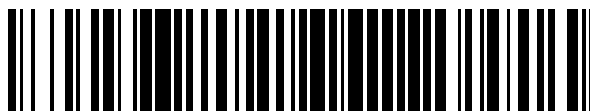


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 629 907**

51 Int. Cl.:

H04L 27/34 (2006.01)

H04L 1/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.02.2014 PCT/EP2014/052482**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.08.2014 WO14124880**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.02.2014 E 14704317 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.04.2017 EP 2957084**

54 Título: **Modulación con una constelación APSK que tiene un anillo con puntos separados irregularmente**

30 Prioridad:

14.02.2013 US 20136176464 P

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

16.08.2017

73 Titular/es:

**NEWTEC CY. (100.0%)
Laarstraat 5
9100 Sint-Niklaas, BE**

72 Inventor/es:

DELARUELLE, DANIEL

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 629 907 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

Modulación con una constelación APSK que tiene un anillo con puntos separados irregularmente

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere generalmente al campo de los sistemas de comunicación digitales. Más concretamente, se refiere a constelaciones de Modulación por Desplazamiento de Amplitud Fase (APSK) para un enlace de comunicaciones digitales.

Antecedentes de la Invención

En la presente invención una constelación APSK es considerada para un enlace de comunicaciones digital, por ejemplo un enlace de comunicaciones de satélite.

10 En un sistema de comunicaciones digital se puede, en el lado de la transmisión, a menudo distinguir el proceso de codificación y modulación. Los bits de información son transformados primero en una secuencia de símbolos digitales (codificación) y posteriormente la secuencia de símbolos digitales es transformada en una onda de transmisión continua (modulación). La onda de transmisión normalmente tiene un espectro de banda de paso. Todavía puede ser representado mediante una onda de transmisión de banda de base compleja equivalente que
15 tiene sólo componentes de baja frecuencia. La onda de radio frecuencia se obtiene a partir de una onda de banda de base mediante modulación de cuadratura y posiblemente conversión de frecuencia adicional. En los denominados esquemas de modulación lineales, la onda de banda de base se obtiene como la superposición de pulsos de duración esencialmente finita, siendo cada pulso el producto de un símbolo de valor complejo con una instancia retrasada para un pulso conocido como respuesta de impulso de filtro de transmisión. El conjunto finito de símbolos
20 de valor complejo se conoce como constelación. Una constelación normalmente se representa como un conjunto de M puntos en un plano interpretando la parte real e imaginaria de cada uno de los M valores de símbolos como abscisa y ordenada con respecto a los ejes perpendiculares. En una constelación de modulación por Desplazamiento de Fase (PSK) todos los puntos están situados en un círculo. En una constelación APSK esta restricción desaparece. En lo que sigue, la expresión más antigua Modulación de Amplitud de Cuadratura (QAM) no
25 será utilizada como lo utilizan algunos autores como un sinónimo de PASK y por otros para designar una forma especial de APSK en donde los puntos están dispuestos en una malla densa rectangular o hexagonal.

La geometría de una constelación determina la velocidad información mutua restringida de constelación teórica en un sistema con una relación dada de energía de símbolos con respecto a densidad de potencia de ruido (SNR), y para la mejor codificación posible binaria o no binaria. Los sistemas de comunicación digital a menudo utilizan
30 codificación binaria. En ese caso, el codificador en general no mapea directamente los bits de mensaje a símbolos. En su lugar mapea los bits de mensaje a bits codificados. Posteriormente, un grupo de bits de código es utilizado para designar un símbolo de transmisión. Esta última operación moralmente se denomina mapeo y el grupo de $\log_2 M$ bits de código que designa un símbolo de transmisión a partir de una constelación M-aria se denomina etiqueta. Este proceso normalmente es reproducido en el lado de recepción mediante desmapeado de bits, seguido
35 de decodificación binaria. El proceso de desmapeado de bits y decodificación binaria se puede realizar de manera iterativa, cuya técnica es conocida como desmapeado iterativo (como se detalla por ejemplo en el documento US6353911). Esto sin embargo implica una significativa complejidad. El desmapeado no iterativo y la codificación/decodificación binaria pueden por otra parte implicar una pérdida de capacidad del enlace de constelación en comparación con la capacidad de Shannon.

40 La pérdida se puede mitigar adaptando la geometría y el etiquetado de bits de la constelación. La Figura de Mérito de una elección particular de geometría y etiquetado de bits bajo codificación binaria y el desmapeado no iterativo es a menudo valorado computando la denominada capacidad de Modulación Codificada con Entrelazado de Bits (BICM). Esta capacidad BICM se puede conseguir pero lo contrario no ha sido mostrado, es decir, no ha sido probado que no se puedan conseguir regímenes mas elevados que el régimen BICM. Claramente, el criterio de
45 rendimiento último es el rendimiento de régimen de error de un esquema de modulación codificado. Para más detalles de la computación BICM se hace referencia al documento "Constellation Design for Transmission over Non-Linear Satellite Channels" (F. Kayhan and G. Montorsi, Globecom 2012).

50 Cuando se diseñan constelaciones para utilizar en canales no lineales, tales como canales de satélite, a menudo se adoptan constelaciones de múltiples anillos con puntos de señal uniformemente separados, como se ejemplificó en los documentos US7123663, US7239668 y US8369448. En "The capacity of average and peak-power-limited quadrature Gaussian channels", (S. Shamai. y Bar-David I., IEEE Trans. Information Theory, Vol. 41, Issue 4, Julio de 1995, pp. 1060-1071) una sustentación teórica para tal diseño se da en el caso limitante de un número infinito de puntos de constelación y minimización de la capacidad de canal de entrada de símbolo de cuadratura de aditivo Gaussiano, denominado posteriormente como GAQC, con una restricción de entrada de régimen de símbolo y una
55 media y SNR de pico. Shamai muestra que una estructura de constelación con anillos concéntricos discretos y una disposición de ángulo uniforme por anillo se obtiene para una restricción de NSR de pico. Sin embargo, todavía para un canal de GAQC de entrada de símbolo, cuando se va a un número infinito de puntos y se utiliza en su lugar capacidad BICM, se puede observar en el documento Kayhan que la estructura de anillo se rompe excepto para el

anillo exterior. Nótese que las constelaciones publicadas por Kayhan se obtienen a través de la simulación y no hay directrices de diseño manual. Cuando se impone simetría de cuadrante, obviamente los puntos internos se dan en grupos de 4 en un anillo, pero de otro modo no hay estructura aparente.

5 Otro importante aspecto de las comunicaciones digitales es la sincronización de portadora. La sincronización de portadora es necesaria debido a que el canal modifica la fase de señal entre la salida del transmisor y la entrada del receptor como resultado de varios factores, tales como

- los efectos de desplazamiento de baja frecuencia debidos al envejecimiento de los efectos térmicos y oscilatorios
- el efecto Doppler, producido por el movimiento de los terminales o los dispositivos de repetidor, tales como un satélite

10 - fluctuaciones de fase aleatorias conocidas como ruido de fase, que se producen en osciladores locales utilizados para la conversión de frecuencia

La sincronización de portadora normalmente utiliza un mecanismo de retroalimentación como un bucle de fase fija que adapta la fase del oscilador de referencia local en el receptor, con el fin de rastrear y cancelar las variaciones de fase en el canal. El bucle de fase fija (PLL) comprende un detector de error de fase (PED) que mide la diferencia de fases entre los símbolos recibidos y dicho oscilador de referencia. El PED puede hacer uso de cualesquiera símbolos conocidos de antemano (denominados símbolos piloto) o símbolos parcialmente conocidos en la secuencia de símbolo de transmisión. Insertando tales símbolos se reduce ligeramente la capacidad del enlace de comunicación digital para portar información útil. Por lo tanto, a menudo el PED no utiliza tal conocimiento. Esta situación se conoce como sincronización de portadora sin ayuda de datos (NDA). Los enlaces de comunicación que comprenden corrección de errores potentes en general operan con relaciones de señal a ruido bajas. En tales condiciones, el ruido del sistema reduce la cantidad de información de fase transportada por cada símbolo. Esto es especialmente cierto en sincronizadores NDA, debido a que el ruido añadido introduce incertidumbre con respecto al valor del símbolo recibido y en consecuencia con relación a la dirección en la que ajustar el oscilador de referencia local. La incertidumbre de fase introducida de este modo mediante un ruido aditivo en el canal se puede reducir seleccionando un valor más bajo para el ancho de bandas B_L del ruido de bucle del PLL. Sin embargo, la selección de un ancho de banda más inferior también reduce la capacidad de rastrear las variaciones de fase de canal, de manera que la selección del ancho de banda B_L del ruido de bucle, típicamente indica un compromiso entre dos contribuciones de error de fase; en primer lugar, la incertidumbre de fase residual causada por la filtración limitada de los efectos de ruido aditivo, y, en segundo lugar, la fase de canal no rastreada residual causada. Obviamente sería deseable limitar tanto como sea posible el error de fase. Sin embargo, un experto en la técnica de comunicación digital entenderá fácilmente que la reducción de la primera contribución permite el equilibrado del efecto combinado de ambas contribuciones consiguiendo un rendimiento de error de fase total mejor.

En el documento GB2471876 se describe un método para reducir la relación entre la potencia y pico de transmisión y la potencia media en un sistema OFDM. Un símbolo de una constelación de símbolos estándar es colocado en un punto cero mientras se mantiene la mínima distancia entre símbolos de la constelación de símbolo estándar. La nueva constelación se utiliza para la reducción de la relación entre el pico y la potencia media en sistemas OFDM mediante la asignación del punto cero a la subportadora con la potencia de recepción más baja.

Por lo tanto, existe una necesidad de una solución en la que se superen las desventajas y las limitaciones de las soluciones de la técnica anterior.

40 **Sumario de la invención**

Es un objetivo de las realizaciones de la presente invención proporcionar un esquema de constelación que permita en rendimiento mejorado y que también se pueda aplicar de manera ventajosa en un esquema de sintonización de portadora.

El objetivo anterior se consigue mediante una solución de acuerdo con la presente invención.

45 En un primer aspecto, la invención se refiere a una modulación digital que comprende:

- generar una cadena de símbolos de modulación con el fin de producir una señal modulada, en donde dichos símbolos de modulación pertenecen a una constelación de señal digital de múltiples anillos, teniendo dicha constelación de señal digital de múltiples anillos todos los puntos de señal situados en al menos dos anillos concéntricos, por lo que

50 a) el número total de puntos de señal es mayor que 8,

b) al menos un anillo tiene puntos separados de forma no uniforme, y

c) dicho al menos un anillo con puntos de señal separados de forma no uniforme está construido para formar junto con al menos un anillo vecino, un subconjunto de anillos vecinos, con lo que cada punto de señal del subconjunto tiene un único módulo de coordenadas angulares 2π y con ello la separación angular de los puntos de señal del

subconjunto es uniforme.

5 El uso de la constelación propuesta, de hecho, produce un rendimiento mejorado sobre las constelaciones de la técnica anterior. La mejora del rendimiento básicamente resulta del grado adicional de libertad, obtenido mediante la mitigación de la restricción de que todos los anillos requieran puntos de señal uniformemente separados. La estructura regular del subconjunto de anillos vecinos con puntos de señal que tienen una separación angular uniforme contribuye a una mejor idoneidad de la constelación para los fines de sincronización de portadora, en comparación con las constelaciones de la técnica anterior que carecen de tal estructura angular regular.

10 En una realización ventajosa, el número de puntos de señal situados en el anillo exterior es mayor que el número total de puntos de señal dividido por el número de anillos, de manera que la constelación está adaptada para utilizarse en un canal de comunicaciones no lineal.

En una realización preferida, la coordenada angular única de dichos puntos de señal de dicho subconjunto viene dada por $\theta_0 + 2k\pi/K$ con K indicando el número de puntos de señal en dicho subconjunto $k = 0, 1, \dots, K-1$ y θ_0 indicando un valor no negativo predeterminado menor que $2k\pi/K$.

15 En una realización, al menos una relación de radios de anillo de al menos dos anillos concéntricos es optimizada para maximizar la Modulación Codificada con Entrelazado de Bits para un canal de entrada de símbolo de modulación de cuadratura de aditivo Gaussiano con una relación de señal de pico a ruido predeterminada.

20 En otra realización, al menos una relación de radios de anillo de al menos dos anillos concéntricos es optimizada para minimizar una indicación de una relación de señal a ruido de un canal de entrada de onda de fuerte limitación que consigue una relación de error de cuadro predeterminada para un código de bloque de error hacia delante predeterminado.

En realizaciones preferidas, adaptadas para regímenes de código 128/180, 132/180 y 140/180, respetivamente, la constelación de señal digital, designada como 4 + 8 +4 +16APSK, tiene 32 puntos y cuatro anillos, teniendo los tres anillos más exteriores de dichos cuatro anillos 8, 4 y 16 puntos, respetivamente. Los anillos más exteriores tienen una relación con respecto al radio del anillo interno, esencialmente dada por

constelación adaptada para	anillo con 8 puntos	anillo con 4 puntos	anillo con 16 puntos
régimen de código 128/180	2,6	2,99	5,6
régimen de código 132/180	2,6	2,86	5,6
régimen de código 140/180	2,8	3,08	5,6

25 En una realización ventajosa, el método comprende una etapa de aplicación de un código de bloque de corrección de error de código de comprobación de paridad de baja densidad a una cadena de bits de información y mapear los bits codificados con el fin de obtener una cadena de símbolos digitales para ser modulados.

30 En otro aspecto, la invención se refiere a un transmisor para un sistema de comunicación digital que comprende un modulador dispuesto para modular una secuencia de símbolos digitales. Los símbolos digitales pertenecen a una constelación de múltiples anillos teniendo la constelación de señal digital de múltiples anillos todos los puntos de señal colocados en al menos dos anillos concéntricos, mediante lo cual

a) el número total de puntos de señal es mayor que 8,

b) al menos un anillo tiene puntos separados de forma no uniforme, y

35 c) dicho al menos un anillo con puntos separados de forma no uniforme están contruidos para formar junto con al menos un anillo vecino un subconjunto de anillos vecinos, con lo que cada punto de señal de dicho subconjunto tiene un único módulo de coordenadas angulares 2π y con lo que la separación angular de los puntos de señal del subconjunto es uniforme.

40 Preferiblemente el transmisor comprende un codificador para codificar una secuencia de bits de información y para producir una secuencia de bits codificados y un mapeador de bits dispuesto para ser alimentado con dicha secuencia de bits codificados y para obtener dichos símbolos digitales mediante mapeo de dichos bits codificados.

En otro aspecto, la invención se refiere a un receptor para un sistema de comunicación digital que comprende un desmodulador dispuesto para desmodular una secuencia de símbolos digitales. Los símbolos digitales pertenecen a una constelación de múltiples anillos, teniendo dicha constelación de señal de múltiples anillos todos los puntos de señal situados en al menos dos anillos concéntricos, con lo que

45 a) el número total de puntos de señal es mayor que 8,

b) al menos un anillo tiene puntos separados de manera no uniforme, y

c) dicho al menos un anillo con puntos de señal separados de manera no uniforme está construido para formar junto con al menos un anillo vecino un subconjunto de anillos vecinos, con lo que cada punto de señal de dicho subconjunto tiene un único módulo de coordenadas angulares 2π y con lo que la separación angular de los puntos de señal del subconjunto es uniforme.

- 5 Preferiblemente, el receptor comprende un desmapeador de bits dispuesto para ser alimentado con la secuencia de símbolos desmodulada procedente del desmodulador y para desmapear los símbolos desmodulados y un codificador dispuesto para recibir los símbolos desmapeados desmodulados y para obtener valores de bit.

De manera ventajosa, el desmapeador de bits en el receptor está dispuesto para realizar operaciones de desmapeado iterativas.

- 10 En un aspecto más, la invención se refiere también a un sistema de comunicación digital que comprende un transmisor como se ha descrito previamente y un receptor como se ha descrito.

Con el fin de resumir la invención y las ventajas conseguidas sobre la técnica anterior, han sido descritos anteriormente ciertos objetivos y ventajas de la invención. Por supuesto, se entiende que no necesariamente todos los citados objetivos y ventajas se pueden conseguir de acuerdo con una realización particular de la invención. De este modo, por ejemplo, los expertos en la técnica reconocerán que la invención puede ser llevada a la práctica o realizada de manera que consiga u optimice una ventaja o grupo de ventajas como se han enseñado aquí sin conseguir necesariamente otros objetivos o ventajas como se pueden enseñar o sugerir en la presente.

- 15

Los anteriores y otros aspectos de la invención se harán evidentes de, y serán aclarados con referencia a, la relocalización(es) descritas más adelante.

20 **Breve descripción de los dibujos**

La invención se describirá a continuación de forma adicional, a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que los mismos números de referencia se refieren a elementos iguales en las distintas figuras.

La Fig. 1 ilustra un diagrama de bloques de un sistema de comunicación digital que emplea constelaciones.

La Fig. 2 ilustra una constelación de múltiples anillos de acuerdo con la invención.

- 25 La Fig. 3 ilustra la geometría y etiquetado de una constelación de 32-APSK de acuerdo con la invención.

La Fig. 4 ilustra la geometría y etiquetado de una constelación de 32-APSK de la técnica anterior, en lo que sigue denominada constelación A, mostrada en (ETSI EN 302 307 v1.2.1: *Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications*), en lo que sigue llamada norma DVB-S2. Sirve como caso de referencia en las computaciones y simulaciones de rendimiento.

- 30

La Fig. 5 ilustra la geometría y etiquetado de otra constelación 32-APSK de la técnica anterior, en lo que sigue denominada como constelación B, reportada por Kayhan como un esquema optimizado para un pico SNR de 15dB. Sirve como caso de referencia en las computaciones y estimaciones de rendimiento.

- 35 La Fig. 6 ilustra la capacidad BICM computada como una función del SNR media, para dicha constelación 32-APSK de acuerdo con la invención y las constelaciones de la técnica anterior A, A* y B, en donde A* tiene un etiquetado de bits como se ha informado en el documento US8369448.

La Fig. 7 ilustra la capacidad BICM computada en función del SNR de pico, para dicha constelación 32-APSK de acuerdo con la invención y las constelaciones A y B de la técnica anterior.

La Fig. 8 ilustra una ley AM/FM del amplificador de canal en un canal de fuerte limitación.

- 40 La Fig. 9 ilustra el rendimiento de Régimen de Error de Cuadro simulado para dicha constelación 32-APSK de acuerdo con la invención y las constelaciones A y B de la técnica anterior, siendo cada constelación utilizada en combinación con un código 5/6 LDPC de régimen y transmisión en un canal de fuerte limitación.

- 45 La Fig. 10 ilustra el rendimiento de Régimen de Error de Cuadro simulado para una constelación 32-APSK de acuerdo con la invención y las constelaciones de la técnica anterior A y B, siendo cada constelación utilizada en combinación con un código 7/9 LDPC de régimen y transmisión sobre un canal de fuerte limitación.

La Fig. 11 ilustra el jitter de sincronización de portadera computado como una función del SNR medio, para dicha constelación 32-APSK de acuerdo con la invención y las constelaciones de la técnica anterior A y B.

La Fig. 12 ilustra el jitter de sincronización de portadora computado como una función del SNR de pico, para dicha constelación 32-APSK de acuerdo con la invención y las constelaciones A y B de la técnica anterior.

- 50

Descripción detallada de las realizaciones ilustrativas

La presente invención se describirá con respecto a las realizaciones particulares y con referencia a ciertos dibujos pero la invención no se limita a las mismas sino que únicamente está limitada por las reivindicaciones.

5 Además, los términos primero, segundo y similares en la descripción y en las reivindicaciones son utilizados para distinguir entre elementos similares y no necesariamente para describir una secuencia, o bien temporal o bien espacialmente, en clasificación o de cualquier otra forma. Se entiende que los términos utilizados así son intercambiables bajo condiciones apropiadas y que las realizaciones de la invención descritas aquí son capaces de funcionar en otras secuencias a las descritas e ilustradas aquí.

10 Se ha de observar que la expresión "que comprende", utilizada en las reivindicaciones, no debería ser interpretada como restrictiva a los medios enumerados a en lo que sigue; no excluye otros elementos o etapas. De este modo ha de ser interpretada como que especifica la presencia de características establecidas, números enteros, etapas o componentes como se refieren a, pero no excluyen la presencia o adición de uno o más de otras características, números enteros, etapas o componentes, o grupos de los mismos. De este modo, el alcance de la expresión "un dispositivo que comprende medios A y B" no debería estar limitada a dispositivos que consten solo de los componentes A y B. Significa que con respecto a la presente invención, los únicos componentes relevantes del dispositivo son A y B.

15 La referencia en esta memoria a "una realización" significa que una característica, estructura o características particulares descritas en combinación con las realizaciones están incluidas en al menos una realización de la presente invención. De este modo, las apariciones de las frases "en una realización" en varios lugares en toda la memoria no necesariamente se refieren todas a la misma realización, pero puede que sí. Además, las cualidades, estructuras y características particulares se pueden combinar de cualquier manera adecuada, como resultará evidente para los expertos en la técnica a partir de la descripción, en una o más realizaciones.

20 De manera similar, se debería apreciar que en la descripción de las realizaciones a modo de ejemplo, diversas características de la invención están a veces agrupadas juntas en una única realización, figura o descripción de la misma con el fin de hacer más eficiente la descripción y ayudar a la comprensión de uno o más de los distintos aspectos de la invención. Este método de la descripción, sin embargo no se debe interpretar como que refleje la intención de que la invención reivindicada requiera más características que las mencionadas expresamente en cada reivindicación. En su lugar, como las siguientes reivindicaciones reflejan, los aspectos de la invención son menos que todas las características de una única realización descrita en lo que sigue. De este modo, las reivindicaciones que siguen a la descripción detallada están aquí expresamente incorporadas en esta descripción detallada, cada una de las cuales constituyendo por sí mismo una realización separada de esta invención.

25 Se ha de observar que el uso de una terminología particular cuando se describen ciertas características y aspectos de la invención no debe ser tomado como que implique que la terminología está siendo redefinida aquí para restringir que incluya cualesquiera características específicas de las cualidades o aspectos de la invención con la que está asociada la terminología.

30 En la descripción proporcionada aquí, se exponen numerosos detalles específicos. Sin embargo, se entiende que las realizaciones de la invención se pueden llevar a la práctica sin estos detalles específicos. En otros casos, no se han mostrado con detalle métodos, estructuras y técnicas bien conocidas con el fin de no oscurecer la comprensión de esta descripción.

35 La presente invención se refiere a un transmisor y a un receptor para un sistema de comunicación digital.

40 La Fig. 1 muestra un sistema de comunicación digital. Los datos digitales que entran son codificados con un código de corrección de error hacia delante. Este codificador puede ser un único codificador, pero también puede ser la concatenación de varios codificadores. En el caso de que el codificador utilice código binario, la salida es una cadena de bits codificados. Después los bits son mapeados a símbolos que pertenecen a una cierta constelación tal como PSK, APSK, QAM. Un entrelazador puede además reordenar los bits de código para el mapeo con el fin de mejorar todo el rendimiento del sistema. Una persona experta en la técnica de comunicaciones digitales entenderá fácilmente que el codificador, entrelazador y el mapeador pueden en momentos diferentes emplear reglas de código diferentes, entrelazando reglas y constelaciones. Un experto en la técnica de comunicaciones digitales entenderá fácilmente que las reglas y las constelaciones se pueden variar utilizando un patrón fijo o adaptativo, técnicas comúnmente conocidas como codificación y modulación variables (VCM) y codificación y modulación adaptativas (ACM). La presente invención se refiere a un diseño de constelación particular y por tanto por extensión a cualquier sistema o esquema de comunicación digital que utilice este diseño de constelación todo el tiempo o sólo una fracción de tiempo. Un experto en la técnica de comunicaciones digitales entenderá fácilmente que además pueden ser insertados símbolos conocidos a priori con el fin de ayudar a la sincronización del receptor. Un experto en la técnica de comunicaciones digitales entenderá que los valores de la secuencia de símbolos se pueden modificar utilizando técnicas de predistorsión conocidas con el fin de combatir la distorsión lineal y no lineal en el canal. La secuencia de símbolos original o modificada es entonces suministrada a un modulador que aplica filtrado de transmisión y modulación de cuadratura. El modulador genera una onda que es transmitida a través de un canal, tal

como un canal de comunicaciones de satélite. En el lado de receptor, la onda es desmodulada para obtener el valor de recepción de los símbolos. El valor de recepción de un símbolo no es exactamente igual al valor de transmisión, debido a los efectos del canal tales como la adición de ruido y distorsión. Los símbolos son posteriormente desmapeados. El desmapeador produce, por ejemplo, las relaciones de probabilidad de los bits codificados, que a continuación se van a suministrar al decodificador. Al igual que el codificador, el decodificador puede estar compuesto por uno o más decodificadores concatenados. Los expertos en la técnica de receptores digitales entenderán fácilmente que uno o más decodificadores pueden procesar la información recibida de una manera iterativa y uno o más decodificadores también pueden intercambiar información con el desmapeador de una manera iterativa, como se ilustra en la Fig. 1. Tanto el receptor como de decodificador pueden proporcionar información referente a la calidad de la señal recibida, más concretamente referente al margen de enlace. Esta información puede ser utilizada por la unidad de codificación y modulación adaptativa para influir en la selección de la codificación actual, entrelazado, mapeo y parámetros de constelación, para incrementar la disponibilidad o la producción del enlace de comunicación.

La Fig. 2 muestra una constelación APSK de acuerdo con la presente invención. La constelación tiene puntos de señal 204 situados en un conjunto de anillos concéntricos. La constelación puede comprender anillos 200 que tienen puntos uniformemente separados. Para cualquier constelación de acuerdo con la presente invención, utilizada durante una transmisión, los puntos de señal en tal anillo están definidos predeterminando los radios de anillo, el número de puntos en el anillo y la coordenada angular de un punto. Con el fin de optimizar la capacidad de la constelación para transferir información, al menos un anillo 201 tiene puntos separados uniformemente. Sin embargo, con el fin de facilitar la sincronización de receptor, cualquier anillo con puntos separados de manera no uniforme es construido para estar dentro de un subconjunto de anillos vecinos 202, de manera que todos los puntos de señal colocados en dicho subconjunto, cuyo número está designado como K, tienen coordenadas angulares únicas $\theta_0 + k\theta\Delta$, en donde k está comprendido ente 0 y K-1 y $\Delta\theta = 2\pi/K$. Por lo tanto, los puntos de señal que pertenecen al subconjunto tienen una separación angular uniforme. Como se detalla más adelante, seleccionar las coordenadas angulares de los puntos de señal de manera que se obtenga una estructura regular, demuestra ser altamente beneficioso para realizar la sincronización de portadora, especialmente sincronización de portadora de baja complejidad. Esto constituye una mejora sustancial en comparación con las constelaciones del documento de Kayhan. Para cualquier constelación de acuerdo con la presente invención, utilizada durante la transmisión, los puntos de señal en dicho subconjunto de anillo 202 son descritos por los radios de anillo predeterminados para el subconjunto de anillos, el número predeterminado de puntos de señal K, la coordenada angular predeterminada θ de un primer punto de señal, y la asociación predeterminada de cada punto de señal a un anillo particular (radio) en el subconjunto.

De manera ventajosa para la comunicación digital a través de los canales que comprende elementos no lineales, tales como canal de emisión por satélite, el número de puntos de señal situados en el anillo exterior 203 excede del número de puntos de señal en la constelación dividido por el número de anillos en la constelación. Un experto en la técnica de comunicaciones digitales entenderá fácilmente que una misma geometría de constelación puede ser descrita utilizando varias descripciones equivalentes.

También resulta obvio para un experto en la técnica que un factor de escalado de magnitud común se puede aplicar a todos los puntos de constelación sin cambiar el alcance de la invención, dado que está es equivalente a aplicar un factor de amplificación de señal. Además, se puede aplicar una rotación angular común a todos los puntos de constelación sin cambiar el campo de la invención, dado que esto es equivalente a una rotación de fase de señal de transmisión.

La Fig. 3 muestra una geometría de constelación 32 APSK y un etiquetado de bits de acuerdo con la presente invención. Será evidente para los expertos en la técnica de comunicaciones digitales que el etiquetado de bits se puede sustituir por una constelación 32-aria, sin cambiar el alcance de la invención, por un etiquetado de bits obtenido aplicando cualquiera de factorial $(5) = 120$ permutaciones de las posiciones de bit para todos los símbolos de la constelación (en donde 5 es el número de posiciones de bit en una constelación con 32 puntos); por ejemplo todas las etiquetas XYZWU pueden ser sustituidas por etiquetas de bit UXYZW. De manera similar, el etiquetado de bits mostrado puede ser sustituido, sin cambiar el alcance de la invención, por el etiquetado de bit obtenido complementando cualquiera de los $2^5 = 32$ subconjuntos de los 5 bits de etiqueta; por ejemplo para un subconjunto de singleton que consta del 4º bit, las etiquetas de bit XYZ0U son permutadas por las etiquetas XYZ1U. De manera similar, cuando una geometría de constelación presenta una simetría, tal como una simetría rotacional o simetría especcular, entonces las etiquetas de bits obviamente se pueden permutar de acuerdo con dicha geometría, con el fin de obtener una constelación equivalente, sin salirse del alcance de la invención.

A continuación se presentan ventajas de la constelación de acuerdo con la invención sobre las constelaciones de la técnica anterior. Las ventajas están ilustradas en al menos una de las siguientes características: la capacidad de portar información, especialmente en un canal no lineal, y la adecuabilidad para la sincronización de portadora en términos de rendimiento de sincronización y complejidad. Esto se expone y se ilustra para constelaciones 32-arias. Será evidente para alguien experto en la técnica de comunicaciones digitales que un mismo argumento de las ventajas de las características distintivas del diseño de constelación de múltiples anillos de la Fig. 2 se podría aplicar a una diseños de constelación APSK con un número diferentes de puntos, por ejemplo a 64APSK.

La Fig. 4 muestra una primera geometría de constelación y etiquetado de la técnica anterior, en lo que sigue denominada constelación A. Esta constelación está especificada en el estándar DVB-S2 y tiene una estructura de múltiples anillos con puntos separados de manera equidistante en cada anillo. Los radios de anillo de esta constelación de la técnica anterior están adaptados a un régimen de código de acuerdo con el estándar DVB-S2.

- 5 Otra constelación de la técnica anterior, descrita en el documento US8369448 y denominada en lo que sigue como A*, difiere de la constelación A solo en el etiquetado de bits. El etiquetado de bits en el documento US8369448 sin embargo no aumenta ni disminuye ninguna de las ventajas ilustradas más adelante. Por lo tanto, cualquier ilustración de una mejora de una constelación de acuerdo con la presente invención sobre la constelación A de la técnica anterior se entiende que también describe una mejora idéntica verificada sobre la constelación de la técnica anterior A*. Esto solo se hace explícito en el Fig. 6.

10 La Fig. 5 muestra una geometría de constelación y etiquetado de la técnica anterior adicional, en lo que sigue denominada constelación B. Se obtiene en el documento de Kayhan como una geometría de constelación y etiquetado de bits que maximiza la capacidad BICM para un canal de aloda de símbolo GAQM con un conjunto de SNR de pico igual a 15 dB. Es una constelación de múltiples anillos en la que el anillo exterior está separado de manera no uniforme y no es miembro de un subconjunto de anillos cuyos puntos de señal tienen coordenadas angulares expresadas como $\theta_0 + k\Delta\theta$.

15 La Fig. 6 ilustra la capacidad BICM computada, de un canal de entrada de símbolo GACM con un SNR medio dado, para la constelación 32APSK de acuerdo con esta invención, en comparación con las constelaciones de la técnica anterior A y B. En resumen, para los regímenes de información por debajo de 4,4 bits por uso de canal la ventaja de SNR requerida de la constelación de acuerdo con esta invención es de 0,1 a 0,5 dB en comparación con la constelación de la técnica anterior A y aproximadamente 0,5 dB en comparación con la constelación de la técnica anterior B. Como se ha explicado en la sección de antecedentes. La capacidad BICM del canal de entrada de símbolos GACM es una buena predicción de clasificación de rendimiento conocida para canales lineales. Incluso aunque se focalice más sobre las ventajas de rendimiento para un canal no lineal, se observa aquí que la constelación de acuerdo con la presente invención está mejor adaptada a canales lineales que las constelaciones de la técnica anterior A y B.

20 La Fig. 7 ilustra una capacidad BICM computada de un canal de entrada de símbolo GACM con un SNR de pico dado, para una constelación 32APSK dada de acuerdo con esta invención, en comparación con las constelaciones de la técnica anterior A y B. Dado que la capacidad BICM de un canal de entrada de símbolo GACM con un SNR de pico dado fue el criterio de diseño en Kayhan, no es sorprendente ver que la constelación B funciona mejor de acuerdo con este criterio. La constelación de acuerdo con la presente invención todavía mantiene una ventada con respecto a la constelación de la técnica anterior A, de acuerdo con este criterio. Sin embargo, dicho criterio para un canal de entrada de símbolo no captura todos los aspectos, en particular los detalles más finos, de un canal de entrada de onda continua uniforme.

25 Por tanto en la Fig. 9 y la Fig. 10 el rendimiento simulado se examina sobre una escala de entrada de onda no lineal con una característica no lineal mostrada en la Fig. 8, el llamando canal de fuerte limitación. Este canal no lineal está considerado como una buena aproximación de los amplificadores no lineales que circuitos de linealización, tales como los utilizados virtualmente en diseños de transpondedor de satélite actuales. En la Fig. 9, el rendimiento se ilustra con un código de comprobación de paridad de densidad baja 5/6 de régimen con una longitud de 64800 bits de código y un entrelazador de bits de fila-columna, adaptado para cada constelación al etiquetado de constelación particular, con el fin de tener una comparación imparcial. En la Fig. 10, el régimen de código se cambia a 7/9. Para la constelación de la técnica anterior A. los radios del anillo defino en el estándar DVB-S2 son utilizados otros regímenes de código 5/6; para régimen de código 7/9 = 0,777 son adoptados radios de anillo definidos en el estándar DVB-S2 para el régimen de código más cercano 3/4 = 0,750.

30 Se observa que la constelación de acuerdo con la presente invención funciona mejor que las constelaciones de la técnica anterior. Los resultados indican que la clasificación de rendimiento detallada de los esquemas de modulación no se consigue cuando se utiliza como criterio de diseño a capacidad BICM para un modelo de canal de entrada de símbolo GACM restringido de SNR de pico.

35 La Fig. 9 y 10 también ilustran la aplicabilidad de las constelaciones de acuerdo con la invención, cuando se combinan con códigos de corrección de error para un modelo de canal no lineal representativo de un canal de emisión satélite.

40 De manera ventajosa, los radios de anillo de la constelación 32-APSK de acuerdo con la invención mostrados en la Fig. 3 están adaptados para proporcionar umbrales de SNR bajos cuando se utilizan en un canal no lineal en combinación con códigos LDPC de régimen 128/180, 132/180 y 140/180. En particular es beneficioso, para un canal no lineal de fuerte limitación representativo de un canal de emisión satélite, utilizar una relación de los radios de anillo de los tres anillos más exteriores con respecto al radio de anillo interior, para cada uno de dichos regímenes de código como se muestra en la tabla más adelante. El umbral SNR resultante, expresado como valor C_{sat}/N_0 , para un LDPC del estado de la técnica con un diseño similar al diseño de código en el estándar DVB-S2, para un filtro de banda de base que excede en ancho de banda del 10%, fue computado para tener valores como se muestra en la

tabla a continuación.

constelación adaptada para	relación de radio de anillo con 8 puntos	relación de radio de anillo con 4 puntos	relación de radio de anillo con 16 puntos	umbral Csat/No (en dB)
régimen de código 128/180	2,6	2,99	5,6	14,50
régimen de código 132/180	2,6	2,86	5,6	14,91
régimen de código 140/180	2,8	3,08	5,6	15,84

En la Fig. 11 y la Fig. 12 la ventaja se ilustra de una constelación 32-APSK de acuerdo con la presente invención referente al nivel de la contribución de error de fase debido al ruido de canal aditivo en un circuito sincronizador de portadora NDA. Esta ventaja se aprovecha para conseguir un error de fase total reducido cuando también están presentes otras fuentes de error de fase, en particular ruido de fase de canal particular en enlaces de radio. Especialmente en sincronizadores de portadora NDA la contribución de error de fase debido a ruido de canal de aditivo depende en gran medida del diseño de la constelación, de la relación de señal a ruido del parámetro SNR o SNR de pico, del detector de error de fase particular (PED) utilizado en el PLL y del ancho de banda de ruido B_L de este PLL con relación al régimen de símbolo de transmisión. Los resultados de la Fig. 11 y 12 se aplican a un ancho de banda de bucle B_L de 0,01% veces el régimen de símbolo de transmisión. Los detectores de fase considerados son

- a) un detector óptimo
- b) un detector de retroalimentación de decisión (DFB)
- c) un denominado detector Viterbi & Viterbi (V&V) con una periodicidad angular adaptada al número de puntos sobre el anillo exterior de cada constelación.

Un PED óptimo se define como cualquier sincronizador con un rendimiento expresado por

$$Var\{\theta_\epsilon^2\} = - \frac{1}{E_y \left[\frac{\partial^2 p(y|\theta)}{\partial^2 \theta} \right]} \cdot \frac{B_L}{F_{SIMBOLO}} \quad [\text{rad}^2]$$

en donde $Var\{\theta_\epsilon^2\}$ es el valor cuadrado medio del error de fase θ_ϵ y $p(y|\theta)$ es la densidad de probabilidad para la observación de un valor de símbolo de salida de canal AWGN y para un único símbolo de recepción que sufre una rotación de fase residual θ . E_y denota una media sobre todos los posibles valores de salida del canal, en principio todo el plano complejo. Un ejemplo de un PED óptimo es un PED que convierte el valor de salida de canal complejo

medido y en un valor de salida escalar $PED(y) \propto \frac{1}{p} \frac{\partial p(y|\theta)}{\partial \theta}$ dentro de un factor de escala fijo, o realiza cualquier función sustancialmente igual a esta en una región del plano complejo que incluye todos los puntos de constelación. Como es bien conocido por los expertos en la técnica, tal factor de escala es equivalente a una ganancia fija en el PLL y es compensado cuando se eligen los componentes del circuito o los factores de escala en una implementación analógica o digital de un PLL, adaptado para realizar un ancho de banda de ruido de bucle preestablecido.

El diferente PED considerado aquí difiere significativamente en complejidad. La aproximación del detector óptimo es muy compleja para modulaciones de orden más elevado. Un detector de retroalimentación de decisión también tiene complejidad sustancial ya que implica computar el valor de fuerte decisión de un símbolo recibido. Además, tanto el detector de retroalimentación óptimo como de decisión son para la mayoría de constelaciones de orden más elevado muy sensibles a errores en el nivel de señal medido.

Se observa a partir de la Fig., 11 y la Fig. 12 que la contribución de jitter es sustancialmente mas elevada para la constelación B de la técnica anterior, especialmente cuando se utiliza el detector Viterbi y Viterbi más simple. Para la constelación de acuerdo con este invención, un poco de rendimiento se pierde cuando se utiliza un detector V & V más simple, en comparación con la utilización del detector óptimo. Esta diferencia de comportamiento se puede atribuir a la separación angular regular mantenida por las constelaciones de acuerdo con la presente invención, pero no en las constelaciones diseñadas de acuerdo con el documento de Kayhan, por ejemplo la constelación B de la técnica anterior.

Aunque la invención se ha ilustrado y descrito con detalle en los dibujos y en la anterior descripción, tal ilustración y descripción son consideradas ilustrativas o a modo de ejemplo y no limitativas. La descripción anterior detalla ciertas realizaciones de la invención. Se apreciará, sin embargo, que no se detalla en el texto la manera de como realizarla, la invención se puede llevar a la práctica de muchas formas. La invención no se limita a las realizaciones descritas.

Otras variaciones a las realizaciones descritas se pueden entender y realizar por los expertos en la técnica en la práctica de la invención reivindicada, a partir de un estudio de los dibujos, la memoria y las realizaciones adjuntas. En las reivindicaciones, la expresión "que comprende" no excluye otros elementos o etapas, y el artículo indefinido "un" o "una" no excluye una pluralidad. Un único procesador u otra unidad puede cumplir las funciones de varios artículos mencionados en las reivindicaciones, El mero hecho de que ciertas medidas sean enumeradas en diferentes etapas mutuamente dependientes no indica que una combinación de estas medidas no se puede utilizar como ventaja. Un programa de ordenador se puede almacenar/distribuir en un medio adecuado, tal como un medio de almacenamiento óptico o un medio de estado sólido suministrado junto o como parte de otro hardware, pero puede ser distribuido de otras formas, tales como a través de Internet u otros sistemas de telecomunicación con cable o inalámbricos. Cualesquiera señales de referencia en las reivindicaciones no deberían ser interpretadas como limitante del alcance.

REIVINDICACIONES

1. Un método de modulación digital que comprende:

- codificar una secuencia de bits de información a una secuencia de bits codificados y mapear la secuencia de bits codificados a una cadena de símbolos de modulación con el fin de producir una señal modulada, en donde dichos símbolos de modulación pertenecen a una constelación de señal de múltiples anillos (200, 201, 202, 203), teniendo dicha constelación de señal digital de múltiples anillos todos los puntos de señal situados en el menos dos anillos concéntricos (200, 201, 202, 203), con lo que

a) el número total de puntos de señal es mayor que 8,

b) al menos un anillo tiene puntos separados de forma no uniforme (201), y

c) dicho al menos un anillo con puntos de señal separados de forma no uniforme está construido para formar junto con al menos un anillo vecino un subconjunto de anillos vecinos (202), con lo que cada punto de señal de dicho subconjunto tiene un único módulo de coordenada angular 2π y con lo que la separación angular de los puntos de señal de dicho subconjunto es uniforme.

2. Un método de modulación digital como en la reivindicación 1, en el que el número de puntos de señal separados en el anillo más exterior es mayor que el número total de puntos de señal dividido por el número de anillos, de manera que la constelación está adaptada para utilizarse en un canal de comunicaciones no lineal.

3. Un método de modulación digital como en la reivindicación 1 o 2, en el que dicha única coordenada angular de dichos puntos de señal de dicho subconjunto está dada por $\theta_0 + 2k\pi/K$, indicando K el número de puntos de señal en dicho subconjunto, $k = 0, 1, \dots, K-1$ y θ_0 indicando un valor no negativo predeterminado menor que $2k\pi/K$.

4. Un método de modulación digital como en cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que dicha constelación de señal digital tiene 32 puntos y cuatro anillos, teniendo los tres anillos más exteriores de dichos cuatro anillos 8, 4 y 16 puntos, respetivamente, teniendo dichos tres anillos más exteriores una relación con respecto al radio del anillo interior, dada por una de las siguientes

anillo con 8 puntos	anillo con 4 puntos	anillo con 16 puntos
2,6	2,99	5,6
2,6	2,86	5,6
2,8	3,08	5,6

con el fin de adaptar la modulación para utilizar con regímenes de código de 128/180, 132/180 y 140/180, respetivamente.

5. Un método de modulación digital como en cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende una etapa de aplicar un código de bloque de corrección de error de código de comprobación de paridad de baja densidad binaria a una cadena de bits de información y mapear los bits codificados con el fin de obtener una cadena de símbolos digitales para ser modulada.

6. Un transmisor para un sistema de comunicación digital que comprende medir para codificar una secuencia de bits de información en una secuencia de bits codificados y mapear la secuencia de bits codificados a una secuencia de símbolos de modulación para producir una señal de modulación, en donde dichos símbolos de modulación pertenecen a una constelación de múltiples anillos (200, 201, 202, 203) teniendo dicha constelación de señal digital de múltiples anillos todos los puntos situados en al menos dos anillos concéntricos, con lo que

a) el número total de puntos de señal es mayor que 8,

b) al menos un anillo tiene puntos separados de forma no uniforme (201), y

c) dicho al menos un anillo con puntos de señal separados de forma no uniforme está construido para formar junto con al menos un anillo vecino un subconjunto de anillos vecinos (202), con lo que cada punto de señal de dicho subconjunto tiene un único módulo de coordenada angular 2π y con lo que la separación angular de los puntos de señal de dicho subconjunto es uniforme.

7. Un transmisor para un sistema de comunicación digital como en la reivindicación 6, que comprende

- un codificador para codificar una secuencia de bits de información y para producir una secuencia de bits codificados,

- un mapeador de bits dispuesto para ser alimentado con dicha secuencia de bits codificados y para obtener dichos símbolos digitales mediante el mapeo de dichos bits codificados.

- 5 8. Un receptor para un sistema de comunicación digital que comprende un desmodulador dispuesto para desmodular una señal recibida en una secuencia de símbolos digitales, que representan bits codificados, y decodificar dicha secuencia de símbolos digitales en una secuencia de bits de información, en donde dichos símbolos digitales pertenecen a una constelación de múltiples anillos (200, 201, 202, 203), teniendo dicha constelación de señal digital de múltiples anillos todos los puntos de señal dispuestos en al menos dos anillos concéntricos, con lo que
- a) el número total de puntos de señal es mayor que 8,
- b) al menos un anillo tiene puntos separados de forma no uniforme (201), y
- 10 c) dicho al menos un anillo con puntos de señal separados de forma no uniforme esta construido para formar junto con al menos un anillo vecino un subconjunto de anillos vecinos (202), con lo que cada punto de señal de dicho subconjunto tiene un único módulo de coordenada angular 2π y con lo que la separación angular de los puntos de señal de dicho subconjunto es uniforme.
- 15 9. Un receptor para un sistema de comunicación digital como en el reivindicación 8, que comprende
- un desmapeador de bits dispuesto para ser alimentado con dicha secuencia de símbolos desmodulados procedente de dicho demodulador y para desmapear dichos símbolos desmodulados,
- un decodificador dispuesto para recibir dichos símbolos desmodulados, desmapeados y para obtener valores de bit.
10. Un receptor para un sistema de comunicación digital como en la reivindicación 9, en el que dicho desmapeador de bit está dispuesto para realizar operaciones de desmapeado iterativas.
- 20 11. Un sistema de comunicación digital que comprende un transmisor como en cualquiera de las reivindicaciones 6 a 7 y un receptor como en cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10.

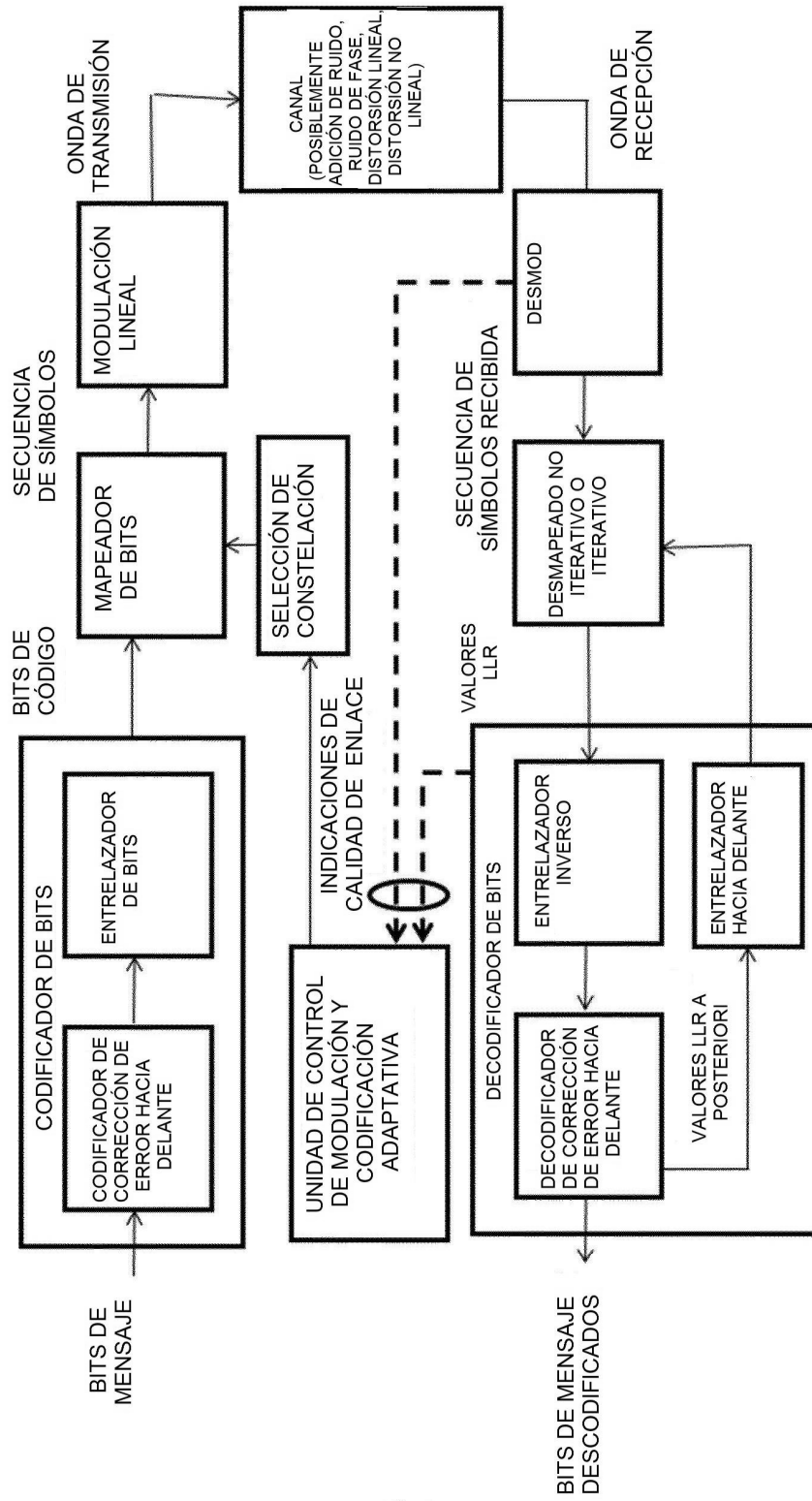


Fig.1

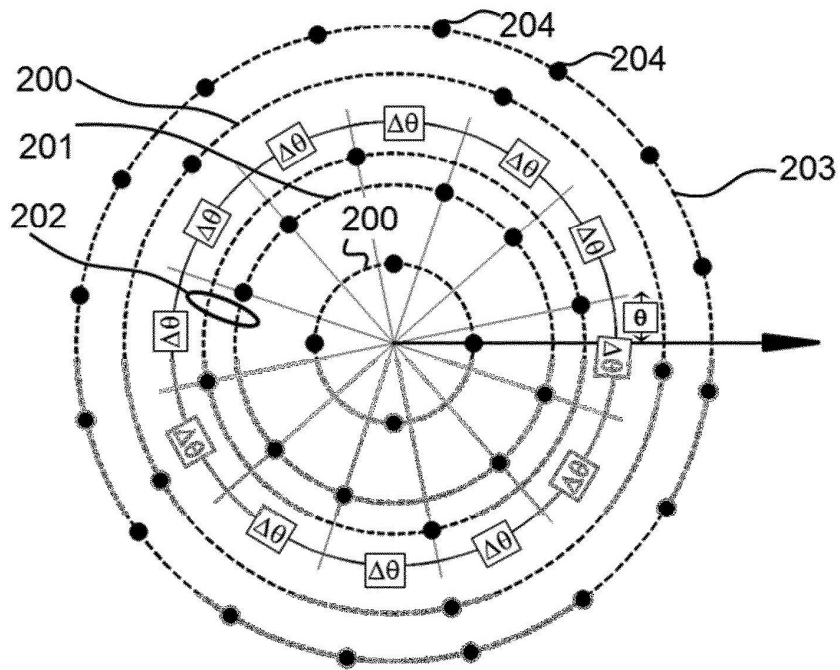


Fig.2

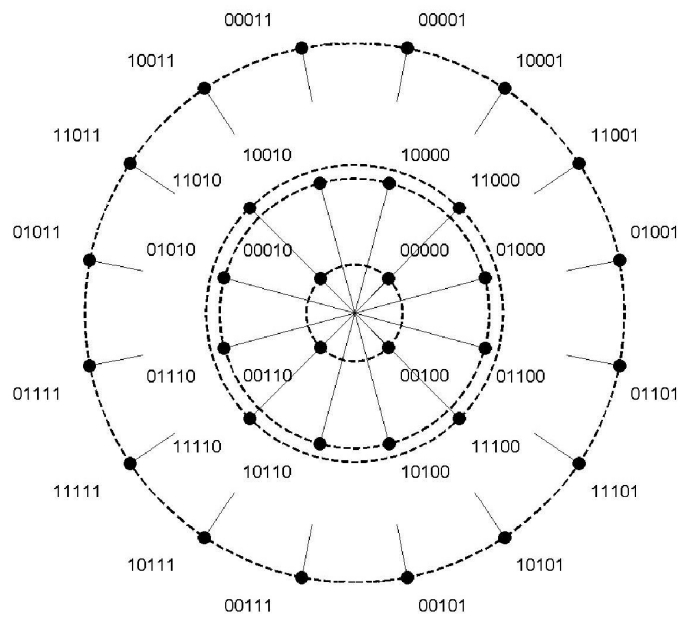


Fig.3

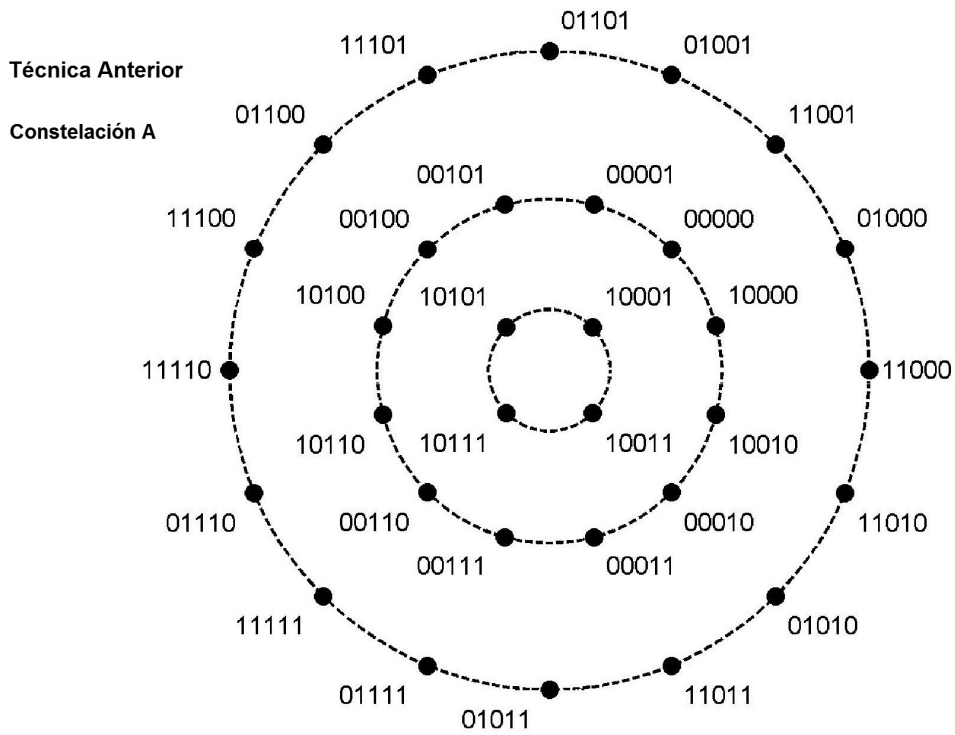


Fig.4

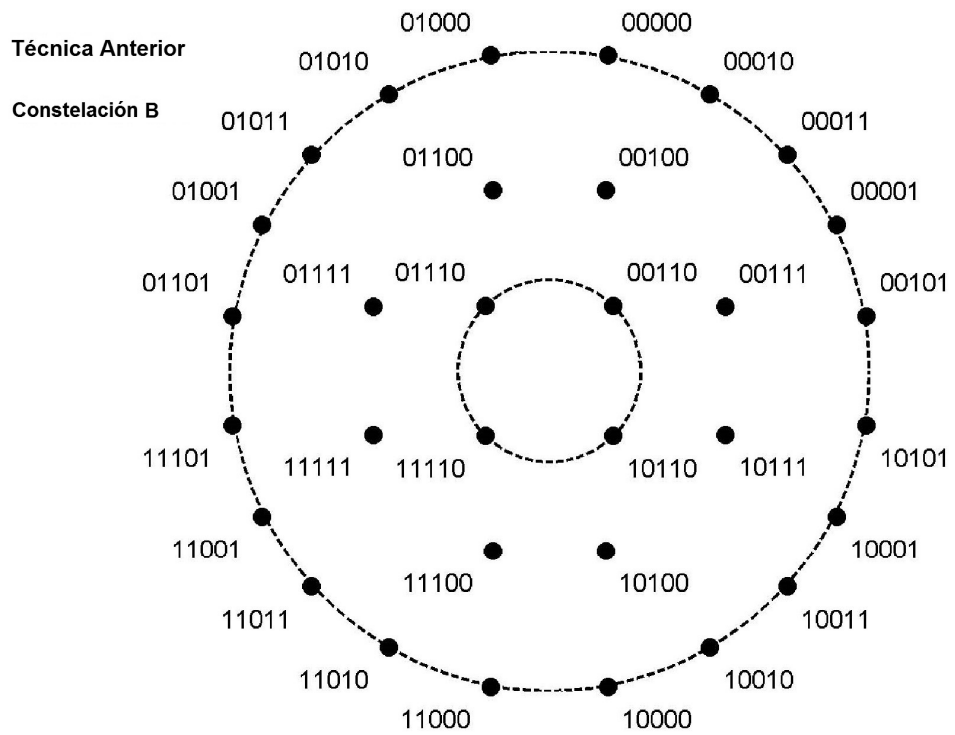


Fig.5

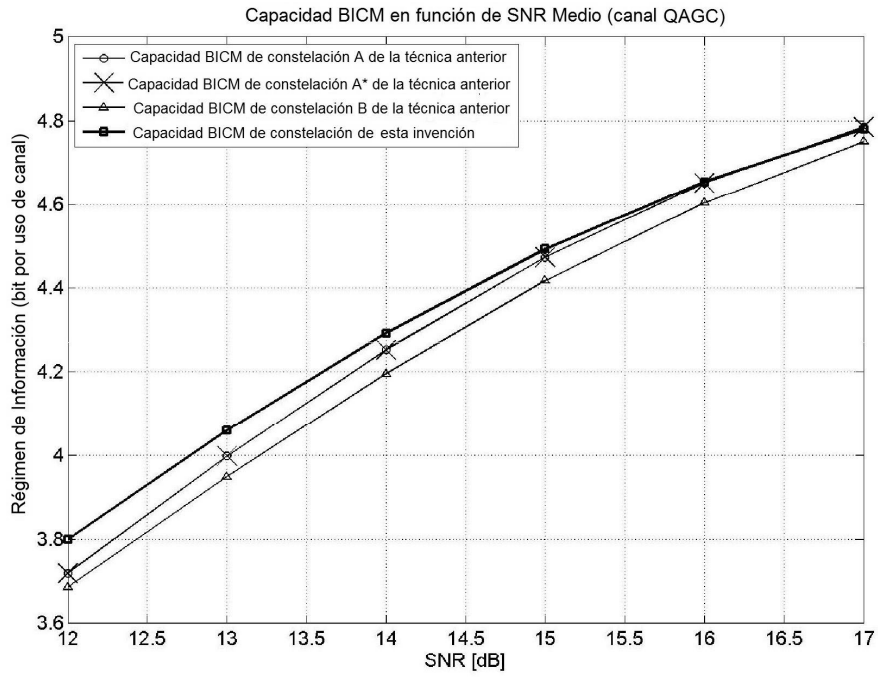


Fig.6

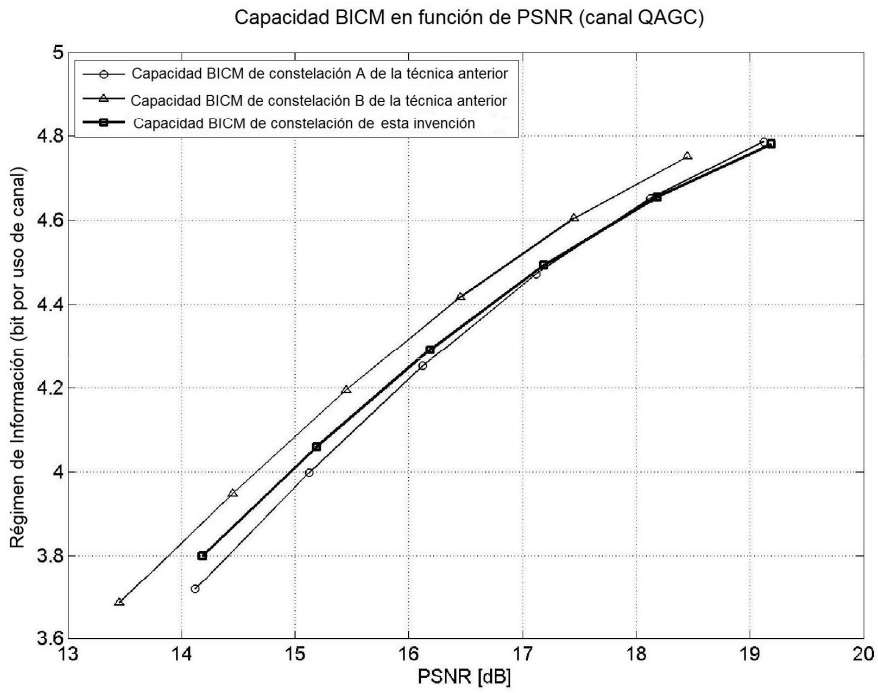


Fig.7

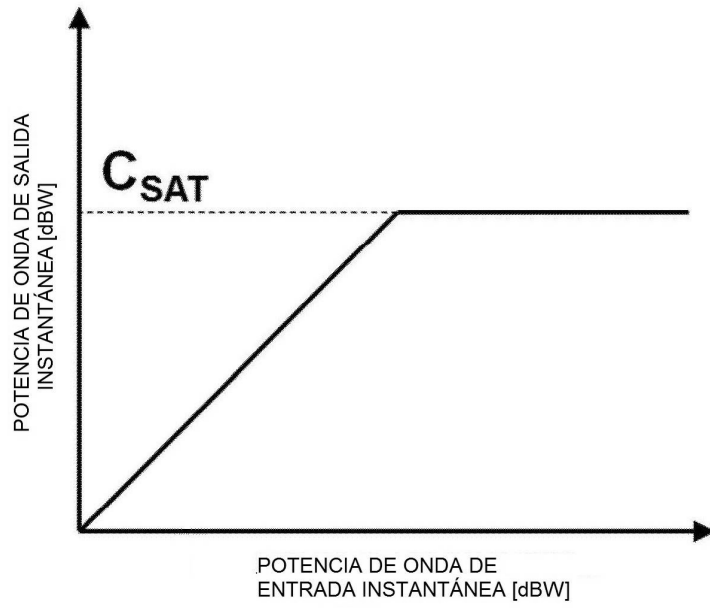


Fig.8

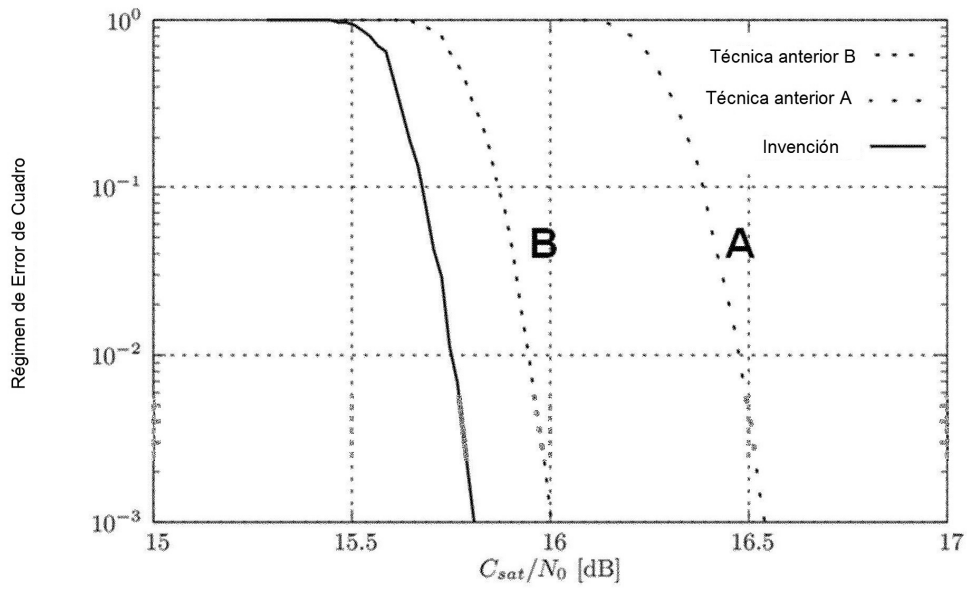


Fig.9

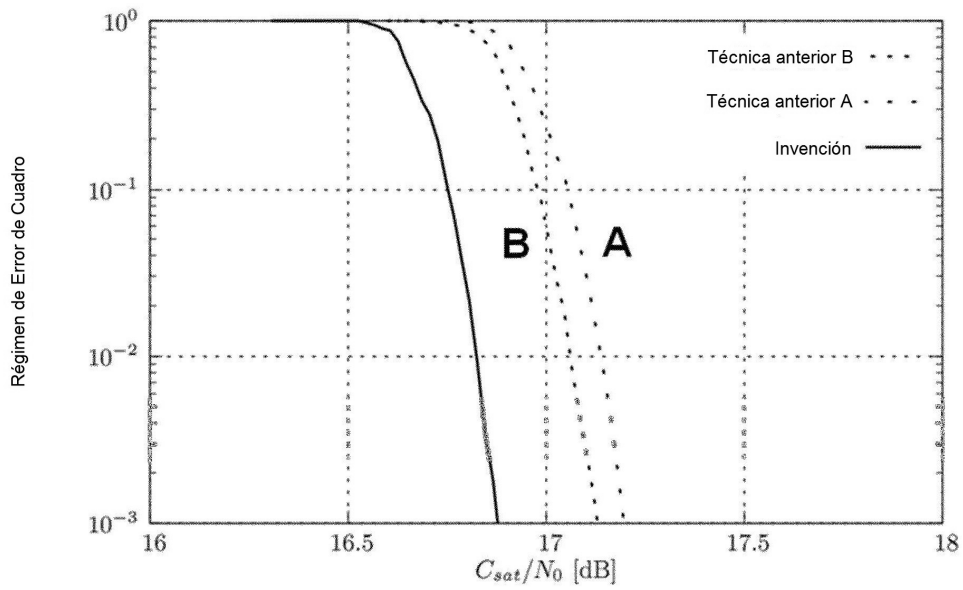


Fig.10

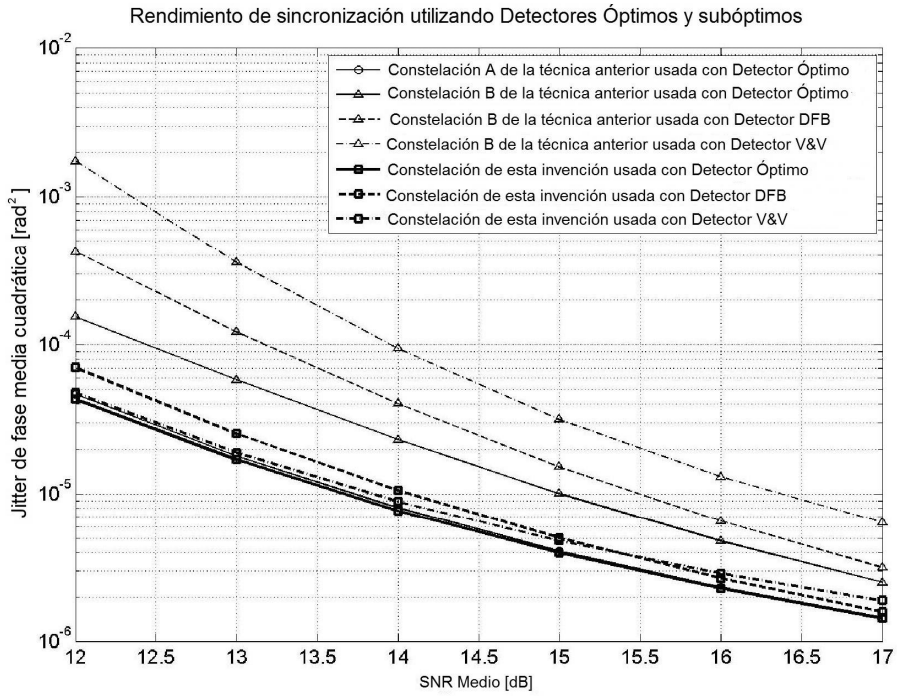


Fig.11

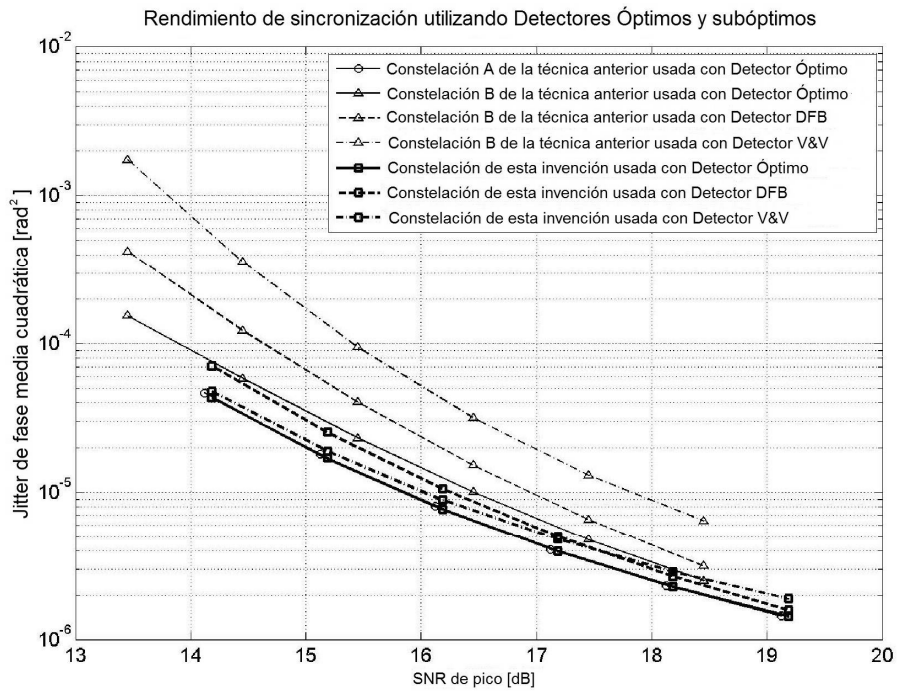


Fig.12