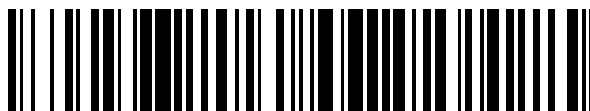


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 674 815**

51 Int. Cl.:

**H04B 7/0413** (2007.01)

**H04B 7/10** (2007.01)

**H04W 72/08** (2009.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.01.2014 PCT/EP2014/051801**

87 Fecha y número de publicación internacional: **06.08.2015 WO15113603**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.01.2014 E 14702019 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.02.2018 EP 3100371**

54 Título: **Procedimiento y sistema para proporcionar diversidad en la polarización de antenas**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**04.07.2018**

73 Titular/es:

**FUNDACIÓ CENTRE TECNOLÒGIC DE  
TELECOMUNICACIONS DE CATALUNYA  
(100.0%)  
Av. Carl Friedrich Gauss, 7  
08860 Castelldefels, Barcelona, ES**

72 Inventor/es:

**HENAREJOS HERNÁNDEZ, POL y  
PÉREZ NEIRA, ANA ISABEL**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

ES 2 674 815 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

Procedimiento y sistema para proporcionar diversidad en la polarización de antenas

**Campo de la invención**

5 La presente invención tiene su aplicación dentro del sector de las telecomunicaciones y se refiere, especialmente, a un sistema y un procedimiento para proporcionar diversidad espacial.

**Antecedentes de la invención**

Los esquemas de entrada múltiple salida múltiple (MIMO) se introdujeron como una forma prometedora de aumentar notablemente la eficiencia espectral, usando múltiples antenas en la transmisión y/o la recepción.

10 Entre los diferentes enfoques existentes (diversidad espacial, formación de haz o multiplexación espacial), el esquema de espacio-tiempo por capas de laboratorios Bell vertical (V-BLAST) y sus mejoras sucesivas presentaron una forma simple de duplicar la velocidad con un aumento relativo de la complejidad. Sin embargo, V-BLAST introdujo más interferencias entre las transmisiones debido a que todas las señales se transmiten a través de todas las antenas sin ninguna pre-cancelación de interferencias. Por lo tanto, las señales se transmitirán con una amplitud más alta para garantizar los mismos valores de calidad de servicio (QoS).

15 A diferencia del V-BLAST, la modulación espacial (SM) apareció recientemente para aumentar la eficiencia espectral, pero manteniendo los mismos niveles de potencia de las transmisiones de una única antena. En la SM, los bits de información se dividen en algunos bloques de información que se codifican como índices de antena. El resto de los bits se transmiten a través de esas antenas que se seleccionan previamente por esos bits divididos. De este modo, el receptor puede estimar los índices de antena y, por lo tanto, decodificar esos índices en bits. Se sabe que el principio operativo básico de la modulación espacial ofrece una única implementación de la cadena de radiofrecuencia (RF) que da como resultado una mayor eficiencia energética. Sin embargo, este enfoque SM es muy sensible a las variaciones de canal y requiere una estimación de canal precisa.

20 En las comunicaciones por satélite, la larga distancia impide que se aplique este enfoque, debido a que el canal puede estar correlacionado y el ángulo de elevación para cada antena es prácticamente el mismo desde la Tierra. Por lo tanto, la sensibilidad del terminal no es suficiente para distinguir la trayectoria espacial y detectar el índice de antena. Debido a esto, la modulación espacial parece no ser adecuada ya que no proporciona suficiente diversidad. De hecho, uno de los principales inconvenientes de las comunicaciones móviles por satélite es que la asignación de energía es a menudo restrictiva, lo que hace que no sea asequible mejorar la eficiencia espectral sin mayores gastos de energía.

25 Por otro lado, las antenas de doble polarización tradicionalmente usadas para la radiodifusión, donde los abonados solo ajustan una única polarización, también se han aplicado en escenarios MIMO ya que los estudios recientes revelan que el MIMO de doble polarización es más rico en términos de diversidad ("Statistical Modeling of Dual-Polarized MIMO Land Mobile Satellite Channels", por A.I. Pérez-Neira y col., IEEE Transactions on Communications, vol. 58, n.º 11, páginas 3077-3083, 2010).

30 Además, el uso de antenas de doble polarización está aumentando por el hecho de que surgen nuevas posibilidades y las normas más recientes incluyen MIMO de doble polarización, como la siguiente generación de radiodifusión de vídeo digital para dispositivos portátiles (DVB-NGH).

35 Con respecto al uso de antenas de doble polarización, pero en otros escenarios de comunicación por satélite donde no existen las severas restricciones de capacidad de procesamiento requeridas por la reproducción directa de vídeo y otras transmisiones, el documento US5822429 desvela un sistema para evitar la recepción y el reconocimiento de señales de satélite de posicionamiento global (GPS) procedentes de receptores no autorizados. Este sistema de GPS (denegación selectiva) comprende una unidad de interferencia para propagar formas de onda de interferencia y al menos una unidad de recepción para recibir señales de GPS, así como las formas de onda de interferencia propagadas. La unidad de interferencia comprende una unidad de antena de transmisión para propagar una forma de onda de interferencia en dos estados de polarización distintos, y una unidad de conmutación de control de transmisión para controlar la secuencia de los dos estados de polarización propagados de acuerdo con un esquema de cifrado. La o las unidades receptoras incluyen una unidad de antena de recepción y una unidad de supresión de forma de onda de interferencia para suprimir cada estado polarizado de las formas de onda de interferencia recibidas. Las señales de interferencia, en su forma más simple, emplean una modulación por bipolarización (BPK) definida como una conmutación y radiación sincrónica entre dos (o más) estados de polarización en un ciclo de trabajo de denegación de casi el 100 por ciento. Una forma de onda de modulación de conmutación codificada controla la conmutación entre los estados de polarización usando una técnica de cifrado de pseudo-ruido que permite la recepción asincrónica, la decodificación y la sincronización para usuarios autorizados que acceden al receptor de GPS.

40 45 50 55 Finalmente, muchas conclusiones del proyecto informan que puede aumentarse la capacidad de procesamiento como en un sistema MIMO convencional pero sin los gastos de añadir más antenas, y las consiguientes cadenas de RF ("Dual polarization for {MIMO} processing in multibeam satellite systems" por A.I. Pérez-Neira y col., 10<sup>o</sup> International Workshop on Signal Processing for Space Communications, 2008). Uno de los principales beneficios es la baja interferencia de canal cruzado debido a acoplamientos recíprocos entre componentes de radiofrecuencia (RF). Sin embargo, a pesar de que los canales son casi perfectamente independientes, todavía hay un campo que investigar con el fin de mitigar las interferencias.

60 El primer intento es extender el esquema V-BLAST a esquemas de doble polarización. Sin embargo, como revelan

proyectos recientes, este intento requiere mayores contribuciones de energía para mantener la misma QoS en clientes punto a punto.

Otra solución existente digna de mención es "SINGLE ANTENNA SPACIAL DIVERSITY" de Shuang Zhao y col., 5<sup>o</sup> International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing 2009. Este enfoque usa diversidad espacial en una única antena, pero la antena se mueve en el espacio alrededor de un área geográfica. Por lo tanto, la diversidad espacial lograda en este sistema depende de la velocidad con la que se mueve la antena. Por lo tanto, la solución solo se aplica a entornos de dispersión enriquecidos estáticos o cuasiestáticos, pero no puede trasladarse a escenarios móviles debido a varias razones. Una primera razón es que una antena que requiere moverse por un dispositivo motorizado con un medio de guía de desplazamiento no puede integrarse en un dispositivo móvil de comunicaciones por satélite. Otra razón es que el enfoque de Shuang Zhao y col. es una unidad de transmisión, pero no tiene nada que ver con un sistema de comunicación completo que incluye al menos una unidad receptora. Por lo tanto, existe una necesidad en el estado de la técnica de un sistema y un procedimiento que garanticen un aumento del rendimiento general en términos de capacidad de procesamiento en las transmisiones por satélite, incluido el caso móvil más desafiante, que garanticen a la vez un mínimo requerido de QoS (calidad de servicio) y que necesiten un mínimo aumento en el uso de energía.

### **Sumario de la invención**

La presente invención resuelve los problemas mencionados anteriormente desvelando un procedimiento y un sistema que aplican la modulación espacial (SM) a las comunicaciones de doble polarización en canales por satélite (móviles y fijos). La solución propuesta en este caso se titula modulación polarizada (PM) y explota el concepto de SM pero aplicado a la polarización en lugar de a las antenas, proporcionando diversidad espacial mediante el uso de una única antena de doble polarización (es decir, en el contexto de la presente invención, la diversidad espacial no es lo mismo que la diversidad de antena pero es igual a la diversidad en la polarización).

La presente invención logra un aumento significativo de la capacidad de procesamiento en las comunicaciones por satélite usando soluciones de baja complejidad que pueden implicar detecciones de hardware y software de la señal recibida. La presente invención solo requiere 0,4 dB de potencia adicional con el fin de garantizar la misma QoS si se compara con el caso donde se usa una única polarización. Además, la presente invención puede aplicarse y validarse para las normas relacionadas con el satélite ETSI.

De acuerdo con un primer aspecto de la presente invención, un procedimiento para proporcionar diversidad en la polarización de antenas se desvela y comprende las siguientes etapas:

- transmitir un símbolo  $s$ , que contiene  $b$  bits y un bit  $c$  adicional, usando una primera polarización o una segunda polarización de una única antena de transmisión que está doblemente polarizada, cuya polarización se determina por el bit  $c$  adicional;
- recibir una señal y por una única antena de recepción que también está doblemente polarizada y, en el extremo de recepción, estimar el bit  $c$  adicional para determinar si la primera polarización o la segunda polarización se usan para obtener los  $b+1$  bits de información con los que se recupera el símbolo  $s$ .

Otro aspecto de la presente invención se refiere a un receptor para proporcionar diversidad en la polarización de antenas, que comprende:

- una única antena de recepción que está doblemente polarizada para recibir una señal y para obtener  $b$  bits de información y un bit  $c$  adicional a partir de un símbolo  $s$  transmitido,
- un bloque de estimador para estimar el bit  $c$  adicional para determinar si se usa la primera polarización o la segunda polarización para obtener los  $b+1$  bits de información.

Otro aspecto de la presente invención se refiere a un transmisor para proporcionar diversidad en la polarización de antenas, que comprende una única antena de transmisión que está doblemente polarizada para transmitir un símbolo  $s$  que contiene  $b+1$  bits de información a recuperar por el receptor definido anteriormente.

Otro aspecto de la presente invención hace referencia a un sistema, que está integrado en una red de telecomunicaciones, por ejemplo, una red de comunicaciones por satélite, para proporcionar diversidad en la polarización de antenas. El sistema comprende un transmisor y un receptor, como se ha descrito anteriormente:

- el transmisor comprende una única antena de transmisión que está doblemente polarizada para transmitir el símbolo  $s$ , conteniendo el símbolo  $s$  los  $b$  bits más un bit  $c$  adicional y transmitiéndose mediante el uso de una primera polarización o una segunda polarización de la antena de transmisión dependiendo del bit  $c$  adicional;
- el receptor comprende una única antena de recepción que está doblemente polarizada para recibir la señal  $y$ , y comprende además el bloque de estimador para estimar el bit  $c$  adicional para determinar si se usa la primera polarización o la segunda polarización para obtener los  $b+1$  bits de información.

En un último aspecto de la presente invención, se desvela un programa informático que comprende un medio de código de programa informático adaptado para realizar las etapas del procedimiento descrito, cuando dicho programa se ejecuta en un ordenador, un procesador de señal digital (DSP), una matriz de puertas programable en

campo (FPGA), un circuito integrado de aplicación específica (ASIC), un microprocesador, un microcontrolador o cualquier otra forma de hardware programable.

El procedimiento y el sistema de acuerdo con los aspectos anteriormente descritos de la invención tienen una serie de ventajas con respecto a la técnica anterior, resumidas de la siguiente manera:

- 5 - La presente invención logra una mejora en la capacidad de procesamiento de hasta el 100 % con un aumento de menos de 1 dB a un régimen  $E_b/N_0$  bajo usando una antena de doble polarización en el transmisor y en el receptor. Aunque algunos sistemas de la técnica anterior existentes, tales como los códigos VBLAST o Alamouti, también usan antenas polarizadas, siempre proporcionan ganancias marginales y, a menudo, necesitan un aumento de la asignación de energía.
- 10 - La presente invención tiene una complejidad informáticamente baja y no implica ninguna modificación de hardware con respecto a los sistemas de doble polarización existentes. Por lo tanto, puede usarse en implementaciones actuales donde se usan transmisiones de doble polarización. Gracias a la formulación de procesamiento de señal de la solución de PM propuesta, es posible mejorar la capacidad de procesamiento con un pequeño incremento del  $E_b/N_0$ . Como ejemplo, usando el caso VBLAST, aunque puede cumplirse un aumento del 100 %, se necesita un aumento de más de 3 dB de la radiación de energía.
- 15 - Con respecto al documento US5822429, ninguno de los escenarios de aplicación ni la modulación usados son los mismos que los aplicados en la presente invención. El sistema descrito en el documento US5822429 usa una modulación BPK, mientras que la presente invención aplica la modulación polarizada (PM) propuesta que puede compararse con modulaciones tradicionales (BPSK o QPSK) de escenarios de comunicaciones móviles por satélite. El documento US5822429 se refiere a escenarios de interferencia de GPS y el objetivo es impedir las señales de interferencia recibidas. Por el contrario, el fin de la presente invención es aumentar la capacidad de procesamiento en las comunicaciones por satélite. Tanto la presente invención como el sistema desvelado en el documento US5822429 hacen referencia a la conmutación entre estados de polarización, pero el documento US5822429 enseña una conmutación aleatoria entre estados de polarización, a diferencia de la PM propuesta de la presente invención que conmuta entre los dos estados de polarización de una manera determinista, como se ha descrito anteriormente.
- 20 - Con respecto a las enseñanzas de Shuang Zhao y col. en "SINGLE ANTENNA SPACIAL DIVERSITY", este enfoque es solo para escenarios de dispersión (cuasi)estática y es necesario mover la antena alrededor de un área geográfica. Por el contrario, la presente invención usa una única antena en un punto de localización fijo y trata no solo de comunicaciones fijas sino también de escenarios móviles donde las condiciones de transmisión sufren cambios rápidos.
- 25
- 30

Estas y otras ventajas serán evidentes a la luz de la descripción detallada de la invención.

### **Descripción de los dibujos**

35 Con el fin de ayudar a la comprensión de las características de la invención, de acuerdo con una realización práctica preferente de la misma y con el fin de complementar la presente descripción, las figuras siguientes se adjuntan como una parte integrante de la misma, teniendo un carácter ilustrativo y no limitante:

la figura 1 muestra un diagrama de bloques de un sistema transmisor para proporcionar diversidad en la polarización de antenas de acuerdo con una realización preferente de la invención;

40 la figura 2 muestra un diagrama de bloques de un lado del receptor en un sistema para proporcionar diversidad en la polarización de antenas de acuerdo con una realización preferente de la invención;

45 la figura 3 muestra una representación gráfica de la capacidad de procesamiento frente a la relación de densidad espectral de potencia de ruido, de acuerdo con posibles realizaciones de la invención y en comparación con enfoques de la técnica anterior;

la figura 4 muestra una representación gráfica de la tasa de errores de bit frente a la energía por bit para la relación de densidad espectral de potencia de ruido, de acuerdo con las posibles realizaciones de la invención y en comparación con los enfoques de la técnica anterior.

### **Realización preferente de la invención**

50 Las materias definidas en la presente descripción detallada se proporcionan para ayudar a una comprensión global de la invención. En consecuencia, los expertos en la materia reconocerán que las variaciones, cambios y modificaciones de las realizaciones descritas en el presente documento pueden realizarse sin alejarse del ámbito y el espíritu de la invención. Además, se omite la descripción de funciones y elementos bien conocidos por claridad y concisión.

Por supuesto, las realizaciones de la invención pueden implementarse en una diversidad de plataformas arquitectónicas, sistemas operativos y de servidor, dispositivos, sistemas o aplicaciones. Cualquier diseño o implementación arquitectónica específica presentada en el presente documento se proporciona solo con fines

ilustrativos y de comprensión y no pretende limitar los aspectos de la invención.

En el contexto de la invención, se usan los siguientes conceptos:

tasa de errores de bit (BER) es el número de errores de bit dividido por el número total de bits transferidos durante un intervalo de tiempo estudiado,

5  $E_b/N_0$  es la energía por bit para la relación de densidad espectral de potencia de ruido

Tasa de errores de bloque (BLER) = número de bloques erróneos/número total de bloques recibidos

Capacidad de procesamiento (T) se define como  $T = R(1-BLER)$

que es equivalente a la tasa (R) de símbolos de un portador de radio específico ponderado por la probabilidad de ausencia de errores en todo el bloque.

10 Dentro de este contexto, se presentan a continuación diversas realizaciones de la invención con referencia a las figuras 1-4.

La figura 1 presenta los bloques de arquitectura de construcción de un transmisor (100) que realiza la modulación polarizada propuesta. El transmisor (100) es parte de un sistema para proporcionar diversidad en la polarización de antenas, en el que cada símbolo a transmitir contiene  $b + 1$  bits de información (101), donde se modulan  $b$  bits (102) con una constelación  $S$  y el bit (103) adicional restante, indicado como bit  $c$ , se usa para la selección de polarización. Cualquier tipo de modulación digital, como en los esquemas tradicionales, puede aplicarse a los  $b$  bits (102). El símbolo modulado a transmitir se indica como  $s$  en las siguientes ecuaciones. Dependiendo del valor del bit  $c$ , el símbolo  $s$  se transmite usando una polarización u otra. El transmisor (100) tiene una única antena (110) de transmisión que está doblemente polarizada y unida a una única cadena (111) de RF, a través de la que la señal (104) de banda base BB se introduce en las dos formas de onda polarizadas. El bloque (112) de mapeador realiza todas las etapas para producir la forma de onda, por ejemplo, usando símbolos QPSK. El bloque (113) de desempaqueador forma grupos de  $b + 1$  bits y extrae de cada grupo solo un bit, por ejemplo, el primer bit, que es el bit  $c$  usado por la cadena (111) de RF para controlar la polarización de la antena (110) de transmisión. Los bits de información (101) se introducen en un bloque (114) de codificación del transmisor (100) y el bloque (114) de codificación genera los símbolos  $s$  modulados usando la constelación  $S$ , por ejemplo, BPSK, QPSK, etc.

La figura 2 presenta los bloques de arquitectura de construcción de un receptor (200) que forma parte del sistema para proporcionar diversidad en la polarización de antenas, de acuerdo con una realización de la invención. El receptor (200) tiene una única antena (210) de recepción con doble polarización. Por lo tanto, se considera un sistema con antenas polarizadas dobles en ambos lados. Además, se supone un canal de comunicación plano entre el transmisor (100) y el receptor (200) del sistema. Se extrae una señal (201) de banda base en el lado de recepción de una única cadena (211) de RF unida a la antena (210) de recepción. La señal (201) de banda base pasa a través de un bloque (212) de estimador que extrae el bit  $c$  de acuerdo con un esquema de demodulación. A continuación, se describen tres esquemas de demodulación, basados en el emparejamiento de canales, en la relación de probabilidad con la decisión de hardware y en la relación de probabilidad con la decisión de software, respectivamente. El receptor (200) comprende además un bloque (213) de desmapeador que recupera los bits  $b$  tomados como una entrada del bit  $c$  estimado por el bloque (212) de estimador usando uno de los tres esquemas propuestos. El receptor (200) incluye un bloque (214) de empaquetador para tomar todos los  $b+1$  bits, los bits  $b$  del desmapeador (213) y el bit  $c$  estimado, con el fin de unir todos a un único flujo  $s$  que finalmente se decodifica por un decodificador (215) o bloque de decodificación para obtener los bits de información (204). El decodificador (215) usa un esquema de modulación en correspondencia con el usado por el bloque (114) de codificación incluido en el transmisor (100), por ejemplo, BPSK, QPSK, 8PSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM...

El sistema propuesto se basa en antenas polarizadas dobles que proporcionan diversidad espacial en la transmisión usando una única antena y puede aumentar la capacidad de procesamiento en un factor de  $1 + 1/b$  en regímenes de  $E_b/N_0$  bajos.

45 En una realización preferente del sistema propuesto para las comunicaciones por satélite, la carga útil de datos en el transmisor (100) puede construirse en tierra como dos flujos (uno para cada polarización) de tal manera que los símbolos puestos a cero se intercalan, es decir, cuando el primer flujo contiene un símbolo, el segundo contiene un cero y viceversa. Por lo tanto, el satélite puede aumentar la capacidad de procesamiento, pero manteniendo la herencia y la compatibilidad con las normas anteriores.

50 En cuanto al lado de recepción, el receptor (200) puede usar una única cadena (211) de RF y el único requisito es la capacidad de conmutación entre las polarizaciones más rápida que la tasa  $R$  de símbolos. Por lo tanto, al usar esas soluciones y los diferentes enfoques propuestos para la codificación descritos a continuación, el terminal puede recibir el bit  $c$  adicional conservando la misma cadena.

55 Como se ha explicado anteriormente, dependiendo del valor del bit  $c$ , el símbolo  $s$  se transmite usando una polarización o la otra aplicada a la antena (110) de transmisión. Por lo tanto, durante un instante, el modelo de sistema de la modulación polarizada (PM) puede formularse de la siguiente manera:

$$\begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1-c \\ c \end{pmatrix} s + \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \end{pmatrix} \quad (\text{ecuación 1})$$

Los co-canales a través de las dos polarizaciones de la antena (110) de transmisión se indican como  $h_{11}$  y  $h_{22}$ , respectivamente, y los canales cruzados a través de ambas polarizaciones se indican como  $h_{21}$  y  $h_{12}$ , respectivamente. Las señales recibidas de cada polarización en la antena (210) de recepción se indican como  $y_1$  e  $y_2$ , respectivamente, y  $w_i$  es la contribución del ruido gaussiano blanco aditivo (AWGN) de la  $i$ -ésima polarización,  $i = 1, 2$ .

De una manera más compacta, la ecuación 1 puede escribirse como:

$$\mathbf{y} = \mathbf{H}cs + \mathbf{w}. \quad (\text{ecuación 2})$$

Como este esquema añade un bit  $c$  adicional a la transmisión mientras mantiene la misma asignación de energía, la eficiencia espectral  $G$  del sistema es:

$$G = \frac{b+1}{b} = 1 + \frac{1}{b}. \quad (\text{ecuación 3})$$

Para modulaciones de orden superior, el valor de la ecuación 3 es asintóticamente igual a 1 y, por lo tanto, el sistema de PM propuesto ofrece altas ganancias principalmente para modulaciones de orden inferior. Por ejemplo, la ganancia  $G = 2$  para BPSK o  $G = 1,5$  para modulaciones QPSK. Como las modulaciones de orden inferior se usan en régimen de baja señal a ruido (SNR), está claro que la PM aumenta significativamente la eficiencia espectral en sistemas de bajo SNR. Este es exactamente el escenario para las comunicaciones móviles por satélite que es extremadamente limitado en energía. Vale la pena mencionar que, en primer lugar, en este modelo propuesto el bit  $c$  adicional se determina por el bloque (212) de estimador de manera que, una vez que se ha estimado el bit  $c$ , el receptor (200) puede tomar la señal recibida del índice de polarización estimado y procesarlo como un caso de entrada única salida única (SISO).

Con el fin de decodificar la información en el receptor (200), se proponen en este caso tres enfoques diferentes, que logran resultados diferentes a expensas de un aumento de la complejidad.

#### PRIMER ENFOQUE: CORRESPONDENCIA DE CANALES

El primer enfoque es aplicar un filtro adaptado a la señal (201) de banda base traducida de la señal recibida en la antena (210) de recepción. Se supone que los coeficientes de canal no están correlacionados, es decir,  $h_i^* h_j = 0, \forall i \neq j$ . Por lo tanto, la señal  $r$  sintonizada se obtiene de la siguiente manera:

$$\mathbf{r} = \mathbf{H}^H \mathbf{y} = \begin{pmatrix} |h_{11}|^2 + |h_{21}|^2 & 0 \\ 0 & |h_{22}|^2 + |h_{12}|^2 \end{pmatrix} \mathbf{c}s + \mathbf{w}. \quad (\text{ecuación 4})$$

Centrándose en las señales sintonizadas individuales,  $r_1$  y  $r_2$ , en cada polarización, pueden obtenerse siguiendo los criterios de la siguiente ecuación 5:

$$r_1 = (|h_{11}|^2 + |h_{21}|^2)(1-c)s + w_1 \quad r_2 = (|h_{22}|^2 + |h_{12}|^2)cs + w_2 \quad (\text{ecuación 5})$$

En el caso donde la señal se está transmitiendo a través de la primera polarización, es decir,  $c = 0$ , la primera señal  $r_1$  sintonizada contiene la señal más el ruido y la segunda señal  $r_2$  sintonizada solo recibe el ruido. Para el caso recíproco, a través de la segunda polarización, es decir,  $c = 1$ , la primera señal  $r_1$  sintonizada solo contiene el ruido y la segunda señal  $r_2$  sintonizada transmite la señal más el ruido. El ruido no es solo el ruido térmico sino que también considera las interferencias interpolares. Por lo tanto, la regla de decisión para determinar el bit  $c$  por el bloque (212) de estimador se indica como:

$$\hat{c} = \arg \max_i (|r_i|^2) - 1 \quad (\text{ecuación 6})$$

De este modo, después de la decisión del bit  $\hat{c}$  estimado, el receptor (200) puede decodificar el símbolo  $s$  mediante el bloque (215) de decodificación basándose en la señal  $r_{\hat{c}+1}$  sintonizada.

Sin embargo, este primer enfoque basado en la correspondencia de canales es muy sensible a la precisión de la estimación de la señal  $r_{\hat{c}+1}$  sintonizada. Si se produce un error, la detección del símbolo  $s$  falla y los restantes  $b$  bits

no pueden decodificarse ya que el receptor (200) toma la señal  $r_{c+1}$  sintonizada como si solo contuviera ruido.

SEGUNDO ENFOQUE: RELACIÓN DE PROBABILIDAD CON DECISIÓN DE HARDWARE

5 Como se ha mencionado anteriormente, el enfoque de filtro adaptado es muy sensible a los deterioros de acoplamiento de canal y de polarización cruzada. Además, la suposición sobre la falta de correlación de los coeficientes del canal no siempre es plausible. En la práctica, esta suposición es bastante fuerte y puede no cumplirse. Debido a esto, se propone otra segunda realización de la invención para obtener la relación de probabilidad de transmisión con la primera polarización ( $c = 0$ ) o con la segunda polarización ( $c = 1$ ) cuando no se requiere adicionalmente la suposición de no correlación. Esto es equivalente a proponer una relación  $\Lambda(\mathbf{y})$  de probabilidad de transmisión con cualquiera de las dos polarizaciones posibles en la antena (110) de transmisión:

$$\Lambda(\mathbf{y}) = \frac{P(c=1|\mathbf{y})}{P(c=0|\mathbf{y})} = \frac{\sum_{\tilde{s} \in \mathcal{S}} P(\mathbf{y}|c=1, s=\tilde{s}) P(c=1)}{\sum_{\tilde{s} \in \mathcal{S}} P(\mathbf{y}|c=0, s=\tilde{s}) P(c=0)} \quad (\text{ecuación 7})$$

10 Suponiendo que no todos los bits están correlacionados y son igualmente probables, la ecuación 7 puede reescribirse de la siguiente manera:

$$\Lambda(\mathbf{y}) = \frac{\sum_{\tilde{s} \in \mathcal{S}} \exp\left(-\frac{\|\mathbf{z}_2\|^2}{\sigma_{w_2}^2}\right)}{\sum_{\tilde{s} \in \mathcal{S}} \exp\left(-\frac{\|\mathbf{z}_1\|^2}{\sigma_{w_1}^2}\right)} \quad (\text{ecuación 8})$$

15 donde  $\mathbf{z}_i$   $i \in \{1,2\}$  se definen como los vectores de señal recibida en el caso de que los símbolos  $s$  se trasmitan a través de la primera polarización ( $i = 1$ ) o la segunda polarización ( $i = 2$ ) respectivamente. Por lo tanto, los vectores de señal recibida  $\mathbf{z}_{i \in \{1,2\}}$  toman esta forma:

$$\begin{aligned} \mathbf{z}_1 &= \begin{pmatrix} h_{11}s + w_1 \\ h_{21}s + w_2 \end{pmatrix} \\ \mathbf{z}_2 &= \begin{pmatrix} h_{12}s + w_1 \\ h_{22}s + w_2 \end{pmatrix}. \end{aligned} \quad (\text{ecuación 9})$$

Esta forma es equivalente a escribir la ecuación 1 que define el modelo de sistema de la siguiente manera:

$$\mathbf{y} = \mathbf{h}_{c+1}s + \mathbf{w} \quad (\text{ecuación 10})$$

20 Donde  $h_i$  es la  $i$ -ésima columna de la matriz  $\mathbf{H}$  de canales. Este segundo enfoque revela que la modulación de polarización conmuta entre los canales de polarización de manera oportunista. Por lo tanto, la relación  $\Lambda(\mathbf{y})$  de probabilidad se calcula como:

$$\Lambda(\mathbf{y}) = \frac{\sum_{\tilde{s} \in \mathcal{S}} \exp\left(-\frac{\|\mathbf{y}-\mathbf{h}_2\tilde{s}\|^2}{\sigma_{w_2}^2}\right)}{\sum_{\tilde{s} \in \mathcal{S}} \exp\left(-\frac{\|\mathbf{y}-\mathbf{h}_1\tilde{s}\|^2}{\sigma_{w_1}^2}\right)} \quad (\text{ecuación 11})$$

25 siendo un primer vector  $\mathbf{h}_1$  de canal =  $(h_{11}, h_{21})$   
 siendo un segundo vector  $\mathbf{h}_2$  de canal =  $(h_{12}, h_{22})$   
 $\sigma_{w_1}$  es la varianza de ruido de la contribución de ruido de la primera polarización  $w_1$   
 $\sigma_{w_2}$  es la varianza de ruido de la contribución de ruido de la segunda polarización  $w_2$   
 $S$  es un índice de suma de los símbolos  $s$  contenidos en la constelación  $\mathcal{S}$ .

30 En el caso de que la relación  $\Lambda(\mathbf{y})$  de probabilidad sea mayor que 1, esto significa que es más probable que el bit  $c$  adicional = 1 y viceversa. Por lo tanto, la estimación del bit  $c$  realizada por el bloque (212) de estimador puede expresarse como:

$$\hat{c} = \frac{1 + \text{sign}(\log(\Lambda(\mathbf{y})))}{2}. \quad (\text{ecuación 12})$$

Una vez que el receptor (200) obtiene la estimación del bit  $c$  del bloque (212) de estimador, sabe qué polarización se está usando y, por lo tanto, puede recuperar el símbolo  $s$  usando la señal  $y_{\ell+1}$  recibida.

### TERCER ENFOQUE: RELACIÓN DE PROBABILIDAD CON DECISIÓN DE SOFTWARE

5 Los dos enfoques descritos anteriormente toman una decisión de hardware para la estimación del bit  $c$ . Sin embargo, pueden introducir errores si el sistema transmite información codificada. Por lo tanto, es imperativo obtener información de software o bits de software a la salida del desmapeador (213). La idea es usar la relación  $\Lambda(\mathbf{y})$  de probabilidad para ponderar las señales recibidas en ambas polarizaciones. Por lo tanto, el receptor (200) puede extraer información de ambas polarizaciones ponderándolas por cada probabilidad. La ecuación 7 puede reescribirse:

$$P_2 = P(c = 1 | \mathbf{y}) = \frac{\Lambda(\mathbf{y})}{1 + \Lambda(\mathbf{y})}. \quad (\text{ecuación 13})$$

Por lo tanto, el receptor (200) puede recuperar la señal ponderando las señales recibidas de ambas polarizaciones por una probabilidad  $1 - P_2$  y  $P_2$ , respectivamente. Si suponemos que el bit  $c$  se transmite con la misma probabilidad, la señal  $r$  combinada recibida toma la siguiente forma:

$$r = (1 - P_2)y_1 + P_2y_2 = \frac{y_1 + y_2\Lambda(\mathbf{y})}{1 + \Lambda(\mathbf{y})} \quad (\text{ecuación 14})$$

En este punto, el receptor (200) puede decodificar la señal  $r$  de la ecuación 14 como habitualmente y obtener los bits restantes. Además, la estimación del bit  $c$  realizada por el bloque (212) de estimador puede tomarse de la ecuación 12 pero sin el operador de signo ( $\text{sign}$ ) de la siguiente manera:

$$\hat{c} = \frac{1 + \log(\Lambda(\mathbf{y}))}{2}. \quad (\text{ecuación 15})$$

20 A continuación, los tres esquemas propuestos se analizan y comparan entre sí y con los sistemas existentes en la técnica anterior.

Las figuras 3 y 4 muestran los resultados del análisis. En ambas figuras 3-4, se consideran los tres enfoques presentados: PM-M es el primer enfoque basado en la correspondencia de canales; PM-H es el segundo enfoque basado en la relación de probabilidad con una decisión de hardware y PM-S es el tercer enfoque descrito basado en la relación de probabilidad con una decisión de software. También se comparan con un escenario H-CR que usa una velocidad de codificación más alta, un escenario de referencia indicado como Ref. que hace referencia al escenario donde se usa una única polarización; y un último escenario que usa el esquema de codificación de espacio-tiempo por capas de laboratorios Bell vertical (VBLAST) mencionado anteriormente como técnica anterior.

30 Para el análisis, se implementó el enlace descendente de la norma de comunicaciones por satélite de próxima generación, que se está debatiendo actualmente en el comité del ETSI. Esta norma define las etapas de aleatorización, turbocodificación y mapeo. Con el fin de ofrecer flexibilidad en términos de velocidad de datos, también se detallan varios portadores y subportadores. Son diferentes perfiles con muchas combinaciones de velocidad de codificación y constelaciones. La frecuencia de muestreo es 33600 símbolos/segundo y la longitud de trama es 80 ms, donde los bloques de símbolos codificados no están intercalados. Gracias a esto, es posible reducir el retardo y ofrecer datos de tráfico de voz en ambas direcciones. Con el fin de simplificar el modelo, se usan portadores QPSK para el análisis de los enfoques de PM propuestos. Se ha simulado un transpondedor de satélite geostacionario de banda L con muchos haces y doble polarización. Puesto que los haces no son perfectamente ortogonales, se ha supuesto que los haces adyacentes están en la misma sub-banda de frecuencia que las interferencias, así como los acoplamientos de polarización cruzada. Se han comparado los resultados entre los diferentes parámetros de haces adyacentes.

35 Por lo tanto, los siguientes resultados se han validado usando un marco desarrollado para satélites móviles interactivos, como el escenario especificado por la versión más reciente de la norma ETSI TS 102 744 "Satellite component of UMTS (S-UMTS)" y el sistema de red de área global de banda ancha (BGAN) que tiene como objetivo proporcionar comunicaciones interactivas móviles por satélite.

45 La tabla 1 muestra los valores de la matriz de polarización de acoplamiento de datos y las matrices de interferencia que se han usado para el análisis.



**Tabla 1**

	Indice	Matriz de interferencia (dB)
Datos	0	$\begin{pmatrix} 40,8 & -11,6 \\ -11,6 & 40,8 \end{pmatrix}$
rf	1	$\begin{pmatrix} 3,7 & -12,3 \\ -12,3 & 3,7 \end{pmatrix}$

	2	$\begin{pmatrix} 8,7 & -13 \\ -13 & 8,7 \end{pmatrix}$
	3	$\begin{pmatrix} 3,6 & -6,7 \\ -6,7 & 3,6 \end{pmatrix}$
	4	$\begin{pmatrix} 13,4 & -8,9 \\ -8,9 & 13,4 \end{pmatrix}$
	5	$\begin{pmatrix} 8,9 & -4,7 \\ -4,7 & 8,9 \end{pmatrix}$
	6	$\begin{pmatrix} 11,6 & -3,7 \\ -3,7 & 11,6 \end{pmatrix}$

Estos valores se obtienen a través de un patrón de antena multihaz realista. Se usó un modelo de canal de Rician con un solo pulso, un desplazamiento Doppler de 2Hz y una correlación entre los flujos de polarización en la transmisión. La pérdida de trayectoria  $L$  correspondiente a la altura del satélite define una magnitud de  $L = -187,05$  dB y el ancho de banda de señal  $B$  definido en la norma es  $B = 200$  KHz. La ganancia de la cifra de mérito para la temperatura de ruido ( $G/T$ ) es  $G/T = -12,5$  dBi y la potencia usada es tal que el portador a ruido ( $C/N$ ) varía de -1 dB a 20 dB.

También se supone una estimación de canal perfecta y una sincronización perfecta en el lado del receptor. Antes de la detección del símbolo  $s$ , se realiza uno de los tres enfoques (PM-M, PM-H, PM-S) con el fin de estimar el bit  $c$  y equalizar la señal  $y_{c+1}$  recibida. El receptor implementa un equalizador de error cuadrático medio mínimo (MMSE) para mitigar las interferencias de los otros haces así como de la otra polarización. Después de equalizar la señal  $y_{c+1}$  recibida, se pasa al turbo decodificador y al aleatorizador para obtener la carga útil en unidades de bit.

Durante la evaluación, usando QPSK, los resultados mostraron que solo se necesitaba un aumento de  $\sim 0,4$  dB para lograr una ganancia del 50 % de la eficiencia espectral. Los tres esquemas propuestos PM-M, PM-H y PM-S también se compararon con multiplexación de polarización, indicada como V-BLAST, y aumentando la tasa de código H-CR. Ambos esquemas de la técnica anterior, V-BLAST y H-CR, aumentan la capacidad de procesamiento en una tasa de 2 y 1,4, respectivamente.

La figura 3 muestra que el enfoque de PM presentado en este caso es el que consume menos energía con el fin de aumentar la capacidad de procesamiento en un 50 %, ya que no pueden lograrse más ganancias debido a que la modulación usada fue QPSK. Más específicamente, con respecto a las tres realizaciones descritas anteriormente: PM-S es la técnica que logra la mayor capacidad de procesamiento con menos  $E_b/N_0$ , seguida por PM-H. Con menos de 0-4 dB extra, la técnica de PM propuesta puede aumentar la eficiencia en un 50 % si se compara con el escenario de referencia (Ref.) de una única polarización. Además, de hecho, si se compara PM con VBLAST, puede duplicarse la capacidad de procesamiento pero requiere casi 2 dB de  $E_b/N_0$  adicional. Además, si se usaba el escenario de referencia pero con una velocidad de codificación más alta, escenario H-CR, se necesitaron 3 dB adicionales de  $E_b/N_0$  para lograr casi la misma velocidad.

La figura 4 compara la tasa de errores de bit (BER) para las mismas técnicas que con la figura 3 anterior. Para una BER fija, la técnica que da como resultado una menor relación de  $E_b/N_0$  es PM-S, seguida por PM-H y el escenario Ref. Vale la pena mencionar que el bajo rendimiento de PM-M se debe a que el modelo de canal usado introduce una correlación entre los coeficientes. Por lo tanto, la matriz correspondiente degenera en una matriz no diagonal y la suposición no se cumple.

Obsérvese que en el presente texto, el término “comprende” y sus derivaciones (tales como “comprendiendo”, etc.) no deben entenderse en un sentido excluyente, es decir, no debe interpretarse que estos términos excluyen la posibilidad de que lo que se describe y se define pueda incluir más elementos, etapas, etc.

**REIVINDICACIONES**

1. Un procedimiento para proporcionar diversidad en la polarización de antenas, que comprende:

- transmitir un símbolo  $s$  que contiene  $b+1$  bits de información por un transmisor (100),
- recibir una señal  $y$  por un receptor (200) que obtiene los  $b+1$  bits de información de la señal  $y$  recibida,

5 **caracterizado porque:**

- para transmitir el símbolo  $s$  se usa una única antena (110) de transmisión que está doblemente polarizada y el símbolo  $s$ , que contiene los  $b$  bits más un bit  $c$  adicional, se transmite usando una primera polarización o una segunda polarización de la antena (110) de transmisión dependiendo del bit  $c$  adicional;
- para recibir la señal  $y$  se usa una única antena (210) de recepción que está doblemente polarizada y comprende además estimar el bit  $c$  adicional para determinar si se usa la primera polarización o la segunda polarización para obtener los  $b+1$  bits de información.

2. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que recibir la señal  $y$  comprende recibir por la única antena (210) de recepción una señal de la primera polarización  $y_1$  y una señal de la segunda polarización  $y_2$ , siendo

$$\begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1-c \\ c \end{pmatrix} s + \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \end{pmatrix}$$

15 donde

- $h_{11}$  es una señal de co-canal a través de la primera polarización de la antena (110) de transmisión,
- $h_{22}$  es una señal de co-canal a través de la segunda polarización de la antena (110) de transmisión,
- $h_{21}$  es una señal de canal cruzado a través de la primera polarización de la antena (110) de transmisión,
- $h_{12}$  es una señal de canal cruzado a través de la segunda polarización de la antena (110) de transmisión,
- $w_1$  es una contribución de ruido de la primera polarización y  $w_2$  es una contribución de ruido de la segunda polarización,
- y la señal  $y$  recibida está compuesta por la señal de la primera polarización  $y_1$  y la señal de la segunda polarización  $y_2$ .

3. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, en el que los  $b+1$  bits de información se obtienen por el receptor (200) a partir de una señal  $r_{\hat{c}+1}$  seleccionada de entre la señal de la primera polarización  $y_1$  y la señal de la segunda polarización  $y_2$ , que está determinada por un bit  $\hat{c}$  estimado, obteniéndose el bit  $\hat{c}$  estimado estimando el bit  $c$  adicional de la siguiente manera:

$$\hat{c} = \arg \max_i (|r_i|^2) - 1.$$

donde  $i = 1, 2$ ;

- $r_1$  es una primera señal sintonizada procedente de un filtro adaptado del receptor (200),
- $r_2$  es una segunda señal sintonizada procedente del filtro adaptado del receptor (200),
- y si la primera señal  $r_1$  sintonizada procedente es solo ruido, la señal  $r_{\hat{c}+1}$  seleccionada es la segunda señal  $r_2$  sintonizada;
- y si la segunda señal  $r_2$  sintonizada es solo ruido, la señal  $r_{\hat{c}+1}$  seleccionada es la primera señal  $r_1$  sintonizada.

4. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, en el que los  $b+1$  bits de información se obtienen por el receptor (200) usando una señal  $y_{\hat{c}+1}$  seleccionada de entre la señal de la primera polarización  $y_1$  y la señal de la segunda polarización  $y_2$ , que está determinada por un bit  $\hat{c}$  estimado, obteniéndose el bit  $\hat{c}$  estimado estimando el bit  $c$  adicional de la siguiente manera:

$$\hat{c} = \frac{1 + \text{sign}(\log(\Lambda(\mathbf{y})))}{2}.$$

- donde  $\Lambda(\mathbf{y})$  es una relación de probabilidad de transmisión con cualquiera de la primera polarización y la segunda polarización de la antena (110) de transmisión,
- y la señal  $y_{\hat{c}+1}$  seleccionada es la señal de la segunda polarización  $y_2$ , si la relación  $\Lambda(\mathbf{y})$  de probabilidad es  $\Lambda(\mathbf{y}) > 1$ ; y de lo contrario, la señal  $y_{\hat{c}+1}$  seleccionada es la señal de la primera polarización  $y_1$ .

5. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, en el que los  $b+1$  bits de información se obtienen por el

receptor (200) a partir de una señal  $y_{\hat{c}+1}$  recibida combinada usando la señal de la primera polarización  $y_1$  y la señal de la segunda polarización  $y_2$ , que está determinada por un bit  $\hat{c}$  estimado, obteniéndose el bit  $\hat{c}$  estimado estimando el bit  $c$  adicional de la siguiente manera:

$$\hat{c} = \frac{1 + \log(\Lambda(\mathbf{y}))}{2}.$$

- 5 donde  $\Lambda(\mathbf{y})$  es una relación de probabilidad de transmisión con cualquiera de la primera polarización y la segunda polarización de la antena (110) de transmisión, y la señal  $y_{\hat{c}+1}$  recibida combinada se calcula como:

$$y_{\hat{c}+1} = (1 - P_2)y_1 + P_2y_2 = \frac{y_1 + y_2 \Lambda(\mathbf{y})}{1 + \Lambda(\mathbf{y})}$$

6. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 4-5, en el que la relación  $\Lambda(\mathbf{y})$  de probabilidad se calcula como:

$$\Lambda(\mathbf{y}) = \frac{\sum_{s \in S} \exp\left(-\frac{\|\mathbf{y} - \mathbf{h}_2 \mathbf{s}\|^2}{\sigma_{w_2}^2}\right)}{\sum_{s \in S} \exp\left(-\frac{\|\mathbf{y} - \mathbf{h}_1 \mathbf{s}\|^2}{\sigma_{w_1}^2}\right)}$$

donde

- 15  $\mathbf{h}_1$  indica un primer vector de canal de coordenadas  $(h_{11}, h_{21})$ , siendo  $h_{11}$  la señal de co-canal a través de la primera polarización de la antena (110) de transmisión y siendo  $h_{21}$  la señal de canal cruzado a través de la primera polarización de la antena (110) de transmisión;
- 20  $\mathbf{h}_2$  indica un segundo vector de canal de coordenadas  $(h_{12}, h_{22})$ , siendo  $h_{12}$  la señal de co-canal a través de la segunda polarización de la antena (110) de transmisión y siendo  $h_{22}$  la señal de canal cruzado a través de la segunda polarización de la antena (110) de transmisión;
- $\sigma_{w_1}$  es la varianza de ruido de la contribución de ruido de la primera polarización  $w_1$ ,  $\sigma_{w_2}$  es la varianza de ruido de la contribución de ruido de la segunda polarización  $w_2$ ; y  $S$  es una constelación de símbolos  $s$ .

7. Un sistema para proporcionar diversidad en la polarización de antenas, que comprende:

- un transmisor (100) para transmitir un símbolo  $s$  que contiene  $b+1$  bits de información,
- un receptor (200) para recibir una señal  $y$  que obtiene los  $b+1$  bits de información a partir de la señal  $y$  recibida,

**caracterizado porque:**

- 25 - el transmisor (100) comprende una única antena (110) de transmisión que está doblemente polarizada para transmitir el símbolo  $s$ , conteniendo el símbolo  $s$  los  $b$  bits más un bit  $c$  adicional y transmitiéndose mediante el uso de una primera polarización o una segunda polarización de la antena (110) de transmisión dependiendo del bit  $c$  adicional;
- 30 - el receptor (200) comprende una única antena (210) de recepción que está doblemente polarizada para recibir la señal  $y$  y comprende además un bloque (212) de estimador para estimar el bit  $c$  adicional para determinar si se usa la primera polarización o la segunda polarización para obtener los  $b+1$  bits de información.

8. El sistema de acuerdo con la reivindicación 7, en el que la única antena (210) de recepción está configurada para recibir una señal de la primera polarización  $y_1$  y una señal de la segunda polarización  $y_2$ , siendo

$$\begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 - c \\ c \end{pmatrix} s + \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \end{pmatrix}$$

35 donde

- $h_{11}$  es una señal de co-canal a través de la primera polarización de la antena (110) de transmisión,
- $h_{22}$  es una señal de co-canal a través de la segunda polarización de la antena (110) de transmisión,
- $h_{21}$  es una señal de canal cruzado a través de la primera polarización de la antena (110) de transmisión,

$h_{12}$  es una señal de canal cruzado a través de la segunda polarización de la antena (110) de transmisión,  $w_1$  es una contribución de ruido de la primera polarización y  $w_2$  es una contribución de ruido de la segunda polarización, y la única antena (210) de recepción recibe la señal y compuesta por la señal de la primera polarización  $y_1$  y la señal de la segunda polarización  $y_2$ .

9. El sistema de acuerdo con la reivindicación 8, en el que el receptor (200) comprende además un decodificador (215) para decodificar los  $b+1$  bits de información, obteniendo los  $b$  bits a partir de una señal  $r_{\hat{c}+1}$  seleccionada de entre la señal de la primera polarización  $y_1$  y la señal de la segunda polarización  $y_2$ , que está determinada por el bit  $c$  adicional, que es un bit  $\hat{c}$  estimado obtenido por el bloque (212) de estimador de la siguiente manera:

$$\hat{c} = \arg \max_i (|r_i|^2) - 1.$$

donde  $i = 1, 2$ ;

$r_1$  es una primera señal sintonizada procedente de un filtro adaptado del receptor (200),

$r_2$  es una segunda señal sintonizada procedente del filtro adaptado del receptor (200),

y si la primera señal  $r_1$  sintonizada es solo ruido, la señal  $r_{\hat{c}+1}$  seleccionada es la segunda señal  $r_2$  sintonizada;

y si la segunda señal  $r_2$  sintonizada es solo ruido, la señal  $r_{\hat{c}+1}$  seleccionada es la primera señal  $r_1$  sintonizada.

10. El sistema de acuerdo con la reivindicación 8, en el que el receptor (200) comprende además un decodificador (215) para decodificar los  $b+1$  bits de información, obteniendo los  $b$  bits a partir de una señal  $y_{\hat{c}+1}$  seleccionada de entre la señal de la primera polarización  $y_1$  y la señal de la segunda polarización  $y_2$ , que está determinada por el bit  $c$  adicional, que es un bit  $\hat{c}$  estimado obtenido por el bloque (212) de estimador de la siguiente manera:

$$\hat{c} = \frac{1 + \text{sign}(\log(\Lambda(\mathbf{y})))}{2}.$$

donde  $\Lambda(\mathbf{y})$  es una relación de probabilidad de transmisión con cualquiera de la primera polarización y la segunda polarización de la antena (110) de transmisión,

y la señal  $y_{\hat{c}+1}$  seleccionada es la señal de la segunda polarización  $y_2$ , si la relación  $\Lambda(\mathbf{y})$  de probabilidad es  $\Lambda(\mathbf{y}) > 1$ ; y de lo contrario, la señal  $y_{\hat{c}+1}$  seleccionada es la señal de la primera polarización  $y_1$ .

11. El sistema de acuerdo con la reivindicación 8, en el que el receptor (200) comprende además un decodificador (215) para decodificar los  $b+1$  bits de información, obteniendo los  $b$  bits a partir de una señal  $y_{\hat{c}+1}$  recibida combinada usando la señal de la primera polarización  $y_1$  y la señal de la segunda polarización  $y_2$  que está determinada por el bit  $c$  adicional, que es un bit  $\hat{c}$  estimado obtenido por el bloque (212) de estimador de la siguiente manera:

$$\hat{c} = \frac{1 + \log(\Lambda(\mathbf{y}))}{2}.$$

donde  $\Lambda(\mathbf{y})$  es una relación de probabilidad de transmisión con cualquiera de la primera polarización y la segunda polarización de la antena (110) de transmisión,

y la señal  $y_{\hat{c}+1}$  recibida combinada se calcula como:

$$y_{\hat{c}+1} r = (1 - P_2)y_1 + P_2y_2 = \frac{y_1 + y_2 \Lambda(\mathbf{y})}{1 + \Lambda(\mathbf{y})}$$

12. El sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 10-11, en el que el receptor (200) calcula la relación  $\Lambda(\mathbf{y})$  de probabilidad como:

$$\Lambda(\mathbf{y}) = \frac{\sum_{\tilde{s} \in S} \exp\left(-\frac{\|\mathbf{y} - \mathbf{h}_2 \tilde{s}\|^2}{\sigma_{w_2}^2}\right)}{\sum_{\tilde{s} \in S} \exp\left(-\frac{\|\mathbf{y} - \mathbf{h}_1 \tilde{s}\|^2}{\sigma_{w_1}^2}\right)}$$

donde

$h_{11}$  indica un primer vector de canal de coordenadas  $(h_{11}, h_{21})$ , siendo  $h_{11}$  la señal de co-canal a través de la primera polarización de la antena (110) de transmisión y siendo  $h_{21}$  la señal de canal cruzado a través de la primera polarización de la antena (110) de transmisión;

5  $h_{12}$  indica un segundo vector de canal de coordenadas  $(h_{12}, h_{22})$ , siendo  $h_{12}$  la señal de co-canal a través de la segunda polarización de la antena (110) de transmisión y siendo  $h_{22}$  la señal de canal cruzado a través de la segunda polarización de la antena (110) de transmisión;

$\sigma_{w_1}$  es la varianza de ruido de la contribución de ruido de la primera polarización  $w_1$ ,  $\sigma_{w_2}$  es la varianza de ruido de la contribución de ruido de la segunda polarización  $w_2$ ;

10 y  $S$  es una constelación de símbolos  $s$ .

13. Un receptor (200) para proporcionar diversidad en la polarización de antenas, **caracterizado por** comprender:

- una única antena (210) de recepción que está doblemente polarizada para recibir una señal y para obtener  $b+1$  bits de información a partir de un símbolo  $s$  transmitido por un transmisor (100), conteniendo el símbolo  $s$  los  $b$  bits más un bit  $c$  adicional, transmitiéndose el símbolo  $s$  mediante el uso de una primera polarización o una

15 segunda polarización de la antena (110) de transmisión dependiendo del bit  $c$  adicional,

- un bloque (212) de estimador para estimar el bit  $c$  adicional para determinar si se usa una primera polarización o una segunda polarización para obtener los  $b+1$  bits de información.

14. El receptor (200) de acuerdo con la reivindicación 13, en el que la única antena (210) de recepción está configurada para recibir una señal de la primera polarización  $y_1$  y una señal de la segunda polarización  $y_2$ , siendo

$$\begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1-c \\ c \end{pmatrix} s + \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \end{pmatrix}$$

20

donde

$h_{11}$  es una señal de co-canal a través de la primera polarización de la antena (110) de transmisión,

$h_{22}$  es una señal de co-canal a través de la segunda polarización de la antena (110) de transmisión,

25  $h_{21}$  es una señal de canal cruzado a través de la primera polarización de la antena (110) de transmisión,

$h_{12}$  es una señal de canal cruzado a través de la segunda polarización de la antena (110) de transmisión,

$w_1$  es una contribución de ruido de la primera polarización y  $w_2$  es una contribución de ruido de la segunda polarización,

y la única antena (210) de recepción recibe la señal  $y$  compuesta por la señal de la primera polarización  $y_1$  y la señal de la segunda polarización  $y_2$ .

30 15. El receptor (200) de acuerdo con la reivindicación 14, que comprende además un decodificador (215) para decodificar los  $b+1$  bits de información, obteniendo los  $b$  bits a partir de una señal  $r_{\hat{c}+1}$  seleccionada de entre la señal de la primera polarización  $y_1$  y la señal de la segunda polarización  $y_2$ , que está determinada por el bit  $c$  adicional, que es un bit  $\hat{c}$  estimado obtenido por el bloque (212) de estimador de la siguiente manera:

$$\hat{c} = \arg \max_i (|r_i|^2) - 1.$$

35 donde  $i = 1, 2$ ;

$r_1$  es una primera señal sintonizada procedente de un filtro adaptado del receptor (200),

$r_2$  es una segunda señal sintonizada procedente del filtro adaptado del receptor (200),

y si la primera señal  $r_1$  sintonizada es solo ruido, la señal  $r_{\hat{c}+1}$  seleccionada es la segunda señal  $r_2$  sintonizada;

y si la segunda señal  $r_2$  sintonizada es solo ruido, la señal  $r_{\hat{c}+1}$  seleccionada es la primera señal  $r_1$  sintonizada.

40 16. El receptor (200) de acuerdo con la reivindicación 14, en el que el receptor (200) comprende además un decodificador (215) para decodificar los  $b+1$  bits de información, obteniendo los  $b$  bits a partir de una señal  $y_{\hat{c}+1}$  seleccionada de entre la señal de la primera polarización  $y_1$  y la señal de la segunda polarización  $y_2$ , que está determinada por el bit  $c$  adicional, que es un bit  $\hat{c}$  estimado obtenido por el bloque (212) de estimador de la siguiente manera:

$$\hat{c} = \frac{1 + \text{sign}(\log(\Lambda(\mathbf{y})))}{2}.$$

45

donde  $\Lambda(\mathbf{y})$  es una relación de probabilidad de transmisión con cualquiera de la primera polarización y la segunda polarización de la antena (110) de transmisión,  
y la señal  $y_{\hat{c}+1}$  seleccionada es la señal de la segunda polarización  $y_2$ , si la relación  $\Lambda(\mathbf{y})$  de probabilidad es  $\Lambda(\mathbf{y}) > 1$ ; y de lo contrario, la señal  $y_{\hat{c}+1}$  seleccionada es la señal de la primera polarización  $y_1$ .

- 5 17. El receptor (200) de acuerdo con la reivindicación 14, en el que el receptor (200) comprende además un decodificador (215) para decodificar los  $b+1$  bits de información, obteniendo los  $b$  bits a partir de una señal  $y_{\hat{c}+1}$  recibida combinada usando la señal de la primera polarización  $y_1$  y la señal de la segunda polarización  $y_2$ , que está determinada por el bit  $c$  adicional, que es un bit  $\hat{c}$  estimado obtenido por el bloque (212) de estimador de la siguiente manera:

$$\hat{c} = \frac{1 + \log(\Lambda(\mathbf{y}))}{2}.$$

- 10 donde  $\Lambda(\mathbf{y})$  es una relación de probabilidad de transmisión con cualquiera de la primera polarización y la segunda polarización de la antena (110) de transmisión,  
y la señal  $y_{\hat{c}+1}$  recibida combinada se calcula como:

$$y_{\hat{c}+1} = (1 - P_2)y_1 + P_2y_2 = \frac{y_1 + y_2\Lambda(\mathbf{y})}{1 + \Lambda(\mathbf{y})}$$

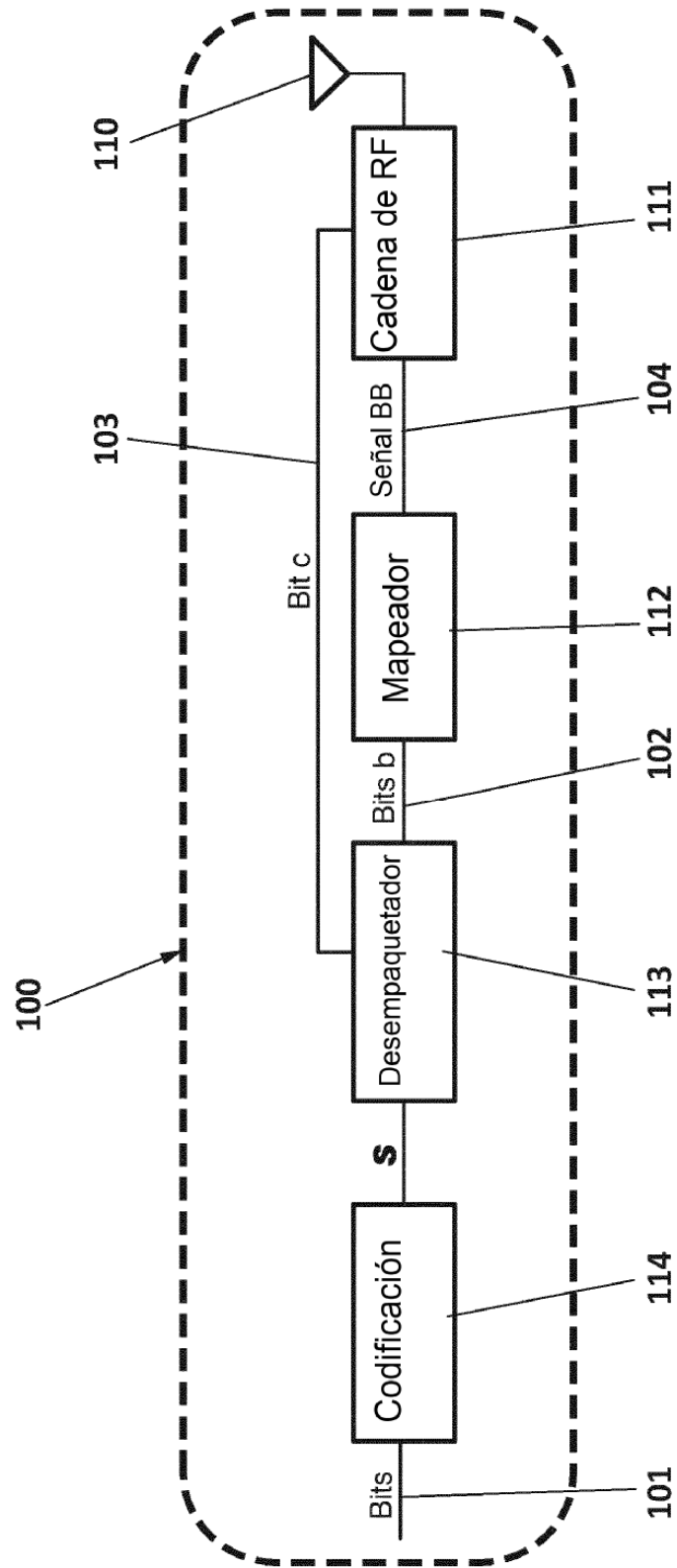
- 15 18. El receptor (200) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 16-17, en el que el bloque (212) de estimador calcula la relación  $\Lambda(\mathbf{y})$  de probabilidad como:

$$\Lambda(\mathbf{y}) = \frac{\sum_{\mathbf{s} \in \mathcal{S}} \exp\left(-\frac{\|\mathbf{y} - \mathbf{h}_2 \mathbf{s}\|^2}{\sigma_{w_2}^2}\right)}{\sum_{\mathbf{s} \in \mathcal{S}} \exp\left(-\frac{\|\mathbf{y} - \mathbf{h}_1 \mathbf{s}\|^2}{\sigma_{w_1}^2}\right)}.$$

donde

- 20  $\mathbf{h}_1$  indica un primer vector de canal de coordenadas  $(h_{11}, h_{21})$ , siendo  $h_{11}$  la señal de co-canal a través de la primera polarización de la antena (110) de transmisión y siendo  $h_{21}$  la señal de canal cruzado a través de la primera polarización de la antena (110) de transmisión;  
 $\mathbf{h}_2$  indica un segundo vector de canal de coordenadas  $(h_{12}, h_{22})$ , siendo  $h_{12}$  la señal de co-canal a través de la segunda polarización de la antena (110) de transmisión y siendo  $h_{22}$  la señal de canal cruzado a través de la segunda polarización de la antena (110) de transmisión;  
25  $\sigma_{w_1}$  es la varianza de ruido de la contribución de ruido de la primera polarización  $w_1$ ,  $\sigma_{w_2}$  es la varianza de ruido de la contribución de ruido de la segunda polarización  $w_2$ ;  
y  $\mathcal{S}$  es una constelación de símbolos  $s$ .

- 30 19. Programa informático que comprende un medio de código de programa informático adaptado para realizar las etapas del procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, cuando dicho programa se ejecuta en un ordenador, un procesador de señal digital, una matriz de puertas programable en campo, un circuito integrado de aplicación específica, un microprocesador, un microcontrolador o cualquier otra forma de hardware programable.



**FIG. 1**

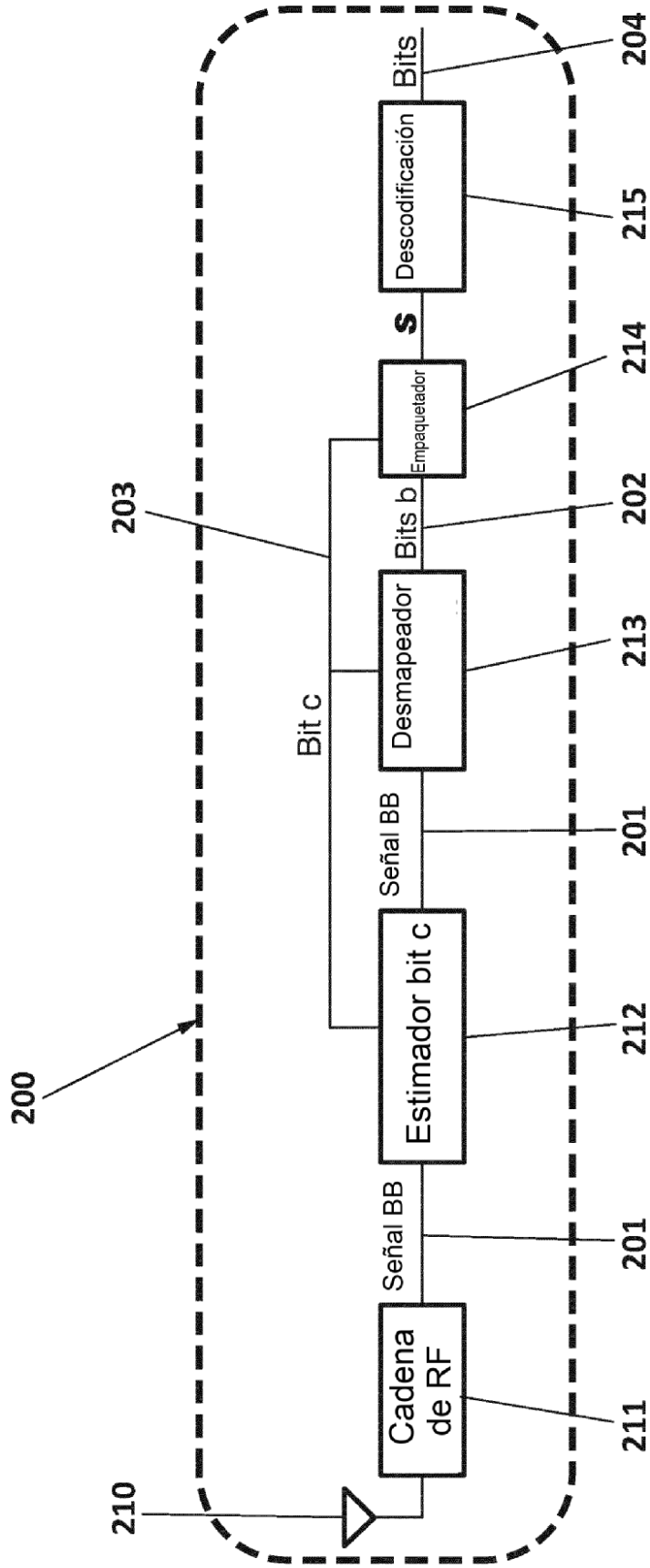


FIG. 2



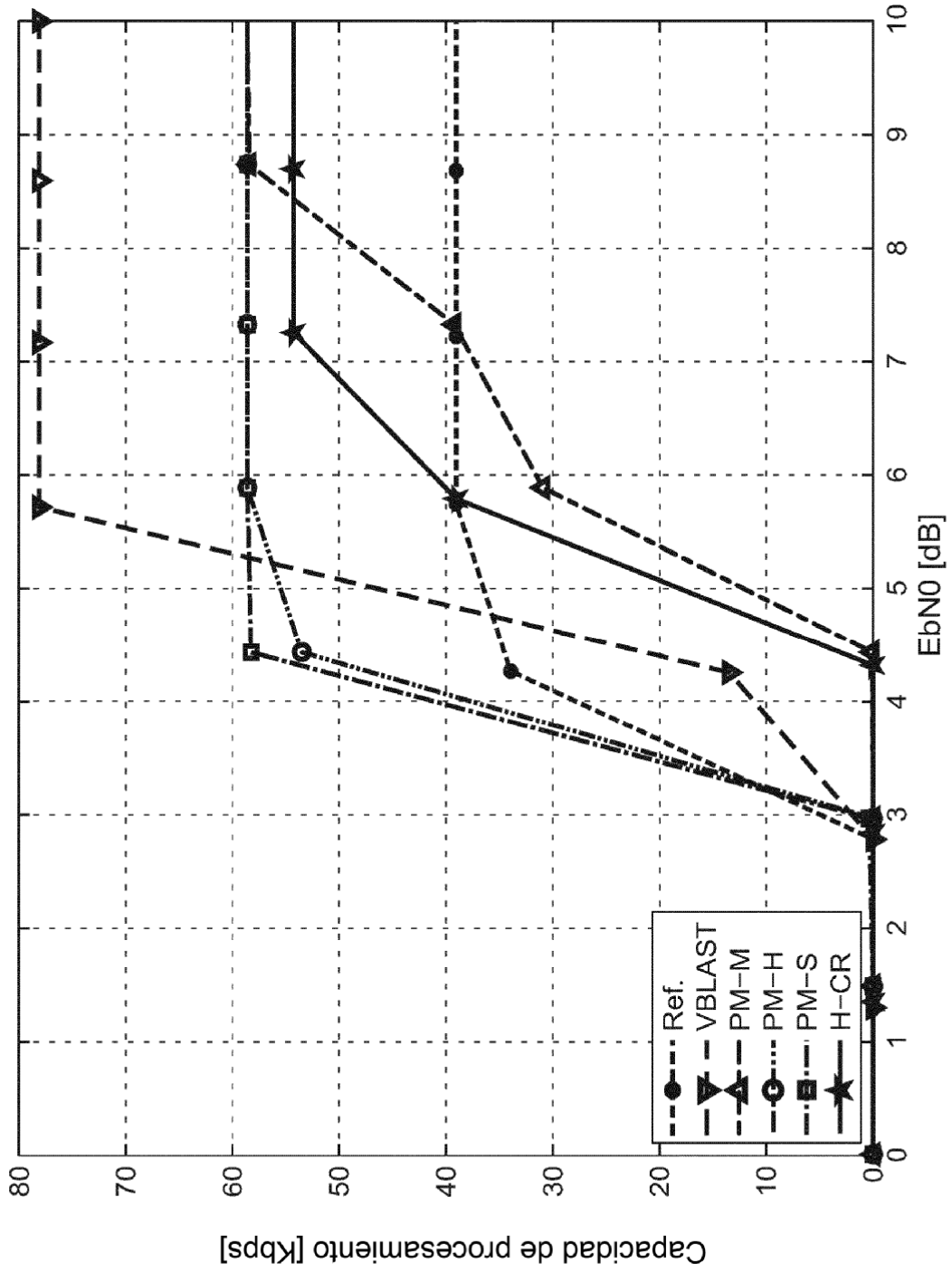
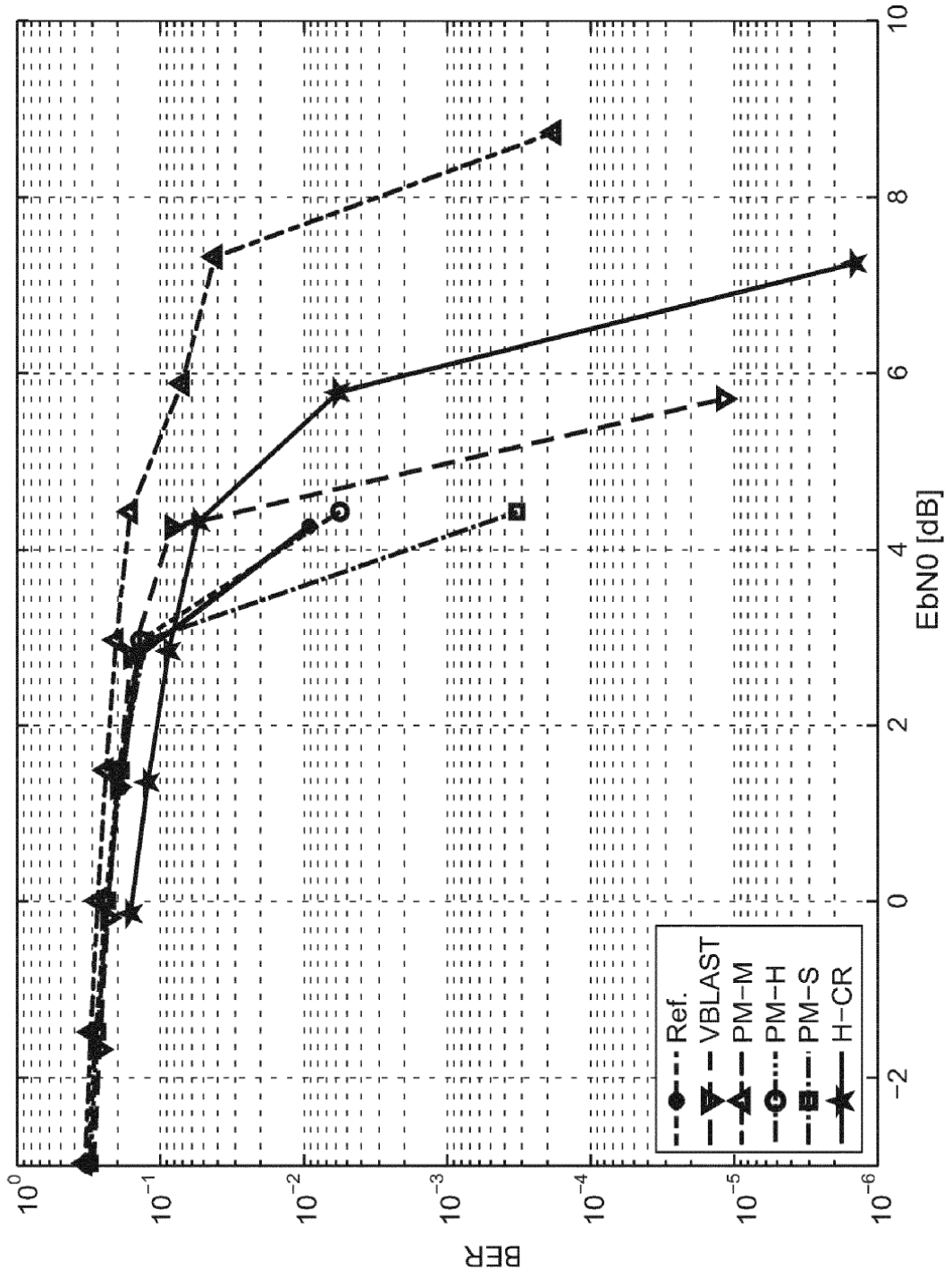


FIG. 3



**FIG. 4**