

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 664 170**

51 Int. Cl.:

**H03M 13/37** (2006.01)

**H04L 1/00** (2006.01)

**H04L 1/20** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.06.2015 E 15382344 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.01.2018 EP 3113368**

54 Título: **Procedimiento, sistema y dispositivo de detección de errores en redes de comunicación inalámbrica de OFDM**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**18.04.2018**

73 Titular/es:

**TELEFONICA, S.A. (100.0%)  
Gran Vía, 28  
28013 MADRID, ES**

72 Inventor/es:

**LORCA HERNANDO, JAVIER**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

ES 2 664 170 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, sistema y dispositivo de detección de errores en redes de comunicación inalámbrica de OFDM

**Campo de la invención**

5 La presente invención tiene su aplicación dentro del sector de la telecomunicación, especialmente, trata del campo de la detección de errores en sistemas de comunicación inalámbrica de Acceso Múltiple por División Ortogonal de Frecuencia (OFDMA). Más específicamente, la presente invención propone un procedimiento, un sistema y un dispositivo para detectar (predecir o estimar) errores en un bloque recibido (p. ej., un paquete) en redes de Multiplexado por División Ortogonal de Frecuencia (OFDM) (p. ej., en redes de Evolución a Largo Plazo, LTE) sin usar códigos de detección de errores y, por lo tanto, evitando la sobrecarga debida a estos códigos.

**Antecedentes de la invención**

10 La LTE (Evolución a Largo Plazo) es la próxima etapa en los sistemas celulares de Tercera Generación (3G), que representa, básicamente, una evolución de las normas previas de comunicaciones móviles, tales como el Sistema Universal de Telecomunicación Móvil (UMTS) y el Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM). Es una norma del Proyecto de Colaboración de Tercera Generación (3GPP) que brinda caudales de hasta 50 Mbps en el enlace ascendente y de hasta 100 Mbps en el enlace descendente. Usa un ancho de banda ajustable a escala, entre 1,4 y 20 MHz, a fin de adaptarse a las necesidades de operadores de red que tienen distintas asignaciones de ancho de banda. De la LTE también se espera que mejore la eficacia espectral en las redes, permitiendo a las portadoras proporcionar más datos y servicios de voz sobre un ancho de banda dado. Para hacerlo, la LTE usa el Acceso Múltiple por División Ortogonal de Frecuencia (OFDMA), que es una técnica de acceso comprobada, basada en el Multiplexado por División Ortogonal de Frecuencia (OFDM), para un multiplexado eficaz de usuario y de datos en el dominio de la frecuencia. Otras normas inalámbricas, como WiFi (IEEE 802.11) o WiMAX (IEEE 802.16) también emplean técnicas de OFDM.

25 Una de las ventajas del OFDM es su capacidad de resolver los componentes de frecuencia de la señal recibida. La resolución de frecuencia permite al receptor determinar la razón entre señal e interferencia y ruido (SINR) recibida, correspondiente a las distintas frecuencias de interés o subportadoras. Este conjunto de valores de SINR es explotado por el receptor para obtener la modulación más adecuada y el formato de codificación a usar cuando se emplea la adaptación de enlaces en el sistema. El receptor puede obtener tal formato de modulación y de codificación, y comunicarlo al transmisor a fin de optimizar las transmisiones para el punto operativo más adecuado.

30 Por otra parte, la detección y corrección de errores en bloques recibidos (por ejemplo, en los paquetes recibidos) son técnicas de larga presencia que han logrado un progreso abrumador en las últimas décadas. Los códigos de detección de errores tienen la capacidad de detectar que ha ocurrido un error en un paquete, con alta fiabilidad, al precio de algún sobregasto, usualmente adosado al final del paquete. Los códigos de Corrección Anticipada de Errores (FEC) pueden detectar a veces errores, pero, lo que es más importante, pueden corregirlos en cierta medida. Cuando se combinan entre sí, la corrección y la detección de errores representan una parte crítica de cualquier sistema de comunicaciones, especialmente las comunicaciones inalámbricas, que son propensas a serios deterioros procedentes de los canales.

35 Sin embargo, la detección y corrección de errores implican una significativa penalización en términos de sobregasto de paquetes, especialmente cuando el tamaño de los paquetes es muy pequeño. Como ejemplo, los típicos códigos de corrección de errores, como la codificación convolucional o la turbo-codificación de tasa 1/3, introducen un sobregasto en términos de bits de paridad, que tiene más del doble del tamaño original de la información. Los bits de paridad pueden ser podados selectivamente en una etapa de correlación de velocidades, pero esto, a su vez, reduce la efectividad del esquema de codificación. Los códigos de detección de errores como el Control de Redundancia Cíclica (CRC) requieren un cierto número de bits adosados que pueden representar una fracción significativa de la longitud del paquete de información (las longitudes habituales del CRC son de 8, 16, 24 o 32 bits). Por tanto, si la longitud del paquete se reduce significativamente, el sobregasto causado por los códigos de detección podría ser inaceptable. Por este motivo, las aplicaciones con tamaños muy pequeños de paquete (como algunas aplicaciones de tipo máquina) pueden prescindir del uso de códigos de detección de errores (a causa del sobregasto de paquetes debido a los bits adosados), dejando por ello al receptor sin la posibilidad de activar acción alguna en respuesta a un error de paquete.

50 La detección (o la predicción) de errores en un bloque recibido puede ser muy ventajosa por un cierto número de motivos. En sistemas no codificados, como algunas aplicaciones de tipo máquina sin ninguna clase de códigos de detección o corrección de errores, si se detectan (o predicen) paquetes sin errores, puede ser activada una pronta respuesta desde la red, tal como una solicitud de retransmisión o una acción similar, sin tener que esperar que la capa de aplicación reaccione ante un paquete faltante. En todos los casos, la detección temprana de un paquete erróneo puede ayudar a reducir la latencia global del sistema, pero el uso de códigos de detección de errores incurre en grandes sobregastos que son inaceptables cuando se aplican a paquetes muy pequeños.

55 Por lo tanto, algunas aplicaciones (como las aplicaciones de tipo máquina) con tamaños muy pequeños de paquete pueden ser seriamente degradadas por la introducción de códigos tradicionales de corrección/detección de errores,

pero, al mismo tiempo, si los errores no son detectados, la latencia global del sistema se degrada. La introducción de códigos de corrección de errores está justificada en general, debido a los ahorros que pueden aportar en la razón entre señal y ruido, pero los códigos de detección de errores están apenas justificados cuando una parte significativa de la carga útil debe ser dedicada al CRC o a los bits de paridad.

5 Hay soluciones parciales a este problema que implican retransmisiones sencillas de la misma información. Sin embargo, esto da como resultado una seria penalización en términos de eficacia espectral y retardo, sin aportar ningún medio para comprobar efectivamente si el bloque recibido es correcto o no. Otras soluciones añaden simplemente un campo de CRC adecuado, como en la Evolución a Largo Plazo (LTE) pero, como se ha explicado anteriormente, esto deteriora la eficacia espectral y no es verdaderamente adecuado con tamaños muy pequeños de paquetes.

10 Un conjunto distinto, aunque relacionado, de soluciones trata de la predicción de la tasa de errores de bloque (BLER), que es bastante distinta a la predicción de errores de bloque. La predicción de la tasa de errores de bloque trata de la obtención de tasas medias adecuadas de errores de bloque para un canal recibido dado, que está usualmente caracterizado en forma de una razón entre señal e interferencia y ruido (SINR) o un conjunto de indicaciones de SINR (p. ej., una para cada una de las distintas frecuencias de interés). Estas técnicas producen una estimación de la BLER que puede ser útil para la adaptación de enlaces o simulaciones a nivel de sistema, pero son incapaces de predecir efectivamente si un paquete recibido tiene errores o no: todo lo que pueden hacer es estimar la tasa promedio de errores de bloque como el promedio a largo plazo de la probabilidad efectiva observada de errores de bloque. Ejemplos de técnicas de predicción de la BLER son las denominadas técnicas de Enlace a Sistema, como la Correlación Efectiva de SINR de Información Mutua (MIESM) o la Correlación Efectiva Exponencial de SINR (EESM), entre otras.

20 Por tanto, existe la necesidad en el estado de la técnica de soluciones más adecuadas a fin de estimar si ha ocurrido o no un error en un paquete recibido dado, con suficiente fiabilidad, sin incurrir en grandes sobregastos que impliquen una significativa penalización en términos de eficacia espectral, especialmente cuando el tamaño de los paquetes es muy pequeño.

El documento "Hard decisión based low SNR early termination for LTE Turbo decoding", 8° INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON IEEE, 6 de noviembre de 2011 (2011-11-06), páginas 26-30, describe el análisis de una serie de iteraciones sobre BLER en bajo entorno SNR, usando entrada LLR, donde una decisión se basa en un umbral de complejidad de diseño.

### 30 **Sumario de la invención**

La presente invención resuelve los problemas precitados y supera las limitaciones previamente explicadas del estado de la técnica, determinando si un bloque recibido (por ejemplo, un paquete) tiene errores o no en un sistema de comunicación que emplea OFDM, sin el uso de ningún código de detección de errores que pueda deteriorar la eficacia espectral (debido a la sobrecarga), especialmente cuando se usan paquetes de tamaño muy pequeño (como puede ocurrir en algunas comunicaciones de tipo máquina).

El mecanismo propuesto puede obtener primero un conjunto de métricas blandas que representan las probabilidades, a posteriori, de los bits recibidos, en forma de razones de probabilidad logarítmica (LLR). Simultáneamente, los valores de SINR tras la detección pueden ser obtenidos para cada uno de los bits recibidos. Estos valores de SINR pueden ser explotados para obtener una estimación de la tasa de errores de bloque (BLER) para esas condiciones específicas de canal, con la ayuda de las denominadas técnicas de Correlación Efectiva de SINR, como la Correlación Efectiva Exponencial de SINR (EESM) o la Correlación Efectiva de SINR de Información Mutua (MIESM), entre otras.

Una estimación de la BLER es insuficiente para que un sistema determine si un bloque recibido efectivo tiene errores o no. Sin embargo, existe una conexión entre los valores efectivos de las LLR recibidas y la probabilidad de error en el bloque recibido. Tal probabilidad de error de bloque puede calcularse y representa una variable aleatoriamente distribuida alrededor de la estimación de la BLER anteriormente predicha, con una función de distribución que puede ser calculada a partir de los valores de las LLR recibidas. Con la función de distribución obtenida y la probabilidad efectiva de error de bloque, es posible obtener una variable de decisión que pueda ser comparada con un umbral, permitiendo de tal modo que el receptor evalúe si el bloque recibido tiene errores o no. También puede obtenerse la fiabilidad de la decisión propuesta de errores de bloque. Los valores de fiabilidad que estén por encima de algún umbral pueden ser suficientes para predecir razonablemente si el bloque tiene errores o no, y los valores de fiabilidad por debajo de tal umbral podrían ser tomados como un error, o simplemente desatendidos, según la tolerancia de la aplicación para los errores.

La presente invención se consigue mediante las reivindicaciones independientes.

### 55 **Descripción de los dibujos**

Con el fin de ayudar en la comprensión de las características de la invención, de acuerdo con una realización práctica preferida de la misma, y a fin de complementar esta descripción, las siguientes figuras se adjuntan como

parte integral de la misma, con un carácter ilustrativo y no limitador:

La Figura 1 muestra un diagrama de bloques esquemático de un escenario de red para un posible caso de aplicación, de acuerdo con una realización de la invención.

5 La Figura 2 muestra la función de densidad de probabilidad de la BLEP (Probabilidad de Errores de Bloque), a fin de ilustrar el significado de una variable de decisión propuesta, de acuerdo con una realización de la invención.

La Figura 3 muestra un diagrama de flujo de los procesos para predecir errores en un bloque recibido, de acuerdo con una realización de la invención.

**Descripción detallada de la invención**

10 Los asuntos definidos en esta descripción detallada se proporcionan para ayudar en una comprensión exhaustiva de la invención. En consecuencia, los medianamente expertos en la técnica reconocerán que pueden hacerse variaciones, cambios y modificaciones de las realizaciones descritas en la presente memoria, sin apartarse del ámbito de la invención. Además, la descripción de funciones y elementos bien conocidos se omite para mayor claridad y concisión.

15 Por supuesto, las realizaciones de la invención pueden ser implementadas en una amplia variedad de plataformas arquitectónicas, sistemas operativos y servidores, dispositivos, sistemas o aplicaciones. Cualquier diseño arquitectónico específico, o implementación presentada en la presente memoria, se proporciona solamente con fines de ilustración y comprensión, y no está concebido para limitar aspectos de la invención.

20 La invención propuesta proporciona un procedimiento, un sistema y un dispositivo para la determinación de errores en sistemas de comunicación de OFDMA (o, más genéricamente, en sistemas de comunicaciones de OFDM) tales como, por ejemplo, las redes de LTE o cualquier otro tipo de redes de OFDM. El mecanismo propuesto permite una eficaz predicción de errores en un bloque de datos recibido (p. ej., un paquete), sin usar códigos de detección de errores. A fin de hacerlo, genera una variable de decisión, con el objetivo de comprobar si un bloque recibido tiene errores o no, sin recurrir al uso de códigos de detección de errores.

25 La Figura 1 ilustra un diagrama de bloques esquemático de un escenario de red para un posible caso de aplicación, de acuerdo con una realización de la invención. En la figura 1, hay un transmisor (10) (por ejemplo, un transmisor de OFDM, es decir, un transmisor capaz de transmitir señales usando una técnica de OFDM), un receptor (14) (por ejemplo, un receptor de OFDM, es decir, un receptor capaz de recibir señales transmitidas usando una técnica de OFDM; el receptor puede incluir un detector de símbolos de constelación) y un canal de comunicación (12) que conecta dicho transmisor con dicho receptor (es decir, el transmisor envía las señales al receptor a través del canal de comunicación).

30 En una realización, el transmisor (10) envía un bloque (paquete) de bits B de tamaño N (13), que representa la información (11) a transportar al receptor. Dicho bloque no tiene ningún bit de detección de errores (como CRC o bits de paridad) incluido en el mismo. La información atraviesa el canal (12) y llega al receptor (14), que obtiene primero métricas de salida blandas (15) de los bits recibidos que contienen información adecuada acerca de las fiabilidades asociadas. Las fiabilidades son usualmente calculadas en forma de valores de LLR (Razón de Probabilidad Logarítmica) a posteriori (17). El bloque de predicción de errores (16) hallará luego una métrica adecuada para decidir con suficiente fiabilidad si el bloque recibido tiene errores o no. Para hacerlo, el bloque de predicción de errores, por ejemplo, aplicará uno de los mecanismos que serán explicados más adelante.

40 En el siguiente razonamiento, se supondrá que el receptor es capaz de obtener métricas de salida blandas de los bits recibidos (por ejemplo, desde el detector), en forma de razones de probabilidad logarítmica (LLR) a posteriori, bit a bit (al nivel del bit). Dicha LLR puede ser definida por:

$$LLR_n \equiv \ln \frac{p(x_n = +1 | y)}{p(x_n = -1 | y)} \quad (1)$$

45 donde  $y$  indica la señal recibida y  $x_n$  es el correspondiente  $n$ -ésimo bit transmitido. Las LLR son representaciones convenientes de las probabilidades a posteriori  $p(x_n | y)$  y son obtenidas usualmente por decodificadores de máximo a posteriori (MAP) (como turbo-descodificadores), aunque también pueden ser obtenidas en sistemas no codificados; en términos generales, puede usarse cualquier técnica bien conocida para obtenerlas. En este caso específico, la LLR para el  $n$ -ésimo bit ( $LLR_n$ ) se calcula como el logaritmo de la razón entre la probabilidad de que el  $n$ -ésimo bit transmitido sea +1 y la probabilidad de que el  $n$ -ésimo bit transmitido sea -1, habiendo recibido un valor  $y$  de señal para dicho bit.

50 Un valor distinto,  $LLR_n$ , se obtendrá para cada uno de los bits recibidos (lo que dependerá de las fiabilidades en la detección). Los bits recibidos se corrompen con ruido aleatorio; por lo tanto, los valores de LLR serán variables aleatorias caracterizadas por una cierta función de densidad de probabilidad.

La manera tradicional de comprobar si un paquete fue recibido con errores implica:

- obtener la métrica de decisión dura  $\hat{x}_n = \text{sgn}(LLR_n)$ , donde  $\hat{x}_n$  es el  $n$ -ésimo bit estimado con fiabilidad asociada igual a  $|LLR_n|$ ;
- construir el bloque recibido estimado  $\hat{B}$  a partir del conjunto de bits estimados  $\hat{x}_n$ ; y
- 5 • comprobar, con la ayuda de cualquier código adecuado de detección de errores, si hubo o no errores en el bloque recibido estimado  $\hat{B}$ .

En la presente invención, el procedimiento indicado anteriormente (especialmente la tercera etapa) no se aplica, ya que se asume, en cambio, que el sistema no tiene ninguna capacidad de detección de errores (ningún código de detección de errores incluido en el bloque) y que los errores de bloque deben ser detectados a partir de las estimaciones de salida blandas de los bits recibidos. Para hacerlo, la probabilidad de que un bit dado sea recibido con error (la probabilidad de que el  $n$ -ésimo bit recibido estimado,  $\hat{x}_n$ , sea distinto al  $n$ -ésimo bit real transmitido,  $x_n$ ) puede calcularse como:

$$p(\hat{x}_n \neq x_n) = \frac{1}{1 + e^{|LLR_n|}} \quad (2)$$

donde  $LLR_n$  es la Razón de Probabilidad Logarítmica obtenida para el  $n$ -ésimo bit.

15 Esta expresión se usa en otros documentos de la técnica anterior, tales como, por ejemplo, "Estimación de tasas de error en base a descodificación de salida blanda y su aplicación a la turbo-codificación" de E. Calvanese, S. Simoens y J. Boutros, Anales de la Conferencia de Comunicaciones Inalámbricas y Redes del IEEE (WCNC), 11 al 15 de marzo de 2007, págs. 72 a 76.

20 A partir de esta expresión es posible obtener la probabilidad de que un bloque de bits de tamaño  $N$  tenga errores, considerando sencillamente la probabilidad conjunta de errores de los  $N$  bits recibidos. Dado que los errores de bits pueden ser supuestos independientes, la probabilidad de error para el bloque (paquete) recibido de  $N$  bits (la probabilidad de que el bloque recibido estimado  $\hat{B}$  sea distinto al bloque real transmitido  $B$ ), indicada como BLEP (probabilidad de error de bloque), puede escribirse como:

$$BLEP \equiv p(\hat{B} \neq B) = 1 - \prod_{n=0}^{N-1} (1 - p(\hat{x}_n \neq x_n)) = 1 - \prod_{n=0}^{N-1} \left( 1 - \frac{1}{1 + e^{|LLR_n|}} \right) = 1 - \prod_{n=0}^{N-1} \left( \frac{1}{1 + e^{-|LLR_n|}} \right) \quad (3)$$

25 donde  $\prod$  (pi mayúscula) es el operador de multiplicación. Con esta ecuación, se obtendrá el valor de BLEP efectivo para el bloque recibido ( $BLEP_0$ ).

Es importante subrayar que esta probabilidad de errores de bloque no es suficiente para decidir si el bloque efectivo recibido tiene errores o no, ya que solamente da la probabilidad del error de bloque. Con este fin, el receptor también puede recoger un conjunto de razones entre señal y ruido e interferencia (SINR) posteriores a la detección,  $\{\gamma_n\}$  ( $n = 0 \dots N - 1$ ), correspondientes a los bits recibidos. Los valores de SINR posteriores a la detección son los valores de SINR que caracterizan los bits recibidos después de la etapa de detección, lo que depende del tipo de detector empleado. Estos valores de SINR son obtenidos rutinariamente en el proceso de detección, usando técnicas bien conocidas tales como, por ejemplo, por medio de subportadoras piloto adecuadas, símbolos de entrenamiento o cualquier otra técnica bien conocida de la tecnología anterior que sea adecuada para los fines de la presente invención.

35 La presencia de perfiles no uniformes de valores de SINR es característica de canales dispersivos en frecuencia, como ocurre, por ejemplo, en canales celulares inalámbricos. Las prestaciones del receptor en presencia de canales dispersivos en frecuencia son, en general, peores que las de las condiciones de Ruido Gaussiano Blanco Aditivo (AWGN), donde el canal es plano y la señal es corrompida solamente por ruido Gaussiano blanco aditivo.

40 El conjunto de valores de SINR puede ser explotado para obtener una estimación adecuada de la Tasa de Errores de Bloque (BLER) promedio, mediante el uso de técnicas adecuadas de Enlace a Sistema (también llamadas Modelos de Abstracción de Enlace), como la Correlación Efectiva Exponencial de SINR (EESM), la Correlación Efectiva de Capacidad de SINR (CESM), la Correlación Efectiva Logarítmica de SINR (LESM) o la Correlación

Efectiva de SINR de Información Mutua (MIESM), por nombrar solo unas pocas. Tales técnicas proporcionan un valor efectivo de SINR que produce la misma tasa de errores de bloque que el sistema tiene en condiciones de AWGN, mediante una función de correlación adecuada:

$$I\left(\frac{\gamma_{eff}}{\alpha_1}\right) = \frac{1}{K} \sum_{k=0}^{K-1} I\left(\frac{\gamma_k}{\alpha_2}\right) \quad (4)$$

5 En la anterior expresión,  $\gamma_{eff}$  es la SINR efectiva,  $I$  es la función de correlación,  $K$  es el número de muestras de SINR que caracterizan la respuesta de frecuencia del canal recibido, y  $\alpha_1, \alpha_2$  son parámetros de diseño.  $\alpha_1, \alpha_2$  pueden ser ajustados para minimizar el error entre la BLER predicha por el modelo y la BLER experimental. Por ejemplo, dichos parámetros pueden ser optimizados para el mínimo error cuadrado entre la BLER predicha y la BLER experimental, sobre un número  $M$  de instantáneas de canal y, en dicho caso, su valor vendrá dado por la siguiente expresión:

$$\{\alpha_1, \alpha_2\} = \arg \min \left\{ \frac{1}{M} \sum_{i=0}^{M-1} \left[ \log(BLER_i) - \log(BLER_{AWGN}(\gamma_{eff,i}(\alpha_1, \alpha_2))) \right]^2 \right\} \quad (5)$$

Aquí,  $BLER_i$  indica la BLER experimental obtenida para la instantánea de canal  $i$ ,  $\gamma_{eff,i}$  es la SINR efectiva para la instantánea  $i$ , y  $BLER_{AWGN}$  representa la BLER que se obtendría en condiciones de AWGN para un valor de SINR dado (esto se usará como la Tasa de Errores de Bloque promedio predicha, o estimada). La minimización del error cuadrado mínimo se realiza en el dominio logarítmico a fin de obtener un error relativo mínimo para la BLER, de modo que los valores bajos de BLER puedan ser estimados con errores bajos, y viceversa.

La función  $I$  se usa para ponderar los valores individuales de SINR después de un adecuado ajuste a escala por el parámetro  $\alpha_2$ , mientras que  $\alpha_1$  se halla para ajustar a escala el valor de SINR efectivo para la región de interés, de acuerdo conl esquema de modulación y codificación (MCS). Ambos parámetros son, en general, dependientes del MCS, así como del ancho de banda ocupado. Pueden ser almacenados dentro de la memoria del receptor, a fin de predecir la tasa promedio de errores de bloque para un conjunto dado de mediciones de SINR posteriores a la detección,  $\{\gamma_n\}$ , que caracterizan el bloque recibido. En el caso particular de la MIESM, la función  $I$  es la función de Información Mutua (MIB) a nivel de bit, mientras que en la EESM la función  $I$  es una función exponencial.

El proceso indicado en lo que antecede para obtener una estimación promedio adecuada de la Tasa de Errores de Bloque (BLEP) a partir del conjunto obtenido de valores de SINR, mediante el uso de técnicas adecuadas de Enlace a Sistema, es bien conocido desde la técnica anterior; véase, por ejemplo, "Modelos de abstracción de enlace basados en información mutua para el enlace descendente de LTE", J. Olmos, S. Ruiz, M. García-Lozano y D. Martín-Sacristán, COST 2100 TD(10)11052, 2 al 4 de junio, 2010, Aalborg (Dinamarca)).

Un conocimiento a priori de la BLEP promedio puede ser explotado con relación a la probabilidad de error de bloque, BLEP. La última puede ser considerada una variable aleatoria con una función de densidad de probabilidad que es, a su vez, una función de la función de densidad de probabilidad de los valores LLR. Indicando BLEP como la variable aleatoria que representa la probabilidad de errores de bloque (el valor efectivo de BLEP para el bloque recibido será indicado como  $BLEP_0$ ), teniendo en cuenta la ecuación (3), una función de densidad de probabilidad para la probabilidad de errores de bloque,  $f_{BLEP}(BLEP)$ , puede ser calculada como función de la función de densidad de probabilidad de los valores de LLR, por ejemplo, con la ayuda de la siguiente transformación:

$$\ln(1 - BLEP) = \ln \prod_{n=0}^{N-1} \left( \frac{1}{1 + e^{-|LLR_n|}} \right) = - \sum_{n=0}^{N-1} \ln(1 + e^{-|LLR_n|}) \quad (6)$$

Para condiciones constantes dadas del canal de comunicaciones, la variable aleatoria BLEP estará distribuida alrededor de un valor medio  $\langle BLEP \rangle$  que debe ser igual a la tasa de errores de bloque, BLER, promedio (también llamada tasa esperada de errores de bloque), según lo calculado por el modelo de Enlace a Sistema, que es, a su

40 vez, una función de los valores de SINR  $\gamma_n$  por medio de la SINR efectiva  $\gamma_{eff}$ :

$$\langle BLEP \rangle = BLER_{AWGN}(\gamma_{eff}) \quad (7)$$

Dada una probabilidad de errores de bloque calculada  $BLEP_0$ , ni dicha  $BLEP_0$  ni la tasa esperada de errores de bloque pueden predecir si el bloque recibido tiene errores o no. Pero, de acuerdo con la función de densidad de probabilidad de BLEP, solamente una fracción de sus posibles resultados llevará a un error efectivo, y esa fracción debe ser igual a la tasa esperada de errores de bloque para las condiciones de canal dadas. Como resultado, puede

5

$$p(BLEP > BLEP_0) \quad (8)$$

La ecuación (8) (la probabilidad de que BLEP esté por encima de  $BLEP_0$ ) representa el área bajo la cola de la función de densidad de probabilidad de BLEP en el punto  $BLEP_0$ . En una realización, puede efectuarse la siguiente prueba: comprobar si dicha variable de decisión está o no por debajo de la tasa promedio de errores de bloque

10  $BLER_{AWGN}(\gamma_{eff})$  calculada para el conjunto de valores de SINR  $\gamma_n$  mediante la SINR efectiva  $\gamma_{eff}$ , y, en caso afirmativo, se supone que el bloque tiene errores; en caso contrario, se supone que está correctamente recibido:

$$\left\{ \begin{array}{l} p(BLEP > BLEP_0) < BLER_{AWGN}(\gamma_{eff}) \Rightarrow \text{ERROR} \\ \text{en caso contrario} \Rightarrow \text{CORRECTO} \end{array} \right. \quad (9)$$

o, más precisamente:

$$\left\{ \begin{array}{l} \int_{BLEP_0}^1 f_{BLEP}(BLEP) dBLEP < BLER_{AWGN}(\gamma_{eff}) \Rightarrow \text{ERROR} \\ \text{en caso contrario} \Rightarrow \text{CORRECTO} \end{array} \right. \quad (10)$$

15 La Figura 2 ilustra el significado de la variable de decisión propuesta. La función de densidad de probabilidad de BLEP produce las frecuencias relativas para todos los resultados posibles de BLEP y, para condiciones de canal

dadas (caracterizadas por el conjunto de valores de SINR  $\gamma_n$ ), estará distribuida alrededor de un valor medio  $\langle BLEP \rangle$

que es igual a la tasa promedio de errores de bloque, BLER (ecuación 7). Para tales condiciones de canal, solamente una fracción de los posibles resultados para la variable aleatoria BLEP llevarán a errores en el bloque recibido. Tal fracción puede ser calculada como el área bajo la cola de la función de densidad de probabilidad

20 en el punto  $BLEP_0$ , y debe ser igual a la tasa promedio de errores de bloque, BLER. Por lo tanto, una prueba adecuada comprende comprobar si dicha área de cola, que representa la variable de decisión, está por debajo o por encima del valor de BLER calculado, que representa el umbral de decisión.

En otra realización, el logaritmo de la razón del área de cola y la tasa esperada de errores de bloque (que es una magnitud de LLR para el error de bloque) se usa como una variable de decisión equivalente que será comparada

25 con cero para decisiones de error. Es decir:

$$LLR_{ErrorDeBloque} \equiv \ln \frac{p(BLEP > BLEP_0)}{BLER_{AWGN}(\gamma_{eff})} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} > 0 \Rightarrow \text{CORRECTO} \\ < 0 \Rightarrow \text{ERR} \end{array} \right. \quad (11)$$

La fiabilidad puede estar dada por la magnitud absoluta  $|LLR_{ErrorDeBloque}|$ . Los valores de  $|LLR_{ErrorDeBloque}|$  con gran magnitud absoluta llevarán a una alta fiabilidad en la decisión, mientras que los valores de  $|LLR_{ErrorDeBloque}|$  cercanos a 0 serán más inconstantes. Las decisiones finales para los errores de bloque podrían ser sesgados a fin de

30 minimizar falsos positivos: como ejemplo, un sistema podría decidir que todos los bloques recibidos tienen errores, a menos que la variable de decisión produzca el resultado "CORRECTO" (de acuerdo, por ejemplo, a la ecuación (9)) con nivel de fiabilidad por encima de algún umbral. Otros criterios también son posibles, según la tolerancia del sistema ante los errores de detección.

Es posible obtener numéricamente la función de densidad de probabilidad de  $\ln(1 - BLEP)$ , como una función de las funciones de densidad de probabilidad de los valores de LLR bit a bit, según se obtienen para una SINR dada. Las funciones de densidad de probabilidad de los valores de LLR bit a bit pueden ser almacenados de antemano en

35

la memoria del receptor, como una función de la SINR efectiva o el valor estimado de la BLER. Con ellas, es posible construir la función de densidad de probabilidad para la probabilidad de errores de bloque, BLEP. El cálculo numérico del área bajo tal función de densidad de probabilidad, desde el valor  $BLEP_0$  hasta 1 llevará a comprobar si el bloque recibido tiene errores o no, con una fiabilidad dada por  $|LLR_{ErrorDeBloque}|$ .

5 Como se ha indicado antes, las principales aplicaciones para la invención propuesta son comunicaciones con longitudes muy pequeñas de paquete (tales como, por ejemplo, las comunicaciones de tipo máquina) que, por lo tanto, alivian la complejidad en la obtención de la función de densidad de probabilidad descrita. Sin embargo, la aplicación también es posible para paquetes más grandes, siempre que el receptor tenga mayores capacidades de cálculo, aunque los beneficios de evitar el sobregasto proveniente del CRC se reducirán con la longitud del paquete.

10 La Figura 3 ilustra un diagrama de flujo de acuerdo con una realización de la invención, que estaría funcionando en el sector receptor de un sistema de comunicaciones de OFDM. Un bloque (31) (por ejemplo, un paquete de datos) de  $N$  bits, ( $x_n, n = 0 \dots N - 1$ ) es recibido (sin contener ningún bit adicional para la detección de errores) en un receptor que comprende un detector de símbolos (por ejemplo, un detector de símbolos de constelación). Luego, el receptor calcula (32) las razones de probabilidad logarítmica a posteriori (bit a bit) de los bits recibidos después del detector,  $LLR_n$ , definidas por:

$$LLR_n \equiv \ln \frac{p(x_n = +1 | y)}{p(x_n = -1 | y)}, n = 0, \dots, N - 1$$

donde  $LLR_n$  indica la razón de probabilidad logarítmica del  $n$ -ésimo bit recibido,  $y$  indica la señal recibida,  $x_n$  es el correspondiente  $n$ -ésimo bit transmitido y  $N$  es el número de bits en el bloque recibido.

Por otra parte, los valores de LLR llevan a una estimación de la probabilidad efectiva de errores de bloques para el bloque recibido (p. ej., un paquete),  $BLEP_0$  (35), por medio de la siguiente expresión:

$$BLEP_0 = 1 - \prod_{n=0}^{N-1} \left( \frac{1}{1 + e^{-|LLR_n|}} \right)$$

El conjunto de valores de SINR posteriores a la detección,  $\{\gamma_n\}$  (33) que caracterizan al bloque recibido, también se calculan (estiman). A partir del conjunto de los valores obtenidos de SINR  $\{\gamma_n\}$ , también puede obtenerse la SINR

efectiva,  $\gamma_{eff}$  (36), con la ayuda de técnicas de Enlace a Sistema. Dicha SINR efectiva es la SINR que produce la misma tasa promedio de errores de bloque que tiene el sistema, sobre un canal de Ruido Gaussiano Blanco aditivo. Esto se calcula por medio de cualquier técnica adecuada de Enlace a Sistema (tal como EESM, CESM, LESM, MIESM...), mediante la expresión:

$$I\left(\frac{\gamma_{eff}}{\alpha_1}\right) = \frac{1}{K} \sum_{k=0}^{K-1} I\left(\frac{\gamma_k}{\alpha_2}\right)$$

donde  $\gamma_{eff}$  es dicha SINR efectiva,  $I$  es la función de correlación,  $K$  es el número de muestras de SINR que caracterizan la respuesta de frecuencia del canal recibido, y  $\alpha_1, \alpha_2$  son parámetros que pueden ser optimizados para el error cuadrado mínimo entre la BLER predicha y la BLER experimental.

Tal SINR efectiva produce una estimación de la tasa promedio de errores de bloque, BLER (38). La tasa promedio de errores de bloque puede ser estimada a partir de dicho valor efectivo de SINR, como la expresión  $BLER_{AWGN}(\gamma_{eff})$ , donde  $\gamma_{eff}$  es dicha SINR efectiva y  $BLER_{AWGN}$  representa la BLER que se obtendría en condiciones de AWGN para un valor de SINR dado.

Con la ayuda de dichos valores de SINR y las LLR, el receptor obtiene una función de densidad de probabilidad de la probabilidad de errores de bloque, BLEP (34). Dicha función de densidad de probabilidad,  $f_{BLEP}(BLEP)$ , puede calcularse como una función de la función de densidad de probabilidad de los valores de LLR, con ayuda de (usando) la siguiente transformación:

$$\ln(1 - BLEP) = - \sum_{n=0}^{N-1} \ln(1 + e^{-|LLR_n|})$$

donde dicha probabilidad de errores de bloque, BLEP, es una variable aleatoria con un valor medio dado por dicha tasa promedio de errores de bloque,  $\langle BLEP \rangle = BLEP_{AWGN}(\gamma_{eff})$ .

5 Con los valores obtenidos para BLER y BLEP<sub>0</sub>, y la función de densidad de probabilidad de BLEP, se forma una variable de decisión (37) como:

$$p(BLEP > BLEP_0) \equiv \int_{BLEP_0}^1 f_{BLEP}(BLEP) dBLEP$$

Luego, se determina si el bloque recibido tiene o no errores usando dicha variable de decisión. En una realización, esto se hace comprobando si la probabilidad de tener valores de BLEP por encima de BLEP<sub>0</sub> es o no inferior al valor de la BLER promedio estimada (con la tasa promedio de errores de bloque  $BLEP_{AWGN}(\gamma_{eff})$ ). O, en otras

10 palabras, comparando dicha variable de decisión con la tasa promedio de errores de bloque  $BLEP_{AWGN}(\gamma_{eff})$ . En el caso afirmativo, se considera que el bloque recibido tiene errores; en caso contrario, se considera que el bloque está correctamente recibido. Si se estima que el bloque recibido tiene errores, puede activarse una pronta acción adecuada, tal como, por ejemplo, descartar dicho paquete y/o enviar una respuesta al transmisor, tal como una solicitud de retransmisión, o una acción similar (sin tener que esperar que la capa de aplicación reaccione ante un

15 paquete faltante).

La fiabilidad asociada de la predicción de errores de bloque también puede ser estimada, por ejemplo, por medio de la magnitud absoluta de la razón de probabilidad logarítmica del error de bloque,  $|LLR_{ErrorDeBloque}|$ , definida por la expresión:

$$|LLR_{ErrorDeBloque}| \equiv \ln \frac{p(BLEP > BLEP_0)}{BLEP_{AWGN}(\gamma_{eff})}$$

20 Si la magnitud absoluta de la expresión anterior es mucho más grande que cero, entonces puede suponerse una alta fiabilidad para la predicción de errores de bloque; en caso contrario, tendrá baja fiabilidad.

En otra realización, se considera que el bloque recibido tiene errores cuando dicha variable de decisión  $p(BLEP > BLEP_0)$  está por debajo de dicha tasa promedio de errores de bloque  $BLEP_{AWGN}(\gamma_{eff})$ , y dicha fiabilidad  $|LLR_{ErrorDeBloque}|$  está por encima de un umbral predeterminado.

25 En una realización, si se usan códigos de corrección, los valores de LLR se obtienen después de la descodificación de la Corrección de Errores (por ejemplo, la descodificación de la Corrección Anticipada de Errores, FEC) de los bits recibidos. Si no se usan códigos de corrección, los valores de LLR se obtienen después de la detección de símbolos de constelación. Puede usarse cualquier técnica bien conocida para obtener los valores de LLR, para los fines de la presente invención.

30 La presente invención puede ser usada en cualquier tipo de sistemas de comunicación de OFDM, especialmente en sistemas de comunicación de OFDM tales como un sistema celular inalámbrico de la Evolución a Largo Plazo, LTE, un sistema IEEE 802.11, WiFi, un sistema IEEE 802.16, WiMAX, o cualquier otro tipo de sistema de comunicaciones de OFDM.

35 En resumen, la presente invención propone un procedimiento para predecir si un bloque recibido tiene errores o no en un sistema de comunicaciones de OFDM, sin recurrir al uso de ningún código de detección de errores. Este escenario es particularmente atractivo en aplicaciones con paquetes muy pequeños (como aplicaciones de tipo máquina), donde los bits de paridad, o de CRC, pueden representar una parte significativa del paquete resultante, deteriorando por ello la eficacia espectral.

40 La invención propuesta puede predecir la probabilidad de tener un error de bloque a partir de las razones de probabilidad logarítmica a posteriori de los bits recibidos. Los valores de LLR a posteriori pueden ser obtenidos después de la descodificación de la FEC, pero también pueden ser obtenidos después del detector en sistemas sin capacidad de FEC. El conocimiento de los valores de SINR posteriores a la detección, que caracterizan los bits recibidos, puede aportar una estimación de la tasa promedio de errores de bloque, según lo obtenido por técnicas de

Enlace a Sistema. A partir de los valores de LLR recibidos es posible obtener la probabilidad de errores de bloque del bloque recibido. Esto, conjuntamente con la tasa promedio de errores de bloque y la función de densidad de probabilidad de la probabilidad de errores de bloque, puede ser usado para decidir si el bloque recibido tiene errores o no, junto con la correspondiente fiabilidad de la decisión. Tal fiabilidad puede ser usada para sesgar decisiones de errores de bloque, a fin de minimizar falsos positivos; por ejemplo, el sistema podría ser diseñado para considerar todos los bloques recibidos como errores, a menos que la decisión produzca un resultado "CORRECTO" y la fiabilidad asociada esté por encima de algún umbral.

Tener una variable de decisión para errores de bloque es muy atractivo en aplicaciones sin ninguna capacidad de detección de errores, donde el receptor no puede activar ninguna acción al nivel de la capa física y, en cambio, tiene que esperar a la capa de aplicación. La aplicación de la presente invención a grandes paquetes también es posible, siempre que el receptor tenga suficiente capacidad de procesamiento para el cálculo de la función de densidad de probabilidad de la probabilidad de errores de bloque.

Las realizaciones propuestas pueden ser implementadas como una colección de elementos de software, elementos de hardware, elementos de firmware o cualquier combinación adecuada de los mismos.

Obsérvese que, en este texto, el término "comprende" y sus derivaciones (tales como "comprendiendo", etc.) no deberían ser interpretados en un sentido excluyente, es decir, estos términos no deberían ser interpretados como excluyentes de la posibilidad de que lo que se describe y define pueda incluir elementos, etapas, etc., adicionales.

Una persona experta en la técnica reconocerá inmediatamente que las etapas de diversos procedimientos descritos anteriormente pueden ser realizadas por ordenadores programados. En la presente memoria, algunas realizaciones también están concebidas para abarcar los dispositivos de almacenamiento de programas, p. ej., los medios de almacenamiento de datos digitales, que son legibles por máquina o por ordenador, y que codifican programas de instrucciones, ejecutables por máquina o ejecutables por ordenador, en donde dichas instrucciones realizan algunas de, o todas, las etapas de dichos procedimientos descritos anteriormente. Los dispositivos de almacenamiento de programas pueden ser, por ejemplo, memorias digitales, medios de almacenamiento magnético tales como discos magnéticos y cintas magnéticas, controladores de discos rígidos o medios de almacenamiento de datos digitales ópticamente legibles. Las realizaciones también están concebidas para abarcar los ordenadores programados para realizar dichas etapas de los procedimientos anteriormente descritos.

La descripción y los dibujos ilustran meramente los principios de la invención.

Aunque la presente invención ha sido descrita con referencia a realizaciones específicas, los expertos en la técnica deberán entender que los precedentes, y diversos otros cambios, omisiones y agregados, en la forma y el detalle de las mismas pueden ser hechas en la presente memoria sin apartarse del alcance de la invención, según lo definido por las siguientes reivindicaciones. Además, todos los ejemplos citados en la presente memoria están principalmente concebidos de forma expresa para que sean solamente con fines pedagógicos, para ayudar al lector en la comprensión de los principios de la invención y los conceptos aportados por el inventor, o los inventores, para fomentar la técnica, y han de ser interpretados como sin limitación para tales ejemplos y condiciones específicamente citados. Además, todas las afirmaciones en la presente memoria que citan principios, aspectos y realizaciones de la invención, así como los ejemplos específicos de la misma, están concebidas para abarcar los equivalentes de las mismas. Los expertos en la técnica deberán apreciar que cualquier diagrama de bloques en la presente memoria representa vistas conceptuales de circuitos ilustrativos que realizan los principios de la invención.

**REIVINDICACIONES**

1. Un procedimiento de detección de errores en un bloque de información (13) en una red de Multiplexado por División Ortogonal de Frecuencia, OFDM, donde el bloque de información es recibido por un receptor de OFDM (14) a través de un canal de comunicación (12) y contiene  $N$  bits, estando el procedimiento **caracterizado por** comprender las siguientes etapas realizadas por el receptor (14):

- a) Obtener un valor de razón de probabilidad logarítmica, LLR, a posteriori para cada bit recibido del bloque;
- b) Calcular una probabilidad de error para el bloque recibido,  $BLEP_0$ , en base a los valores de LLR calculados;
- c) Calcular una tasa promedio de errores de bloque para el bloque recibido, en base a las Razones entre Señal e Interferencia y Ruido, SINR, posteriores a la detección, de los bits recibidos;
- d) Obtener una función de densidad de probabilidad de la probabilidad de errores de bloque, BLEP, en base a la función de densidad de probabilidad de los valores de LLR, donde la probabilidad de errores de bloque es una variable aleatoria con un valor medio dado por la tasa promedio de errores de bloque;
- e) Calcular un valor de variable de decisión, donde la variable de decisión definida como la probabilidad de que la probabilidad de errores de bloque, BLEP, sea mayor que  $BLEP_0$ ;
- f) Comparar el valor de la variable de decisión con la tasa de errores de bloque promedio calculada y determinar si el bloque recibido tiene o no errores en base al menos a un resultado de dicha comparación.

2. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el procedimiento comprende además calcular una fiabilidad de la detección de errores de bloque,  $LLR_{ErrorDeBloque}$ , y determinar que el bloque recibido tiene errores solamente si dicha fiabilidad de errores de bloque está por encima de un umbral.

3. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, donde la fiabilidad de errores de bloque se calcula como el logaritmo de la razón entre la variable de decisión y la tasa promedio de errores de bloque.

4. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde los valores de LLR están definidos como:

$$LLR_n \equiv \ln \frac{p(x_n = +1 | y)}{p(x_n = -1 | y)}, n = 0, \dots, N - 1$$

donde  $LLR_n$  indica la razón de probabilidad logarítmica a posteriori del  $n$ -ésimo bit recibido del bloque,  $y$  indica la señal recibida,  $x_n$  es el correspondiente  $n$ -ésimo bit transmitido y  $p$  indica la probabilidad a posteriori.

5. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la función de densidad de probabilidad de la probabilidad de errores de bloque,  $f_{BLEP}(BLEP)$ , se calcula como una función de la función de densidad de probabilidad de los valores de LLR, usando la siguiente transformación:

$$\ln(1 - BLEP) = - \sum_{n=0}^{N-1} \ln(1 + e^{-|LLR_n|})$$

donde  $LLR_n$  indica la razón de probabilidad logarítmica a posteriori del  $n$ -ésimo bit recibido del bloque.

6. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la variable de decisión se calcula como:

$$\int_{BLEP_0}^1 f_{BLEP}(BLEP) dBLEP$$

donde  $f_{BLEP}(BLEP)$  es la función de densidad de probabilidad de la probabilidad de errores de bloque, BLEP.

7. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la probabilidad de error para el bloque recibido,  $BLEP_0$ , se calcula como:

$$BLEP_0 = 1 - \prod_{n=0}^{N-1} \left( \frac{1}{1 + e^{-|LLR_n|}} \right)$$

donde  $LLR_n$  indica la razón de probabilidad logarítmica a posteriori del  $n$ -ésimo bit recibido del bloque.

8. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el bloque es transmitido por

un transmisor de OFDM sin incluir ningún bit de detección de errores.

9. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde los valores de LLR se obtienen después de la decodificación de la Corrección Anticipada de Errores, FEC, de los bits recibidos.

5 10. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el cálculo de una tasa promedio de errores de bloque para el bloque recibido incluye:

- Obtener valores de SINR posteriores a la detección, para cada bit recibido del bloque;
- A partir de dichos valores de SINR posteriores a la detección, calcular una SINR efectiva por medio de una técnica de Enlace a Sistema;
- Calcular la tasa promedio de errores de bloque como la tasa de errores de bloque que se obtendría si el canal de comunicación hubiera sido un Canal de Ruido Gaussiano Blanco Aditivo para el valor efectivo de SINR calculado.

10 11. Un receptor de OFDM (14) para detectar errores en un bloque de información (13) recibido a través de un canal de comunicación (12) de una red de OFDM, donde el bloque de información contiene N bits, comprendiendo el receptor (14):

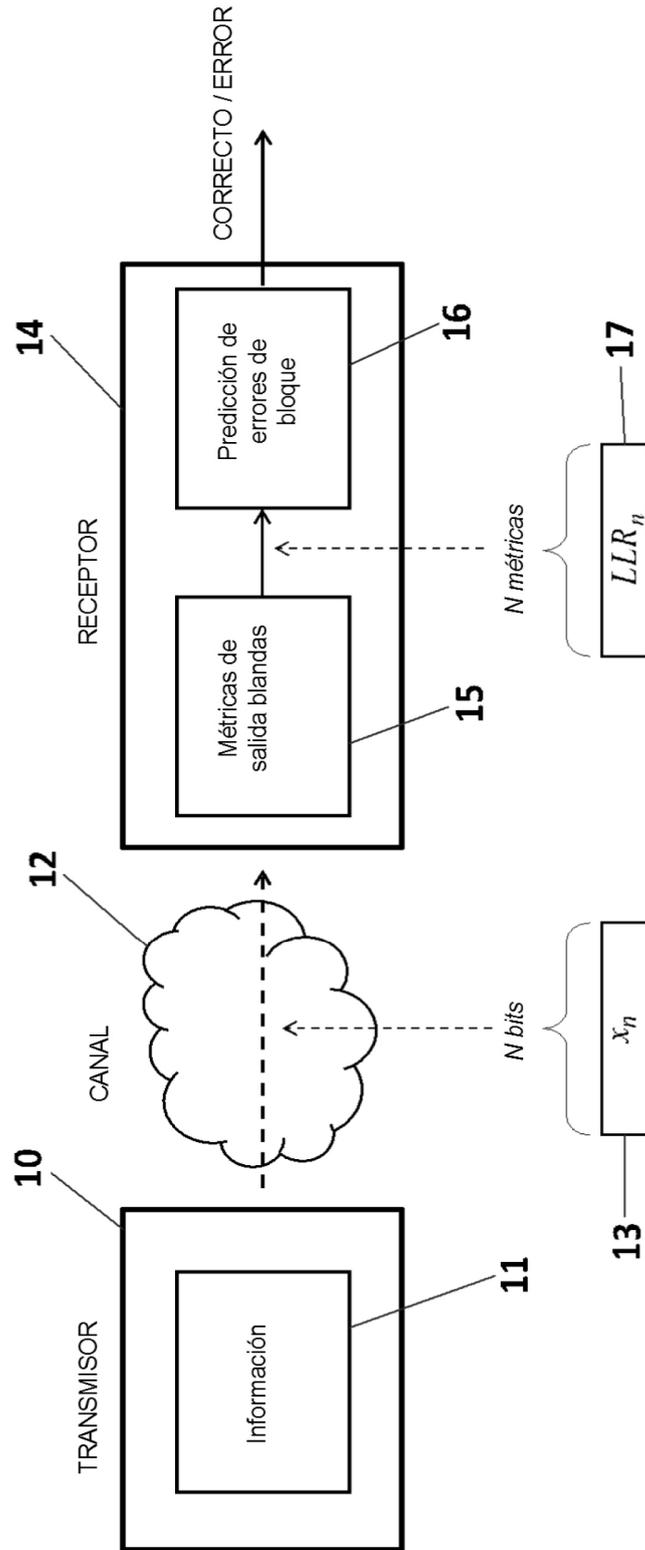
- 15 - Un detector de símbolos de constelación para obtener las métricas de salida blandas de los bits recibidos incluidos en el bloque de información;
- Medios para:

20 Obtener un valor de la razón de probabilidad logarítmica, LLR, a posteriori, para cada bit recibido del bloque;  
 Calcular una probabilidad de error para el bloque recibido,  $BLEP_0$ , en base a los valores de LLR calculados;  
 Calcular una tasa promedio de errores de bloque para el bloque recibido, en base a las Razones entre Señal e Interferencia y Ruido, posteriores a la detección, de los bits recibidos;  
 Calcular una función de densidad de probabilidad de la probabilidad de errores de bloque, en base a la función de densidad de probabilidad de los valores de LLR, donde la probabilidad de errores de bloque es una variable aleatoria con un valor medio dado por la tasa promedio de errores de bloque;  
 25 Calcular un valor de variable de decisión, donde la variable de decisión se define como la probabilidad de que la probabilidad de errores de bloque, BLEP, sea mayor que  $BLEP_0$ ;  
 Comparar el valor de la variable de decisión con la tasa de errores de bloque promedio calculada y determinar si el bloque recibido tiene errores o no, en base al menos a un resultado de dicha comparación.

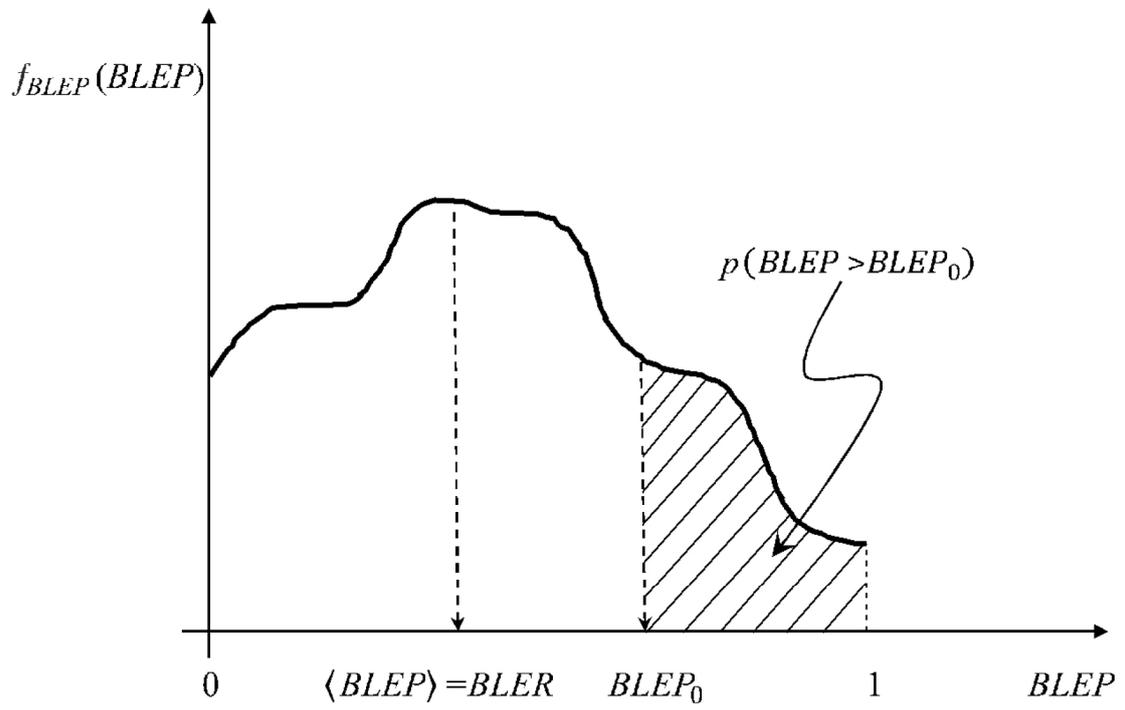
30 12. Un sistema para detectar errores en un bloque de información (13) en una red de OFDM que comprende un receptor de OFDM (14) de acuerdo con la reivindicación 11, y un transmisor de OFDM (10) con medios para transmitir un bloque de información, a través de un canal inalámbrico de OFDM (12), al receptor de OFDM (14).

13. Un medio de almacenamiento de datos digitales que almacena un programa de ordenador que comprende instrucciones, que hacen que un ordenador que ejecuta el programa realice todas las etapas de un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, cuando el programa es ejecutado en un ordenador.

35



**FIG. 1**



**FIG. 2**

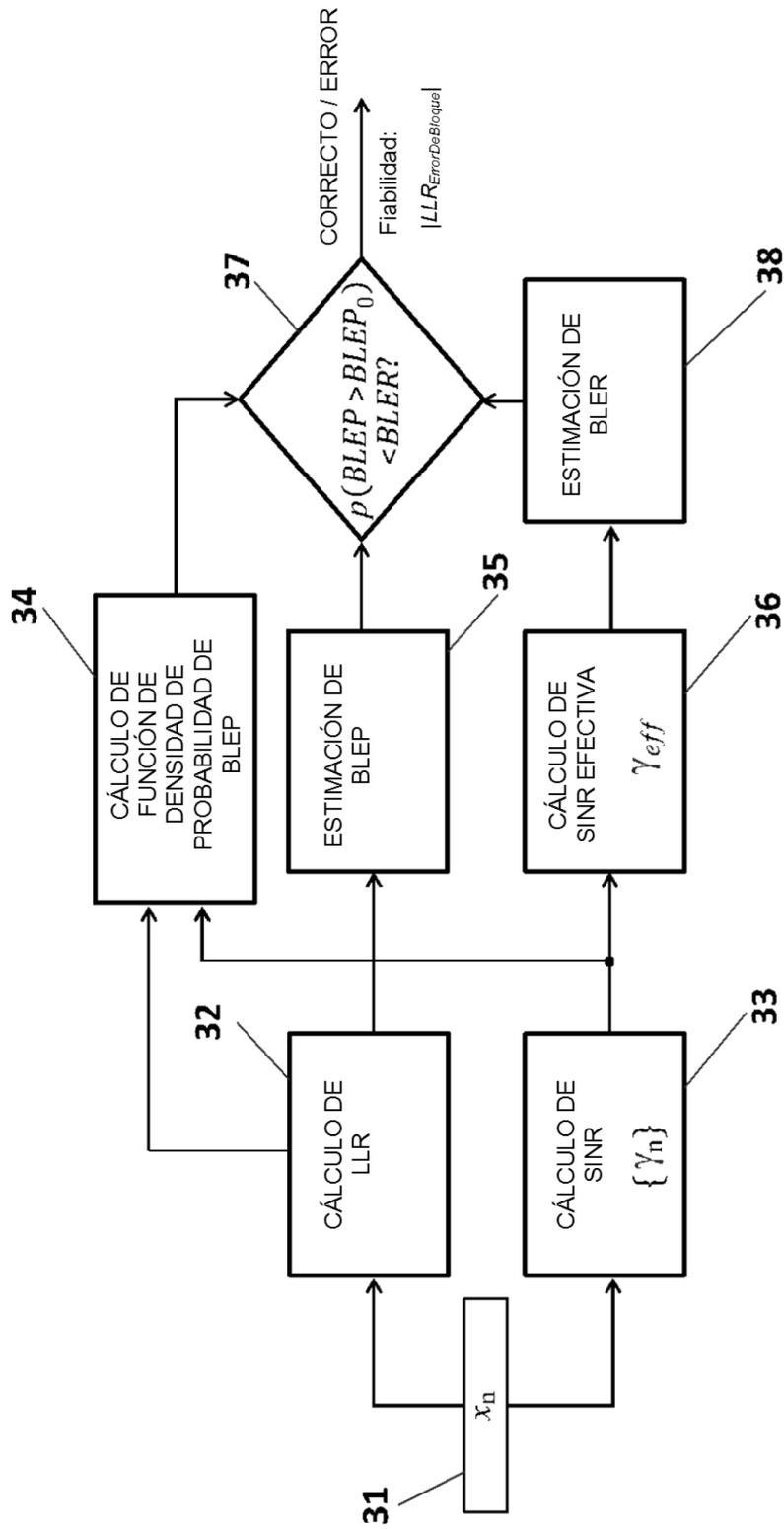


FIG. 3