

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 384 487**

51 Int. Cl.:
H04B 10/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **09162741 .4**
- 96 Fecha de presentación: **15.06.2009**
- 97 Número de publicación de la solicitud: **2136485**
- 97 Fecha de publicación de la solicitud: **23.12.2009**

54 Título: **Determinación de relaciones de señal/ruido óptico en banda en señales ópticas con estados de polarización variables en el tiempo usando extinción de polarización**

30 Prioridad:
19.06.2008 US 73988 P

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
05.07.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
05.07.2012

73 Titular/es:
**ACTERNA, LLC
ONE MILESTONE CENTER COURT
GERMANTOWN, MD 20876, US**

72 Inventor/es:
Heismann, Fred L.

74 Agente/Representante:
de Elzaburu Márquez, Alberto

ES 2 384 487 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

Determinación de relaciones de señal/ruido óptico en banda en señales ópticas con estados de polarización variables en el tiempo usando extinción de polarización.

REFERENCIA CRUZADA CON SOLICITUDES RELACIONADAS

- 5 La presente invención reivindica la prioridad de la Solicitud de Patente Norteamericana número 61/073.988, presentada el 9 de junio de 2008.

CAMPO TÉCNICO

- 10 La presente invención se refiere a la determinación de relaciones de señal/ruido óptico y, en particular, al uso de extinción de polarización para determinar relaciones de señal/ruido óptico en banda (OSNR) en señales ópticas que muestran variaciones lentas o rápidas en el estado de polarización.

ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN

- 15 Las señales transmitidas a través de sistemas de comunicación por fibra óptica de larga distancia pueden degradarse severamente por ruido óptico excesivo, el cual es introducido por los amplificadores ópticos empleados para amplificar la potencia de señal a lo largo de los sistemas. Por tanto, la calidad de una señal óptica transmitida se caracteriza frecuentemente por la relación señal/ruido óptico (OSNR), que define la relación de potencia de señal que porta la señal de información deseada y el ruido óptico añadido en el sistema de comunicación. En sistemas de comunicación sin un fuerte filtrado óptico, la OSNR puede determinarse fácilmente mediante análisis espectral de las señales transmitidas, el cual mide la potencia óptica de la señal portadora de información así como la densidad espectral del ruido Gaussiano introducido por amplificadores ópticos. Típicamente, el ruido óptico aparece como un suelo en el espectro óptico analizado y, por tanto, puede medirse fácilmente a frecuencias ópticas a las que no se transmite ninguna señal de información óptica.

- 20 En sistemas de transmisión ópticos modernos con multiplexado de longitud de onda, las diversas señales transmitidas pueden estar escasamente desfasadas según su frecuencia óptica, haciendo así muy difícil medir el suelo de ruido óptico entre señales adyacentes del espectro óptico recibido. Además, las señales pueden hacerse pasar a través de filtros ópticos de banda estrecha que reducen sustancialmente el suelo de ruido óptico a componentes de frecuencia a las cuales no se transmite ninguna señal portadora de información.

- 25 Un técnica de anulación de polarización, que sustancialmente elimina la señal de información óptica polarizada de la señal óptica recibida, revelando así el suelo del ruido óptico no polarizado en el espectro óptico, se ha descrito en "Medición de la Relación Señal/Ruido Óptico en Redes WDM Usando Extinción de Polarización" por M. Rasztovits-Wiech y otros, Conferencia Europea de Comunicación Óptica, 20-24 de septiembre de 1998, Madrid, España, páginas 549-550, y en las patentes norteamericanas nos. 6.813.021, expedidas el 2 de noviembre de 2004 a Chung y otros, la 7.106.443, expedida el 12 de septiembre de 2006 a Wein y otros, y 7.149.428, expedida el 12 de diciembre de 2006 a Chung y otros, las cuales se incorporan al presente documento por referencia. La técnica descrita permite la medición de la OSNR dentro del ancho de banda de la señal de información óptica transmitida, es decir la "medición de la OSNR en banda", cuando la señal muestra un estado de polarización sustancialmente constante.

- 30 Sin embargo, es bien conocido por los versados en la materia que el estado de polarización de salida de una señal transmitida por una fibra óptica puede fluctuar aleatoriamente en el tiempo, dado que las fibras ópticas estándar no mantienen el estado de polarización de las señales lanzadas. La velocidad y magnitud de las fluctuaciones de la polarización introducidas en la fibra dependen del ambiente físico al cual está expuesta la fibra, y, por tanto, pueden ser potencialmente grandes. En consecuencia, estas fluctuaciones de polarización aleatorias pueden limitar severamente las mediciones de la OSNR en banda usando el método de extinción de polarización u otros tipos de análisis de polarización.

- 35 Según sistemas convencionales, las mediciones de la OSNR en banda se realizan usualmente con un aparato de medición 1, el cual comprende un filtro óptico sintonizable o un analizador de espectro 2, que está conectado a un analizador 3 de estado de polarización óptica fijo o variable, según se muestra esquemática en la figura 1(a). Una formación de fotodetectores 4 está acoplada ópticamente con las salidas del analizador 3 de estado de polarización, desde las cuales puede medirse la OSNR. El aparato 1 está acoplado ópticamente a la fibra de transmisión 5 de una red óptica. Se aprecia por los versados en la materia que el filtro óptico sintonizable 2 puede preceder o seguir al analizador 3 de estado de polarización sin afectar la funcionalidad global del aparato 1.

- 40 En un sistema alternativo ilustrado en la figura 1(b), un aparato de medición 10 incluye un analizador 3' de estado de polarización compuesto por un controlador 6 de polarización óptica variable, con un secuenciador 7 de exploración y un filtro o divisor 8 de polarización fija, en donde el filtro/divisor 8 de polarización sigue al controlador 6 de polarización. En esta realización, el analizador 2 de espectro/filtro sintonizable puede conectarse a la salida del filtro/divisor 8 de polarización, según se muestra en la figura 1(b), o puede colocarse entre el controlador 6 de polarización y el filtro 8 de polarización. Alternativamente, incluso puede preceder al controlador 6 de polarización.

Los versados en la técnica apreciarán que la disposición preferida de estos tres elementos depende de los detalles específicos de la característica de transmisión óptica de los diversos elementos y componentes.

En el sistema ilustrado en la figura 1(b), el controlador 6 de polarización se ajusta de una manera predeterminada por el secuenciador 7 de exploración para transformar el estado de polarización que se hace pasar secuencialmente por el filtro 8 en una secuencia predeterminada continua e incrementalmente variable de estados de polarización de entrada óptica, que sustancialmente cubren toda la esfera de Poincaré. Una formación de detectores ópticos (no mostrada) después del analizador 2 de espectro registra entonces los niveles de potencia óptica de todos los estados de polarización sondeados en los componentes de frecuencia óptica deseada. Los niveles de señal y ruido de la señal analizada se determinan a partir de los valores máximos y mínimos de las lecturas de potencia registradas para los diversos estados de polarización sondeados, por lo que se asume que el nivel de potencia es mínimo cuando la señal de información polarizada es sustancialmente bloqueada (o "anulada") por el filtro/divisor 8 de polarización y sólo se deja pasar ruido no polarizado al detector óptico. De igual modo, se asumen que el nivel de potencia es máximo cuando el estado de polarización de la señal de información es sustancialmente idéntico al estado de polarización analizado por el filtro 8 de polarización, en cuyo caso tanto la señal entera como el ruido se dejan pasar al detector óptico. La OSNR de la señal recibida puede estimarse entonces a partir de un sencillo análisis de los niveles de potencia mínimo y máximo medidos, según se describe, por ejemplo, en la patente norteamericana antes referenciada número 7.149.428 o en la publicación de solicitud de patente norteamericana US 2006/0051087, publicada el 9 de marzo de 2006, de Martin y otros, titulada "Método para Determinar la Relación Señal/Ruido de una Señal Óptica".

Para el análisis antes descrito de las características de polarización de la señal de información óptica recibida, el estado de polarización de la señal de información óptica deberá ser sustancialmente constante durante el período de tiempo necesario para ciclar el controlador 6 de polarización a través de la secuencia deseada de transformaciones de polarización, incluyendo el tiempo necesario para medir los niveles de potencia óptica en la formación de detectores. Si el estado de polarización de entrada de la señal de información óptica cambia sustancialmente durante el período de tiempo de la medición de la OSNR, el controlador 6 de polarización puede no ser capaz de transformar el estado de polarización de la señal de información en dos estados de polarización deseados, es decir, uno que es bloqueado sustancialmente por el filtro 8 de polarización y el otro que es hecho pasar a través del filtro 8 con atenuación mínima. Si ninguno de los diversos estados de polarización generados por el control 6 de polarización óptica se acerca suficientemente a ambos de estos dos estados, entonces la OSNR estimada a partir de los niveles de potencia máximo y mínimo puede ser sustancialmente diferente de la OSNR presente en la señal recibida. Como resultado, la OSNR estimada es usualmente menor que la OSNR verdadera de la señal. Por tanto, las fluctuaciones de polarización de la señal de información óptica pueden degradar severamente las mediciones de la OSNR en banda que se obtienen por análisis de polarización.

Un método conocido de medir la relación señal/ruido óptico de una señal óptica que contiene una pluralidad de canales de longitud de onda con estados de polarización variables en el tiempo en el descrito en el artículo titulado "Nueva Vigilancia de la OSNR con Codificación de polarización", referencia: SPIE, Apartado de Correos 10, Bellingham, WA 98227-0010.

Un objeto de la presente invención es superar los inconvenientes de la técnica anterior proporcionando un método sencillo, pero efectivo, de mitigar sustancialmente degradaciones potencialmente severas de la extinción de polarización en mediciones de la OSNR en banda que son causadas por las fluctuaciones de polarización de la señal óptica que se ha de medir.

SUMARIO DE LA INVENCION

En consecuencia, la presente invención se refiere a un método para medir la relación de señal/ruido óptico de una señal óptica que contiene una pluralidad de canales de longitud de onda con estados de polarización variables en el tiempo, que comprende:

(a) filtrar la señal óptica para formar una señal de prueba que comprende uno de los canales de longitud de onda o una frecuencia óptica seleccionada en uno de los canales de longitud de onda seleccionados;

(b) transformar el estado de polarización de la señal de prueba en una secuencia aleatoria o pseudoaleatoria de estados de polarización transformados diferentes;

(c) analizar los estados de polarización transformados de la señal de prueba con un filtro de polarización bajo una orientación fija predeterminada;

(d) medir la potencia óptica de la señal óptica en la señal de prueba transmitida a través del filtro de polarización en cada uno de los estados de polarización transformados con el fin de determinar una potencia de señal óptica medida máxima y otra mínima; y

(e) calcular una relación de extinción de polarización a partir de las mediciones de las señales recibidas máxima y mínima con el fin de obtener una relación señal/ruido óptico para la señal de prueba;

en donde el tiempo de medición del paso (d) es suficientemente corto para que el estado de polarización de la señal luminosa óptica en el canal de la longitud de onda seleccionada sea sustancialmente constante durante la medición de la potencia óptica, limitando así una degradación en la relación de extinción de polarización calculada.

5 Otro aspecto de la presente invención se refiere a un aparato para medir la relación señal/ruido óptico de una señal óptica que contiene una pluralidad de canales de longitud de onda que tienen estados de polarización variables en el tiempo, que comprenden:

un filtro óptico para seleccionar una señal de prueba que comprende uno de los canales de longitud de onda de la señal óptica o un rango de frecuencia óptica en uno de los canales de longitud de onda;

10 un codificador de polarización para modular aleatoria o pseudoaleatoriamente el estado de polarización de la señal de prueba a un primer régimen;

un controlador de polarización óptica ajustable para transformar el estado de polarización de la señal de prueba en una secuencia aleatoria o pseudoaleatoria de estados de polarización sustancialmente diferentes a un segundo régimen que es más lento que el primer régimen;

15 un filtro de polarización óptica para analizar los estados de polarización transformada de la señal de prueba;

un detector óptico para medir la potencia óptica de la señal de prueba transmitida a través del filtro de polarización óptica cuando se hace variar al controlador de polarización mediante la secuencia de ajustes con el fin de determinar unas potencias de señal óptica máxima y mínima medidas; y

20 un procesador de señal para determinar unas potencias ópticas medidas máximas y mínimas y para calcular una relación de extinción de polarización a partir de las mediciones para las señales recibidas máxima y mínima con el fin de obtener la relación señal/ruido para la señal de prueba.

Otra característica de la presente invención proporciona un aparato para medir la relación de señal/ruido óptico de una señal óptica que contiene una pluralidad de canales de longitud de onda que tienen estados de polarización fijos o variables en el tiempo, que comprende:

25 un filtro óptico para seleccionar una señal de prueba que comprende uno de la pluralidad de canales de longitud de onda en la señal óptica o un rango de frecuencia óptica en uno de los canales de longitud de onda;

30 un controlador de polarización para transformar el estado de polarización de la señal de prueba en una secuencia aleatoria o pseudoaleatoria de estados de polarización predeterminados sustancialmente diferentes;

un filtro de polarización óptica para analizar la secuencia de estados de polarización en la señal de prueba;

un detector óptico para medir la potencia óptica de la señal de prueba transmitida a través del filtro de polarización cuando se varía el controlador de polarización mediante la secuencia de ajustes; y

35 un procesador de señal para determinar unas potencias ópticas medidas máxima y mínima y para calcular una relación de extinción de polarización a partir de las potencias ópticas máxima y mínima con el fin de obtener una relación señal/ruido para el canal de longitud de onda seleccionado;

40 en donde el controlador de polarización transforma la señal luminosa en el canal de longitud de onda seleccionado de manera cíclica mediante una secuencia aleatoria o pseudoaleatoria de estados de polarización predeterminados en los que cualesquiera dos estados de polarización sucesivos no están correlacionados dentro de un periodo de ciclo predeterminado.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La invención se describirá con mayor detalle con referencia a los dibujos anexos, los cuales representan realizaciones preferidas de la misma, y en los que:

45 Las figuras 1(a) y 1(b) son ilustraciones esquemáticas de dispositivos de medición de la OSNR convencionales basados en análisis de polarización y anulación de polarización;

La figura 2 es una gráfica de los pasos de exploración de polarización en un dispositivo de medición de la OSNR con anulación polarización, en donde dos QWPs giratorios sirven como controlador de polarización óptica;

50 La figura 3 es una gráfica de la relación de extinción de polarización ("PE") medida por un dispositivo de medición de la OSNR convencional en función de la velocidad media de fluctuaciones de polarización aleatorias en la señal de prueba;

La figura 4 es una gráfica de la probabilidad acumulativa de que la relación PE en un dispositivo de medición de la OSNR convencional supere unos valores dados cuando están presentes en la señal de prueba fluctuaciones lentas (0,027 rad/paso) y rápidas (13,6 rad/paso);

5 La figura 5 es una gráfica de la probabilidad acumulativa de la relación PE en un dispositivo de medición de la OSNR convencional para el caso de una señal de prueba con un estado de polarización constante para una señal con un estado de polarización rápidamente fluctuante;

Las figuras 6(a) a 6(f) ilustran dispositivos de medición de la OSNR según la presente invención;

Las figuras 7(a) a 7(d) ilustran dispositivos de medición de la OSNR según la presente invención;

10 La figura 8 es una gráfica de una exploración de polarización aleatoria diseñada de acuerdo con la presente invención, que comprende dos QWPs giratorias,

La figura 9 es una gráfica de la probabilidad acumulativa de la relación PE obtenida con la exploración de polarización de 16x16 aleatorizada ilustrada en la figura 8; y

La figura 10 es una gráfica de la probabilidad acumulativa de la relación PE obtenida con una exploración de polarización aleatorizada, que comprende 32x32 pasos de exploración individuales.

15 DESCRIPCIÓN DETALLADA

Los controladores de polarización para transformar un estado de polarización de entrada dado en una multitud de estados de polarización de salida están compuestos normalmente por varios elementos o etapas, por lo que cada etapa cambia el estado de polarización de una manera sustancialmente diferente. Una realización ejemplar de un controlador de polarización comprende una cascada de combinaciones de dos placas de ondas ópticas con orientación angular variable, las cuales pueden estar compuestas por dos placas de cuarto de onda giratorias (QWPs), según se ilustra, por ejemplo, en la figura 7(b), o por una QWP y una placa de media onda (HWP). Estas placas de onda pueden girarse mecánicamente o por medio de un efecto electroóptico o magnetoóptico. Para generar una secuencia adecuada de estados de polarización sustancialmente diferentes, la orientación angular de estas placas de ondas puede ajustarse según un número de pasos predeterminados y de un modo sistemático. En el ejemplo anterior, en el que el controlador de polarización está compuesto por dos QWPs en cascada, puede variarse el ángulo de cada QWP con un número de pasos N con tamaños de paso fijos o variables que abarcan un rango total de al menos 80° para generar la multitud deseada de estados de polarización de salida. La figura 2 ilustra un ejemplo de la secuencia de orientaciones angulares para las dos QWPs en un exploración N x N sistemática usando N = 16 pasos angulares de 11,25°, en donde para cada uno de los N ajustes de la primera QWP, la orientación de la segunda QWP se explora secuencialmente en 180°.

Es bien conocido por los versados en la técnica que esta secuencia de ajustes angulares de las dos QWPs da lugar a una variación sistemática similar del estado de polarización de salida del controlador de polarización, el cual cubre sustancialmente toda la esfera de Poincaré. La extinción más alta que la señal de información óptica por transformada de polarización puede experimentar en el filtro de polarización depende de la densidad y distribución particular de los estados de polarización sondeados, es decir de N, así como del estado de polarización real de la señal de información. En el ejemplo anterior, la extinción de polarización (PE) máxima de la señal de información óptica es de aproximadamente 17,3 dB para un estado de polarización de entrada constante en el tiempo y cuando no está presente ruido óptico no polarizado en la señal de entrada. Sin embargo, este valor puede disminuir sustancialmente cuando el estado de polarización de la señal de información varía significativamente entre los diversos pasos de la exploración de polarización. En el peor escenario posible, el estado de polarización de la señal de información varía de tal manera que, durante toda la duración de la exploración de polarización, este siempre es ortogonal al estado de polarización que se ha sondeado actualmente por el controlador de polarización. La situación es ligeramente diferente cuando se usa un divisor de polarización en vez de un filtro de polarización sencillo y cuando el estado de polarización ortogonal al estado sondeado se analiza simultáneamente. En este caso, el peor escenario posible de variaciones de polarización de entrada tiene lugar cuando el estado de polarización de señal es siempre una combinación 50/50 del par actualmente sondeado de estados de polarización ortogonal.

Aunque es extremadamente pequeña la probabilidad de que las variaciones de polarización de la señal óptica de entrada sean sustancialmente sincronas con las variaciones de estado de polarización generadas por el controlador 6 de polarización en particular, cuando las fluctuaciones de polarización en la fibra son aleatorias, pueden tener lugar muy frecuentemente degradaciones severas de la PE debido a fluctuaciones de polarización cuando la velocidad media de las fluctuaciones de polarización de la señal óptica es del mismo orden de magnitud que la velocidad media de los cambios de polarización generados por el controlador 6 de polarización. Se observan degradaciones severas en la PE medida incluso cuando el estado de polarización de señal varía sincronamente con los estados de polarización sondeados sólo durante una parte relativamente corta de toda la exploración de polarización, es decir, cuando el estado de polarización sondeado es sustancialmente igual al estado que es bloqueado por el filtro 8 de polarización. Con referencia a la figura 3, las degradaciones de la PE son las mayores cuando la velocidad media de las fluctuaciones de polarización en la señal de información es del mismo orden de magnitud que la velocidad de los cambios de polarización generados por el controlador 6 de polarización. La gráfica

de la figura 3 ilustra el peor caso de la relación PE medida en presencia de fluctuaciones de polarización aleatorias que tienen diversas velocidades medias, en donde la velocidad media se expresa como el cambio medio en retardo de fase entre cada paso de la exploración de polarización generada por el controlador 6 de polarización. Las degradaciones severas de la PE observadas en la figura 3 son claramente el resultado de fluctuaciones de polarización aleatorias en la señal de información que se ha de medir, las cuales son temporalmente sincronas o "resonantes" con los cambios de polarización generados por el controlador 6 de polarización.

La figura 3 también revela que la probabilidad de degradaciones severas de la PE se reduce sustancialmente cuando las fluctuaciones de polarización de la señal de información llegan a ser varios órdenes de magnitud más rápidas que las variaciones de polarización generadas por el controlador 6 de polarización. En particular, cuando el estado de polarización de la señal de información fluctúa muy rápidamente y en grandes cantidades entre ajustes sucesivos del controlador 6 de polarización, la probabilidad de que la relación PE supere un cierto límite máximo (en el que la PE se mide como una relación lineal) disminuye exponencialmente con este límite. Esto se ilustra en la figura 4, en la que más de 30.000 exploraciones de polarización se simuló numéricamente, cada una para fluctuaciones de polarización sustancialmente diferentes de la señal de información óptica, y la mejor relación de extinción de polarización se calculó durante cada exploración para determinar el efecto de las fluctuaciones de polarización. La figura 4 muestra la probabilidad acumulativa de que la PE supere ciertos valores para dos velocidades medias diferentes de fluctuaciones de polarización aleatorias: la primera curva muestra la probabilidad acumulativa para fluctuaciones de polarización relativamente lentas con una velocidad medida de cambio de aproximadamente 0,027 radianes en retardo de fase por paso de exploración del controlador 6 de polarización, mientras que la segunda curva muestra la probabilidad acumulativa para fluctuaciones de polarización muy rápidas con una velocidad media de aproximadamente 13,6 rad por cada paso de exploración. Es claramente evidente en esta gráfica que la probabilidad de grandes degradaciones de la PE es mucho más pequeña para fluctuaciones de polarización rápidas que para fluctuaciones de polarización relativamente lentas y potencialmente "resonantes".

Es también evidente por la figura 4 que para fluctuaciones de polarización aleatorias, la probabilidad de que la relación PE exceda cierto límite disminuye exponencialmente con el límite (obsérvese que la probabilidad en la figura 4 es representada sobre una escala logarítmica, mientras que la relación PE está representada sobre una escala lineal). Según se ve más claramente en la figura 5, en la que la probabilidad acumulativa de la PE para señales con fluctuaciones de polarización aleatorias muy rápidas se compara con la de una señal en un estado de polarización aleatorio, pero constante, existe un límite superior finito para el peor caso de la relación PE cuando el estado de polarización de la señal es constante, mientras que la relación PE puede convertirse en arbitrariamente grande cuando el estado de polarización de la señal fluctúa rápidamente. Sin embargo, es muy improbable que en el caso de fluctuaciones de polarización rápidas la relación PE supere el límite superior de la relación de la PE para estados de polarización de entrada estacionarios. La probabilidad de que esto ocurra es sustancialmente inferior a 10^{-3} .

Además, la figura 5 también revela que las fluctuaciones de polarización aleatorias, pero suficientemente rápidas, de la señal óptica pueden, de hecho, aumentar la probabilidad de que aparezcan relaciones PE bajas. Por ejemplo, la probabilidad de que la relación PE lineal supere 0,01 (o -20 dB) es aproximadamente $2,3 \times 10^{-2}$ cuando el estado de polarización de la señal es constante, pero sólo de 1×10^{-2} cuando este fluctúa rápidamente. En consecuencia, puede ser incluso preferible medir las OSNRs en señales que muestren grandes fluctuaciones de polarización aleatorias.

La disminución exponencial vista en la figura 5 para la probabilidad acumulativa de la PE en el caso de fluctuaciones de polarización rápidas puede explicarse como sigue. Por motivos de simplicidad, se asume que los diversos estados de polarización sondeados por el controlador 6 de polarización están separados equidistantemente en la esfera de Poincaré. Para una polarización de señal de entrada estacionaria, el peor caso de la relación PE se obtiene entonces cuando el estado de polarización de la señal cae a mitad de camino entre cualesquiera dos estados de polarización sondeados adyacentes, y la relación PE viene dada por $\text{sen}^2 \varphi$, denotando φ el ángulo entre el estado de polarización sondeado y el real. En el caso de un estado de polarización de señal rápidamente fluctuante, los diversos estados de polarización de señal presentes en cada paso de la exploración de la polarización generada por el controlador 6 de polarización pueden verse como muestras aleatorias independientes que se distribuyen uniformemente en la esfera de Poincaré. Con el fin de obtener al menos la misma relación PE que en el peor caso de una polarización de señal estacionaria, al menos una de estas muestras tiene que caer en un área centrada alrededor del estado de polarización actualmente sondeado, que está definido por un círculo que tiene un radio igual a la mitad de la distancia al estado de polarización sondeado más cercano. La probabilidad de que un estado de polarización de entrada aleatorio dado caiga fuera de este círculo es aproximadamente igual a $(1 - c/m)$, en donde m es el número total de estados de polarización, por ejemplo igual a $N \times N$, y c es una constante. Por tanto, la probabilidad de que ninguno de los m estados de polarización sondeados de entrada independientes caiga en cualquiera de los círculos alrededor de cada estado de polarización sondeado es aproximadamente igual a $(1 - c/m)^m$, que para $m \gg 1$ se convierte en aproximadamente igual a e^{-c} .

De un modo similar, puede calcularse la probabilidad acumulativa para una relación PE de la mitad del límite del peor caso para estados de polarización de entrada estacionarios, para las cuales el área del círculo alrededor de cada estado de polarización sondeado se reduce en un factor de 2. En este caso, la probabilidad de que ninguna de las m muestras alcance alguna de las áreas alrededor de los estados de polarización sondeados es sustancialmente

igual a e^{-2c} . Por tanto, la probabilidad de que la relación PE lineal supere un cierto valor disminuye exponencialmente con esta relación.

5 Aunque el análisis anterior suponía un filtro de polarización sencillo 8 y un solo fotodetector 4, puede extenderse fácilmente al caso de un divisor de polarización con dos detectores que analicen simultáneamente el estado de polarización sondeado, así como el estado de polarización ortogonal al mismo.

Más importantemente, se puede mostrar que incluso en casos en los que las fluctuaciones de polarización rápidas de la señal de información no son completamente aleatorias o no están distribuidas aproximadamente de manera equidistante sobre la esfera de Poincaré, la distribución estadística de la relación PE es sustancialmente similar al distribución exponencial mostrada en la figura 5.

10 Con referencia a las figuras 6(a) y 6(b), un dispositivo 21 de medición de la OSNR según la presente invención incluye un codificador de polarización para generar fluctuaciones de polarización pseudoaleatorias en la señal óptica de un modo artificial y predeterminado que transforma un estado de polarización de entrada constante o sólo lentamente variable en una secuencia de estados de polarización rápidamente fluctuantes aleatorios (o pseudoaleatorios), y un controlador 23 de polarización, bajo el control de un explorador 24 de polarización, para
15 transformar el estado de polarización de la señal de luz en una secuencia de estados de polarización predeterminados sustancialmente diferentes, similar a la secuencia de estados de polarización generados por el controlador de polarización de la figura 2. La velocidad de las fluctuaciones de polarización generadas por el codificador 22 de polarización debe ser varios órdenes de magnitud más rápida que las variaciones de polarización generadas por el controlador 23 de polarización. Para aplicaciones prácticas, la velocidad de las fluctuaciones de polarización generadas por el codificador 22 de polarización debe ser al menos 10 veces más rápida que las variaciones de polarización generadas por el controlador 23 de polarización, y puede ser de hasta 100 veces más rápida, 1000 veces más rápida e incluso más. El controlador 23 de polarización se ajusta de una manera predeterminada por el explorador 24 de polarización para transformar un estado de polarización de entrada constante de una señal que se hace pasar secuencialmente a su través en una multitud de estados de polarización
20 ópticas diferentes, que están usualmente, aunque no necesariamente, predeterminados de modo que cubran sustancialmente toda la esfera de Poincaré.

Se proporciona un filtro/divisor de polarización óptica 26 para hacer pasar luz de tan solo un único estado de polarización predeterminado o para hacer pasar luz de un primer estado de polarización a una primera lumbrera de salida, y luz de una segunda polarización, ortogonal a la primera polarización, a una segunda lumbrera de salida
30 para analizar los estados de polarización transformados de la señal óptica en la señal de prueba. Se han diseñado diversos componentes ópticos para permitir que pase tan sólo un único estado de polarización o para separar un par predeterminado de estados de polarización ortogonales a lo largo de trayectorias diferentes. Se proporciona un analizador de espectro óptico 27 para filtrar la señal óptica para formar una señal de prueba que comprende uno de los canales de longitud de onda o una frecuencia óptica seleccionada en unos de los canales de longitud de onda seleccionados. Una formación de fotodetectores 28 se incluye por separado o con el analizador 27 de espectro óptico para medir la potencia óptica de cada estado de polarización de cada señal de prueba. La OSNR puede calcularse entonces en un procesador de señal adecuado 29 basándose en los niveles de potencia máximo y mínimo, como se describió anteriormente.

40 El codificador 22 de polarización puede colocarse antes de la entrada del controlador 23 de polarización, según se muestra en la figura 6(a), o puede colocarse después del controlador 23 de polarización, como se muestra en el dispositivo 31 de medición de la OSNR en la figura 6 (b). En cualquier caso, es esencial para obtener un alta relación de extinción de polarización que el codificador 22 de polarización introduzca variaciones de polarización grandes y rápidas en cualquier estado de polarización de entrada general al mismo, con el fin de garantizar que el estado de polarización de salida sea sustancialmente diferente en cada ajuste del control 23 de polarización. Un
45 codificador 23 de polarización adecuado que modula el estado de polarización de una señal de entrada arbitrariamente polarizada se describe, por ejemplo, en la patente de los Estados Unidos número 5.327.511, titulada "Aparato y método que Emplea Modulación de Polarización Rápida para Reducir los Efectos de Quemadura de Agujero de Polarización y Pérdida Dependiente de la Polarización" y, con más detalle, en Optics Letters, Volumen 20, número 9 titulado "Despolarizador Electroóptico independiente de la Polarización", mayo 1995. En una
50 realización, la velocidad del codificador 22 de polarización se ajusta de tal manera que esto introduzca variaciones de polarización que, de media, sean sustancialmente iguales o mayores que 1 rad entre cada ajuste del controlador 23 de polarización.

Por otro lado, el codificador 22 de polarización debe operarse de tal manera y a tal velocidad que no introduzca cambios de polarización significativos durante el corto periodo de tiempo requerido por los fotodetectores 28 para
55 medir el nivel de potencia óptica en cada ajuste del controlador 23 de polarización, dado que cualesquiera fluctuaciones de polarización significativas durante estas mediciones podrían degradar severamente las relaciones de la PE medidas. En consecuencia, el codificador 22 de polarización debe operarse a una velocidad que sea lo suficientemente baja para no causar cambios de polarización significativos durante la medición de potencia.

Las fluctuaciones de polarización rápidas, que son generadas por el codificador 22 de polarización, se añaden a las fluctuaciones de polarización naturales que son introducidas por el sistema de transmisión por fibra óptica. Por tanto,

las fluctuaciones de polarización rápidas generadas por el codificador 22 reducen sustancialmente la probabilidad de que aparezcan fluctuaciones de polarización lentas en la entrada del controlador 23 de polarización, las cuales pueden ser sincrónicas con los cambios de polarización introducidos por el controlador 23 de polarización y, por tanto, pueden causar degradaciones potencialmente severas de la relación PE medida.

5 En una realización ejemplar de la invención, el codificador 22 de polarización genera fluctuaciones de polarización a una velocidad media de entre 30 y 300 rad/s, y el tiempo requerido para medir el nivel de potencia óptica es de 20 μ s. Por tanto, el estado de polarización solo cambia en aproximadamente 0,0006 a 0,006 radianes durante cada medición del nivel de potencia óptica, lo cual no causa una degradación significativa en la determinación de la relación PE. Además, el controlador 23 de polarización es ciclado a través de 256 transformaciones de polarización diferentes, según se muestra en el ejemplo de la figura 2, y cambia el estado de polarización a una tasa media de entre 0,003 y 0,3 rad/s.

10 La secuencia de los elementos ópticos, ilustrada en las figuras 6(a) y 6(b), puede reorganizarse de tal manera que la señal óptica sea filtrada en primer lugar por el analizador 27 de espectro óptico (o un sencillo filtro óptico) para formarse la señal de prueba, que comprende uno de los canales de longitud de onda o una frecuencia óptica seleccionada en uno de los canales de longitud de onda seleccionados, antes de entrar en el codificador 22 de polarización o en el controlador 23 de polarización, según se muestra en los dispositivos 41 y 51 de medición de la OSNR en las figuras 6(c) y 6(d), respectivamente. En aún otra disposición, el analizador 27 de espectro óptico (o filtro óptico) puede colocarse entre el controlador 23 de polarización y el codificador 22 de polarización. En las realizaciones de las figuras 6(c) y 6(d) los fotodetectores 28 están separados del analizador 27 de espectro óptico y dispuestos antes del procesador 29 de señal.

15 Preferiblemente, el codificador 22 de polarización y el controlador 23 de polarización debe detenerse durante las mediciones de potencia realizadas por los fotodetectores 28, de modo que no cambien el estado de polarización durante los cortos intervalos de tiempo en los que se mide la potencia óptica transmitida. Por tanto, el controlador 23 de polarización y el codificador 22 de polarización pueden cronometrarse sincrónicamente y detenerse durante las mediciones de potencia. En consecuencia, en una realización preferida de la presente invención, las funciones del codificador 22 de polarización y el controlador 23 de polarización pueden combinarse y realizarse por un solo transformador de polarización óptica 122, según se muestra en los dispositivos 61 y 71 de medición de la OSNR de las figuras 6(c) y (f), respectivamente, sin afectar la precisión de las mediciones de la OSNR. Un transformador 122 de polarización adecuado que combina y realiza simultáneamente las funciones del codificador 22 de polarización y del controlador 23 de polarización de las figuras 6(a)-6(d) se describe en la patente de los Estados Unidos número 5.327.511 antes referenciada. Como anteriormente, el analizador 27 de espectro óptico (o filtro óptico) puede posicionarse en la entrada antes del transformador 122 de polarización, como en la figura 6(f), o en cualquier otro sitio, por ejemplo en la salida del filtro/divisor de polarización 26, como en la figura 6(c).

20 En otra realización de la presente invención, ilustrada en la figura 7(a), fluctuaciones de polarización aleatorias o pseudoaleatorias, similares a las generadas por el codificador 22 de polarización en las figuras 6(a)-6(d), se introducen artificialmente en la señal de prueba directamente por el controlador 23 de polarización usando un explorador 124 de polarización aleatorizada para generar la exploración de polarización. Se pueden generar fluctuaciones de polarización grandes y aleatorias (o pseudoaleatorias) en la salida del controlador 23 de polarización aleatorizando los ajustes de los elementos de control del controlador 23 de polarización. En una implementación ejemplar del controlador 23 de polarización como una combinación en cascada de QWPs giratorias primera y segunda 125 y 126, respectivamente, véase la figura 7(b), tales fluctuaciones de polarización aleatorias pueden generarse ciclando las orientaciones angulares de las QWPs primera y segunda 125 y 126 periódicamente a través de una secuencia de unos valores, que se seleccionan de modo que la secuencia de estados de polarización generados se considere aleatoria, pero que preferiblemente, aunque no necesariamente, incluya un conjunto predeterminado de estados de polarización que sustancialmente cubran toda la esfera de Poincaré.

25 El filtro 26 de polarización, el analizador (filtro) 27 de espectro óptico, los fotodetectores 28 y el controlador 29 también se disponen, como se describió anteriormente. Como antes, el analizador 27 de espectro óptico también puede posicionarse antes del controlador 23 de polarización (figura 7c) o entre el controlador 23 de polarización y el filtro 26 de polarización (figura 7d).

30 Según la presente invención, las variaciones de polarización aleatorias pueden superponerse o, alternativamente combinarse con la exploración de polarización sistemática, que es necesaria para encontrar los niveles de potencia máxima y mínima después del filtro/divisor 26 de polarización. En una implementación ejemplar de este aspecto de la invención, las variaciones de polarización aleatorias se combinan con la exploración de polarización sistemática ciclando las QWPs primera y segunda 125 y 126 a través del mismo conjunto de orientaciones angulares usadas en una exploración de polarización sistemática, pero en una secuencia diferente y aleatorizada. Tal secuencia aleatorizada de estados de polarización puede generarse, por ejemplo, asignando en primer lugar un número aleatorio arbitrario, aunque único, a cada par de los ángulos de las QWP primera y segunda en la secuencia de exploración sistemática original (como la secuencia de 256 pasos mostrada en la figura 2) y posteriormente reordenando esta secuencia clasificando los números aleatorios asignados en orden ascendente (o descendente). Un ejemplo de una exploración de polarización QWP-QWP aleatoriamente reordenada con un número total de 256 pasos se muestra en la figura 8.

- El efecto de usar tal exploración de polarización aleatorizada se ilustra en la figura 9, la cual muestra estadísticas de PE numéricamente simuladas que se obtuvieron usando la exploración de polarización aleatorizada de la figura 8, en vez de la exploración sistemática de la figura 2, para medir la OSNR en presencia de fluctuaciones de polarización de señal aleatorias. Las curvas de la figura 9 se calcularon para fluctuaciones de polarización de señal aleatorias a cinco velocidades medias enormemente diferente, cubriendo una gama de varios órdenes de magnitud. Resulta claramente evidente en este gráfico que, a todas las velocidades, las estadísticas de PE siguen las mismas estadísticas esperadas del análisis anterior para señales con un estado de polarización rápidamente fluctuante. De hecho, a las cuatro velocidades más rápidas, la probabilidad acumulativa de que aparezcan relaciones de PE lineales grandes disminuye exponencialmente con la relación PE lineal, con sustancialmente la misma pendiente, mientras que la probabilidad acumulativa a la velocidad más baja se aproxima a la de una señal con un estado de polarización sustancialmente constante, indicando un límite superior finito para la relación PE. En contraste con los resultados mostrados en la figura 4, no hay grandes degradaciones de la relación PE a ninguna de las cinco velocidades analizadas, que incluyen aquellas en las que se observaron, en la figura 3, severas degradaciones "resonantes" de la PE.
- La figura 10 muestra aún otro conjunto de estadísticas de la PE numéricamente simuladas, que se obtienen usando una exploración de polarización QWP-QWP de 32x32 pasos similarmente aleatorizada. De nuevo, las probabilidades de una PE acumulativa a todas las velocidades se comportan bien y disminuyen exponencialmente con la relación PE lineal.
- Secuencias similarmente aleatorizadas de estados de polarización pueden generarse con muchos otros tipos de controladores de polarización que sean capaces de generar una exploración de polarización sistemática deseada. La presente invención, por tanto, no se limita a controladores de polarización que empleen cascadas de combinación de placas de onda giratorias, tales como QWPs giratorias en cascada o combinaciones de QWPs y HWP's giratorias.
- La precisión de una medición de la OSNR puede mejorarse adicionalmente haciendo una primera medición de la OSNR con una primera exploración de polarización aleatorizada y haciendo después una segunda medición de la OSNR con una exploración de polarización aleatorizada de manera sustancialmente diferente. Puede esperarse que una de estas mediciones rinda una relación PE más alta que la otra medición y, por tanto, un valor de la OSNR más alto (y, en consecuencia, más preciso). Además, este procedimiento puede repetirse varias veces para obtener la medición de la OSNR más precisa.

REIVINDICACIONES

1. Un método para medir la relación de señal/ruido óptico de una señal óptica que contiene una pluralidad de canales de longitud de onda con estados de polarización variables en el tiempo, que comprende:
- 5 (a) filtrar la señal óptica para formar una señal de prueba que comprende uno de los canales de longitud de onda o una frecuencia óptica seleccionada en uno de los canales de longitud de onda seleccionados;
- (b) transformar el estado de polarización de la señal de prueba en una secuencia aleatoria o pseudoaleatoria de estados de polarización transformados diferentes;
- (c) filtrar un primer estado de polarización de los estados de polarización transformados de la señal de prueba con un filtro de polarización (26) bajo una orientación fija predeterminada;
- 10 (d) medir la potencia óptica de la señal de prueba transmitida a través del filtro de polarización (26) en cada uno de los estados de polarización transformados con el fin de determinar unas potencias de señal óptica medidas máxima y mínima; y
- (e) calcular una relación de extinción de polarización a partir de las mediciones de las señales recibidas máxima y mínima con el fin de obtener una relación señal/ruido óptico para la señal de prueba;
- 15 en donde el tiempo de medición del paso (d) es suficientemente corto para que el estado de polarización de la señal luminosa óptica en el canal de longitud de onda seleccionado sea sustancialmente constante durante la medición de la potencia óptica, limitando así una degradación en la relación de extinción de polarización calculada, caracterizado porque en el paso (b) comprende:
- 20 (i) modular aleatoria o pseudoaleatoriamente el estado de polarización de la señal de prueba a un primer régimen; y
- (ii) transformar el estado de polarización modulado de la señal de prueba en una secuencia aleatoria o pseudoaleatoria de estados de polarización diferentes a un segundo régimen más lento que el primer régimen.
2. El método según la reivindicación 1, en el que la secuencia de estados de polarización transformados generada en el paso (b) cubre sustancialmente toda la esfera de Poincaré.
- 25 3. El método según la reivindicación 1, en el que la secuencia de estados de polarización transformados generada en el paso (b) está compuesta por estados de polarización estadísticamente independiente en los que cualesquiera dos estados de polarización sucesivos no están correlacionados.
4. El método según la reivindicación 1, en el que los estados de polarización generados en el paso (b) son diferentes para cada cálculo en el paso (e), en el que se calcula una relación señal/ruido óptico para la señal luminosa en el canal de longitud de onda seleccionado.
- 30 5. El método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que el paso (c) comprende dividir la señal de prueba en un par de estados de polarización ortogonales predeterminados, y en el que el paso (d) comprende medir potencias ópticas en ambos estados de polarización ortogonales.
- 35 6. Un método para medir la relación señal/ruido óptico de una señal óptica que contiene una pluralidad de canales de longitud de onda que tienen estados de polarización variables en el tiempo, que comprende:
- (a) transformar el estado de polarización de la señal en una secuencia aleatoria o pseudoaleatorias de estados de polarización transformados diferentes;
- 40 (b) filtrar un primer estado de polarización del estado de polarización transformado de la señal con un filtro de polarización (26) bajo una orientación fija predeterminada;
- (c) filtrar la señal procedente del filtro de polarización para formar una señal de prueba que comprenda uno de los canales de longitud de onda o una frecuencia óptica seleccionada en uno de los canales de longitud de onda seleccionado;
- 45 (d) medir la potencia óptica de la señal de prueba transmitida a través del filtro de polarización (26) en cada uno de los estados de polarización transformados con el fin de determinar unas potencias de señal óptica medidas máxima y mínima; y
- (e) calcular una relación de extinción de polarización a partir de las mediciones de las señales recibidas máxima y mínima con el fin de obtener una relación de señal/ruido óptico para la señal de prueba;
- 50 en el que el tiempo de medición del paso (d) es suficientemente corto para que el estado de polarización de la señal luminosa óptica en el canal de la longitud de onda seleccionado sea sustancialmente constante

durante la medición de la potencia óptica, limitando así una degradación en la relación de extinción de polarización calculada, caracterizado porque el paso (a) comprende:

i) modular aleatoria o pseudoaleatoriamente el estado de polarización de la señal de prueba a un primer régimen; y

5 ii) transformar el estado de polarización modulado de la señal de prueba en la secuencia aleatoria o pseudoaleatoria de estados de polarización diferentes a un segundo régimen más lento que el primer régimen.

7. Un método para medir la relación de señal/ruido óptico de una señal óptica que contiene una pluralidad de canales de longitud de onda que tienen estados de polarización variables en el tiempo, que comprende:

10 (a) transformar el estado de polarización de la señal en una secuencia aleatoria o pseudoaleatoria de estados de polarización transformados diferentes;

(b) filtrar la señal con estados de polarización transformados para formar una señal de prueba que comprenda uno de los canales de longitud de onda o una frecuencia óptica seleccionada en uno de los canales de longitud de onda seleccionados;

15 (c) filtrar un primer estado de polarización de los estados de polarización transformados de la señal de prueba con un filtro de polarización (26) bajo una orientación fija predeterminada.

(d) medir la potencia óptica de la señal de prueba transmitida a través del filtro de polarización (26) en cada uno de los estados de polarización transformados con el fin de determinar unas potencias de señal óptica medidas máxima y mínima; y

20 (e) calcular una relación de extinción de polarización a partir de las mediciones de las señales recibidas máxima y mínima con el fin de obtener una relación de señal/ruido óptico para la señal de prueba;

en el que el tiempo de medición del paso (d) es suficientemente corto para que el estado de polarización de la señal luminosa óptica en el canal de longitud de onda seleccionado sea sustancialmente constante durante la medición de la potencia óptica, limitando así una degradación en la relación de extinción de polarización calculada, caracterizado porque el paso (a) comprende:

25 i) modular aleatoria o pseudoaleatoriamente el estado de polarización de la señal de prueba a un primer régimen; y

30 ii) transformar el estado de polarización modulado de la señal de prueba en la secuencia aleatoria o pseudoaleatoria de estados de polarización diferentes a un segundo régimen más lento que el primer régimen.

8. Un aparato para medir la relación señal/ruido óptico de una señal óptica que contiene una pluralidad de canales de longitud de onda, los cuales tienen estados de polarización variables en el tiempo, que comprende:

un filtro óptico (27) para seleccionar una señal de prueba que comprende uno de los canales de longitud de onda en la señal óptica o un rango de frecuencia óptica en uno de los canales de longitud de onda;

35 un codificador de polarización (22) para modular aleatoria o pseudoaleatoriamente el estado de polarización de la señal de prueba a un primer régimen;

un controlador de polarización óptica ajustable (23) para transformar el estado de polarización de la señal de prueba en una secuencia aleatoria o pseudoaleatoria de estados de polarización sustancialmente diferentes a un segundo régimen que es más lento que el primer régimen;

40 un filtro de polarización óptica (26) para filtrar un primer estado de polarización de los estados de polarización transformados de la señal de prueba;

un detector óptico (28) para medir la potencia óptica en la señal de prueba transmitida a través del filtro (26) de polarización óptica cuando el controlador (23) de polarización es variado mediante la secuencia de ajustes con el fin de determinar unas potencias de señal óptica medidas máxima y mínima; y

45 un procesador de señal (29) para determinar unas potencias ópticas medidas máxima y mínima y para calcular una relación de extinción de polarización a partir de las mediciones de las señales recibidas máxima y mínima con el fin de obtener una relación señal/ruido para la señal de prueba.

9. El aparato según la reivindicación 8, en el que dicho primer régimen es suficientemente lento para que el estado de polarización no cambie significativamente durante la medición de la potencia de señal óptica, limitando así una

degradación en la determinación de la relación de extinción de la polarización debido a los estados de polarización variables en el tiempo.

5 10. El aparato según la reivindicación 8, en el que dicho codificador (22) de polarización y dicho controlador (23) de polarización están adaptados para ser detenidos durante la medición de la potencia de señal óptica, limitado así una degradación en la determinación de la relación de extinción de la polarización debido a estados de polarización variables en el tiempo.

10 11. El aparato según la reivindicación 8, 9 o 10, en el que dicho controlador (23) de polarización comprende una cascada de dos placas de cuarto de onda giratorias (125 y 126), y en el que las orientaciones angulares de las dos placas de cuarto de onda están adaptadas para ser variadas aleatoria o pseudoaleatoriamente y de manera independiente en un rango de al menos 180°.

12. El aparato según la reivindicación 8, en el que la secuencia de estados de polarización transformados generada en el controlador (23) de polarización óptica ajustable puede cubrir toda la esfera de Poincaré.

15 13. El aparato según la reivindicación 8, en el que la secuencia de estados de polarización transformados que se van a generar en el controlador (23) de polarización óptica está compuesta por estados de polarización estadísticamente independientes en los que cualesquiera dos estados de polarización sucesivos no está correlacionados.

14. El aparato según la reivindicación 8, en el que los estados de polarización que se van a generar en el controlador (23) de polarización óptica son diferentes para cada cálculo del procesador (29) de señal en el que se va a calcular una relación señal/ruido óptico para la señal luminosa en el canal de longitud de onda seleccionado.

20 15. El aparato según la reivindicación 8, en el que el filtro (26) de polarización óptica está adaptado para dividir la señal de prueba en unos estados de polarización ortogonales primero y segundo para medir potencias ópticas en ambos estados de polarización ortogonales primero y segundo.

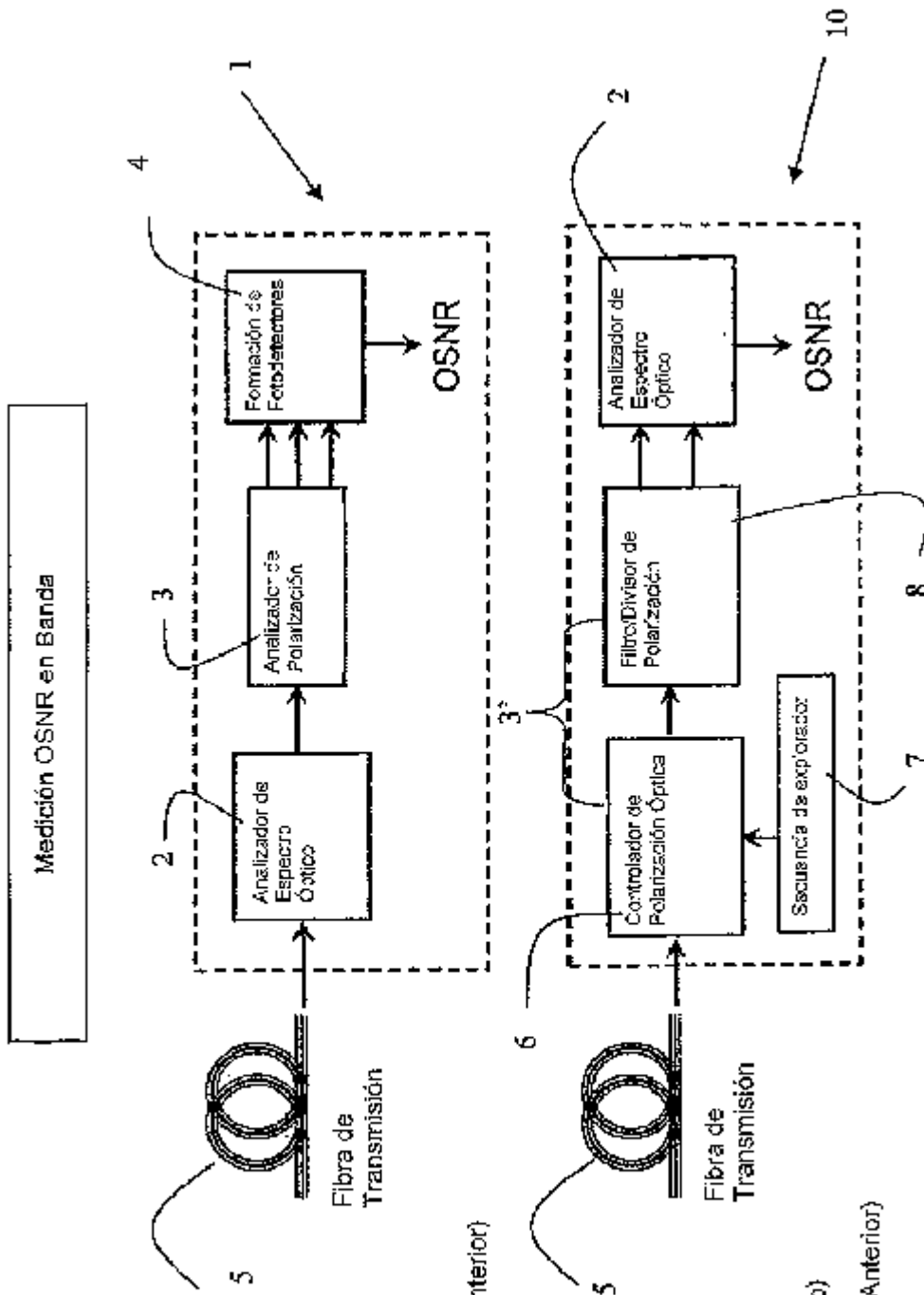


Figura 1(a)
(Técnica Anterior)

Figura 1(b)
(Técnica Anterior)

Figura 2
(Técnica Anterior)

Exploración de Polarización QWP-QWP 16 x 16

QWP 1 + QWP 2

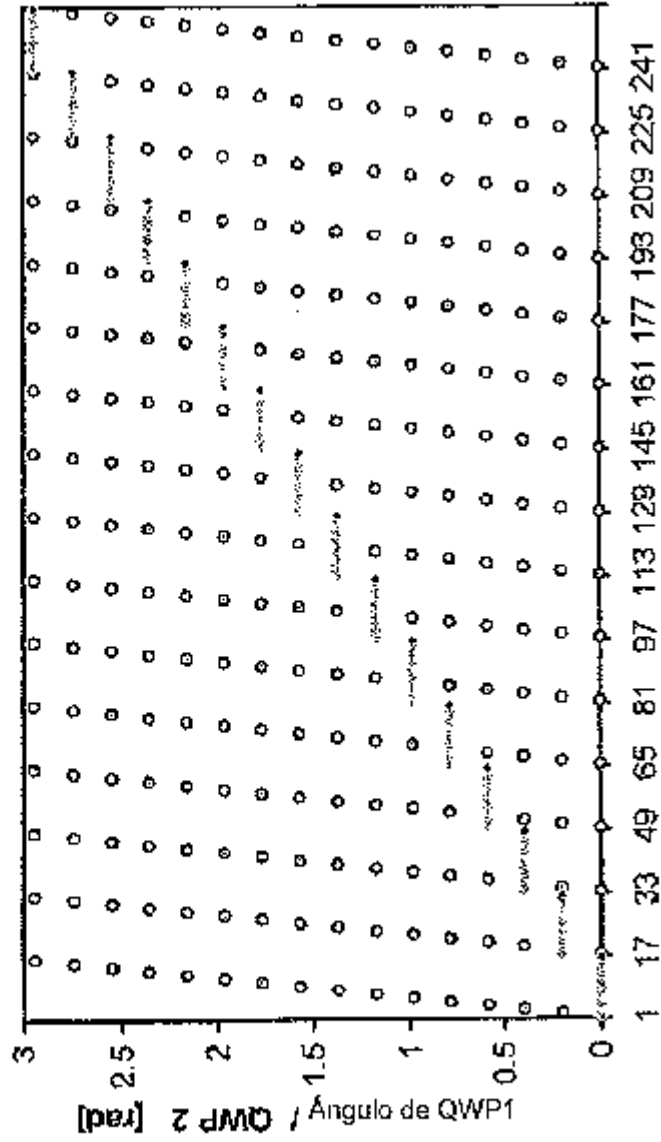


Figura 3
(Técnica Anterior)

Variaciones de Polarización Resonantes

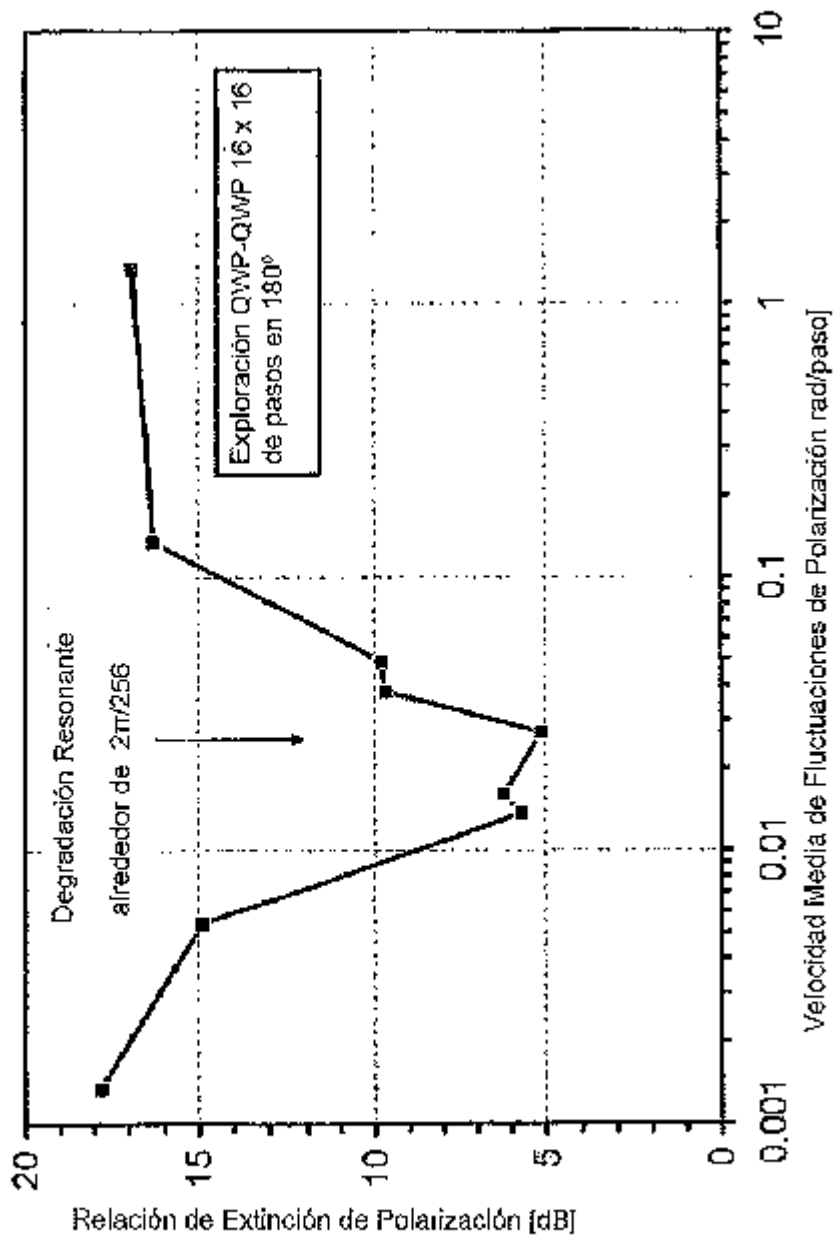


Figura 4

Efecto de Fluctuaciones de Polarización

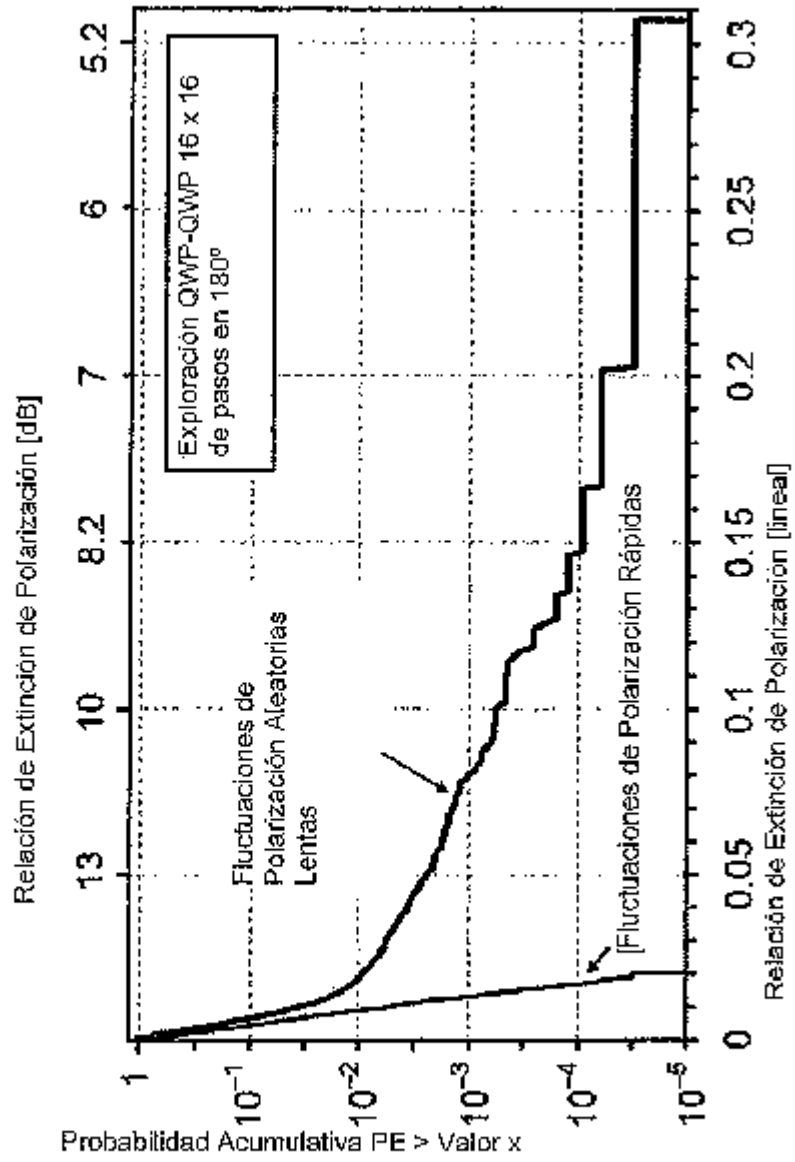
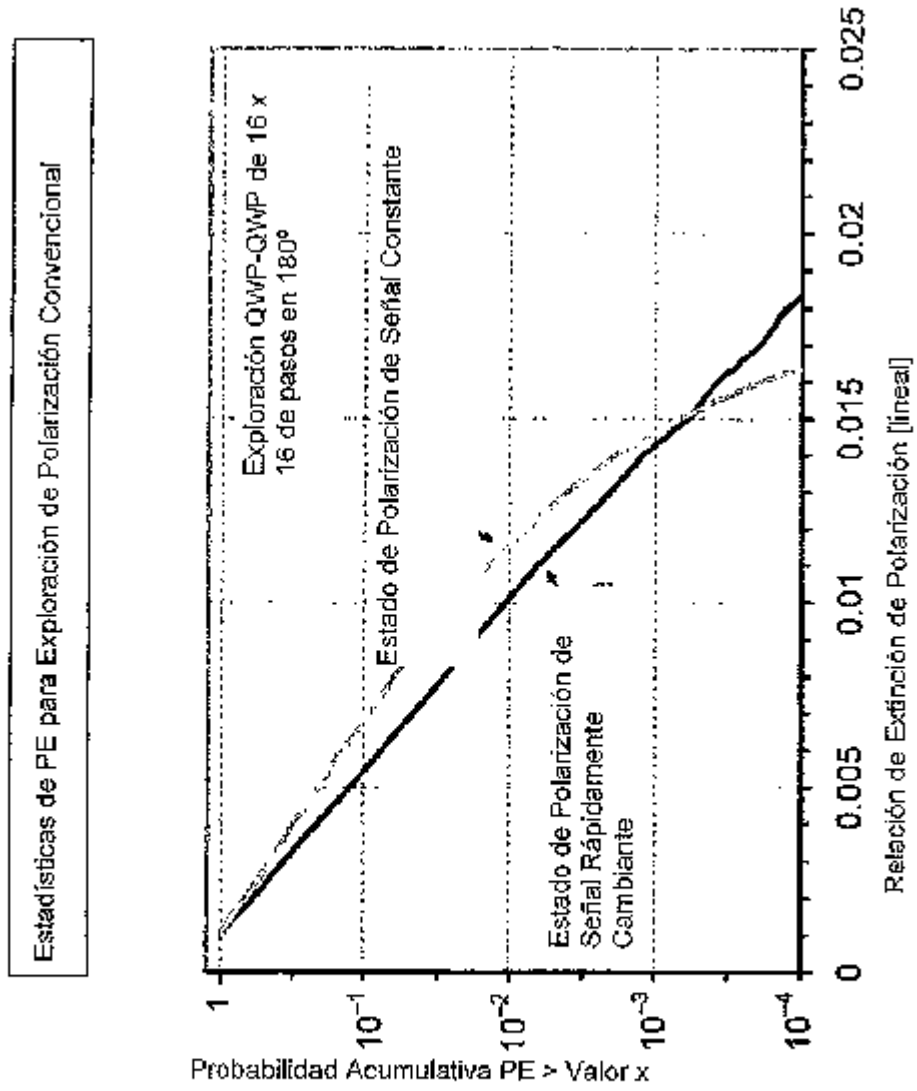
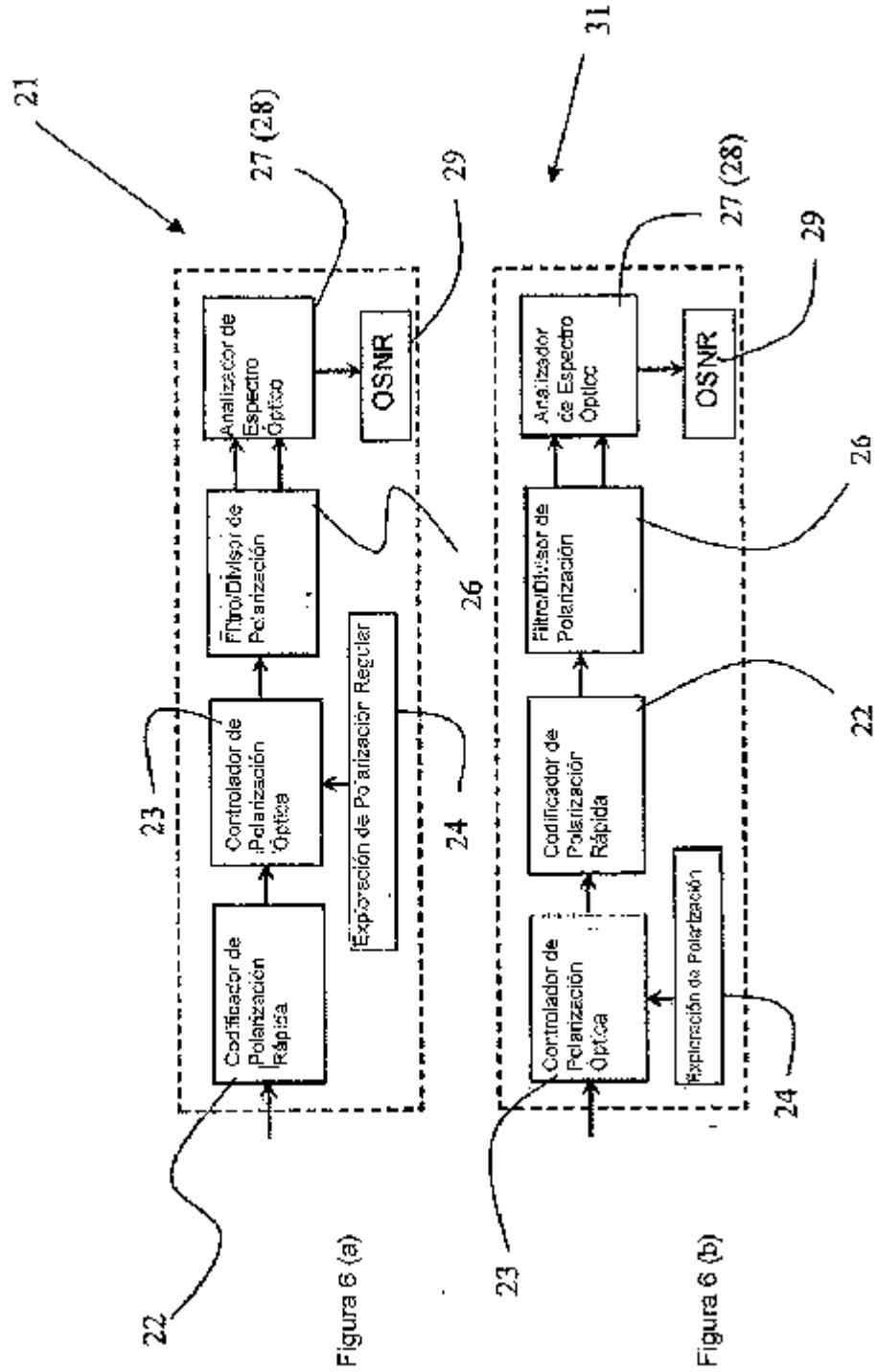
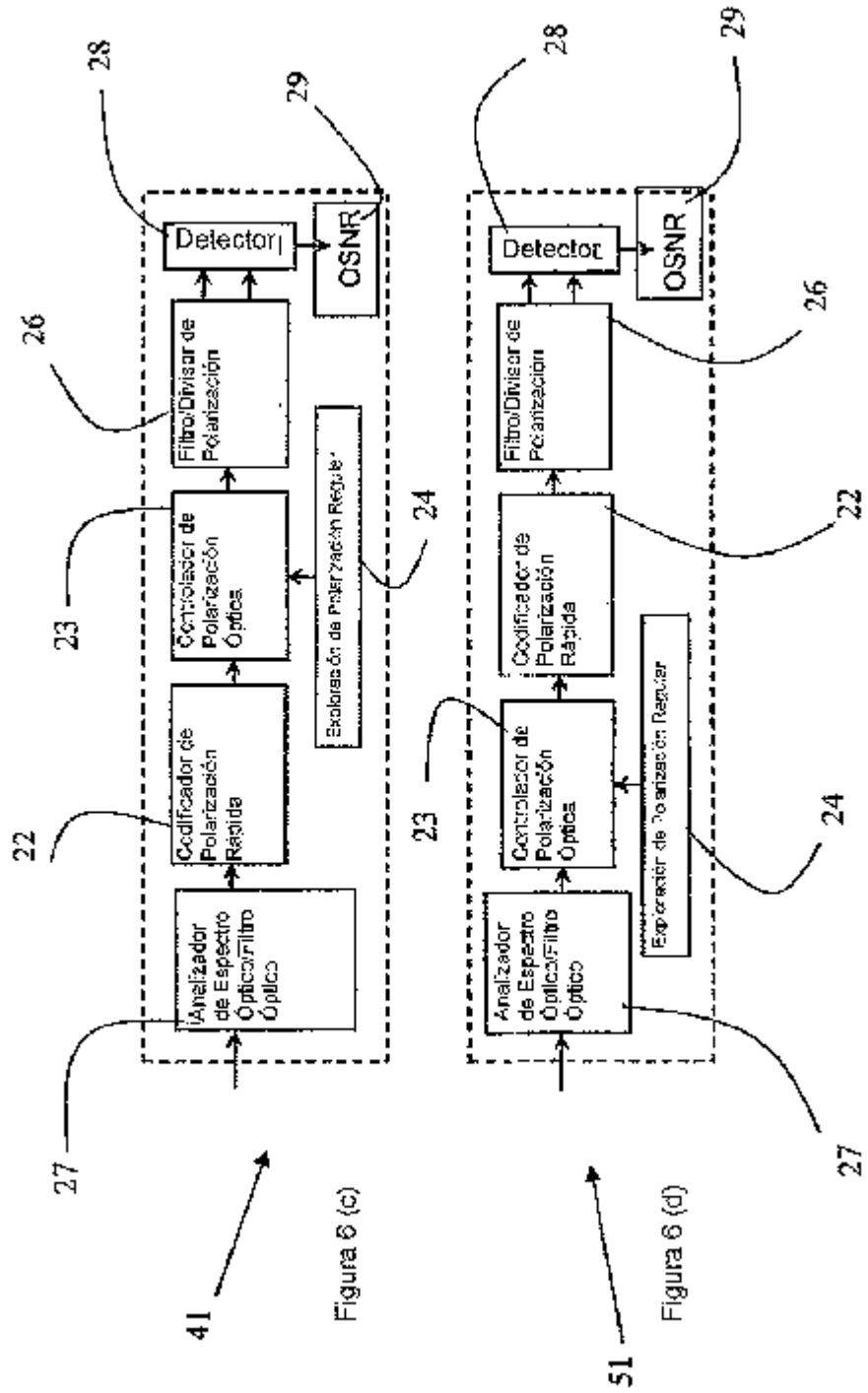


Figura 5



Método Mejorado para Medir la OSNR en Banda





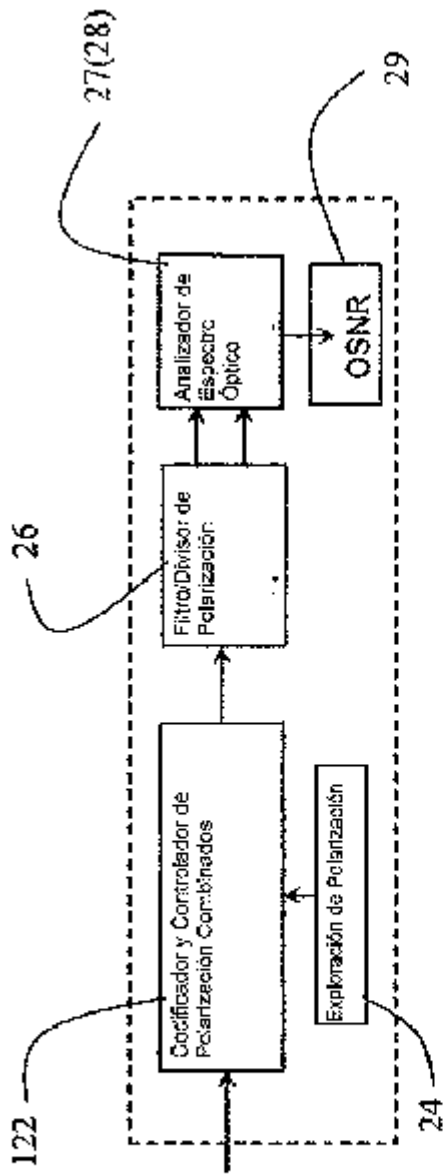


Figura 6 (e)

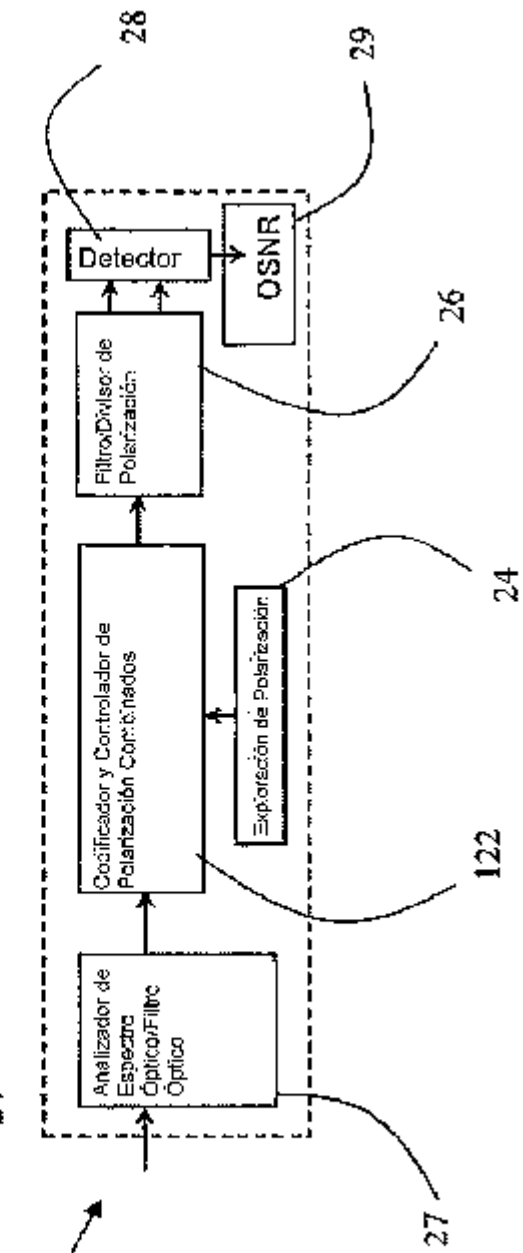
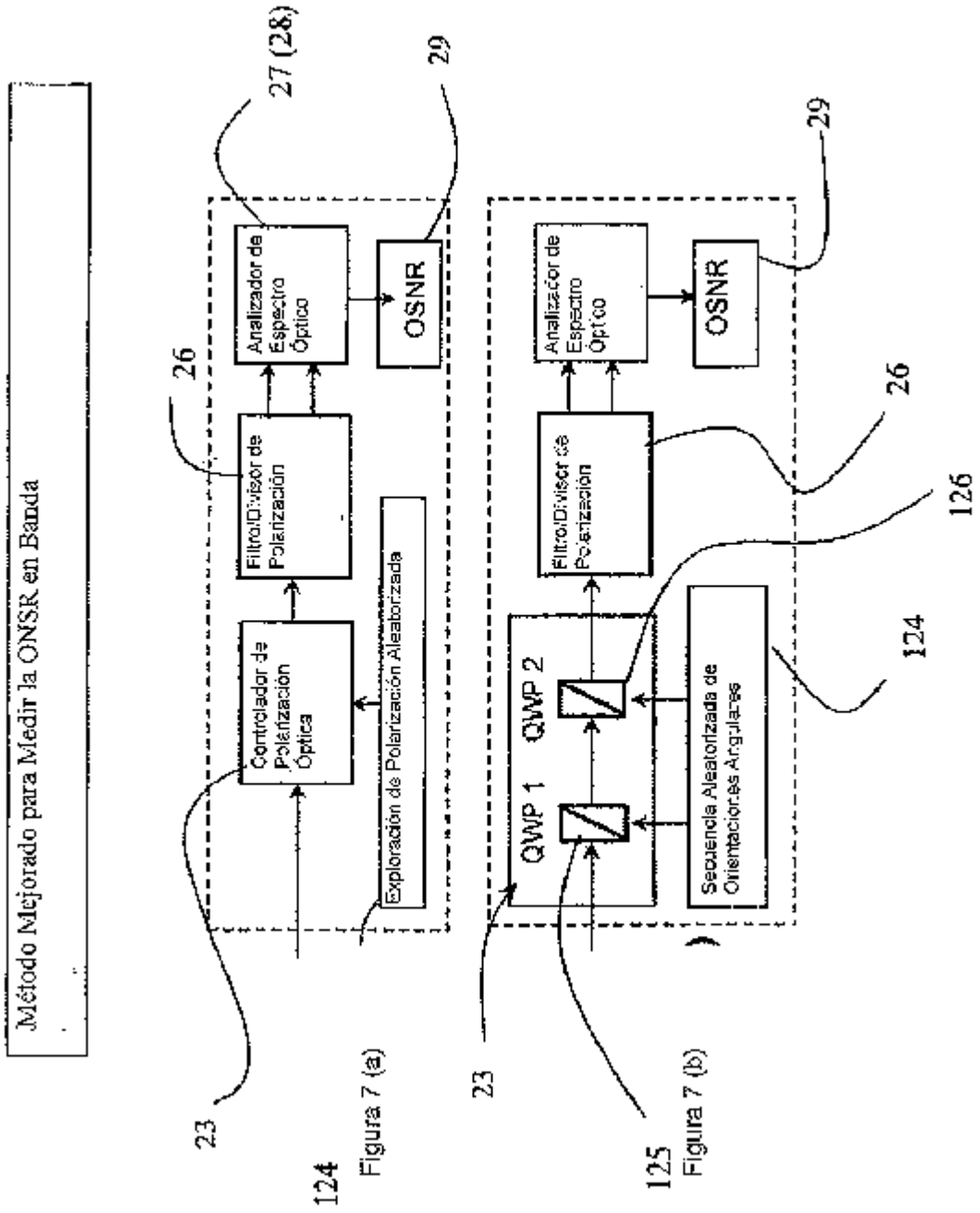


Figura 6 (f)



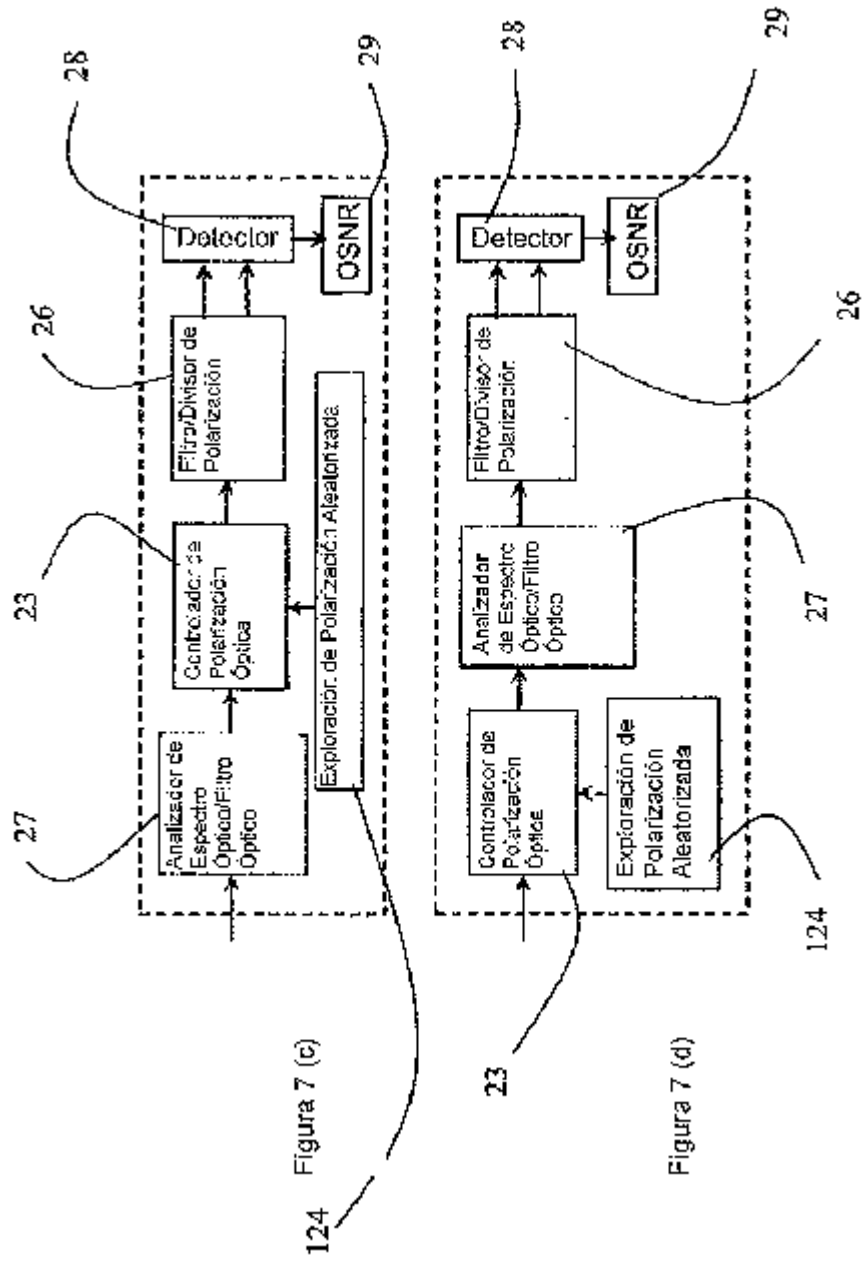


Figura 8

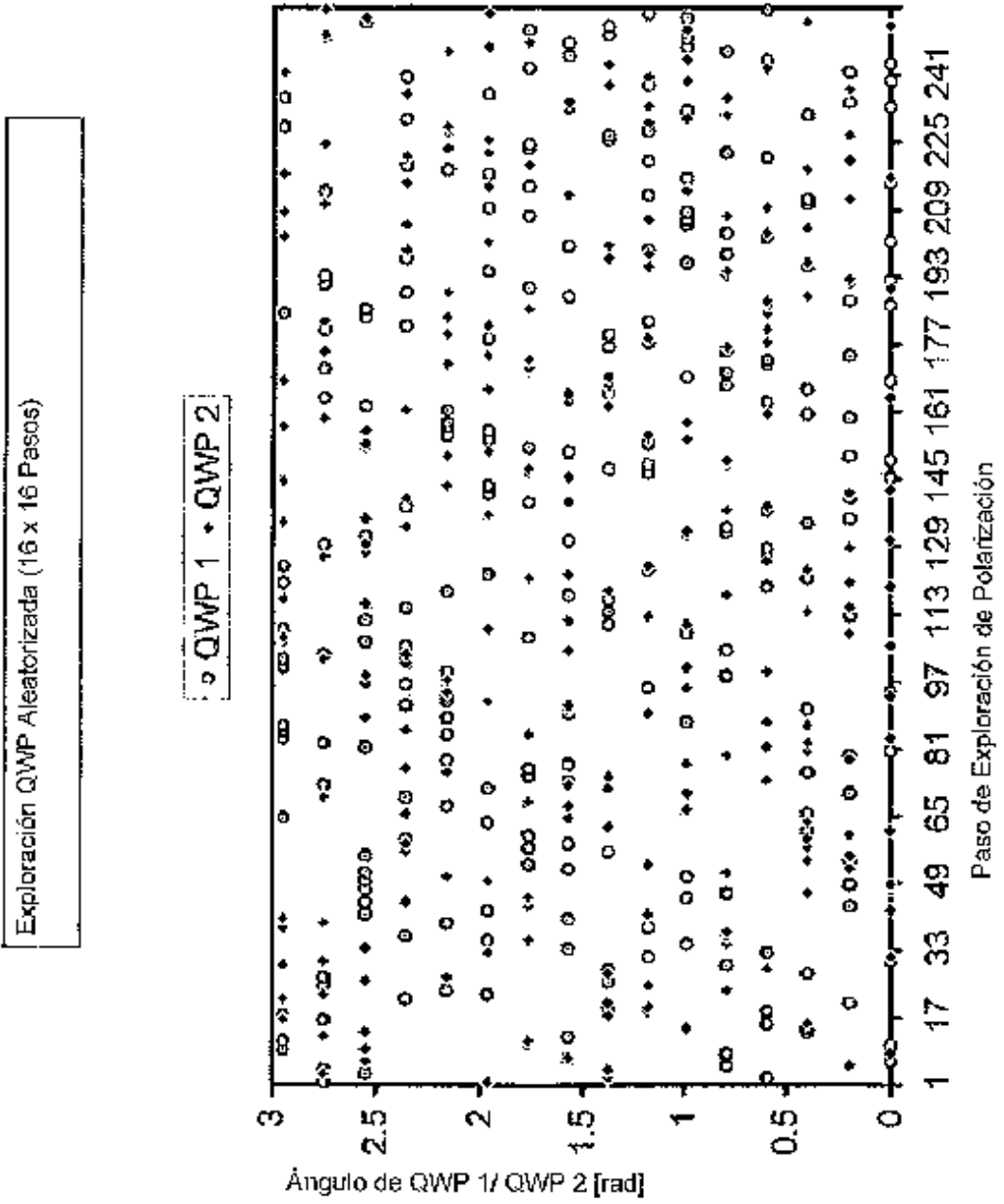
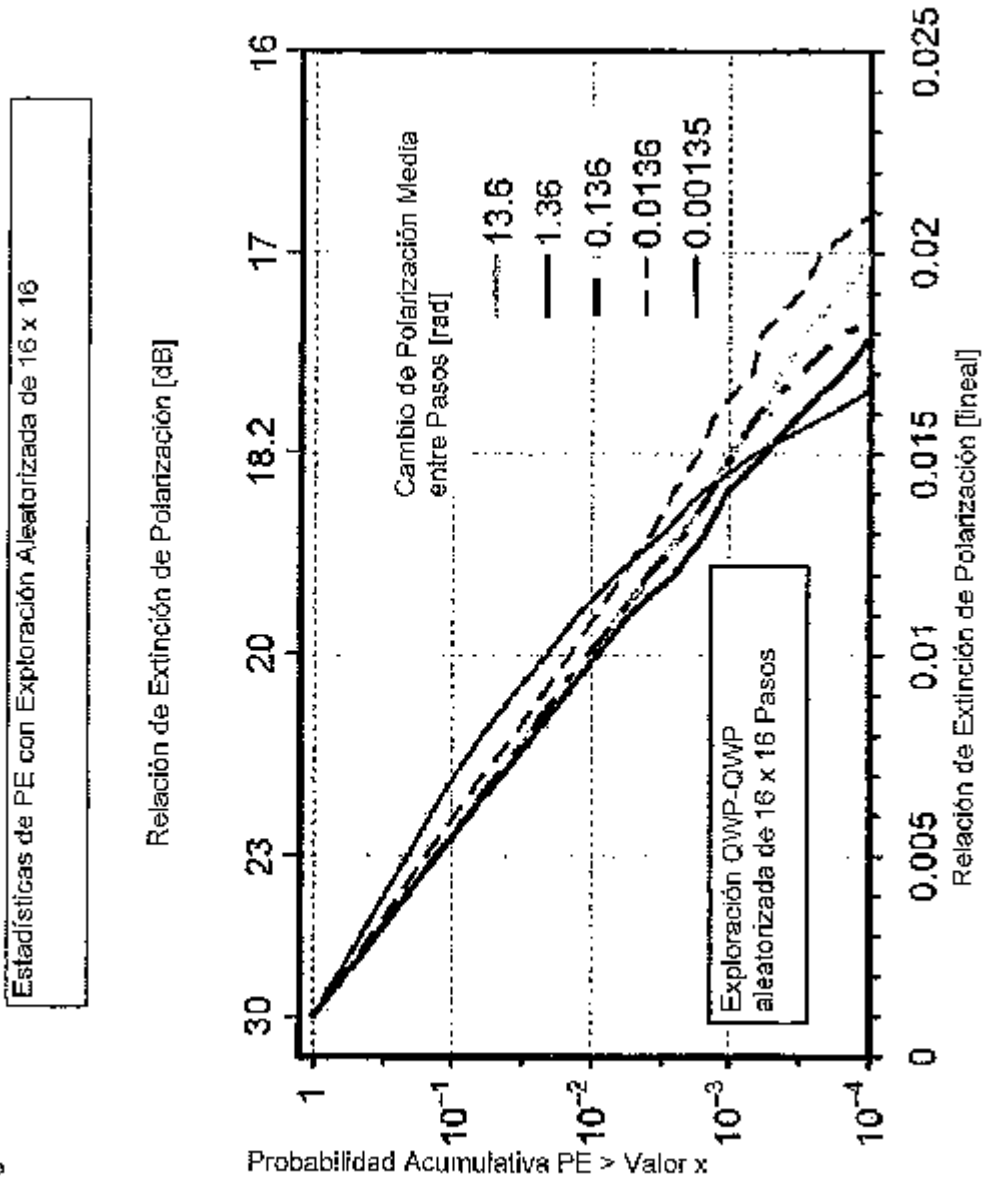


Figura 9



Estadísticas de PE con exploración Aleatorizada de 32x32

Figura 10

