y así dispone de toda la información en el momento en el que cada señal de las ONTs llega a la OLT.

Dentro de estos dos tipos generales de PEs, es decir, adaptativo y planificado, se pueden definir dos categorías secundarias: aquellos que aplican ganancia a las señales ópticas recibidas y aquellos que no lo hacen. Esto permite que los PEs se clasifiquen en cuatro tipos tal como se muestra a continuación en la Tabla 7. Adicionalmente, en la Tabla 7 se muestra un ejemplo de tipos diferentes de técnicas/tecnología que se pueden usar para implementar cada tipo de PE, aunque estos ejemplos no pretenden ser exhaustivos.

Tabla 7 – Matriz de PE de Muestra

|             | Sin Ganancia                             | Con Ganancia   |
|-------------|--|--|
| Adaptativo  | Modulador óptico con monitor de potencia | SOA con saturación de ganancia                                       |
| Planificado | Atenuador óptico micro-mecánico          | Amplificación paramétrica (efecto Kerr) con láser de bombeo variable |

Estos cuatro tipos de PEs permiten métodos diferentes para mejorar el alcance de la señal óptica, por ejemplo, en la dirección del sentido ascendente, colocándolos en una PON. Adicionalmente, existen opciones sobre en qué lugar de una PON colocar un ecualizador de potencia, lo cual hace que aumente adicionalmente la flexibilidad de un PE tal como se describirá posteriormente.

Según realizaciones ejemplificativas, cualquiera de los tipos diferentes de PEs descritos anteriormente se puede ubicar en una tarjeta 1102 de OTRx dentro de un chasis 1104 de OLT tal como se ilustra en la Figura 11. La señal de las ONTs es recibida por la tarjeta 1102 de OTRx e inicialmente se traslada a un filtro diplexor (DP) 1104 dispuesto en la misma. Las señales se separan y se envían al PE 1106 el cual lleva a cabo la ecualización según se ha descrito previamente. A continuación, el PE 1106 reenvía la señal ecualizada al PIN 1108 el cual lleva a cabo la conversión óptica a eléctrica. Si el PE 1106 es del tipo planificado, tal como se muestra en la Figura 11, el planificador 1110 del sistema controlará el PE 1106. Si el PE 1106 es un tipo de PE adaptativo, los otros componentes deseados, por ejemplo, un circuito de control de ganancia y un elemento de retardo, aunque no se muestran en la Figura 11, estarán presentes según se requiera. Alternativamente, algunos componentes se podrían combinar tales como el PIN 1108 y el transmisor (Tx) 1112. Adicionalmente, las señales 1114 y 1116 ilustran intensidades ópticas relativas para señales de las ONTs antes de la ecualización y después de la ecualización, respectivamente.

Según otras realizaciones ejemplificativas, el PE 1204 se puede ubicar de forma independiente con respecto a la OLT 1202, por ejemplo, en su propia ubicación entre la OLT 1202 y un PPS 1206 según se muestra en la Figura 12. En estas realizaciones ejemplificativas, cada uno de los cuatro tipos generales de PEs 1206, tal como se muestra en la anterior Tabla 7, podría ser el PE 1206 elegido en función de factores relacionados con la PON en la cual se

colocaría el PE. Por ejemplo, considerando el caso de un PE planificado, pasivo, un diseñador del sistema podría considerar las siguientes características de funcionamiento y compararlas con otros factores que influyan en el diseño de una PON, tales como la longitud y el coste. En primer lugar, el PE pasivo, planificado, puede ser más lento a la hora de fijar un nuevo nivel de equalización (atenuación), en la medida en la que el planificador añade señalización de control (suplementaria) de antemano antes de que llegue cada señal nueva, y por lo tanto el PE pasivo, planificado, puede resultar menos avanzado y consecuentemente menos costoso que un dispositivo adaptativo/de ganancia. En segundo lugar, el PE pasivo, planificado, puede ser mucho más amplio en la longitud de onda de funcionamiento lo cual significa que puede estar disponible para su uso el espectro completo de la fibra. De este modo, se puede usar para sustentar otro crecimiento futuro, por ejemplo, diferentes longitudes de onda y multi-señales. En tercer lugar, el PE pasivo, planificado, no tiene ninguna limitación en cuanto a velocidades de bits tal como si la tienen actualmente los SOAs típicos. Y en cuarto lugar, en el caso de señales de múltiples longitudes de onda, el dispositivo pasivo no impondría ninguna interferencia cruzada entre las señales tal como puede hacerlo un SOA.

Adicionalmente, otros dispositivos pueden o bien formar parte del PE 1024 ó bien estar en comunicación íntima con el PE 1024. Por ejemplo, puede que resulte necesario suministrar potencia al PE 1204. Si el PE 1204 es un PE 1204 adaptativo, entonces se pueden incluir un circuito de control de ganancia y un elemento de retardo. Si el PE 1204 es un PE planificado, entonces se puede incluir un mecanismo para comunicar la planificación de temporización y potencias de salida de ONT al PE 1204. Este último mecanismo se podría implementar según una variedad de maneras tales como, por ejemplo, proporcionando al PE 1204 la capacidad de fisgonear la información de planificación de señales ópticas que contienen el denominado mapa de ancho de banda (es decir, la información para las ONTs, desde el planificador de la OLT, sobre cuándo las ONTs pueden enviar su siguiente trama de información) entre la OLT 1202 y las ONTs activas en la PON así como memoria para almacenar la información.

Según otra realización ejemplificativa, un equalizador de potencia se puede colocar en el PPPS 500 en lugar del amplificador opcional 522. Más específicamente, los PEs con ganancia pueden proporcionar ventajas adicionales al colocarse más cerca de las ONTs, por ejemplo, puesto que el ruido es inversamente proporcional a la potencia de la señal, el tener potencias más altas de la señal de entrada en el elemento de ganancia tal como sería el caso de mayor proximidad a las ONTs, añade menos ruido a la señal. Esto se aplica tanto para el PE de ganancia adaptativa, por ejemplo, un SOA con saturación de ganancia, como para el PE de ganancia planificada, por ejemplo, una amplificación paramétrica (efecto Kerr) con láser de bombeo variable. Para que el PE con saturación de ganancia sustituya al amplificador opcional 522, serían necesarios pocos o ningún cambio en el PPPS ejemplificativo 500 antes descrito puesto que la potencia de salida está fijada y la capacidad de alimentar el PE con saturación de ganancia en el PPPS 500 ya está presente según se ha descrito previamente para la alimentación de un amplificador opcional 522. Para la amplificación paramétrica con láser de bombeo variable, se realizarían cambios mínimos asociados al control del PE, en el PPPS 500. Por ejemplo, es necesario que el PPPS 500 obtenga la información de planificación referente a la información de temporización y de potencia de salida de la ONT para controlar apropiadamente el PE. Esto podría producirse, por ejemplo, proporcionando al PPPS 500 la capacidad de fisgonear la información referente a la asignación de ancho de banda (mapa de ancho de banda) de sentido ascendente, que es enviada por la OLT en sentido descendente dentro de cada trama. Esto permitiría que un PPPS 500 con un PE planificado amplificase/atenuase señales, según fuese necesario, de una manera similar a la descrita anteriormente en donde el PE está ubicado dentro de la OLT y está en comunicaciones con un planificador del sistema. Alternativamente, esta información se podría transmitir al PPPS 500 por medio de la OLT. El uso de un PE planificado en el PPPS 500 podría proporcionar varias ventajas, tales como, reducir/eliminar la necesidad de la presencia (puesto que la necesidad de derivar la señal y determinar la intensidad de la señal entrante ya no existe) de las TCUs (530, 532 y 534). Las señales de control S 602 y A 604 de la CSU 524 se determinarían entonces basándose en información recibida mediante fisgoneo (*snooping*) o información directamente transmitida al PPPS 500 desde el planificador 1110 de la OLT.

Obsérvese que en algunas realizaciones ejemplificativas, por ejemplo, en las que el PE está colocado en una OLT, el equalizador de potencia no tiene o no usa ningún acoplador externo puesto que el PE 1106 está colocado dentro de la OLT 1104 tal como se muestra en la Figura 11. Además, para los PEs planificados o bien en la OLT 1104 ó bien en el PPPS 500, se elimina la necesidad de una línea de retardo puesto que los diferentes niveles de señal de las ONTs se conocen de antemano, lo cual permite el envío de las señales de control apropiadas al PE con el tiempo para planificar y ejecutar la acción de equalización.

Pueden aparecer ventajas adicionales usando un PE en ciertas circunstancias. Por ejemplo, un PE puede mejorar la sensibilidad del receptor al reducir o eliminar la necesidad de una electrónica compleja en el receptor, lo cual puede reducir la sensibilidad del mismo típicamente en 3 dB o más, para gestionar los niveles variables de potencia óptica particularmente en aplicaciones de alta velocidad de bits. Esta sensibilidad incrementada permite un mayor alcance en la dirección del sentido ascendente, que es normalmente la dirección limitativa. Adicionalmente, cuando el PE incluye una función de ganancia, puede incrementarse además el alcance total del sistema.

En el diagrama de flujo de la Figura 13 se muestra un método para incrementar el alcance de la señal, utilizando los sistemas ejemplificativos antes descritos de acuerdo con realizaciones ejemplificativas. Inicialmente, un método para incrementar el alcance de la señal usando un acoplador en una red de comunicaciones de fibra óptica incluye las etapas de: recibir, en una pluralidad de multiplexores de sentido ascendente dispuestos en el acoplador, una

pluralidad de señales ópticas desde una pluralidad de ubicaciones de sentido ascendente en la etapa 1302; acoplar la pluralidad de señales ópticas de una unidad de conmutación de luz en una señal combinada secuencialmente sobre una fibra de salida en la etapa 1304; y transmitir la señal combinada en la etapa 1306.

5 En el diagrama de flujo de la Figura 14 se muestra un método para reducir las pérdidas de la señal, utilizando los sistemas ejemplificativos antes descritos de acuerdo con realizaciones ejemplificativas. Inicialmente, un método para reducir las pérdidas de la señal en un acoplador en una red de comunicaciones de fibra óptica incluye las etapas de: recibir una señal óptica en un multiplexor sobre una primera fibra en la etapa 1402; recibir un haz de luz en el multiplexor sobre una segunda fibra en la etapa 1404; reenviar la señal óptica a un amplificador en la etapa 1406; amplificar la señal óptica y reenviar la señal óptica a un divisor de potencia pasivo en la etapa 1408; dividir la señal óptica en el divisor de potencia pasivo en la etapa 1410; y reenviar la señal óptica a una pluralidad de multiplexores para su transmisión en sentido ascendente en la etapa 1412.

15 En el diagrama de flujo de la Figura 15 se muestra un método para incrementar la distancia de transmisión, utilizando los sistemas ejemplificativos antes descritos de acuerdo con realizaciones ejemplificativas. Inicialmente, un método para incrementar la distancia de transmisión en una red de comunicaciones de fibra óptica incluye las etapas de: recibir, en una terminación de línea óptica, una pluralidad de señales ópticas desde una pluralidad de ubicaciones de sentido ascendente en un ecualizador de potencia dentro de la terminación de línea óptica en la etapa 1502; ecualizar la pluralidad de señales ópticas de la pluralidad de ubicaciones de sentido ascendente en el ecualizador de potencia en la etapa 1504 y transmitir las señales ecualizadas a una unidad de recepción dentro de la terminación de línea óptica en la etapa 1506.

20 En el diagrama de flujo de la Figura 16 se muestra un método para incrementar la distancia de transmisión, utilizando los sistemas ejemplificativos antes descritos de acuerdo con realizaciones ejemplificativas. Inicialmente, un método para incrementar la distancia de transmisión en una red de comunicaciones de fibra óptica incluye las etapas de: recibir una pluralidad de señales ópticas desde una pluralidad de ubicaciones de sentido ascendente en un ecualizador de potencia, en donde el ecualizador de potencia está ubicado en sentido ascendente con respecto a un divisor/combinador y en sentido descendente con respecto a una terminación de línea óptica, en la etapa 1602; ecualizar la pluralidad de señales ópticas de una pluralidad de ubicaciones de sentido ascendente en el ecualizador de potencia en la etapa 1604; y transmitir las señales ecualizadas en sentido ascendente en la etapa 1606.

30 En el diagrama de flujo de la Figura 17 se muestra un método para incrementar el intervalo de las señales ópticas, utilizando los sistemas ejemplificativos antes descritos de acuerdo con realizaciones ejemplificativas. Inicialmente, un método para incrementar el intervalo de señales ópticas en una red de comunicaciones de fibra óptica incluye las etapas de: determinar ventanas de transmisión y potencias de transmisión para una pluralidad de ubicaciones de sentido ascendente en la etapa 1702; recibir, en una pluralidad de multiplexores de sentido ascendente, una pluralidad de señales ópticas de la pluralidad de ubicaciones de sentido ascendente en la etapa 1704; acoplar en una señal de salida óptica combinada secuencialmente la pluralidad de señales ópticas de la pluralidad de ubicaciones de sentido ascendente basándose en las ventanas de transmisión en la etapa 1706; ecualizar la señal de salida óptica combinada secuencialmente sobre la base de las potencias de transmisión en la etapa 1708; y transmitir una señal óptica combinada secuencialmente, multiplexada y ajustada, en sentido descendente en la etapa 1710.

40 Las realizaciones ejemplificativas antes descritas están destinadas a ser ilustrativas en todos los aspectos, en lugar de limitativas, de la presente invención. Se considera que todas estas variaciones y modificaciones están dentro del alcance de la presente invención según definen las siguientes reivindicaciones. Por ejemplo, si estas mejoras en el alcance de la señal óptica en la dirección de sentido ascendente hacen que ahora la dirección de sentido descendente presente el alcance más corto, en la dirección de sentido descendente se podrían usar varias partes de las realizaciones ejemplificativas antes descritas. Ningún elemento, acción o instrucción usados en la descripción de la presente solicitud deberían considerarse como críticos o esenciales para la invención a no ser que se describan explícitamente como tales. Además, tal como se usa en el presente documento, el artículo "un/una" está destinado a incluir uno o más elementos.

**REIVINDICACIONES**

1. Método para ecualizar señales ópticas que comprende las etapas de:
 

5 recibir una pluralidad de señales ópticas de sentido ascendente en una red óptica pasiva (PON), comprendiendo cada una de dicha pluralidad de señales ópticas una trama de ráfaga PON transmitida desde un transmisor diferente de sentido descendente;

recibir información de planificación para cada una de dicha pluralidad de señales ópticas, en donde dicha información de planificación incluye por lo menos información de temporización y de potencia asociada a dicha pluralidad de señales ópticas; y

10 ajustar cada una de dicha pluralidad de señales ópticas o bien amplificando o bien atenuando cada una de dicha pluralidad de señales ópticas sobre la base de dicha información de planificación para mitigar potencias de señal no uniformes de dichas tramas de ráfaga PON.
2. Método de la reivindicación 1, en el que dicha etapa de ajuste se realiza usando un atenuador óptico micro-mecánico, en donde un planificador ajusta dicho atenuador óptico micro-mecánico basándose en una intensidad conocida de una sucesiva señal óptica a recibir, de entre dicha pluralidad de señales ópticas.
- 15 3. Método de la reivindicación 1, en el que dicha etapa se realiza usando amplificación paramétrica con un láser de bombeo variable, en donde un planificador ajusta dicha amplificación paramétrica con un láser de bombeo variable basándose en una intensidad conocida de una sucesiva señal óptica a recibir, de entre dicha pluralidad de señales ópticas.
4. Método de la reivindicación 1, en el que dicha etapa de ajuste se realiza en una ubicación diferente a una terminación de línea óptica o un acoplador/divisor en un sistema de comunicaciones ópticas.
- 20 5. Nodo para ecualizar señales ópticas que comprende:
 

un puerto de entrada para recibir una pluralidad de señales ópticas de sentido ascendente, comprendiendo cada una de dicha pluralidad de señales ópticas una trama de ráfaga PON transmitida desde un transmisor diferente de sentido descendente;

25 un planificador para recibir información de planificación para cada una de dicha pluralidad de señales ópticas, en donde dicha información de planificación incluye por lo menos información de temporización y de potencia asociada a dicha pluralidad de señales ópticas, y un ajustador para ajustar cada una de dicha pluralidad de señales ópticas o bien amplificando o bien atenuando cada una de dicha pluralidad de señales ópticas sobre la base de dicha información de planificación con el fin de mitigar potencias de señal no uniformes de dichas tramas de ráfaga PON.
- 30 6. Nodo de la reivindicación 5, en el que dicho ajustador comprende además un atenuador óptico micro-mecánico, y además en donde un planificador ajusta dicho atenuador óptico micro-mecánico basándose en una intensidad conocida de una sucesiva señal óptica a recibir, de entre dicha pluralidad de señales ópticas.
7. Nodo de la reivindicación 5, en el que dicho ajustador comprende además un dispositivo de amplificación paramétrica con un láser de bombeo variable, en donde dicho planificador ajusta dicha amplificación paramétrica con dicho láser de bombeo variable basándose en una intensidad conocida de una sucesiva señal óptica a recibir, de entre dicha pluralidad de señales ópticas.
- 35 8. Nodo de la reivindicación 5, en el que dicho nodo está dispuesto en una ubicación diferente a una terminación de línea óptica o un acoplador/divisor en un sistema de comunicaciones ópticas.

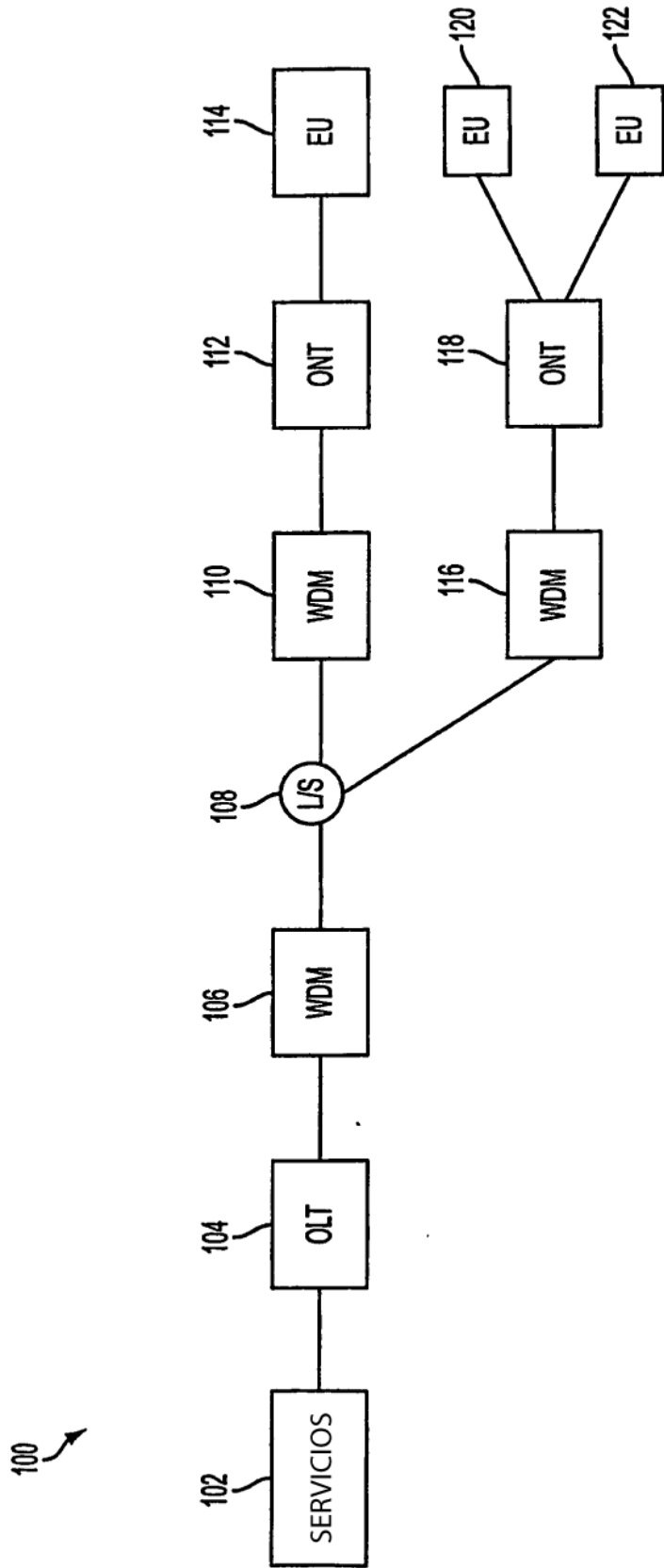


FIG. 1



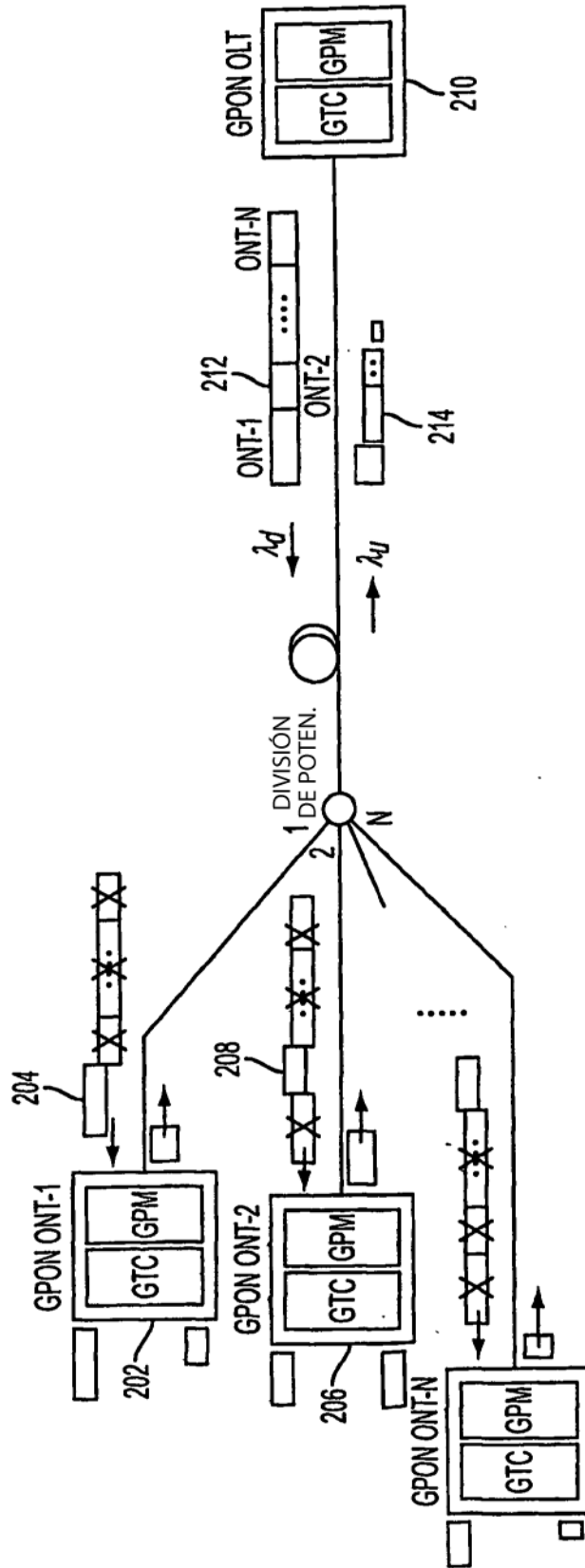


FIG. 2

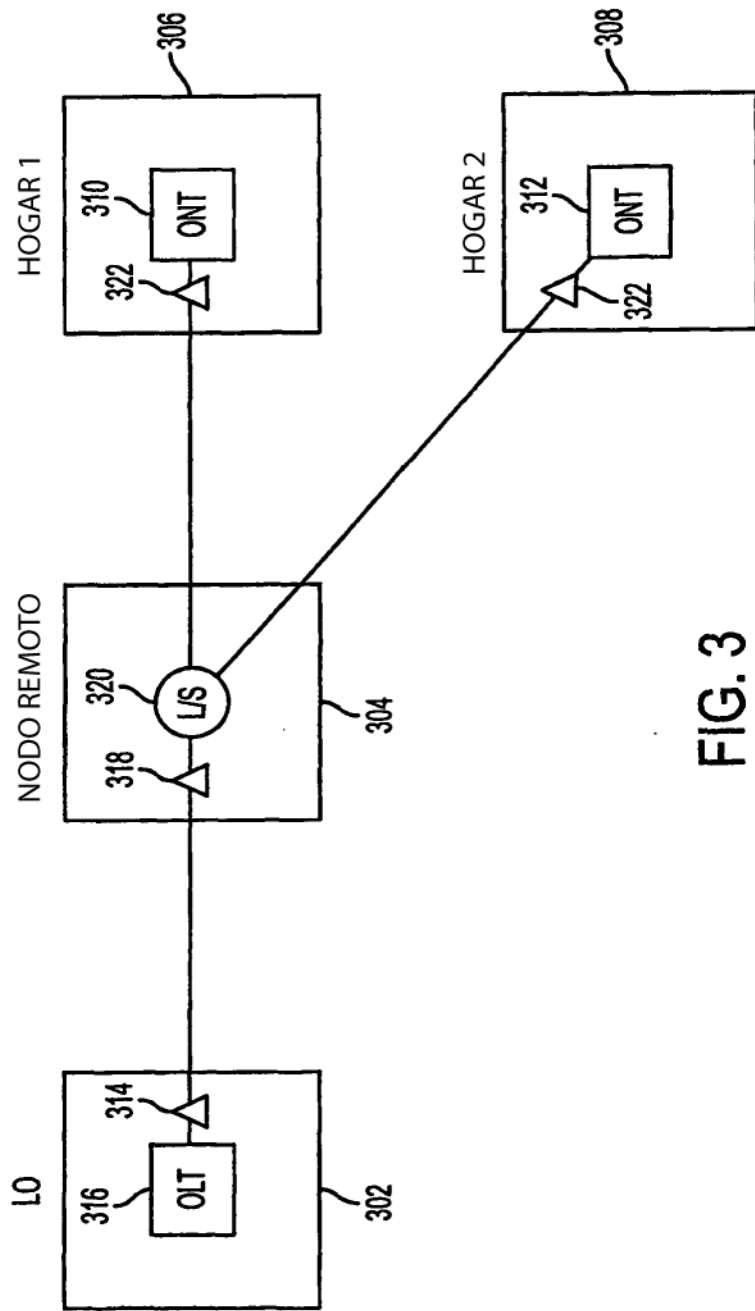


FIG. 3

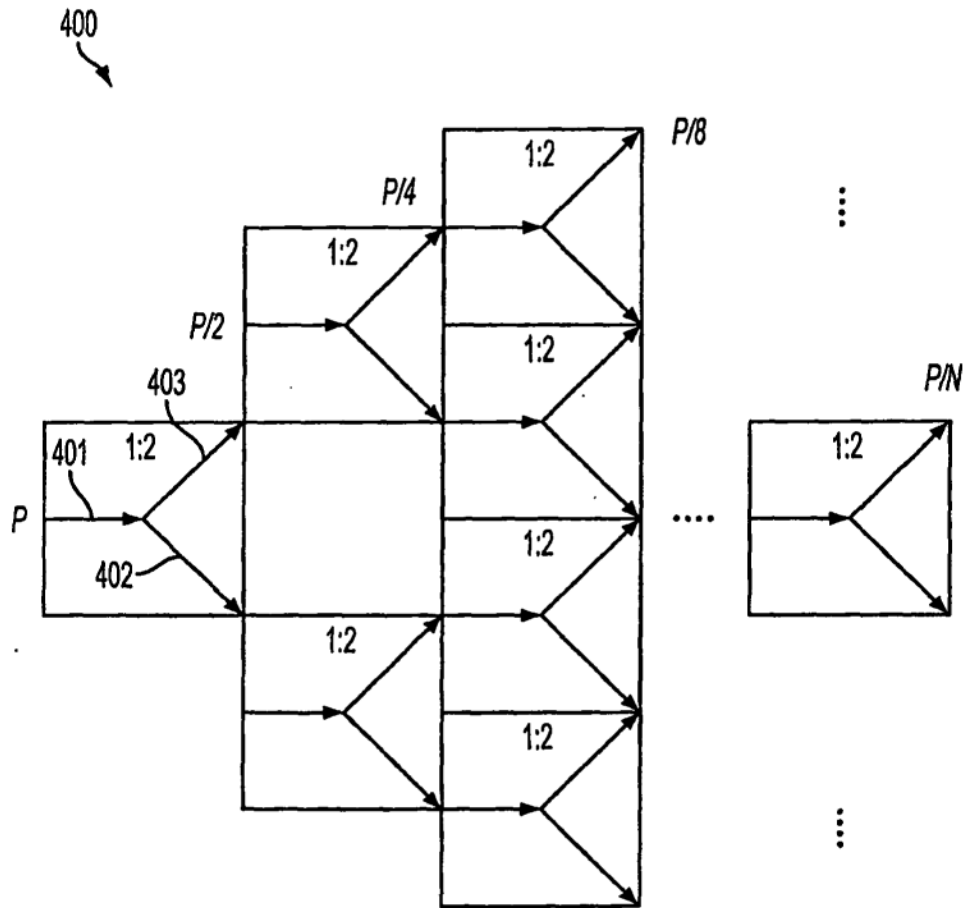


FIG. 4

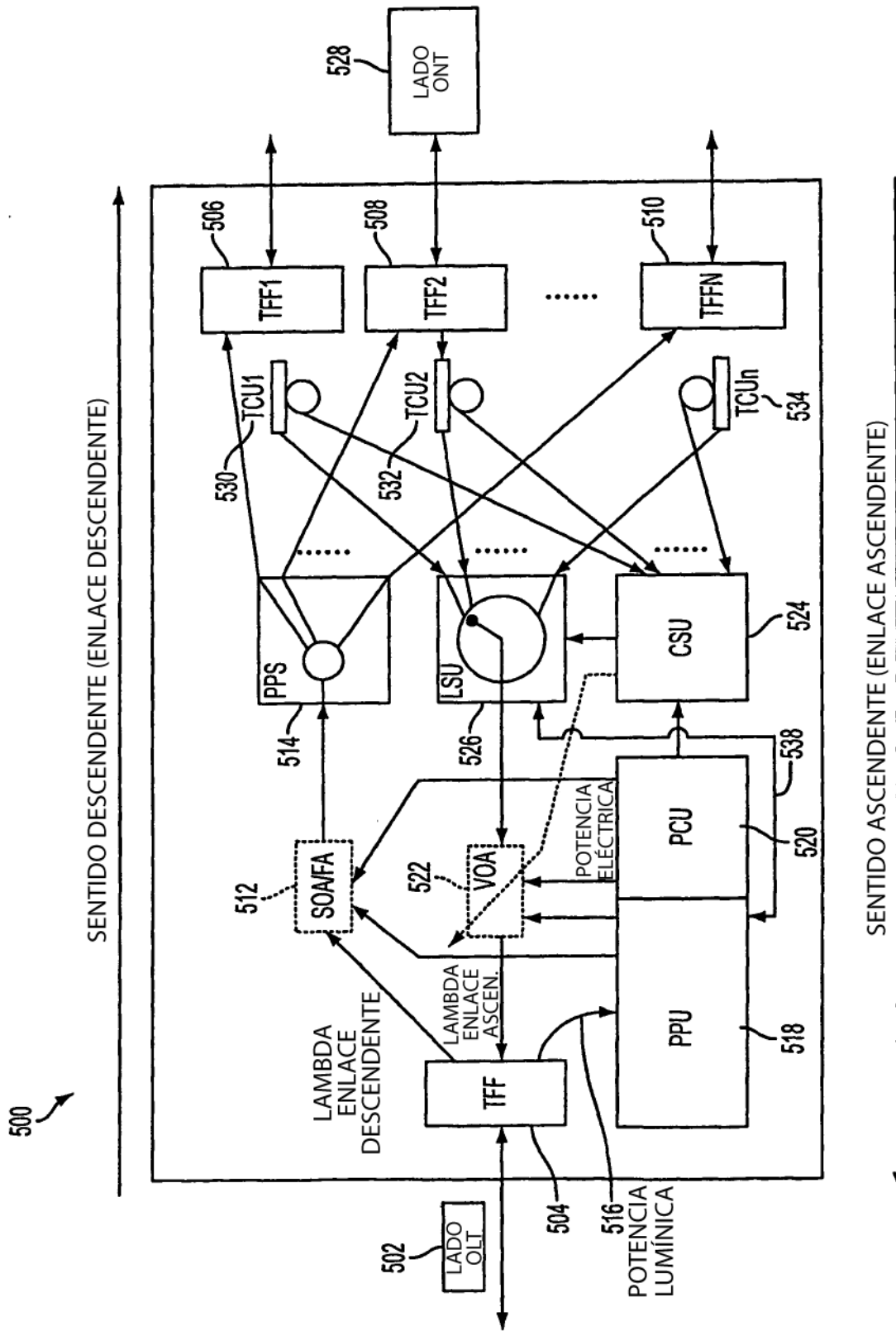


FIG. 5

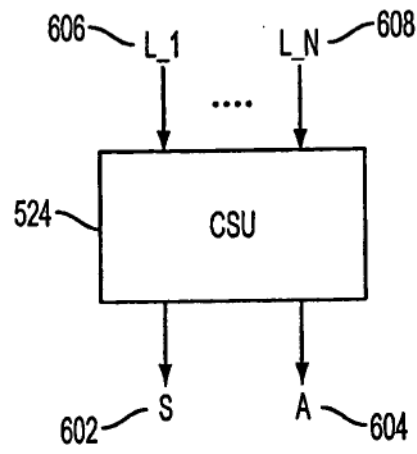


FIG. 6A

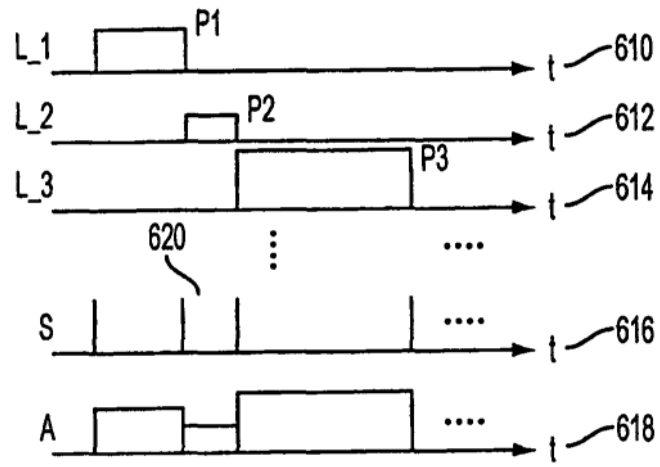


FIG. 6B

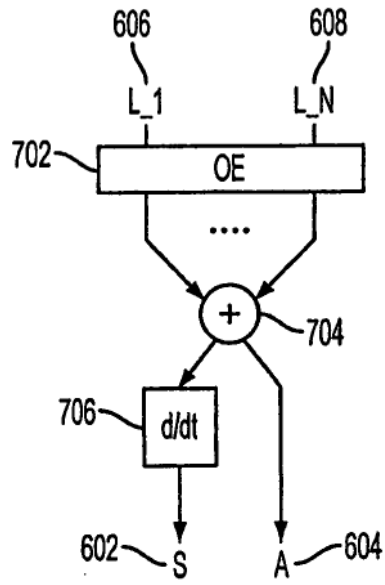


FIG. 7

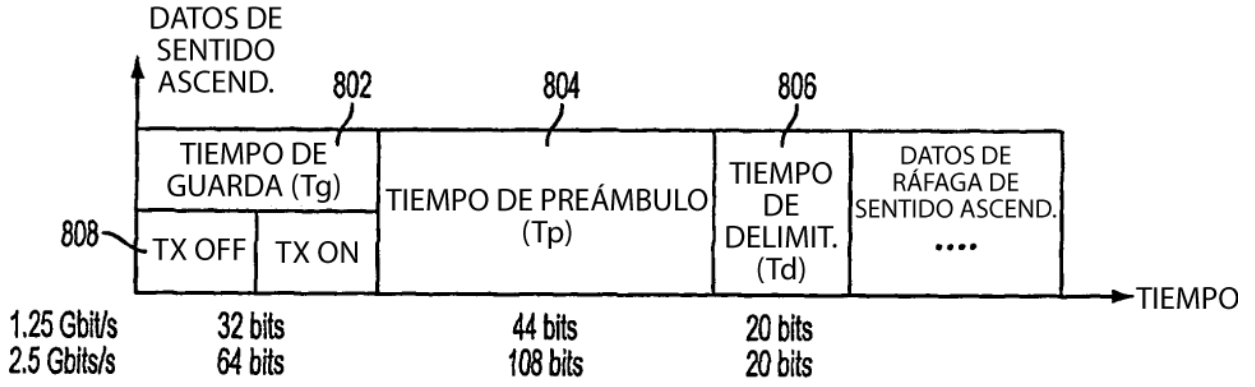


FIG. 8



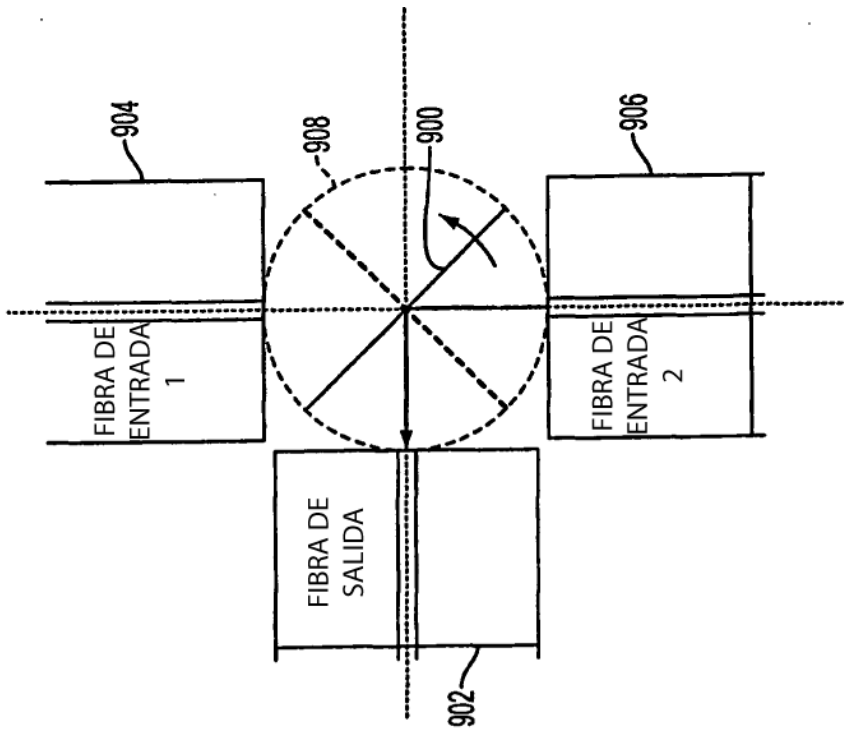


FIG. 9B

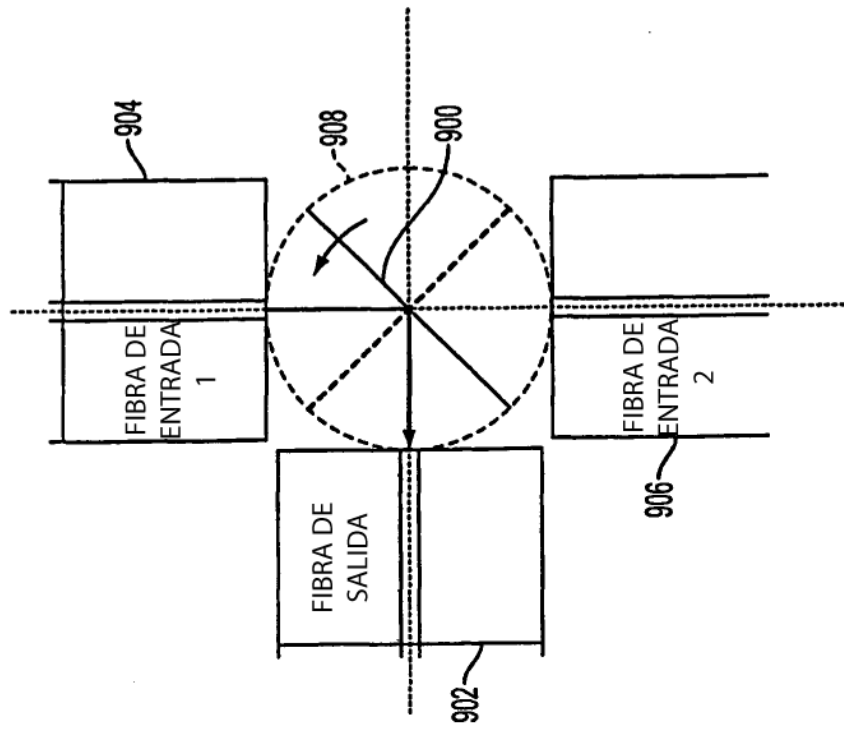


FIG. 9A

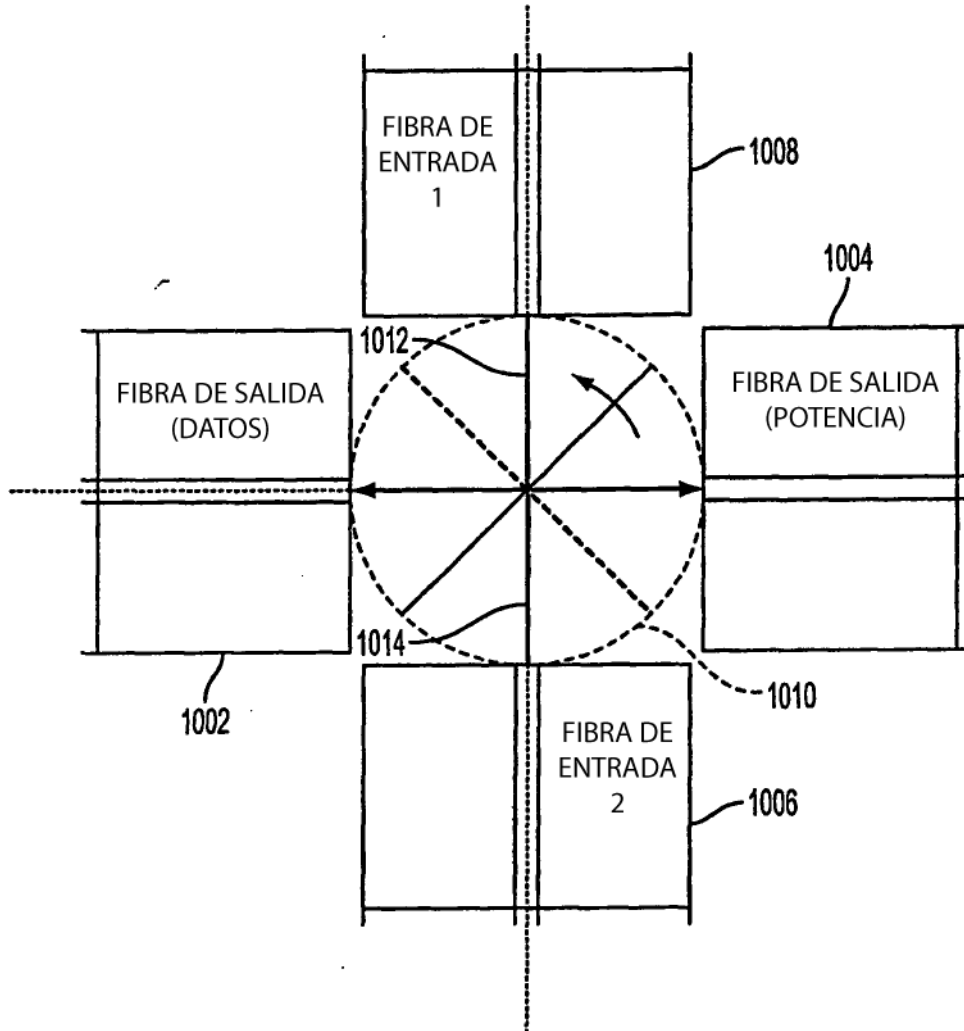


FIG. 10

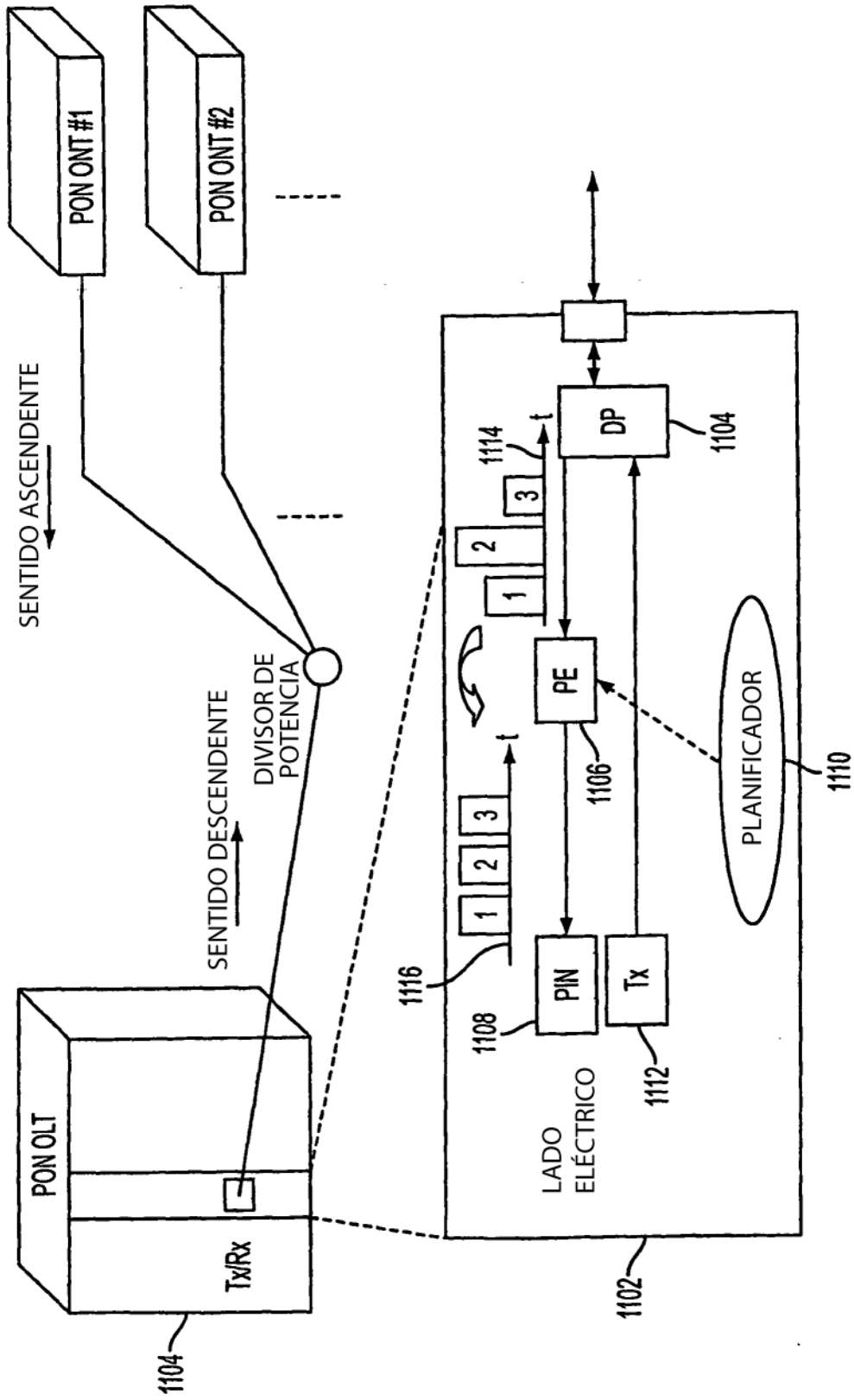


FIG. 11

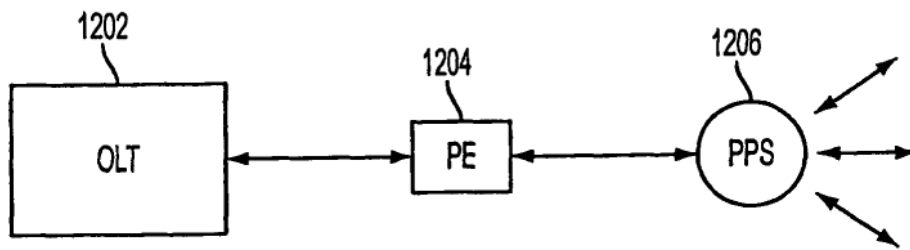


FIG. 12

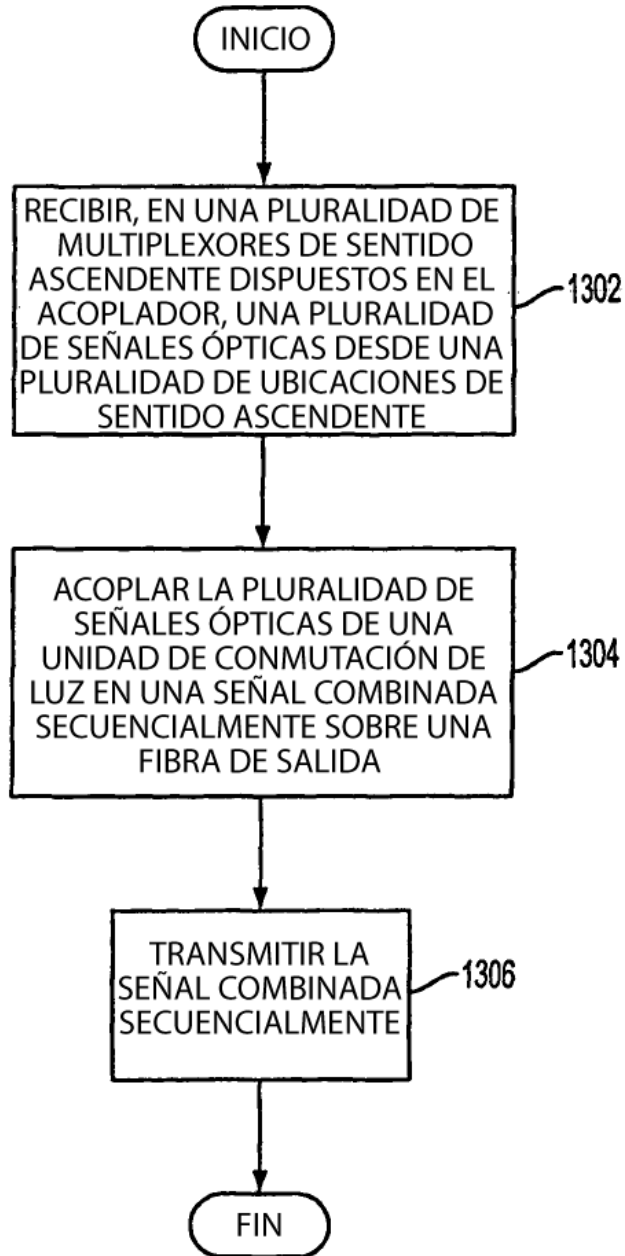


FIG. 13

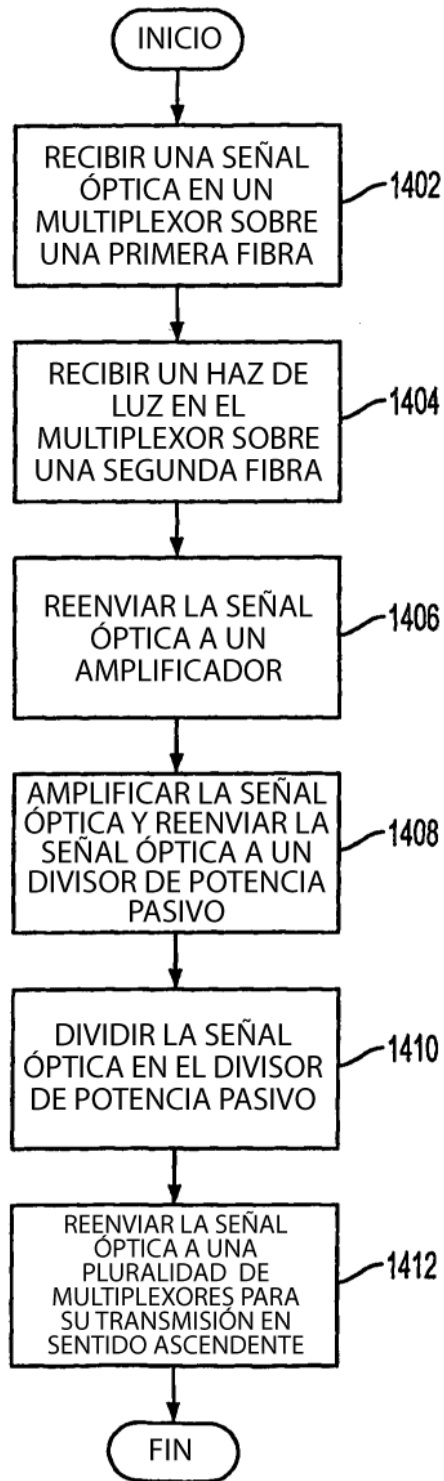


FIG. 14

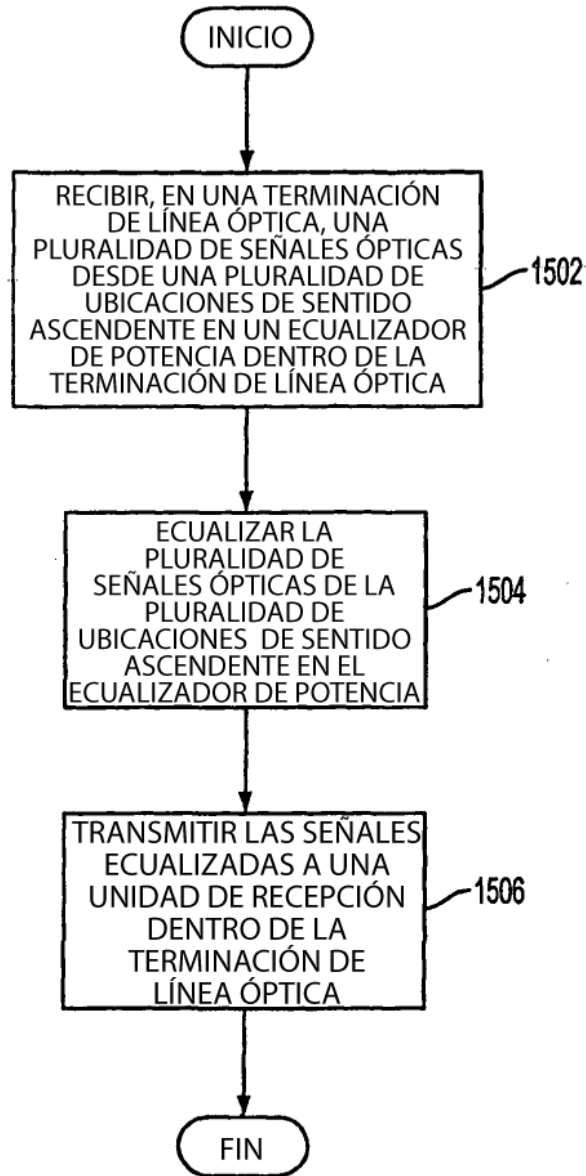


FIG. 15

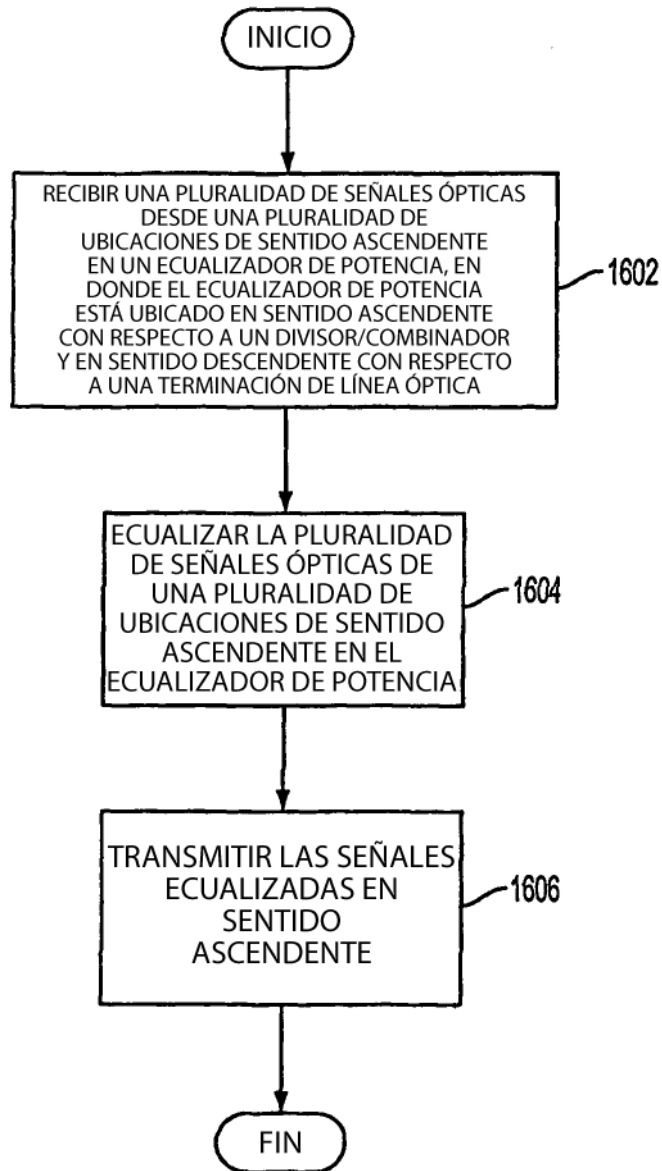


FIG. 16



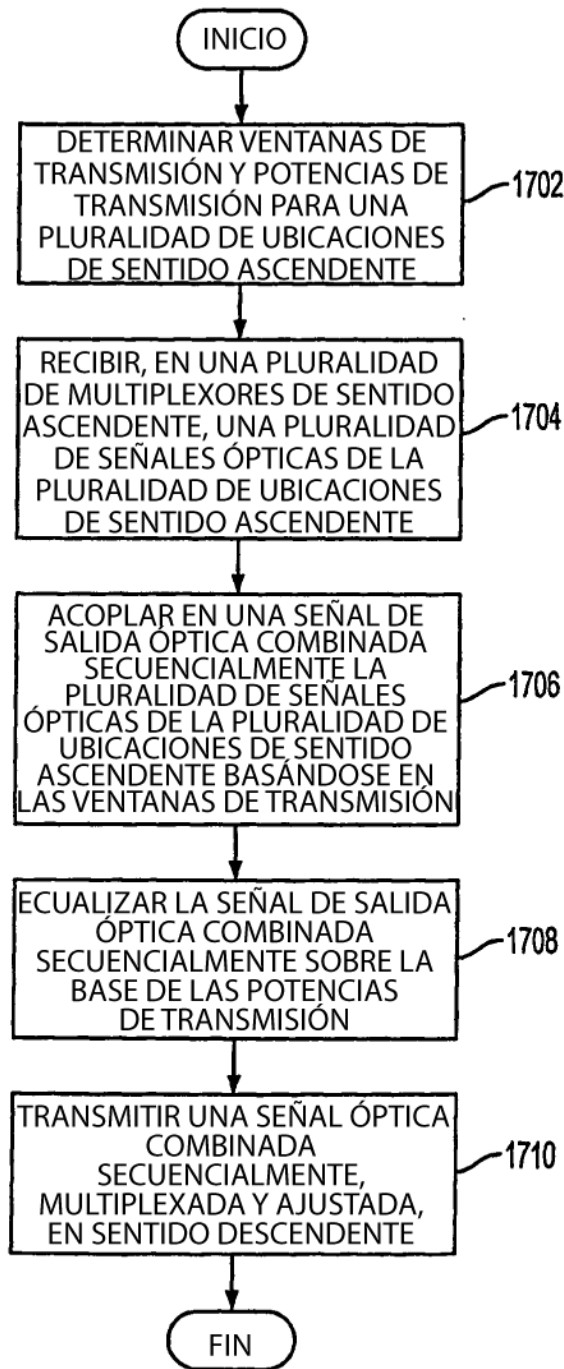


FIG. 17