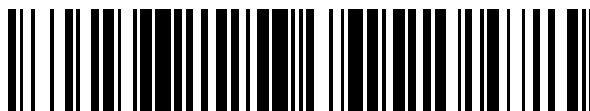


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 760 700**

51 Int. Cl.:

**H04L 1/00** (2006.01)

**H03M 13/29** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.09.2013 PCT/EP2013/069871**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.04.2014 WO14048928**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.09.2013 E 13783493 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.09.2019 EP 2901595**

54 Título: **Procedimiento y sistema para generar códigos de canal, en particular, para un encabezamiento de trama**

30 Prioridad:  
**25.09.2012 IT TO20120829**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**14.05.2020**

73 Titular/es:  
**POLITECNICO DI TORINO (100.0%)  
Corso Duca degli Abruzzi 24  
10129 Torino, IT**

72 Inventor/es:  
**MONTORSI, GUIDO y  
KAYHAN, FARBOD**

74 Agente/Representante:  
**SALVÀ FERRER, Joan**

ES 2 760 700 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

**DESCRIPCIÓN**

Procedimiento y sistema para generar códigos de canal, en particular, para un encabezamiento de trama

5 Campo de la invención

**[0001]** La presente invención se refiere a un procedimiento y un sistema para generar códigos de canal, en particular, códigos de canal para un encabezamiento de trama en un sistema de comunicación de ACM ("Codificación y modulación adaptativa").

10

Descripción de la técnica anterior

**[0002]** La adaptación en tiempo real de los parámetros de transmisión según las condiciones de canal es una característica altamente deseable en los sistemas de comunicación, donde los parámetros de canal pueden cambiar en tiempo o forma de un receptor al otro.

**[0003]** La condición del canal que varía según el tiempo y/o el usuario es una característica importante de muchos sistemas de comunicación, como los sistemas satelitales, de redes y de transmisión.

20 **[0004]** Según la técnica anterior, los esquemas de codificación y modulación adaptativa han sido propuestos en tales sistemas a fin de proporcionar ganancias de capacidad significativas mediante la adaptación en tiempo real de la velocidad/longitud del código FEC ("Corrección de errores de envío") y la constelación de modulación.

25 **[0005]** La idea principal de un esquema de ACM es incrementar la capacidad de un sistema de comunicación evitando el desperdicio de los recursos causado por la adopción de una situación de capa física fija mediante la cual la eficiencia espectral debe sacrificarse para garantizar un buen rendimiento para el usuario con las peores condiciones de canal.

30 **[0006]** Al emplear un esquema de ACM, el transmisor es capaz de cambiar entre varias constelaciones y códigos, escogiendo la modulación y la velocidad de código más grandes disponibles, lo que asegura una DER ("Tasa de error de detección") objetiva, asegurando, por lo tanto, la máxima eficiencia espectral para cada usuario. En el receptor, para decodificar exitosamente el mensaje, cada usuario debería ser capaz de decidir si el mensaje es para él y/o para reconocer los parámetros de la constelación y el código que han sido usados por el transmisor.

35 **[0007]** En general, cada paquete enviado por el transmisor consiste en dos partes principales.

**[0008]** La primera parte se llama encabezamiento de trama, o simplemente encabezamiento, y contiene la información al respecto de la modulación y la codificación, en lo sucesivo llamado ACMI ("Indicador de codificación y modulación adaptativa").

40

**[0009]** La segunda parte contiene un mensaje que se codifica usando los parámetros correspondientes del ACMI.

45 **[0010]** Por lo tanto, cada usuario podría decodificar, en primer lugar, la información en el encabezamiento de trama, a fin de poder decodificar el resto del mensaje.

50 **[0011]** En aplicaciones tales como la transmisión satelital, la estrategia de codificación no es trivial debido al amplio intervalo dinámico de SNR ("Relación señal ruido"), típicamente desde -15 dB a 15 dB. Podría no ser suficiente solo usar un esquema de ACM, para asegurar el enlace de radio, una buena eficiencia espectral y una probabilidad objetiva de error para el receptor.

**[0012]** Por lo tanto, es importante mejorar la eficiencia espectral a través de una generación de un código que permita minimizar la longitud promedio y la longitud máxima de un encabezamiento de trama.

55 **[0013]** En la Solicitud de patente de los EE.UU. No. 2010/0128661, el procedimiento de generación de código se basa en consideraciones eurísticas sin ningún intento de minimizar la longitud de encabezamiento de trama. El código de longitud variable consiste en la repetición de un código de Reed-Muller fuerte para lidiar con las diferentes condiciones de relación señal ruido.

60 **[0014]** Sin embargo, dicha solicitud de patente no enseña a minimizar una longitud de un encabezamiento de trama. El objeto principal de la presente invención es indicar un procedimiento y un sistema para generar códigos de canal, en particular para un encabezamiento de trama, capaz de minimizar una longitud promedio y una longitud máxima de un encabezamiento de trama de un paquete de datos.

65 **[0015]** Otro objeto adicional de la presente invención es indicar un procedimiento y un sistema para generar

códigos de canal, en particular para un encabezamiento de trama, capaz de maximizar la eficiencia espectral de un sistema de comunicación.

5 **[0016]** Otro objeto adicional de la presente invención es indicar un procedimiento y un sistema para generar códigos de canal, en particular para un encabezamiento de trama, capaz de mejorar la capacidad de corrección del código de canal generado.

10 **[0017]** Otro objeto adicional de la presente invención es indicar un procedimiento y un sistema para generar códigos de canal, en particular para un encabezamiento de trama, capaz de disminuir la complejidad computacional de un decodificador.

**[0018]** Otro objeto adicional de la presente invención es indicar un procedimiento y un sistema para generar códigos de canal, en particular para un encabezamiento de trama, capaz de obtener una longitud fija para todas las palabras claves, a fin de tener una misma complejidad del decodificador de máxima probabilidad de un código de longitud variable.

15 **[0019]** Estos y otros objetos de la invención se logran mediante un procedimiento y un sistema para generar códigos de canal, en particular para un encabezamiento de trama, como se reivindica en las reivindicaciones adjuntas, las cuales deben interpretarse como una parte integral de la presente descripción.

## 20 Descripción detallada

**[0020]** En pocas palabras, se describe un procedimiento para generar un código de canal, en particular para un encabezamiento de trama, donde al menos una palabra clave de dicho código de canal se obtiene por medio de al menos una concentración de palabras claves de dos códigos constituyentes y dicha concatenación se efectúa en subconjuntos de palabras claves de un primer código constituyente, que presenta una longitud máxima, con palabras claves de un segundo código constituyente.

30 **[0021]** Los usuarios se dividen, por ejemplo, en un conjunto más pequeño de tipos  $M$  según su calidad de enlace de radio. Cada tipo de usuario  $i$  se asocia a una relación señal ruido  $SNR_i$  disponible, se asume que para cada dos tipos de usuario  $k$  y  $m$ , si  $k > m$ , entonces  $SNR_k > SNR_m$ .

35 **[0022]** Un conjunto de modos ACM máximos,  $ACM$ , se asocian al conjunto de tipos de usuario. Cada tipo de usuario  $i$  debe ser capaz de detectar y decodificar todos los paquetes codificados con modos de  $ACM$   $j \leq i$ , correspondientes a una relación señal ruido SNR menor o igual a la que se asocia al tipo de usuario  $i$ . Entonces, los usuarios de tipos más altos, correspondientes a valores de SNR altos, deben ser capaces, en consecuencia, de detectar el modo de ACM dentro de un conjunto más grande que aquel de los usuarios de tipo inferior.

40 **[0023]** Esto corresponde a la generación de un código que admite una secuencia de subconjuntos de palabras claves de dicho código con diferencias muy grandes en las capacidades de corrección. En las reivindicaciones adjuntas, las cuales deben interpretarse como una parte integral de la presente descripción, se establecen características adicionales de la invención.

45 **[0024]** Los objetos anteriores se volverán más evidentes a partir de la siguiente descripción detallada de un procedimiento para generar códigos de canal, en particular referencia a los dibujos adjuntos, donde:

- la figura 1 muestra un diagrama de bloque de un sistema de comunicación;
- la figuras 2 y 3 muestran modos de operación de un detector de ACM para un tipo de usuario  $i$ ;
- la figure 4 muestra un ejemplo de una generación de código usando una codificación de longitud variable;
- 50 - la figura 5 muestra parámetros de códigos para un código de longitud variable con treinta y dos modos usando el procedimiento según la presente invención y el límite del código de Hamming con una DER ("Tasa de error de detección") igual a  $10^{-6}$ ;
- la figura 6 muestra parámetros de códigos para el código de longitud variable con treinta y dos modos usando códigos lineales de la técnica anterior con una DER igual a  $10^{-6}$ ;
- 55 - la figura 7 muestra parámetros de códigos para el código de longitud variable con cuarenta y ocho modos usando códigos lineales óptimos de la técnica anterior con una DER igual a  $10^{-8}$ ;
- las figuras 8 y 9 muestran parámetros de códigos para un código de longitud variable que usa el procedimiento según la presente invención y códigos lineales óptimos de la técnica anterior con una DER igual a  $10^{-8}$  con respectivamente treinta y dos y cuarenta y ocho modos;
- la figura 10 muestra un gráfico en relación con los datos de la fig. 8;
- 60 - las figuras 11a y 11b muestran palabras claves del código de la fig. 8;
- las figuras 12 y 13 muestran, respectivamente, la longitud de paquete de encabezamiento requerida versus la relación señal ruido  $SNR$  mínima para algunos valores de bits  $k$  cuando la DER se fija en  $10^{-6}$  y los datos en relación con la figura 12, por consiguiente, correspondientes a un diseño de peor caso directo de un encabezamiento de trama;
- 65 - las figuras 14 y 15 muestran, respectivamente, la longitud de paquete de encabezamiento requerida versus la

relación señal ruido  $SNR$  mínima para algunos valores de bits  $k$  cuando la DER se fija en  $10^{-8}$  y los datos en relación con la figura 14, por consiguiente, correspondientes a un diseño de peor caso directo de un encabezamiento de trama.

5 **[0025]** En referencia a la fig. 1, se muestra un sistema de comunicación 10 usado como un ejemplo de situación del sistema para explicar la descripción detallada de la presente invención. Una pluralidad de usuarios recibe el servicio de una puerta de enlace 1 a través de un transpondedor satelital 2 y la puerta de enlace 1 comprende al menos un codificador 3 que genera al menos un código.

10 **[0026]** Los usuarios se dividen en tipos  $M$ , por ejemplo,  $M \leq 64$ , según su calidad de enlace de radio actual y esta subdivisión es creada por un diseñador durante el diseño del sistema de comunicación 10.

**[0027]** Cada tipo de usuario  $i$  se asocia a una relación señal ruido disponible  $SNR_i$  y se asume, sin pérdida de generalidad, que  $SNR_i \leq SNR_{i+1} \leq SNR_M$ . Esta última condición es típica de los sistemas de comunicación satelitales.

15 **[0028]** Por consiguiente, la relación señal ruido es diferente para cada tipo de usuario  $i$ . Además, cada tipo de usuario  $i$  comprende al menos un usuario físico.

**[0028]** Un conjunto de modos de ACM máximos se asocia a cada tipo de usuario  $i$ . Cada tipo de usuario  $i$  debe ser capaz de detectar y decodificar todos los paquetes codificados con los modos ACM $j$  con  $j \leq i$ . Un canal de retroalimentación, que no se representa en la fig. 1, permite que la puerta de enlace 1 conozca el tipo  $i$  de cada usuario.

**[0029]** Además, la puerta de enlace 1 tiene la posibilidad de escoger, para cada tipo de usuario  $i$ , un modo de ACM con el índice  $j \leq i$ . Escoger un valor debajo del máximo  $i$  permitido, que en principio es subóptimo para la capacidad total del sistema, permite cierta flexibilidad en la puerta de enlace 1. Esta flexibilidad adicional del sistema, sin embargo, requiere que el tipo de usuario  $i$  detecte y decodifique todos los modos de ACM $j$  con  $j \leq i$ . Este requerimiento entonces impone una alta complejidad de detección, especialmente para los usuarios asociados con valores de SNR altos. En particular, los usuarios con el tipo de usuario  $M$  más alto deben detectar y decodificar todos los paquetes desde un satélite. El filtrado de los paquetes, según el destino verdadero pretendido, se difiere después del procedimiento de decodificación.

30 **[0030]** En referencia a la fig. 2, se muestra un modo de operación de un receptor 23 que comprende un detector ACMI 21 para un tipo de usuario  $i$ , y una señal de entrada  $y$ , en el sistema de comunicación 10 descrito en la fig. 1. El detector de ACMI 21 entrega un índice  $\hat{j}$  en el intervalo  $[1 \ i]$  que denota una estimación de un índice de ACM en el intervalo permitido, o el símbolo convencional "0" para denotar una falla en la detección, congelando un decodificador 22 siguiente.

**[0031]** En este ejemplo de sistema de comunicación 10, los siguientes tipos de eventos para un ACMI son:

$$P_E = P(\hat{j} \neq j | j \leq i)$$

- Error de detección:

40 **[0032]** Esto se refiere a la probabilidad de que el ACM $j$  estimado desde el detector de ACMI 21, se transmita al decodificador 22 desde el detector de ACMI 21 y no sea igual al ACM $j$  recibido desde la puerta de enlace 1, dado que el índice  $j$  es menor o igual que el índice  $i$  del tipo de usuario. Un paquete que se pretende potencialmente para el tipo de usuario  $i$  se decodifica con un modo de ACM incorrecto y, entonces, no se entrega correctamente.

$$P_U = P(\hat{j} \neq 0 | j > i)$$

45 - Decodificación inútil:

**[0033]** Esto se refiere a la probabilidad de que el ACM $j$ , estimado desde el detector de ACMI 21, se transmita al decodificador 22, decodificando desde el detector de ACMI 21 y no es igual a cero, dado que el índice  $j$  es superior al índice  $i$  del tipo de usuario. Un paquete que no se pretende para los usuarios del tipo  $j$  se decodifica de manera incorrecta con el formato equivocado. El único costo es una decodificación inútil.

**[0034]** A partir de lo antes mencionado, resulta importante diseñar y generar códigos para minimizar la probabilidad del error de detección  $P_E$ , dado que el costo de la decodificación inútil  $P_U$  es marginal.

55 **[0035]** En referencia a la fig. 3, vale la pena observar que, al eliminar la flexibilidad para la puerta de enlace 1 de escoger un modo  $j \leq i$  y, por consiguiente, imponer un  $j = i$  en la puerta de enlace 1, la única función de un detector de ACMI 31 será activar o congelar un siguiente decodificador 32. Un error del detector de ACMI 31 solo causaría un evento de decodificación inútil. El número de decodificación inútil en este caso puede reducirse drásticamente también para los usuarios que presenten una buena calidad de enlace.

60 **[0036]** En un primer ejemplo de la presente invención, se describe un procedimiento para generar un código de canal para minimizar la probabilidad de error de detección antes mencionada  $P_E$ , en la que se asocia una DER

("Tasa de error de detección") de valor  $\epsilon$ , y con palabras claves de longitud variable.

**[0037]** El conjunto de palabras claves se genera con longitudes variables según el siguiente algoritmo, que se muestra en la fig. 4:

- 5 1. Fijar un conjunto de valores de  $SNR_i$  ordenados por  $M$  que corresponden a los umbrales de los modos deseados de una DER  $\epsilon$  deseada;
2. Establecer una distancia total  $d_T = 0$ ;
3. Para todas las  $i$  disminuir de  $M$  a 2;
- 10 4. Calcular la distancia incremental requerida para lograr la DER  $\epsilon$  deseada en la  $SNR_i$  deseada

$$d_i = d_{min}(\epsilon, SNR_i, i) - d_T \quad (1)$$

La distancia mínima  $d_{min}$  o  $d_i$  depende de una relación señal ruido SNR y de una tasa de error de detección con valor  $\epsilon$ . Además, la distancia mínima  $d_i$  aumenta para cada subconjunto generado de código y se calcula para cada tipo de usuario  $i$ .

- 5 Si  $d_i = 0$  repita desde la etapa 3.
6. O bien, generar un código con palabras claves que presentan una longitud minimizada  $n_i$ , palabras claves  $i$  y la distancia mínima  $d_i$
- 20 7. Establecer la distancia total  $d_T = d_T + d_i$
8. Repetir desde la etapa 3.
9. El conjunto de palabras claves de longitud variable se obtiene finalmente mediante la concatenación de las palabras clave de cada uno de los códigos constituyentes (véase la fig. 4). La palabra clave del modo  $i$  después se obtiene mediante la concatenación de palabras claves de códigos constituyentes de  $M$  hasta  $i$  y tiene una
- 25 longitud total  $N_i$  como se indica a continuación:

$$N_i = \sum_{m=i}^M n_m$$

**[0038]** En referencia a la fig. 4, al menos una palabra clave de códigos constituyentes se encapsula en una palabra clave del código de canal y al menos una palabra clave del código de canal tiene una longitud mayor que las palabras claves restantes de dicho código de canal. Además, la concatenación se efectúa en subconjuntos de palabras claves de un primer código constituyente, teniendo una longitud máxima, con palabras claves de un segundo código constituyente.

**[0039]** En la fórmula (1), se define la siguiente función:

$$d_{min}(\epsilon, SNR, M) = \frac{Q^{-1}(\epsilon/(M-1))^2}{2 \cdot SNR}$$

donde  $Q$  es la función  $Q$ , es decir, la función de distribución acumulativa complementaria de los estándares variables aleatorios.

**[0040]** La fórmula (3) proporciona la distancia mínima requerida  $d_{min}$  para un código de canal con palabras claves  $M$  que logran una tasa de error de detección  $\epsilon$  en la relación señal ruido  $SNR$ . Esta fórmula (3) se obtiene mediante el uso del límite superior:

$$\epsilon \leq (M - 1)Q(\sqrt{2d_{min} \cdot SNR})$$

que es más bien preciso para M pequeñas y códigos casi perfectos.

**[0041]** A fin de tener un límite inferior en el que se pueda usar lo que se logra, por ejemplo, el límite de Hamming,

$$M \leq \frac{2^n}{\sum_{i=0}^r \binom{n}{i}} \quad (5)$$

$$t = \left\lfloor \frac{d_{min} - 1}{2} \right\rfloor \quad (6)$$

donde t es la ponderación máxima de vectores de error que están seguramente correctos desde la decodificación de distancia mínima, para encontrar la longitud mínima n de un código con palabras claves M y la distancia mínima  $d_{min}$  requerida en la etapa 6 del algoritmo anterior.

**[0042]** En referencia a la fig. 5, se muestra un resultado de una generación de código de canal usando el algoritmo anterior para un sistema con 32 modos, una relación señal ruido SNR que oscila de +15 a -16 dB en las etapas de 1 dB, para una DER objetiva de  $10^{-6}$ .

**[0043]** Las columnas de la tabla de la fig. 5 indican, de izquierda a derecha, el número de palabras claves  $i$ , que también es el índice de tipo de usuario, la señal correspondiente a la relación señal ruido  $SNR_i$ , la longitud incremental de la palabra clave  $n_i$  de un encabezamiento con un índice  $i$ , el número de bits  $k_i$  de la palabra clave de un encabezamiento en el índice  $i$ , la distancia mínima incremental de una palabra clave  $d_i$  de un encabezamiento en el índice  $i$ , la distancia mínima total  $d_r$  es decir, la suma, en el índice  $i$ , de la  $d_i$  anterior, la longitud de palabra clave total  $N_i$  de un encabezamiento, es decir, la suma, en el índice  $i$ , de la  $n_i$  anterior y, en la última columna,  $i \cdot N_i$  que indica la complejidad de la decodificación.

**[0044]** Cabe señalar que, en este caso, la longitud de palabra clave máxima  $N_i$  es de 464 símbolos, indicada con la referencia 51, y la longitud de encabezado promedio  $E\{N_i\}$ , asumiendo que todos los modos tienen la misma probabilidad, es de solo 119 símbolos, indicada con la referencia 52. El límite de Hamming es un límite superior para el número de palabras claves y hay algunos códigos para lograrlo.

**[0045]** En referencia a la fig. 6, se informa un resultado de una generación de código de canal que usa códigos lineales constituyentes óptimos observados en la técnica anterior, extraídos de las tablas que están en M. Grassi, "Bounds on the minimum distance of linear codes and quantum codes", disponibles en línea en <http://www.codetables.de>, publicado en 2007.

**[0046]** Estos códigos lineales constituyentes, observados en la técnica anterior, tienen la desventaja adicional de presentar un número de palabras claves que son una potencia de dos, es decir,  $2^k$ , donde k es el número de bits de información. El uso de estos códigos lineales requiere una longitud de palabra clave máxima de 609 símbolos, indicada con la referencia 61, y una longitud promedio del encabezamiento  $E\{N_i\}$  de solo 149 símbolos, indicada con la referencia 62.

**[0047]** Al comparar las fig. 5 y 6, por lo tanto, queda claro que el código de canal, generado usando el algoritmo anterior según la presente invención, es capaz de minimizar la longitud promedio y la longitud máxima de un encabezamiento de trama de un paquete de datos.

**[0048]** En referencia a la fig. 7, se compara un ejemplo de longitud de código generado según la presente invención para 48 modos con la longitud de encabezamiento requerida para el esquema de señalización que se especifica en D. Becker, N. Velayudhan, A. Loh, J. O'Neill y V. Padmanabhan, "Efficient control signaling over shared communication channels with wide dynamic range", descrito en la Solicitud de Patente de los EE.UU. No. 12/621.203. La DER se fija en  $e = 10^{-8}$ .

**[0049]** Se puede observar que la generación de código de canal propuesta según la presente invención permite reducir considerablemente la longitud del encabezamiento para todos los modos. La longitud de encabezamiento promedio  $E\{N_i\}$  según la Solicitud de Patente de los EE.UU. No. 12/621.203 es 750 (referencia 71), mientras que el promedio de longitud del encabezado  $E\{N_i\}$  (referencia 72) se reduce a 301, según este ejemplo de la presente invención; del mismo modo, la longitud máxima del encabezamiento se reduce de 4416 (referencia 73) a 1285 (referencia 74).

**[0050]** Por lo tanto, al usar el procedimiento según la presente invención, mediante la evaluación de la longitud promedio  $E\{N_i\}$ , se obtiene una mejora de alrededor del 60 %.

**[0051]** El algoritmo antes mencionado, cuando se aplica a los códigos lineales constituyentes, muestra algunas

debilidades en la longitud del código de canal. Esto se debe principalmente al hecho de que el número de palabras claves de un código lineal constituyente siempre es una potencia de 2.

5 **[0052]** En este caso, por ejemplo, todos los modos desde 32 a 17 en la fig. 6 comparten el mismo tamaño. En tales casos, resulta útil generar un único código constituyente que garantiza una buena distancia mínima en lugar de usar un enfoque completamente incremental como se describió anteriormente.

**[0053]** Por lo tanto, se propone un ejemplo de un algoritmo de generación de código modificado como se indica a continuación:

- 10
1. Fijar un conjunto de valores  $SNR$  ordenados por  $M$ , donde  $SNR_i$  corresponde a los umbrales de modos deseados y la DER  $e$  deseada.
  2. Establecer  $d_{T,M+1} = 0$  y  $N_{T,M+1} = 0$ .
  3. Para todas las  $i$  disminuir de  $M$  a 2
  - 15 4. Establecer  $k = \lceil \log_2 \lceil \rceil$
  5. Calcular la distancia mínima requerida

$$d_{T,i} = d_{min}(\epsilon, SNR_i, i)$$

- 20 6. Para todas las  $i < j \leq 2^k$  (modos con la misma dimensión de código)  
7. Calcular la distancia incremental

$$\delta_{i,j} = d_{T,i} - d_{T,j}$$

- 25 8. Generar un código lineal  $(n_{i,j}, k, \delta_{ij})$  con una longitud mínima  $n_{ij}$ . Cabe señalar que cuando el incremento de distancia  $\delta_{i,j}$  es cero, el código tiene una longitud 0. En este caso,  $k$  es el número de bits de información y no el número de palabras clave.
9. Repetir desde 6.
10. Tomando desde el conjunto de códigos anterior el que presenta una longitud total mínima que corresponde a
- 30  $j^* = \arg \min_j n_{ij} + N_{ij}$
11. Establecer  $N_{T,j} = n_{ij^*} + n_{T,j^*}$  y  $d_{T,j} = d_{T,i}$  para todas las  $i \leq j \leq j^*$
12. Repetir desde 3.
13. El conjunto de palabras claves de longitud variable se obtiene finalmente mediante la concatenación de las palabras claves de cada uno de los códigos constituyentes (véase la fig. 4).

35 **[0054]** Se puede observar que, en este ejemplo, se considera cada etapa y todos los códigos constituyentes posibles con la misma dimensión  $k$  garantizando la distancia mínima  $d_{T,i}$ . Esta generación permite, en las etapas  $i$  de la iteración, cambiar los códigos generados en las etapas anteriores  $j \geq i$ , siempre y cuando  $j < 2^{\lceil \log_2 \lceil X \rceil}$

40 **[0055]** De nuevo, en referencia al caso de la fig. 4, al menos una palabra clave de códigos constituyentes se encapsula en una palabra clave del código de canal y al menos una palabra clave del código de canal tiene una longitud mayor que las palabras claves restantes de dicho código de canal. Además, la concatenación se efectúa en subconjuntos de palabras claves de un primer código constituyente, teniendo una longitud máxima, con palabras claves de un segundo código constituyente.

45 **[0056]** El resultado de esta nueva generación de códigos se informa en las fig. 8 y 9, y la última de éstas se compara con la fig. 7. Es importante observar que esta nueva generación de códigos permite reducir ligeramente tanto la longitud promedio como la longitud máxima del encabezamiento.

50 **[0057]** De hecho, la longitud máxima del encabezamiento de la fig. 9 es de 1239 símbolos, indicada con la referencia 91, que es menor que la longitud máxima de 1285 símbolos del encabezamiento de la fig. 7, indicada con la referencia 74; mientras que la longitud promedio del encabezamiento  $E\{N\}$  se reduce de 301 símbolos, indicada con la referencia 72, a 285 símbolos, indicada con la referencia 92.

55 **[0058]** Además, cabe señalar que el número de códigos generados se reduce. Un ejemplo de código generado se representa en la fig. 10 y, en las fig. 11a y fig. 11b, se muestran las palabras clave relacionadas.

**[0059]** En referencia a la fig. 10, se informan los resultados de la simulación en relación con la fig. 8. La abscisa de la fig. 10 indica la brecha en dB desde la  $SNR_i$  nominal de cada tipo de usuario  $i$ . En este caso, muchos códigos  
60 pueden lograr, de hecho, la DER objetiva con un margen muy grande.

**[0060]** Por ejemplo, la curva de tipo de usuario 32, indicada en la fig. 10 con el número de referencia 101, logra una DER  $\epsilon$  objetiva igual a  $10^{-6}$  con un margen de alrededor de 16,3 dB. Esto se debe al hecho de que el mismo código (39, 5, 19) se usa para todos los tipos desde 32 a 17, y la DER objetiva se logra sin margen solo para el tipo de usuario 5 17, correspondiente a un SNR nominal de 0 dB.

**[0061]** También es posible evaluar los rendimientos de los ejemplos descritos anteriormente, según la presente invención, en términos de la tasa de error de detección DER con respecto al diseño del peor caso.

10 **[0062]** El diseño del peor caso proporciona un ejemplo de codificación donde todos los usuarios pueden decodificar todos los encabezamientos ACMI. Una clase de código de Reed-Muller se escoge como código constituyente y sus parámetros se evaluarán como una función del intervalo de la relación señal ruido SNR requerida y el número de modos  $M$ .

15 **[0063]** En el diseño del peor caso, ahora se aprovecha el hecho de que cada tipo de usuario  $i$  se pueda asociar a un código con diferentes longitudes de palabras claves o protección. El diseño de código es tal que cada tipo de usuario  $i$  es capaz de recuperar el ACMI desde el encabezamiento. Recordando que el tipo de usuario  $i$  decide proceder con la decodificación solo si el ACMI detectado es menor o igual a su tipo, es decir,  $j \leq i$ . En este caso, la generación de código de canal es más bien simple y depende estrictamente de la relación señal ruido SNR mínima permitida en el sistema.

**[0064]** Tomando una expresión asintótica de la DER  $\epsilon$  para un código con un número de distancia mínima  $d_{min}$ , de los vecinos más cercanos  $A$  y repitiéndola  $R$  veces, se logra:

25 
$$\epsilon = AQ(\sqrt{2d_{min}R \cdot SNR}) \rightarrow Rd_{min} = \frac{Q^{-1}(\epsilon/A)^2}{2 \cdot SNR} \quad (7)$$

**[0065]** La clase de códigos de Reed-Muller se considera como una solución para el diseño del peor caso. Los códigos de Reed-Muller tienen los parámetros ( $n = 2^m$ ,  $k = m + 1$ ), con  $d_{mn} = 2^{m-1}$  y  $A = 2^k - 2$ .

30 **[0066]** En referencia a las fig. 12 y 13, se informa la longitud de encabezamiento requerida  $Rn$  para lograr una DER  $\epsilon = 10^{-6}$  versus la mínima SNR objetiva. Las diferentes curvas en la fig. 12 hacen referencia al uso de códigos de Reed-Muller con  $k = 1$  a 8. El número de repeticiones necesarias se puede calcular fácilmente dada la longitud del Reed-Muller correspondiente. La curva indicada con  $k = 6$  es una que debe considerarse para un sistema con 64 modos de ACM. Se puede observar que, a fin de diseñar un código de canal que opere a -16 dB con 32 modos y una 35 DER  $\epsilon = 10^{-6}$ , se requiere una longitud de encabezamiento de 1168 (referencia 131) con un diseño del peor caso, mientras que la longitud máxima del encabezamiento de los ejemplos de códigos de longitud variable según la presente invención antes descrita es 464 (referencia 51), como se muestra en la fig. 5, usando un límite de Hamming, y 609 (referencia 61), como se muestra en la fig. 6, usando en nuestra construcción códigos lineales de la técnica anterior.

40 **[0067]** En referencia a las fig. 14 y 15, se informa la longitud de encabezamiento requerida  $Rn$ , lograda estableciendo una DER  $\epsilon = 10^{-8}$ . En este último caso, la longitud máxima del encabezamiento a -16 dB con 32 modos y una DER  $\epsilon = 10^{-8}$  es 1520 (referencia 151), mientras que la longitud máxima del encabezamiento de los ejemplos de codificación de longitud variable de la presente descripción antes descritos es 791 (referencia 81), como se muestra en la fig. 8.

45 **[0068]** Queda claro, a partir de esta comparación, que la longitud del encabezamiento disminuye usando el procedimiento según la presente invención.

**[0069]** En referencia a la fig. 10, se muestran los resultados de simulación usando un decodificador de 50 probabilidad máxima, es decir, para maximizar la probabilidad  $P(\bar{y} \neq \bar{c})$ . Se hace mediante el cálculo de la correlación de una señal recibida y con todas las palabras claves del código  $c$  y después la elección de una palabra clave con la mayor correlación. Es importante observar que el tipo de usuario  $i$  necesita calcular la correlación entre solo los primeros elementos  $N_i$  de la señal recibida y solo las palabras claves  $i$  asociadas a las SNR que son más pequeñas o iguales a su SNR nominal (SNR).

55 **[0070]** Por lo tanto, la complejidad de decodificación es diferente para cada tipo de usuario  $i$  y es igual a las sumas de  $N_i \times i$  y las comparaciones de  $i$ . El promedio de complejidad de decodificación se puede calcular como  $E\{N_i \times i\}$ . En las figuras 5 a 9 la última columna muestra los resultados de  $N_i \times i$  con sus valores promedio, asumiendo una distribución uniforme en todos los usuarios.

60 **[0071]** Dado que los ejemplos descritos anteriormente, los códigos lineales constituyentes se escogen para que sean óptimos para los parámetros determinados y no se asuma ninguna otra estructura particular, la mejor estrategia de decodificación óptima es calcular la correlación de la señal recibida y (sumas de  $N_i$ ) con todas las



palabras claves  $i$  candidatas.

**[0072]** La complejidad de este riguroso decodificador es asequible porque lidia con códigos pequeños y longitudes de promedios cortos.

5

**[0073]** La complejidad de las correlaciones se reduce adicionalmente mediante el uso de códigos constituyentes que admiten algoritmos de decodificación más rápidos, como la transformada de Hadarmard usada para los códigos de Reed-Muller o los códigos de longitud máxima. En particular, para un determinado conjunto de parámetros  $(n, k, d)$  donde  $n$  y  $k$  son suficientemente pequeños, la repetición de los códigos de longitud máxima da como produce códigos con rendimientos casi óptimos.

10

**[0074]** El objetivo principal de la UEP ("Protección de error desigual") es diseñar un código que ofrezca una mayor protección de error a algunos bits, símbolos o palabras claves que otros. En la literatura, se usa el mismo nombre para los tres casos.

15

**[0075]** En lo sucesivo, se describirá un ejemplo adicional de la presente invención, solo abordando la UEP de palabra clave, que usa una modificación de la generación de código de canal de longitud variable descrita anteriormente para generar un código de longitud fija.

20

**[0076]** El código de longitud variable también tiene palabras claves con diferentes capacidades de protección de errores.

**[0077]** De hecho, una manera de generar un código UEP de bloque es extender todas las palabras claves del código obtenido para los códigos de longitud variable por cero para tener una longitud fija para todas las palabras claves (para igualar la longitud de todas las palabras claves), por consiguiente, al menos una palabra clave comprende una secuencia de bits que presenta valores iguales a cero. En este caso, las palabras claves tendrán una longitud igual a la palabra clave más larga en el código inicial.

25

**[0078]** Puede observarse que, para que esta estrategia funcione, uno no debe usar las palabras claves que son todos ceros en la construcción del código inicial de longitud variable.

30

**[0079]** Es importante observar que, en el ejemplo de codificación de longitud variable descrito anteriormente, se debe considerar una longitud promedio como la longitud efectiva del código.

35

**[0080]** En cuanto a la complejidad del decodificador del dispositivo de correlación de probabilidad máxima para el código generado por una compensación cero, en principio, cuenta con la misma complejidad que la codificación de longitud variable correspondiente y, por lo tanto, la descripción antes mencionada sobre la complejidad de decodificación también es válida para estos códigos.

40

**[0081]** Las características de la presente invención, así como las ventajas de la misma, son evidentes a partir de la descripción anterior.

**[0082]** Una primera ventaja del procedimiento para generar códigos de canal según la presente invención es que la longitud promedio y la longitud máxima del encabezamiento de trama de un paquete de datos se minimiza.

45

**[0083]** Una segunda ventaja del procedimiento de la presente invención es que la eficiencia espectral de un sistema de comunicación se maximiza.

**[0084]** Una ventaja adicional del procedimiento de la presente invención es que la capacidad de corrección del código de canal generado se mejora.

50

**[0085]** Una ventaja adicional del procedimiento de la presente invención es que la complejidad computacional de un decodificador disminuye.

**[0086]** Una ventaja adicional del procedimiento de la presente invención es obtener también, posiblemente, una longitud fija para todas las palabras claves, a fin de tener una misma complejidad del decodificador de probabilidad máxima de un código de longitud variable.

55

**[0087]** El procedimiento y el sistema para generar códigos de canal, en particular, para un encabezamiento de trama descrito en esta invención a modo de ejemplo pueden estar sujetos a muchas variaciones posibles sin apartarse del alcance de la solicitud; también queda claro que, en la implementación práctica de la invención, los detalles ilustrados pueden tener diferentes formas o ser reemplazados con otros elementos técnicos equivalentes.

60

**[0088]** Por ejemplo, el procedimiento y el sistema para generar códigos de canal, en particular, para un encabezamiento de trama, pueden aplicarse en cualquier sistema de comunicación en el que sea posible variar la eficiencia espectral y/o en sistemas de comunicación que no usen un esquema de ACM.

65

**[0089]** Por lo tanto, se puede entender fácilmente que la presente invención no se limita a un procedimiento y a un sistema para generar códigos de canal, en particular, para un encabezamiento de trama, pero puede estar sujeta a muchas modificaciones, mejoras o reemplazos de piezas y elementos equivalentes, sin apartarse del alcance de la  
5 solicitud, como se especifica claramente en las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para generar un código de canal, en particular, para un encabezamiento de trama, para codificar una señal en la que el valor objetivo ( $\square$ ) de Tasa de error de detección (DER) está asociado, dicha señal  
 5 siendo entregada a una pluralidad de usuarios, donde dichos usuarios se dividen en un conjunto de tipos de usuario (M) según su calidad de enlace, con cada tipo de usuario (i) siendo asociado a un valor de relación señal ruido ( $SNR_i$ ) y con un valor máximo de la velocidad de código y modulación correspondiente a dicho valor objetivo ( $\square$ ) de Tasa de error de detección (DER), donde al menos una palabra clave de dicho código de canal se obtiene por medio de una concatenación de palabras claves de al menos dos códigos constituyentes y dicha concatenación se efectúa en  
 10 subconjuntos de palabras claves de un primer código constituyente, donde dichos códigos constituyentes tienen una distancia mínima ( $d_{min}$ ) calculada en base a dichos valores de relación señal ruido ( $SNR_i$ ), en el número de tipos de usuario (M) y en dicho valor objetivo ( $\square$ ) de la Tasa de error de detección

$$d_{min}(\epsilon, SNR, M) = \frac{Q^{-1}(\epsilon/(M-1))^2}{2 \cdot SNR},$$

(DER), donde dicha distancia mínima se define como  
 15 es la función Q, es decir, la función de distribución acumulativa complementaria de los estándares variables aleatorios.

2. Un procedimiento según la reivindicación 1, donde dicha al menos una palabra clave de dichos códigos constituyentes se encapsula en una palabra clave de dicho código de canal.

20 3. Un procedimiento según las reivindicaciones 1 o 2, donde dicha al menos una palabra clave de dicho código de canal presenta una longitud superior a las palabras claves restantes de dicho código de canal.

4. Un procedimiento según una o más de las reivindicaciones anteriores, donde una longitud de palabra

clave máxima de dicho código de canal ( $N_1$ ) se obtiene mediante la fórmula  $N_1 = \sum_{m=1}^M n_m$  donde M es el número  
 25 máximo de dichas palabras claves de dicho código de canal correspondiente en la más alta medida, dicha relación señal ruido ( $SNR_M$ ), m es un índice entero que varía de uno a M y  $n_m$  es una longitud incremental de dicha palabra clave de dicho código constituyente en el índice m.

5. Un procedimiento según una o más de las reivindicaciones anteriores, donde dichas palabras claves de  
 30 dicho código de canal tienen una longitud variable.

6. Un procedimiento para una o más de las reivindicaciones anteriores, donde dichos códigos constituyentes son códigos lineales conocidos.

35 7. Un procedimiento según una o más de las reivindicaciones anteriores, donde dicha al menos una palabra clave de dicho código de canal comprende una secuencia de bits que presenta valores iguales a cero para igualar la longitud de dicha al menos una palabra clave.

8. Un procedimiento según la reivindicación 7, donde dichas palabras claves de dicho código de canal  
 40 tienen una longitud fija.

9. Un procedimiento para una o más de las reivindicaciones anteriores, donde dicho código de canal es un código UEP.

45 10. Un procedimiento según una o más de las reivindicaciones anteriores, donde dichos códigos de canal son adecuados para su uso para un encabezamiento de trama de un paquete de datos de un sistema de comunicación.

11. Un sistema para generar códigos de canal, que comprende al menos un codificador para llevar a cabo el procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10.

50 12. Un sistema según la reivindicación 11, donde dicho codificador es adecuado para su uso en un sistema de comunicación.

13. Un sistema según la reivindicación 12, donde dicho sistema de comunicación comprende una pluralidad  
 55 de tipos de usuario (M) que presentan una señal diferente a las relaciones de ruido.

14. Un sistema según la reivindicación 12 o 13, donde dicho sistema de comunicación es un sistema de comunicación de ACM ("Codificación y modulación adaptativas").

60 15. Un procedimiento según la reivindicación 1 que además comprende, en un decodificador, las etapas de:

## ES 2 760 700 T3

- recibir una señal transmitida a través de un canal de comunicación que comprende dicho código de canal generado:

- 5 - calcular la correlación de dicha señal recibida ( $\bar{y}$ ) con las palabras claves de dicho código de canal ( $\bar{c}$ ), con las palabras claves siendo asociadas a un conjunto de valores de relación señal ruido (SNR<sub>i</sub>) disponibles que caracterizan los enlaces de comunicación entre dicho codificador y los receptores de dicho código de canal ( $\bar{c}$ ), y
- 10 - escoger la palabra clave que presente la correlación más grande con dicha señal recibida ( $\bar{y}$ ) para maximizar la probabilidad de recibir dicha señal recibida ( $\bar{y}$ ) dada una de las posibles palabras claves de dicho código de canal ( $\bar{c}$ ) que había sido transmitida ( $P(\bar{y}|\bar{c})$ ).

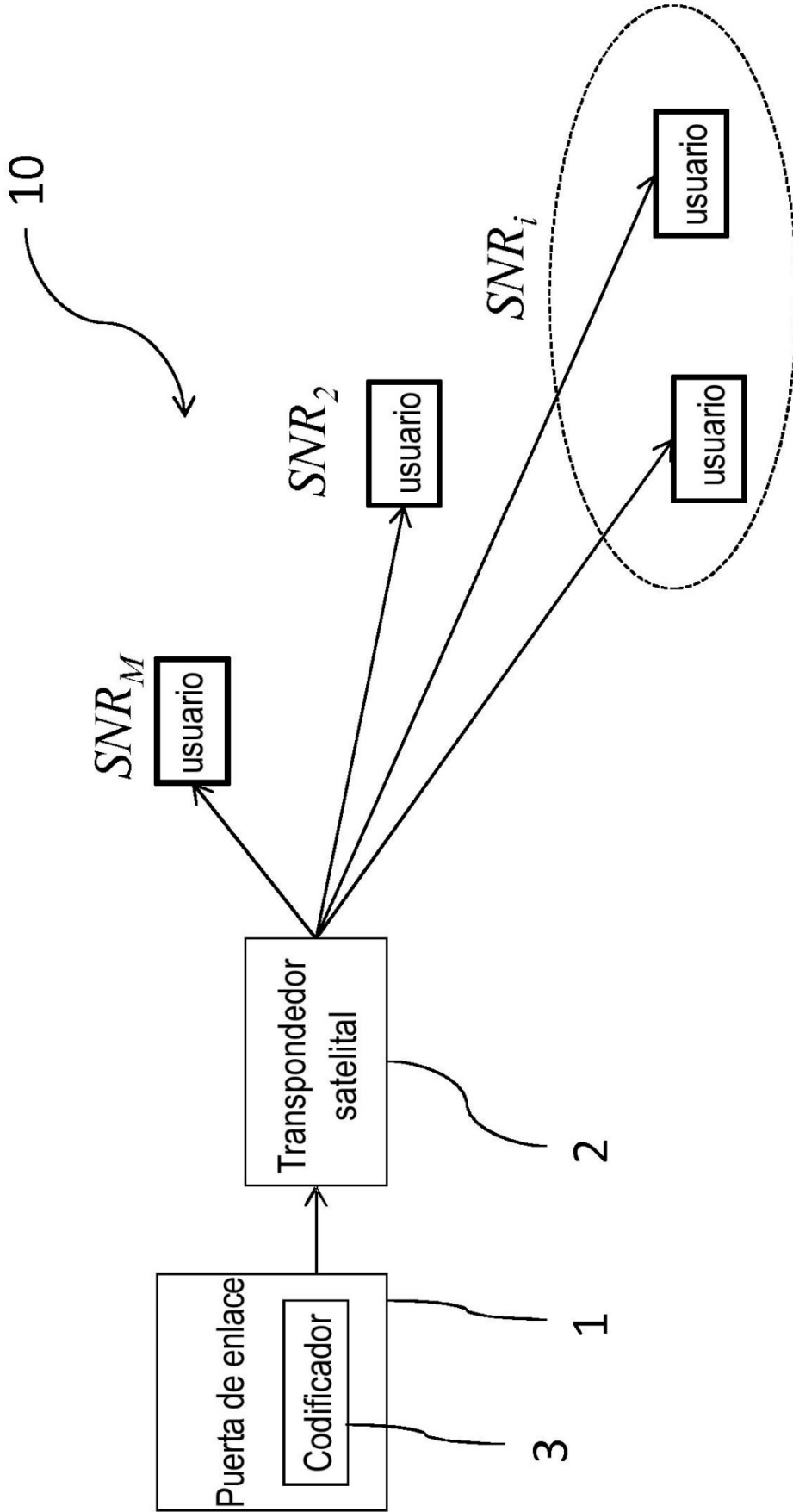


Fig. 1

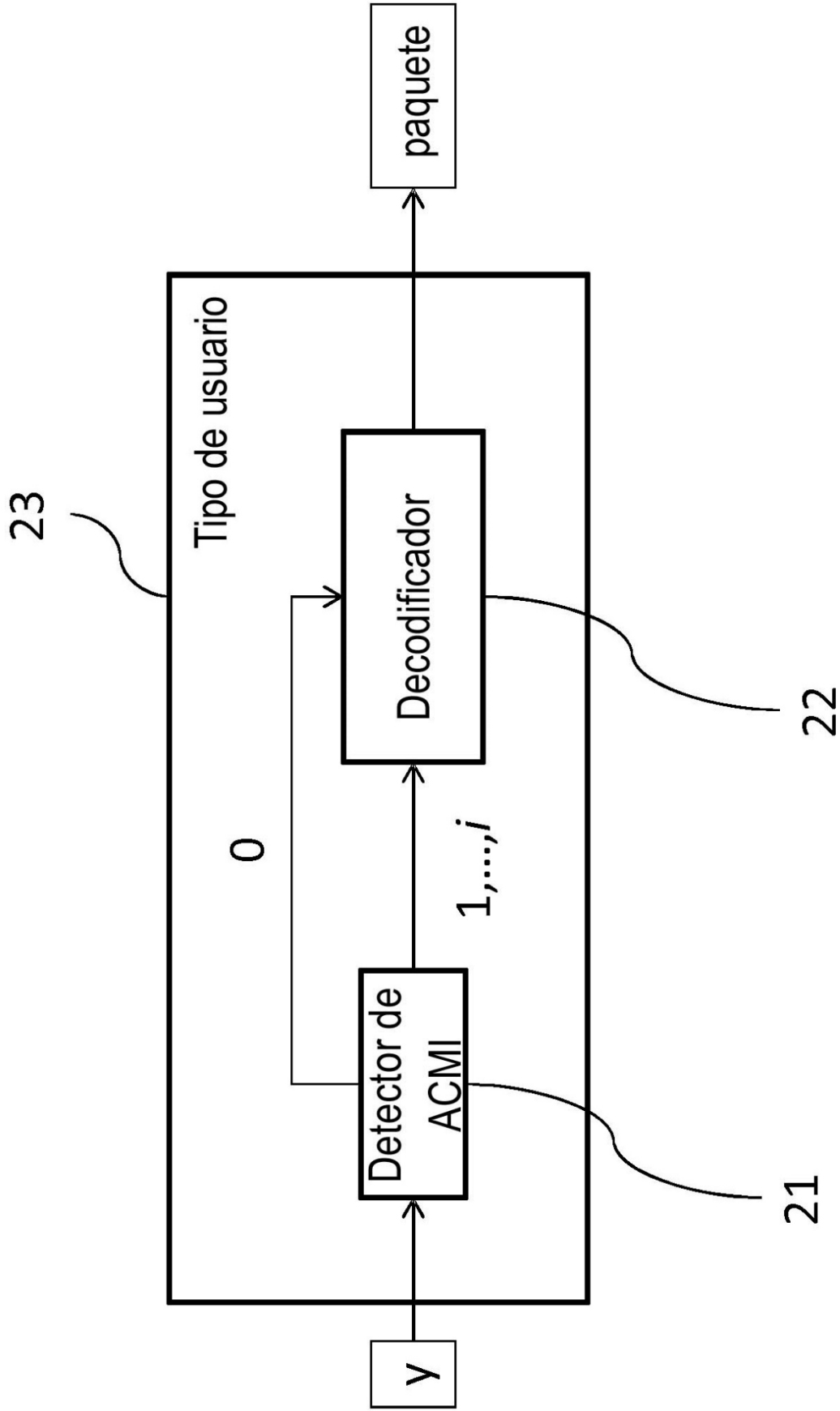


Fig. 2

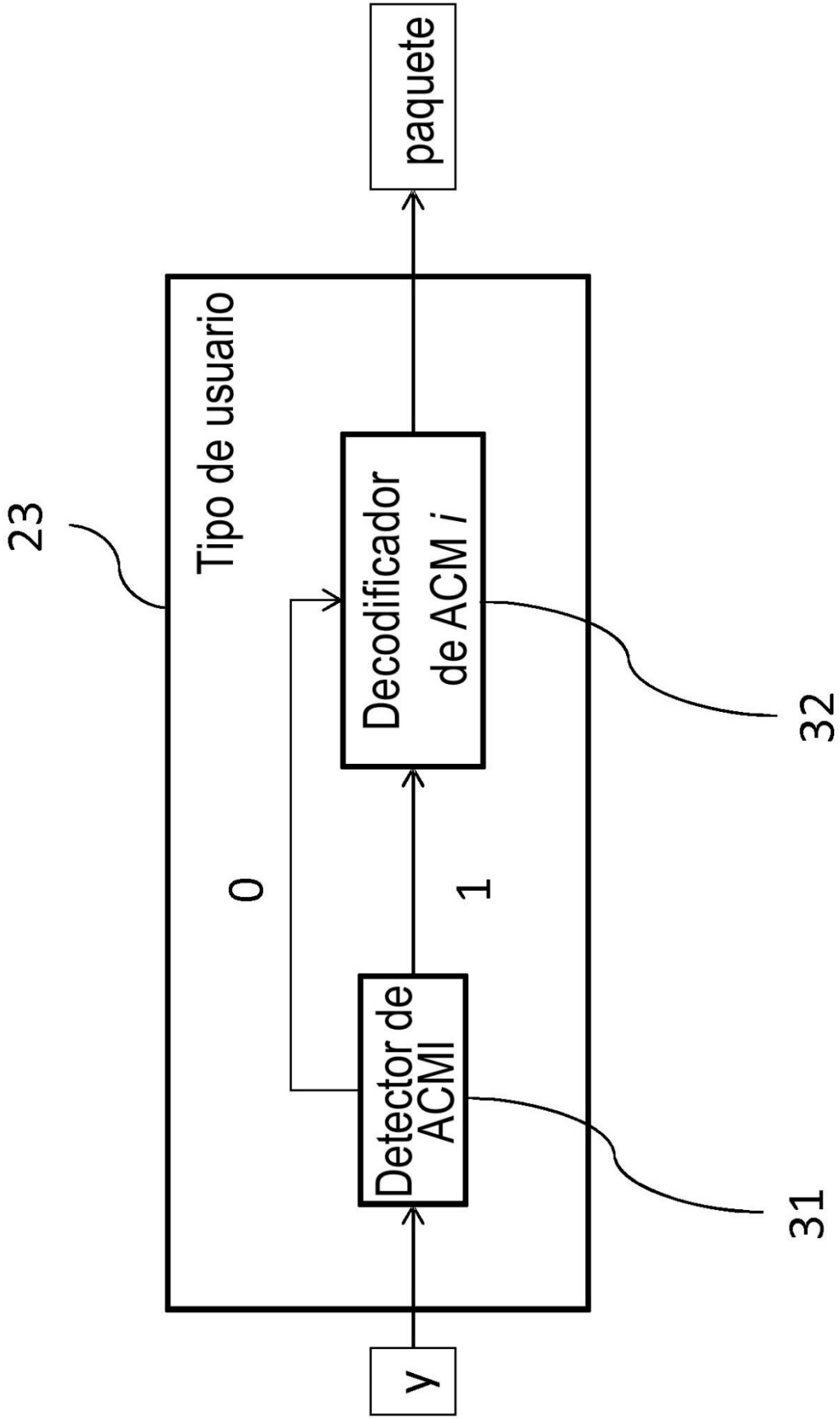


Fig. 3

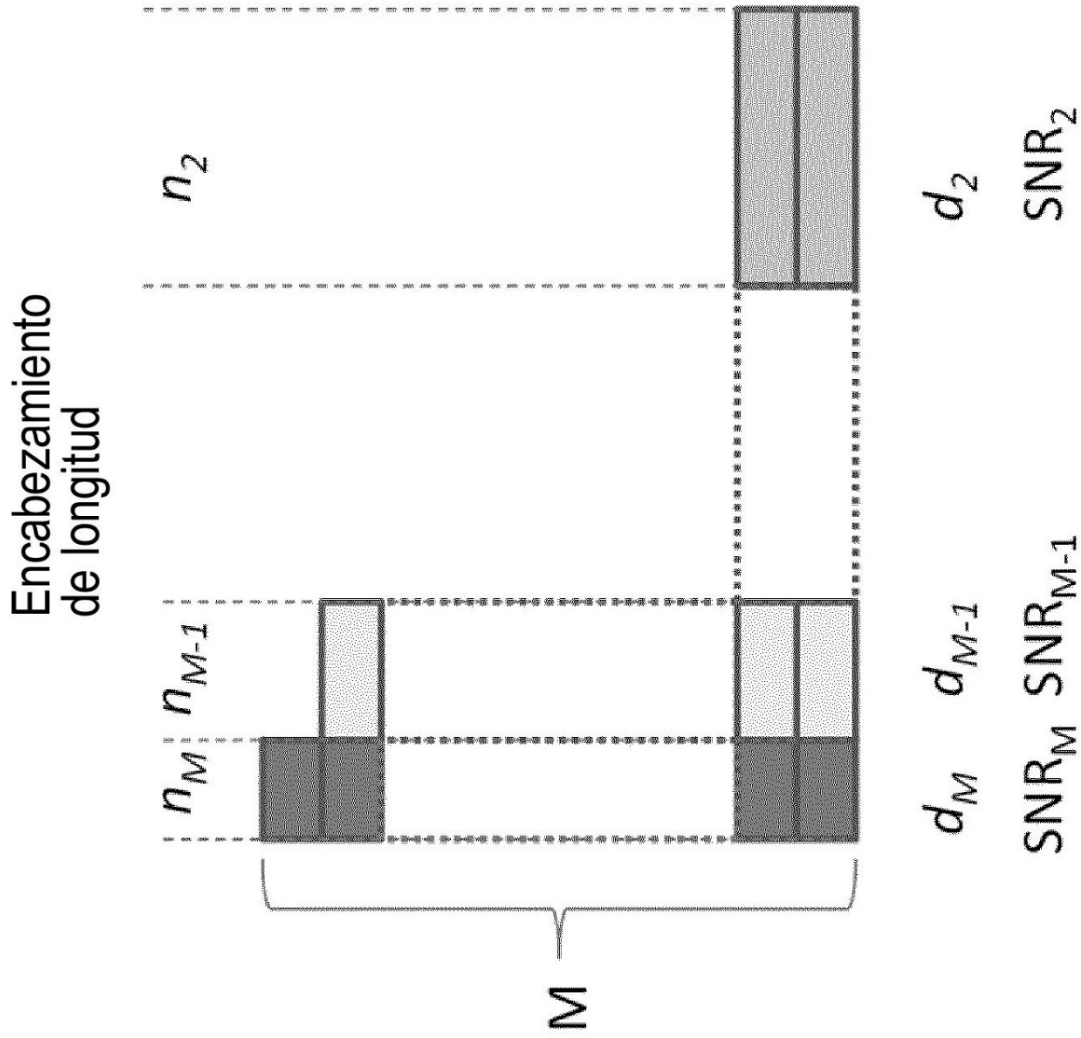


Fig. 4



$i$	$SNR_i$	$n_k$	$k_3$	$d_i$	$d_T$	$N_i$	$i \cdot N_i$
32	15	5	5	1	1	5	160
31	14	0	5	0	1	5	155
30	13	0	5	0	1	5	150
29	12	0	5	0	1	5	145
28	11	5	5	1	2	10	280
27	10	0	5	0	2	10	270
26	9	0	5	0	2	10	260
25	8	5	5	1	3	15	375
24	7	0	5	0	3	15	360
23	6	5	5	1	4	20	460
22	5	5	5	1	5	25	550
21	4	5	5	1	6	30	630
20	3	6	5	2	8	36	720
19	2	5	5	1	9	41	779
18	1	8	5	3	12	49	882
17	0	6	5	2	14	55	935
16	-1	7	4	4	18	62	992
15	-2	7	4	4	22	69	1035
14	-3	10	4	6	28	79	1106
13	-4	12	4	7	35	91	1183
12	-5	15	4	9	44	106	1272
11	-6	14	4	10	54	120	1320
10	-7	19	4	14	68	139	1390
9	-8	21	4	16	84	160	1440
8	-9	27	3	21	105	187	1496
7	-10	31	3	26	131	218	1526
6	-11	37	3	31	162	255	1530
5	-12	45	3	39	201	300	1500
4	-13	50	2	46	247	350	1400
3	-14	57	2	54	301	407	1221
2	-15	57	1	57	358	464	928
						$E\{N_i\} = 119$	$E\{i \cdot N_i\} = 853.226$

51

52

Fig. 5

$i$	$SNR_i$	$n_i$	$k_i$	$d_i$	$dR$	$N_i$	$i \cdot N_i$
32	15	5	5	1	1	5	160
31	14	0	5	0	1	5	155
30	13	0	5	0	1	5	150
29	12	0	5	0	1	5	145
28	11	5	5	1	2	10	280
27	10	0	5	0	2	10	270
26	9	0	5	0	2	10	260
25	8	5	5	1	3	15	375
24	7	0	5	0	3	15	360
23	6	5	5	1	4	20	460
22	5	5	5	1	5	25	550
21	4	5	5	1	6	30	630
20	3	6	5	2	8	36	720
19	2	5	5	1	9	41	779
18	1	9	5	3	12	50	900
17	0	6	5	2	14	56	952
16	-1	8	4	4	18	64	1024
15	-2	8	4	4	22	72	1080
14	-3	12	4	6	28	84	1176
13	-4	14	4	7	35	98	1274
12	-5	19	4	9	44	117	1404
11	-6	20	4	10	54	137	1507
10	-7	27	4	14	68	164	1640
9	-8	30	4	16	84	194	1746
8	-9	38	3	21	105	232	1856
7	-10	46	3	26	131	278	1946
6	-11	55	3	31	162	333	1998
5	-12	69	3	39	201	402	2010
4	-13	69	2	46	247	471	1884
3	-14	81	2	54	301	552	1656
2	-15	57	1	57	358	609	1218
						$E\{N_i\} = 149$	$E\{i \cdot N_i\} = 985.968$

61

62

Fig. 6

$i$	$SNR_i$	$m_i$	$k_i$	$d_i$	$dT_i$	$N_i$	$i \cdot N_i$	$N_i(3)$
48	13.46	6	6	1	1	6	288	64
47	13.61	0	6	1	1	6	282	64
46	12.33	6	6	1	2	12	552	64
45	12.33	0	6	0	2	12	540	64
44	11.95	0	6	0	2	12	528	64
43	11.95	0	6	0	2	12	516	64
42	11.37	0	6	0	2	12	504	64
41	11.37	0	6	0	2	12	492	64
40	9.96	0	6	0	2	12	480	64
39	9.96	0	6	0	2	12	468	64
38	8.71	6	6	1	3	18	684	64
37	8.71	0	6	0	3	18	666	64
36	6.55	7	6	2	5	25	900	64
35	6.55	0	6	0	5	25	875	64
34	4.79	7	6	2	7	32	1088	96
33	4.79	0	6	0	7	32	1056	96
32	1.90	14	5	6	13	46	1472	96
31	1.90	0	5	0	13	46	1426	96
30	0.73	10	5	4	17	56	1680	96
29	0.73	0	5	0	17	56	1624	96
28	-0.16	9	5	3	20	65	1820	96
27	-0.16	0	5	0	20	65	1755	96
26	-1.91	21	5	10	30	86	2236	128
25	-1.91	0	5	0	30	86	2150	128
24	-2.28	6	5	2	32	92	2208	192
23	-3.17	15	5	7	39	107	2461	192
22	-3.17	0	5	0	39	107	2354	192
21	-4.93	40	5	20	59	147	3087	288
20	-6.18	39	5	19	78	186	3720	384
19	-6.18	0	5	0	78	186	3534	384
18	-7.94	75	5	38	116	261	4698	576
17	-7.94	0	5	0	116	261	4437	576
16	-9.19	71	4	37	153	332	5312	768
15	-9.19	0	4	0	153	332	4980	768
14	-10.16	71	4	37	190	403	5642	960
13	-10.16	0	4	0	190	403	5239	960
12	-11.92	139	4	73	263	542	6504	1344
11	-11.92	0	4	0	263	542	5962	1344
10	-12.71	134	4	71	334	676	6760	1728
9	-12.71	0	4	0	334	676	6084	1728
8	-13.59	123	3	70	404	799	6392	2112
7	-13.59	0	3	0	404	799	5593	2112
6	-14.63	174	3	99	503	973	5838	2688
5	-14.63	0	3	0	503	973	4864	2688
4	-15.72	188	2	125	628	1161	4644	3456
3	-15.72	0	2	0	628	1161	3483	3456
2	-16.79	124	1	124	752	1285	2570	4416
						$E\{N_i\} = 301$	$E\{i \cdot N_i\} = 2775.51$	$E\{N_i(3)\} = 750$



Fig. 7

$i$	$SNR_i$	$n_i$	$k_i$	$d_i$	$d_T$	$N_i$	$i \cdot N_i$
32	15	39	5	19	19	39	1248
31	14	0	5	0	19	39	1209
30	13	0	5	0	19	39	1170
29	12	0	5	0	19	39	1131
28	11	0	5	0	19	39	1092
27	10	0	5	0	19	39	1053
26	9	0	5	0	19	39	1014
25	8	0	5	0	19	39	975
24	7	0	5	0	19	39	936
23	6	0	5	0	19	39	897
22	5	0	5	0	19	39	858
21	4	0	5	0	19	39	819
20	3	0	5	0	19	39	780
19	2	0	5	0	19	39	741
18	1	0	5	0	19	39	702
17	0	0	5	0	19	39	663
16	-1	177	4	94	113	216	3456
15	-2	0	4	0	113	216	3240
14	-3	0	4	0	113	216	3024
13	-4	0	4	0	113	216	2808
12	-5	0	4	0	113	216	2592
11	-6	0	4	0	113	216	2376
10	-7	0	4	0	113	216	2160
9	-8	0	4	0	113	216	1944
8	-9	49	3	28	141	265	2120
7	-10	60	3	34	175	325	2275
6	-11	168	3	96	271	493	2958
5	-12	0	3	0	271	493	2465
4	-13	213	2	142	413	706	2824
3	-14	0	2	0	413	706	2118
2	-15	85	1	85	498	791	1582
						$E\{N_i\} = 216$	$E\{i \cdot N_i\} = 1717.1$

81



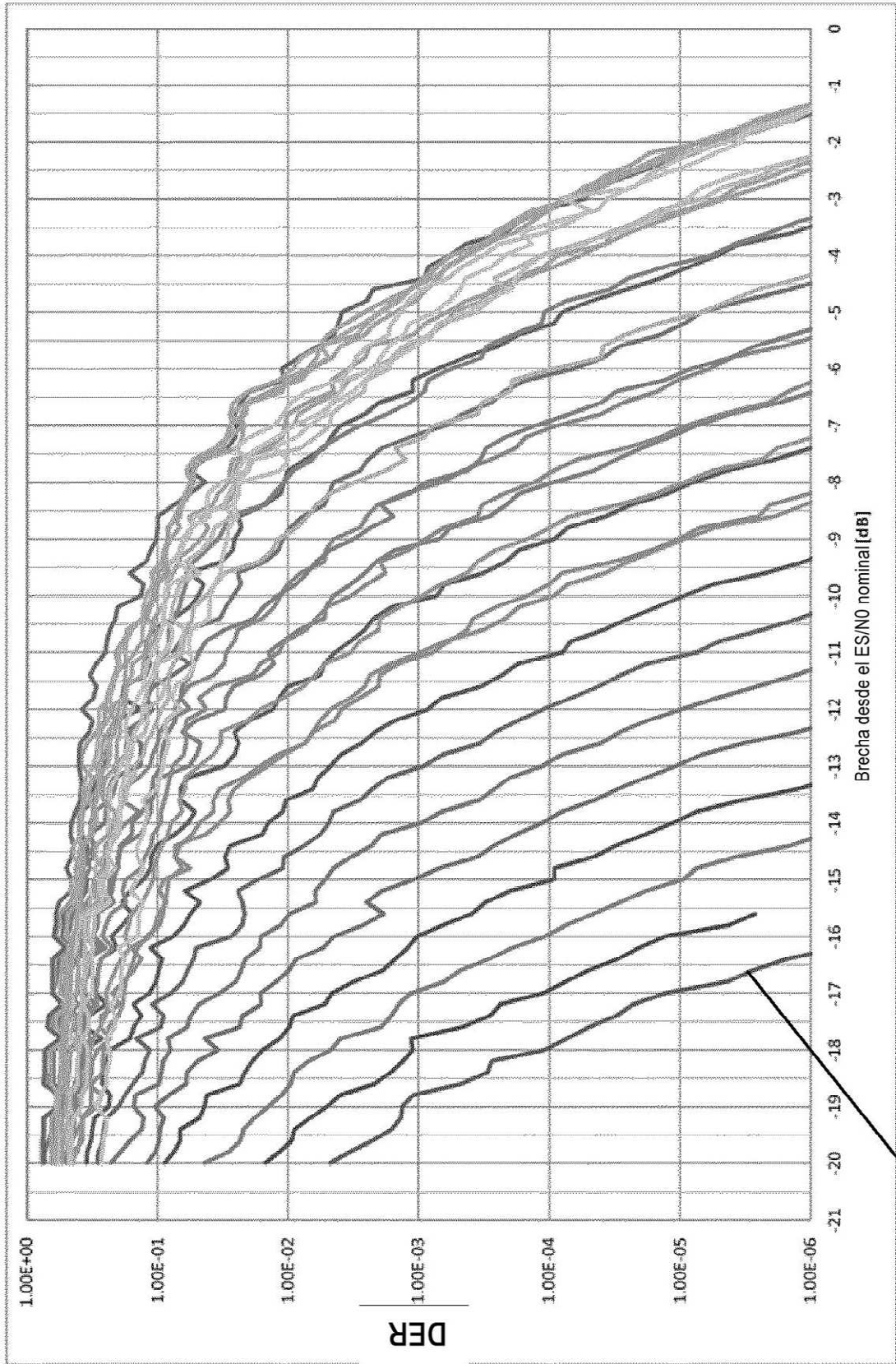
Fig. 8

$i$	$S_N R_i$	$n_i$	$k_i$	$d_i$	$d_{fr}$	$N_i$	$i \cdot N_i$	$N_i \cdot (3)$
48	13.46	17	6	7	7	17	816	64
47	13.61	0	6	0	7	17	799	64
46	12.33	0	6	0	7	17	782	64
45	12.33	0	6	0	7	17	765	64
44	11.95	0	6	0	7	17	748	64
43	11.95	0	6	0	7	17	731	64
42	11.37	0	6	0	7	17	714	64
41	11.37	0	6	0	7	17	697	64
40	9.96	0	6	0	7	17	680	64
39	9.96	0	6	0	7	17	663	64
38	8.71	0	6	0	7	17	646	64
37	8.71	0	6	0	7	17	629	64
36	6.55	0	6	0	7	17	612	64
35	6.55	0	6	0	7	17	595	64
34	4.79	0	6	0	7	17	578	96
33	4.79	0	6	0	7	17	561	96
32	1.9	62	5	32	39	79	2528	96
31	1.9	0	5	0	39	79	2449	96
30	0.73	0	5	0	39	79	2370	96
29	0.73	0	5	0	39	79	2291	96
28	-0.16	0	5	0	39	79	2212	96
27	-0.16	0	5	0	39	79	2133	96
26	-1.91	0	5	0	39	79	2054	128
25	-1.91	0	5	0	39	79	1975	128
24	-2.28	0	5	0	39	79	1896	192
23	-3.17	0	5	0	39	79	1817	192
22	-3.17	0	5	0	39	79	1738	192
21	-4.93	148	5	76	115	227	4767	288
20	-6.18	0	5	0	115	227	4540	384
19	-6.18	0	5	0	115	227	4313	384
18	-7.94	0	5	0	115	227	4086	576
17	-7.94	0	5	0	115	227	3859	576
16	-9.19	277	4	147	262	504	8064	768
15	-9.19	0	4	0	262	504	7500	768
14	-10.16	0	4	0	262	504	7056	960
13	-10.16	0	4	0	262	504	6552	960
12	-11.62	0	4	0	262	504	6048	1344
11	-11.62	0	4	0	262	504	5544	1344
10	-12.71	132	4	79	332	636	6360	1728
9	-12.71	0	4	0	332	636	5724	1728
8	-13.59	119	3	68	400	755	6040	2112
7	-13.59	0	3	0	400	755	5285	2112
6	-14.63	171	3	97	497	926	5556	2688
5	-14.63	0	3	0	497	926	4630	2688
4	-15.72	174	2	116	613	1100	4400	3456
3	-15.72	0	2	0	613	1100	3300	3456
2	-16.79	139	1	139	752	1239	2478	4416
						$E\{N_i\} = 285$	$E\{i \cdot N_i\} = 2992.36$	$E\{N_i\} = 750$

91

92

Fig. 9



101

Fig. 10

$j$	$N_j$	$c_j$
0	39	111100000000111101001010110010110101001
1	39	011010011001011111100000011000011111100
2	39	101001010101101011010100101100101011010
3	39	00111100110000100111111000011000001111
4	39	110000110011110100110011001011001100110
5	39	010110101010010110011001100001100110011
6	39	100101100110100010101101010101010010101
7	39	0000111111110000000011111111111000000
8	39	11111111000000101001101001010110010110
9	39	01100110100110011110011100000011000011
10	39	1010100101010011010011010100101100101
11	39	001100111100110001111001111110000110000
12	39	110011000011001100110100110011001011001
13	39	010101011010101110011110011001100001100
14	39	100110010110011010101010101101010101010
15	39	0000000011111100000000000111111111111
16	216	111100001111000101001010110101001010110 1010010101101101001100101101111001100001111000011001111001101001100101101111001100001111- 00001100111100110100110010110111100110000111100001100111100110100110010110110100110010110
17	216	011010010110100111100000011111100000011 11110000001101111001100001100111111100001111000000011110111100110000110011111111000011- 1100000000111101111001100001100111111100001111000000001111011110011000011011110011000011
18	216	101001011010010011010100101011010100101 011010100101101101010100101110011110011001100110000110011101101010101001011100111100110011- 0011000011001110110101010010111001111001100110000110011101101010100101101101010100101
19	216	001111000011110001111110000001111110000 00111111000000011111110000000001111111111111110000000000111111100000000001111111111- 11111100000000000111111110000000000111111111111110000000000111111110000000111111110000
20	216	110000111100001100110011001100110011001 1001100110011100110100110011111000011110011000011110000111100110100110011111000011110011- 000011110000111100110100110011110000111100110000111100001111001101001100110011010011001
21	216	010110100101101110011001100110011001100 110011001100011001111001100001111000011111110000111100000110011110011000011110000111111- 11000011110000110011110011000011110000111111100001111000011001111001100011001111001100
22	216	100101101001011010101101010010101101010 010101101010101010101010101010110011001100111100110011001100101010110101010110011001111- 00110011001100101010110101010110011001100111100110011001100101010110101010101010101010
23	216	000011110000111000000111111000000111111 00000011111100000001111111000000000001111111111111110000000111111100000000000011- 111111111111110000000111111110000000000001111111111111111000000011111110000000111111111
24	265	111111111111111101001101001101001101001 1010011010011101001011010011111001100001100111100110000111101001011010011111001100001100- 11110011000011110100101101001111100110000110011110011000011110100101101001110100101101001 1101001110100111010011101001110100111110011000011
25	325	01100110011001111100111100111100111100 11110011110001111000011111111100000001111111100000111100001111000011111111000000- 00111111110000011110000111100001111111100000001111111000000111100001111000011110000111100 01111000111100011110001111000111100001111111110000 011111100000111100011110001111000111100011110000111111110000
26	493	101010101010101011010011010011010011010 0110100110101011010010110101100111100110000110011110011001011010010110101100111100110000- 11001111001100101101001011010110011110011000011001111001100101101001011010101101001011010 10110101011010101101010110101011001111001100 10101101010101101010110101011010101101011001111001100 10110101011010101101010110101011001111001100101101010110101011010101101010110101100- 11110011001011010101101010110101011010101101011001111001100101101011001111001100

Fig. 11a





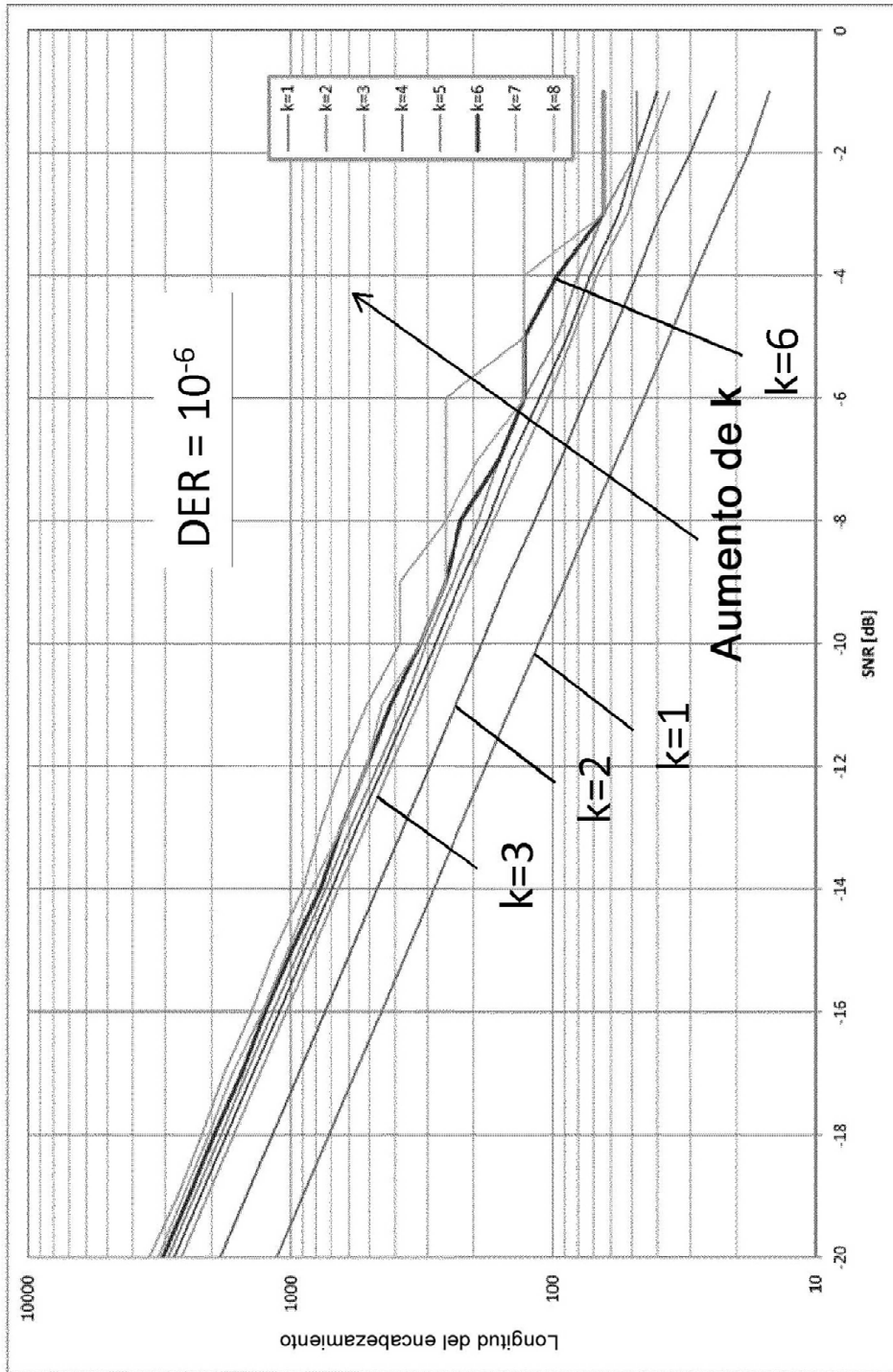


Fig. 12

SNR	k=1	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9
-20.0	1130	1854	2608	2776	2928	3072	3200	3456	3584
-19.0	898	1473	2072	2200	2320	2432	2560	2688	2816
-18.0	713	1170	1644	1752	1840	1952	2048	2176	<del>2304</del>
-17.0	567	930	1308	1392	1472	1536	<del>1664</del>	<del>1792</del>	1792
<b>-16.0</b>	450	738	1040	1104	<b>1168</b>	<del>1248</del>	1280	1408	1536
-15.0	358	588	824	880	928	992	1024	1152	1280
-14.0	284	468	656	696	736	768	832	896	1024
-13.0	226	372	520	560	592	640	640	768	768
-12.0	180	294	416	440	464	512	512	640	768
-11.0	143	234	328	352	368	416	448	512	512
-10.0	113	186	264	280	304	320	320	384	512
-9.0	90	150	208	224	240	256	256	384	512
-8.0	72	117	168	176	192	224	256	256	256
-7.0	57	93	132	144	160	160	192	256	256
-6.0	45	75	104	112	128	128	128	256	256
-5.0	36	60	84	88	96	128	128	128	256
-4.0	29	48	68	72	80	96	128	128	256
-3.0	23	39	52	56	64	64	64	128	256
-2.0	18	30	44	48	48	64	64	128	256
-1.0	15	24	36	40	48	64	64	128	256

131

Fig. 13

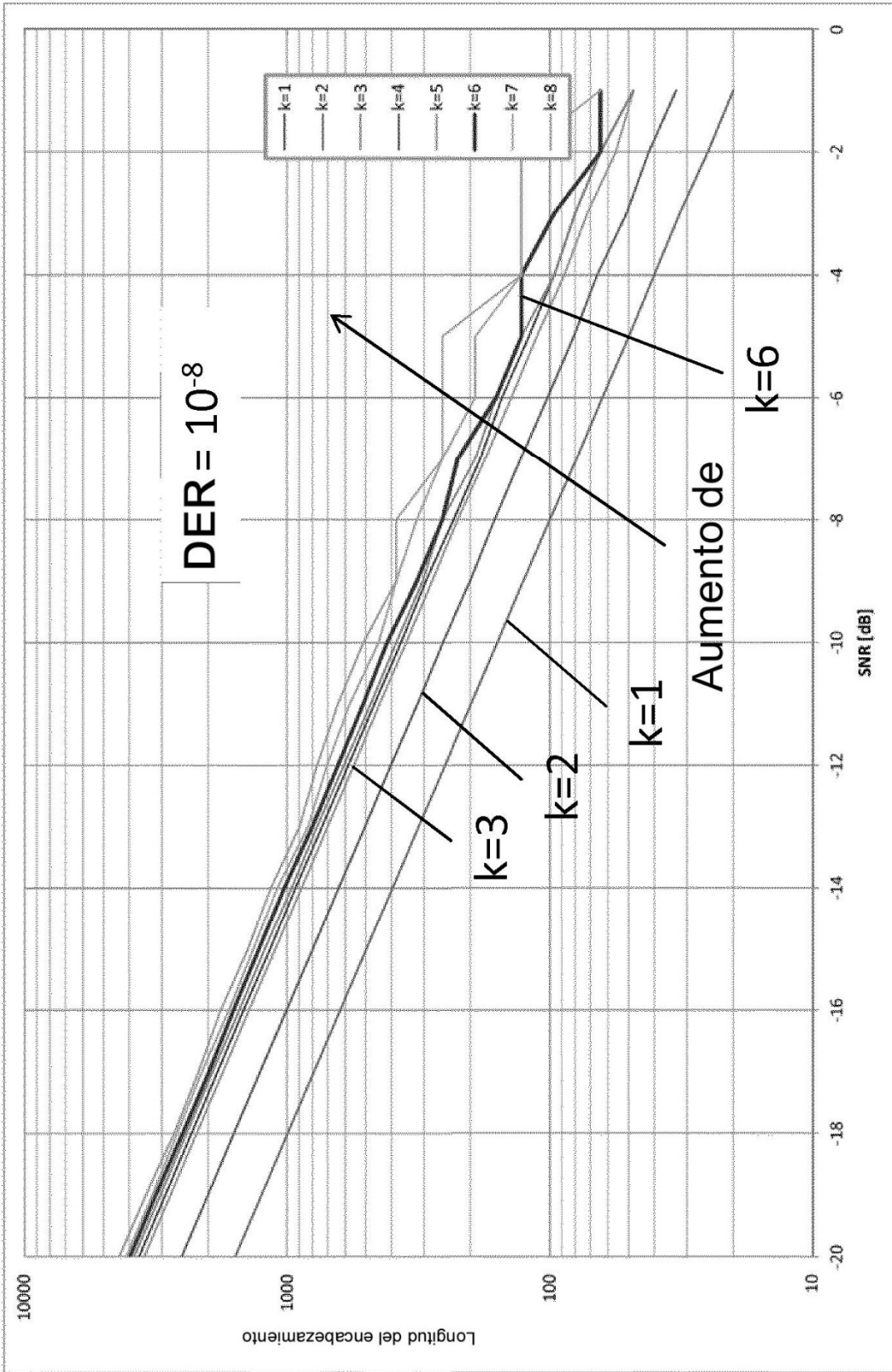


Fig. 14

SNR	$k=1$	$k=2$	$k=3$	$k=4$	$k=5$	$k=6$	$k=7$	$k=8$	$k=9$
-20.0	1575	2523	3500	3664	3824	3968	4096	4352	4608
-19.0	1251	2004	2780	2912	3040	3168	3264	3456	3584
-18.0	994	1593	2208	2312	2416	2496	2624	2688	2816
-17.0	790	1266	1756	1840	1920	1984	2112	2176	2304
<b>-16.0</b>	627	1005	1396	1464	<b>1520</b>	<b>1600</b>	1664	1792	1792
-15.0	498	798	1108	1160	1216	1280	1344	1408	1536
-14.0	396	636	880	928	960	1024	1088	1152	1280
-13.0	315	504	700	736	768	800	832	896	1024
-12.0	250	402	556	584	608	640	704	768	768
-11.0	199	318	444	464	480	512	576	640	768
-10.0	158	255	352	368	384	416	448	512	512
-9.0	126	201	280	296	304	320	384	384	512
-8.0	100	162	224	232	256	256	320	384	512
-7.0	79	129	176	184	192	224	256	256	256
-6.0	63	102	140	152	160	160	192	256	256
-5.0	50	81	112	120	128	128	192	256	256
-4.0	40	66	88	96	96	128	128	128	256
-3.0	32	51	72	80	80	96	128	128	256
-2.0	25	42	56	64	64	64	128	128	256
-1.0	20	33	48	48	48	64	64	128	256

151

Fig. 15