

19



OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 887 357**

21 Número de solicitud: 202031009

51 Int. Cl.:

**H04L 27/26** (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

**06.10.2020**

30 Prioridad:

**22.05.2020 ES P202030479**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**22.12.2021**

71 Solicitantes:

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID (75.0%)  
Avda. Ramiro de Maeztu, nº 7  
28040 Madrid ES y  
UNIVERSIDAD DE ALCALÁ (25.0%)**

72 Inventor/es:

**DOMÍNGUEZ JIMÉNEZ, María Elena;  
LUENGO GARCIA, David;  
SANSIGRE VIDAL, Gabriela y  
CRUZ ROLDÁN, Fernando**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

54 Título: **PROCEDIMIENTOS Y DISPOSITIVOS DE MODULACIÓN/DEMULACIÓN PARA COMUNICACIONES MULTIPORTADORA Y DE PORTADORA ÚNICA**

57 Resumen:

Procedimientos y dispositivos de modulación/demodulación para comunicaciones multiportadora y de portadora única.

La invención propone un procedimiento de modulación y tres procedimientos de demodulación válidos para comunicaciones punto a punto o multipunto con modulación multiportadora o de portadora única. El modulador engloba un conjunto de operaciones aritméticas en los datos correspondientes a los subcanales, y una transformada discreta del coseno tipo-I par. De este modo, reservando dos subportadores o subcanales por cada símbolo de N datos, se fuerza a que el símbolo transmitido en el dominio del tiempo tenga un primer y un último valor nulo. En demodulación, a la señal de entrada en el dominio del tiempo se le aplica un procedimiento denominado MIRA (Mirror, Replicate and Add), la transformada discreta del coseno tipo-I par, y un igualador que corrige las distorsiones presentes en cada subcanal. Ventajas: permiten operar con datos reales; permite mejorar el régimen binario o tasa de transmisión.

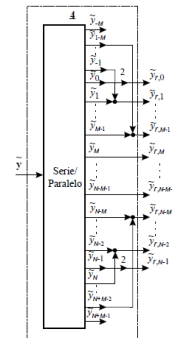


Fig. 7

ES 2 887 357 A1

## DESCRIPCIÓN

### PROCEDIMIENTOS Y DISPOSITIVOS DE MODULACIÓN/DEMULACIÓN PARA COMUNICACIONES MULTIPORTADORA Y DE PORTADORA ÚNICA

5

#### OBJETO DE LA INVENCIÓN

La invención propone un procedimiento de modulación y tres procedimientos de demodulación válidos para comunicaciones punto a punto o multipunto con modulación multiportadora o de portadora única. El modulador engloba un conjunto de sencillas operaciones aritméticas en los datos correspondientes a los subcanales, y una transformada discreta del coseno tipo-I par. En los procedimientos de demodulación, a la señal de entrada en el dominio del tiempo se le aplica un procedimiento denominado MIRA (*Mirror, Replicate and Add*), junto con una transformada discreta del coseno tipo-I par. A continuación, se corrigen los efectos del canal a través de la multiplicación con una matriz, que puede ser diagonal, favoreciendo la igualación por subcanal. Con los anteriores procedimientos, las comunicaciones presentan diversas características ventajosas propias de la modulación multiportadora basada en la transformada discreta del coseno.

20

#### SECTOR DE LA TÉCNICA

La invención se encuentra enmarcada en el sector de las telecomunicaciones. Ejemplos ilustrativos no limitativos de utilidad de la invención pueden ser comunicaciones por cable, fibra, inalámbricas, por la red eléctrica, todas las anteriores en aplicaciones de banda estrecha, ancha o ultrancha. Particularmente un método de modulación y demodulación, así como los dispositivos para transmitir y recibir.

25

#### ESTADO DE LA TÉCNICA

La mayoría de los estándares de comunicaciones de última generación despliegan en su capa física tecnologías basadas en técnicas de partición de canal. Ejemplo de dichas técnicas es la modulación multiportadora (MCM) (ver figura 1) basada en la transformada discreta de Fourier (DFT), entre las que se encuentran OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing - múltiplex por división en frecuencia ortogonal), con y sin ventana en el transmisor y/o receptor, y DMT (Discrete Multitone Modulation - modulación multitono discreta). Otro ejemplo es la modulación de

35

- portadora única (SC) con igualación en el dominio de la frecuencia (ver figura 2) que utiliza DFTs en el transmisor y/o receptor. Incluso tecnologías de acceso múltiple, que incluyen también acceso múltiple por división de frecuencia con portadora única (SC-FDMA), representado en la figura 3. Entre sus principales ventajas, se pueden citar su
- 5 efectividad para combatir el efecto multitrayecto o los desvanecimientos selectivos en frecuencia, permitiendo corregir los efectos del canal mediante igualadores en el dominio del tiempo y de la frecuencia con incluso un único coeficiente por subcanal [1], [2], [3].
- 10 Dichas técnicas se basan en la inclusión de datos redundantes en la señal transmitida, del tipo prefijo cíclico, rellenado de ceros, u otro tipo de secuencias con unas operaciones adicionales en el receptor. Este proceso es representado por una matriz  $\Gamma$  en las figuras 1, 2 y 3. El objetivo de la inclusión de estos datos redundantes es permitir que la señal recibida, que se caracteriza matemáticamente como una
- 15 convolución lineal entre los datos transmitidos y la respuesta al impulso que caracteriza al canal de comunicaciones, más un ruido, se transforme en el receptor en una convolución circular. De esta manera, al realizar en el receptor la DFT de determinados datos recibidos y, en su caso procesados, la operación convolución se transforma en un producto, y es posible llevar a cabo la igualación del canal completo
- 20 utilizando igualadores en cada uno de los subcanales. Sin embargo, la inclusión de datos redundantes es uno de los mayores inconvenientes de las tecnologías multiportadora y de portadora única basadas en la DFT, ya que disminuyen la tasa efectiva de transmisión de datos útiles (*data rate*).
- 25 Como alternativa a los sistemas basados en DFT, varios autores han propuesto el uso de diferentes transformadas, como la transformada discreta del coseno (DCT) de diferentes tipos [4], [5], [6], [7]. Estas transformadas presentan ventajas frente al uso de la DFT, como por ejemplo, un comportamiento más robusto en presencia de desplazamiento en frecuencia de la portadora. Pero todas las soluciones propuestas
- 30 hasta la fecha mantienen el uso de datos redundantes, aumentando incluso en algunas soluciones la cantidad de muestras que hay que insertar en cada símbolo transmitido. Con lo cual, el problema de encontrar una técnica de partición de canal eficiente y que no utilice datos redundantes todavía no está resuelto.
- 35 En la figura 1 se muestra el diagrama de bloques general para implementar una modulación multiportadora, aunque los procedimientos en esta invención también son

aplicables a sistemas de portadora única (figuras 2 y 3). En el transmisor, los datos se procesan con un algoritmo rápido de implementación mediante una transformada inversa de  $N$  puntos  $\mathbf{T}_a^{-1}$ , donde  $N$  es el número de subcanales o subportadoras (se utilizarán indistintamente ambos términos). En el receptor se realiza una transformada discreta  $\mathbf{T}_c$ , implementada también con un algoritmo rápido. En portadora única siguiendo el esquema de la figura 3,  $\mathbf{T}_d$  es otra transformación, que puede ser diferente a las anteriores, e incluso con un número de datos también distinto.

En sistemas OFDM/DMT, cada bloque de la figura 1 es definido como sigue. En el transmisor,  $\mathbf{T}_a^{-1}$  es una transformada discreta inversa de Fourier (IDFT), los datos paralelos se convierten en datos serie mediante un conversor paralelo-serie, y finalmente, al comienzo de cada símbolo  $\mathbf{x}$  que se transmite, se introduce alguna redundancia de longitud  $N_R$ , por ejemplo, un prefijo cíclico (CP) (ver figura 4), proceso representado por la matriz  $\mathbf{\Gamma}$ . En el receptor, tras un procesamiento a los datos recibidos, que está representado por una matriz  $\mathbf{Y}$  en las figuras 1, 2 y 3, se realiza una DFT en el bloque  $\mathbf{T}_c$  y finalmente un igualador en el dominio de la frecuencia (FEQ) corrige el efecto dispersivo del canal.

El diseño de transceptores multiportadora que emplean DCT2e en el transmisor ( $\mathbf{T}_a^{-1}$ ) y en el receptor ( $\mathbf{T}_c$ ) con extensiones simétricas (SE) es descrito en [4]. El resultado es ampliado en [6] para cualquier tipo de DCTs, y posteriormente, sistemas multiportadora o de portadora única basados en DCT4e usando extensiones simétricas (SE) o rellenado con ceros (zero-padding, ZP) son descritos en [7]. Otros trabajos relacionados con la utilización de DCT en MCM y SC son [8]-[14].

25

#### Bibliografía Completa:

- [1] J. Cioffi, "Digital communications, chap. 4: Multichannel modulation," <https://web.stanford.edu/group/cioffi/doc/book/chap4.pdf>.
- [2] J. A. C. Bingham, "Multicarrier modulation for data transmission: An idea whose time has come," IEEE Communications Magazine, vol. 28, no. 5, pp. 5–14, May 1990.
- [3] Y.-P. Lin, S.-M. Phoong, and P. P. Vaidyanathan, Filter Bank Transceivers for OFDM and DMT systems. Cambridge University Press, 2011.
- [4] N. Al-Dhahir, H. Minn, and S. Satish, "Optimum DCT-based multicarrier transceivers for frequency-selective channels," IEEE Transactions on Communications, vol. 54, no. 5, pp. 911–921, May 2006.

35

- [5] P. Tan and N. C. Beaulieu, "A comparison of DCT-based OFDM and DFT-based OFDM in frequency offset and fading channels," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 54, no. 11, pp. 2113–2125, November 2006.
- [6] F. Cruz–Roldán, M. Domínguez-Jiménez, G. Sansigre–Vidal, P. Amo–López,  
5 M. Blanco–Velasco, and Á . Bravo–Santos, "On the use of discrete cosine transforms for multicarrier communications," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 11, no. 11, pp. 6085–6090, November 2012.
- [7] F. Cruz–Roldán, M. Domínguez-Jiménez, G. Sansigre–Vidal, J. Piñeiro–Ave,  
10 and M. Blanco–Velasco, "Single-carrier and multicarrier transceivers based on discrete cosine transform type-IV," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 12, no. 12, pp. 6454–6463, December 2013.
- [8] M. E. Domínguez-Jiménez, D. Luengo, and F. Cruz-Roldán, "Channel estimation using type-III even discrete cosine transform in multicarrier communications," in *IEEE Statistical Signal Processing Workshop (SSP)*, 2018, pp.  
15 498–502.
- [9] M. E. Domínguez-Jiménez, D. Luengo, and G. Sansigre-Vidal, "Estimation of symmetric channels for discrete cosine transform type-I multicarrier systems: A compressed sensing approach," *The Scientific World Journal*, vol. 2015, 2015.
- [10] F. Cruz-Roldán, M. E. Domínguez-Jiménez, G. Sansigre-Vidal, D. Luengo, and  
20 M. Moonen, "DCT-based channel estimation for single and multicarrier communications," *Signal Processing*, vol. 128, pp. 332–339, 2016.
- [11] M. E. Domínguez-Jiménez, D. Luengo, G. Sansigre-Vidal, and F. Cruz-Roldán, "A novel channel estimation scheme for multicarrier communications with the type-I even discrete cosine transform," in *25th European Signal Processing Conference (EUSIPCO)*, 2017, pp. 2239–2243.  
25
- [12] M. E. Domínguez-Jiménez, G. Sansigre-Vidal, and D. Luengo, "Signal reconstruction in multicarrier communications by means of the discrete cosine transform type-III even," in *41st International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP)*, 2018, pp. 1–4.
- [13] M. E. Domínguez-Jiménez, D. Luengo, and G. Sansigre-Vidal, "Channel estimation based on the discrete cosine transform type-III even," in *26th European Signal Processing Conference (EUSIPCO)*, 2018, pp. 1297–1301.  
30
- [14] F. Cruz-Roldán, W. A. Martins, P.S. R. Diniz, M. Moonen, "Achievable Data Rate of DCT-Based Multicarrier Modulation Systems", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 18, no. 3, pp. 1739-1749, March 2019.  
35

**DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION**

La invención concierne igualmente a los procedimientos de modulación y demodulación de señales según se describen a continuación. Por supuesto, la invención también concierne a los dispositivos de modulación y demodulación que llevan a cabo dichos procedimientos de modulación y demodulación, respectivamente.

La presente invención solventa diversos problemas que afectan a otras técnicas propuestas con antelación. Los procedimientos de modulación y demodulación propuestos en la presente invención y para una relación señal a ruido fija, comparando con otros esquemas de modulación previamente conocidos en el estado de la técnica:

- a) permiten operar con datos reales cuando la modulación primaria también proporciona como resultado números reales;
- b) permite mejorar el régimen binario o tasa de transmisión.

En un primer aspecto de la invención, se divulga un procedimiento de modulación para comunicaciones multiportadora y de portadora única. El procedimiento de modulación comprende al menos los siguientes pasos:

- generar un vector de datos  $\mathbf{X} = [X_0, \dots, X_{N-1}]^T$  en el dominio transformado a partir de una señal, la cual está representada por un vector de  $N$  datos  $\mathbf{X}_e = [X_{e,0}, \dots, X_{e,N-1}]^T$  con dos datos nulos, tal que  $\mathbf{X}$  conserve los  $N - 2$  datos no nulos de  $\mathbf{X}_e$  sin modificar y se sustituyan los dos datos nulos de  $\mathbf{X}_e$  por otros dos datos nuevos calculados de forma que se cumpla:

$$X_0 + 2 \sum_{j=1}^{N-2} X_j + X_{N-1} = 0,$$

$$X_0 - 2 \sum_{j=1}^{N-2} (-1)^j \cdot X_j - X_{N-1} = 0,$$

- calcular un vector de datos en el dominio del tiempo  $\mathbf{x} = [0, x_1, \dots, x_{N-2}, 0]^T$  aplicando una transformada inversa al vector de datos  $\mathbf{X} = [X_0, \dots, X_{N-1}]^T$  ;
- calcular una señal como el vector de datos  $\mathbf{x}_{tx}$ , siendo dicho vector de datos  $\mathbf{x}_{tx}$  el resultado de añadir al vector de datos en el dominio del tiempo  $\mathbf{x} = [0, x_1, \dots, x_{N-2}, 0]^T$  un elemento seleccionado de entre un prefijo de ceros,

un sufijo de ceros y una combinación de ambos; y, aplicar una conversión paralelo a serie.

5 En una forma de realización del procedimiento de modulación según el primer aspecto de la invención, la transformada inversa que se aplica al vector de datos  $\mathbf{X} = [X_0, \dots, X_{N-1}]^T$ , es una transformada discreta del coseno tipo-I par - DCT1e, de tal forma que:

$$\mathbf{x} = \mathbf{C}_{1e} \cdot \mathbf{X}.$$

10 Más concretamente, la transformada discreta del coseno tipo-I par - DCT1e tiene unos coeficientes  $[\mathbf{C}_{1e}]_{k,j}$  definidos de la siguiente forma:

$$[\mathbf{C}_{1e}]_{k,j} = a_j \cos\left(\frac{kj\pi}{N-1}\right),$$

para  $0 \leq k, j \leq N-1$ ; donde los coeficientes  $a_j$  son:

15

$$a_j = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2(N-1)}}, & \text{si } j = 0, N-1, \\ \frac{2}{\sqrt{2(N-1)}}, & \text{resto,} \end{cases}$$

En otra forma de realización del procedimiento de modulación según el primer aspecto de la invención, el paso de calcular la señal como el vector de datos  $\mathbf{x}_{tx}$ , se lleva a cabo mediante la expresión:

$$\mathbf{x}_{tx} = \mathbf{\Gamma} \cdot \mathbf{x}$$

20 donde:

$$\mathbf{\Gamma} = \begin{bmatrix} \mathbf{0}_{\alpha \times N} \\ \mathbf{I}_N \\ \mathbf{0}_{\beta \times N} \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{x} = [0, x_1, \dots, x_{N-2}, 0]^T,$$

siendo  $\alpha$  el número de ceros que se añaden como prefijo, y  $\beta$  el número de ceros incluidos en el sufijo.

25

En un segundo aspecto de la invención, se divulga un procedimiento de demodulación para comunicaciones multiportadora o de portadora única. Este procedimiento de demodulación es aplicable a todos los procedimientos y sistemas de comunicaciones

punto a punto o punto a multipunto con modulación multiportadora o de portadora única. El procedimiento de demodulación comprende al menos los siguientes pasos:

- aplicar una conversión serie a paralelo a un vector de datos  $\tilde{\mathbf{y}}$  que representa una señal recibida;
- generar, a partir del vector de datos recibido  $\tilde{\mathbf{y}}$ , un vector de datos  $\tilde{\mathbf{y}}_r$  según la expresión:

$$\tilde{\mathbf{y}}_r = \mathbf{Y} \cdot \tilde{\mathbf{y}}$$

donde:

$$\begin{aligned} \tilde{\mathbf{y}} &= [\tilde{y}_{-M}, \tilde{y}_{1-M}, \dots, \tilde{y}_{N+M-2}, \tilde{y}_{N+M-1}]^T; \\ \tilde{\mathbf{y}}_r &= [\tilde{y}_0, \dots, \tilde{y}_{M-1}, \tilde{y}_M, \dots, \tilde{y}_{N-M}, \dots, \tilde{y}_{N-1}]^T \\ &+ [\tilde{y}_0, \dots, \tilde{y}_{1-M}, 0, \dots, 0, \tilde{y}_{N+M-2}, \dots, \tilde{y}_{N-1}]^T \\ \mathbf{Y} &= [\mathbf{0}_{N \times M} \quad \mathbf{I}_N \quad \mathbf{0}_{N \times M}] + \begin{bmatrix} \mathbf{0} & \mathbf{J}_M & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{J}_M & \mathbf{0} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

10

y donde  $\mathbf{J}_M$  es la matriz de orden  $M$ , denominada antidiagonal porque tiene 1's en la diagonal secundaria y ceros en el resto de elementos y  $\mathbf{0}$  es una matriz de ceros;

- calcular  $\tilde{\mathbf{Y}}_r$  aplicando una transformada discreta directa  $\mathbf{T}_c$  en el dominio del tiempo a  $\tilde{\mathbf{y}}_r$  de tal forma que:  $\tilde{\mathbf{Y}}_r = \mathbf{T}_c \cdot \tilde{\mathbf{y}}_r$ ;
- llevar a cabo una igualación del canal.

15

En una forma de realización del procedimiento de demodulación según el segundo aspecto de la invención, la transformada discreta directa  $\mathbf{T}_c$  en el dominio del tiempo es una transformada discreta del coseno tipo-I par - DCT1e, de tal forma que:

20

$$\tilde{\mathbf{Y}}_r = \mathbf{C}_{1e} \cdot \tilde{\mathbf{y}}_r.$$

donde  $\tilde{\mathbf{Y}}_r$  es un vector de datos en el dominio transformado y donde la transformada discreta del coseno tipo-I par - DCT1e tiene unos coeficientes  $[\mathbf{C}_{1e}]_{k,j}$  definidos de la siguiente forma:

25

$$[\mathbf{C}_{1e}]_{k,j} = a_j \cos\left(\frac{kj\pi}{N-1}\right),$$

para  $0 \leq k, j \leq N-1$ ;



donde los coeficientes  $a_j$  son:

$$a_j = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2(N-1)}}, & \text{si } j = 0, N-1, \\ \frac{2}{\sqrt{2(N-1)}}, & \text{resto,} \end{cases}$$

En otra forma de realización del procedimiento de demodulación según el segundo aspecto de la invención, la igualación del canal se lleva a cabo mediante la siguiente expresión:

$$\hat{\mathbf{X}} = \tilde{\mathbf{D}}^{-1} \cdot \tilde{\mathbf{Y}}_r$$

donde la matriz  $\tilde{\mathbf{D}}^{-1}$  es la inversa de una matriz  $\tilde{\mathbf{D}}$  cuya diagonal se obtiene mediante la siguiente operación:

$$\mathbf{C}_{1e} \cdot [h_0, h_1, \dots, h_{L-1}, 0, \dots, 0]^T.$$

Para el caso en que la modulación haya sido de portadora única (SC) con igualación en el dominio de la frecuencia que utilice DFTs en el transmisor y/o receptor. El procedimiento de demodulación de la presente invención adicionalmente comprende calcular un vector de datos  $\hat{\mathbf{x}}$  en el dominio del tiempo mediante la expresión:

$$\hat{\mathbf{x}} = \mathbf{T}_a^{-1} \cdot \hat{\mathbf{X}}$$

siendo:

$$\mathbf{T}_a^{-1} = \mathbf{T}_c^{-1} = \mathbf{C}_{1e}^{-1}.$$

Si alternativamente al caso anterior de portadora única, se ha utilizado en modulación tecnologías de acceso múltiple, que incluyen también acceso múltiple por división de frecuencia con portadora única (SC-FDMA), el procedimiento de demodulación de la presente invención adicionalmente comprende calcular un vector de datos  $\hat{\mathbf{x}}$  en el dominio del tiempo mediante la expresión:

$$\hat{\mathbf{x}} = \mathbf{T}_d^{-1} \cdot \hat{\mathbf{X}}$$

siendo  $\mathbf{T}_d^{-1}$  una transformada seleccionada entre al menos una DFT y una DCT.

En un tercer aspecto de la invención, se divulga un dispositivo de modulación para comunicaciones multiportadora o de portadora única. Este sistema de modulación es aplicable a todos los sistemas de comunicaciones punto a punto o punto a multipunto con modulación multiportadora o de portadora única. El dispositivo de modulación para comunicaciones multiportadora o de portadora única de la presente invención está

configurado para llevar a cabo el procedimiento de modulación anteriormente definido en el primer aspecto de la invención así como sus formas de realización.

Concretamente, el dispositivo de modulación para comunicaciones multiportadora o de portadora única de la presente invención comprende:

- un primer bloque de operaciones aritméticas configurado para generar un vector de datos  $\mathbf{X} = [X_0, \dots, X_{N-1}]^T$  en el dominio transformado a partir de una señal representada por un vector de  $N$  datos  $\mathbf{X}_e = [X_{e,0}, \dots, X_{e,N-1}]^T$  con dos datos nulos, tal que  $\mathbf{X}$  conserve los  $N - 2$  datos no nulos de  $\mathbf{X}_e$  sin modificar y se sustituyan los dos datos nulos de  $\mathbf{X}_e$  por otros dos datos nuevos calculados de forma que se cumpla:

$$X_0 + 2 \sum_{j=1}^{N-2} X_j + X_{N-1} = 0,$$

$$X_0 - 2 \sum_{j=1}^{N-2} (-1)^j \cdot X_j - X_{N-1} = 0,$$

- un segundo bloque conectado en serie con el primer bloque de operaciones aritméticas, donde el segundo bloque está configurado para al menos calcular un vector de datos en el dominio del tiempo  $\mathbf{x} = [0, x_1, \dots, x_{N-2}, 0]^T$  aplicando una transformada inversa al vector de datos  $\mathbf{X} = [X_0, \dots, X_{N-1}]^T$ ;
- un tercer bloque conectado en serie con el segundo bloque de operaciones aritméticas, donde el tercer bloque está configurado para al menos calcular un señal como el vector de datos  $\mathbf{x}_{tx}$ , siendo dicho vector de datos  $\mathbf{x}_{tx}$  el resultado de añadir al vector de datos en el dominio del tiempo  $\mathbf{x} = [0, x_1, \dots, x_{N-2}, 0]^T$  un elemento seleccionado de entre un prefijo de ceros, un sufijo de ceros y una combinación de ambos; y, aplicar una conversión paralelo a serie.

En un cuarto aspecto de la invención, se divulga un dispositivo de demodulación para comunicaciones multiportadora o de portadora única. Este sistema de demodulación es aplicable a todos los sistemas de comunicaciones punto a punto o punto a multipunto con modulación multiportadora o de portadora única. El dispositivo de demodulación para comunicaciones multiportadora o de portadora única de la presente invención está configurado para llevar a cabo el procedimiento de demodulación anteriormente definido en el segundo aspecto de la invención así como sus formas de realización.

Concretamente, el dispositivo de demodulación para comunicaciones multiportadora o de portadora única de la presente invención comprende:

- un cuarto bloque de operaciones aritméticas configurado para:
  - aplicar una conversión serie a paralelo a un vector de datos  $\tilde{\mathbf{y}}$  que representa una señal recibida de un dispositivo de emisión con modulación multiportadora o de portadora única;
  - generar, a partir del vector de datos recibido  $\tilde{\mathbf{y}}$ , un vector de datos  $\tilde{\mathbf{y}}_r$  según la expresión:

$$\tilde{\mathbf{y}}_r = \mathbf{Y} \cdot \tilde{\mathbf{y}}.$$

donde:

$$\begin{aligned} \tilde{\mathbf{y}} &= [\tilde{y}_{-M}, \tilde{y}_{1-M}, \dots, \tilde{y}_{N+M-2}, \tilde{y}_{N+M-1}]^T; \\ \tilde{\mathbf{y}}_r &= [\tilde{y}_0, \dots, \tilde{y}_{M-1}, \tilde{y}_M, \dots, \tilde{y}_{N-M}, \dots, \tilde{y}_{N-1}]^T \\ &+ [\tilde{y}_0, \dots, \tilde{y}_{1-M}, 0, \dots, 0, \tilde{y}_{N+M-2}, \dots, \tilde{y}_{N-1}]^T \\ \mathbf{Y} &= [\mathbf{0}_{N \times M} \quad \mathbf{I}_N \quad \mathbf{0}_{N \times M}] + \begin{bmatrix} \mathbf{0} & \mathbf{J}_M & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{J}_M & \mathbf{0} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

y donde  $\mathbf{J}_M$  es la matriz de orden  $M$ , denominada antidiagonal porque tiene 1's en la diagonal secundaria y ceros en el resto de elementos y  $\mathbf{0}$  es una matriz de ceros;

- un quinto bloque de operaciones aritméticas conectado en serie con el cuarto bloque de operaciones aritméticas, donde el quinto bloque de operaciones aritméticas está configurado calcular  $\tilde{\mathbf{Y}}_r$  aplicando una transformada discreta directa  $\mathbf{T}_c$  en el dominio del tiempo a  $\tilde{\mathbf{y}}_r$  de tal forma que:  $\tilde{\mathbf{Y}}_r = \mathbf{T}_c \cdot \tilde{\mathbf{y}}_r$  ;
- un sexto bloque de operaciones aritméticas conectado en serie con el quinto bloque de operaciones aritméticas, donde el sexto bloque de operaciones aritméticas está configurado llevar a cabo una igualación del canal mediante la expresión:

$$\hat{\mathbf{X}} = \tilde{\mathbf{D}}^{-1} \cdot \tilde{\mathbf{Y}}_r$$

donde la matriz  $\tilde{\mathbf{D}}^{-1}$  es la inversa de una matriz cuyos coeficientes se obtienen a partir de la respuesta al impulso del canal de comunicación.

En una forma de realización, el sexto bloque calcula la matriz  $\tilde{\mathbf{D}}^{-1}$  que es la inversa de la matriz cuya diagonal se obtiene mediante la siguiente operación:

$$\mathbf{C}_{1e} \cdot [h_0, h_1, \dots, h_{L-1}, 0, \dots, 0]^T,$$

donde:

$$[\mathbf{C}_{1e}]_{k,j} = a_j \cos\left(\frac{kj\pi}{N-1}\right),$$

para  $0 \leq k, j \leq N-1$ ;

donde los coeficientes  $a_j$  son:

$$a_j = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2(N-1)}}, & \text{si } j = 0, N-1, \\ \frac{2}{\sqrt{2(N-1)}}, & \text{resto.} \end{cases}$$

Adicionalmente, el dispositivo de demodulación para comunicaciones multiportadora o de portadora única de la presente invención puede comprender un séptimo bloque de operaciones aritméticas conectado en serie con el sexto bloque de operaciones aritméticas, donde el séptimo bloque de operaciones aritméticas calcula un vector de datos  $\hat{\mathbf{x}}$  en el dominio del tiempo mediante la expresión:

$$\hat{\mathbf{x}} = \mathbf{T}_a^{-1} \cdot \hat{\mathbf{X}}$$

10 siendo:

$$\mathbf{T}_a^{-1} = \mathbf{T}_c^{-1} = \mathbf{C}_{1e}^{-1}.$$

Adicionalmente, el dispositivo de demodulación para comunicaciones multiportadora o de portadora única de la presente invención puede comprender un octavo bloque de operaciones aritméticas conectado en serie con el sexto bloque de operaciones aritméticas, donde el octavo bloque de operaciones aritméticas calcula un vector de datos  $\hat{\mathbf{x}}$  en el dominio del tiempo mediante la expresión:

$$\hat{\mathbf{x}} = \mathbf{T}_d^{-1} \cdot \hat{\mathbf{X}}$$

siendo  $\mathbf{T}_d^{-1}$  una transformada seleccionada entre al menos una DFT y una DCT.

20

## DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Figura 1. Diagrama de bloques de un sistema de comunicaciones multiportadora basado en transformadas sobre un canal con ruido aditivo del estado de la técnica.

25

Figura 2. Diagrama de bloques de un sistema de comunicaciones con portadora única con igualación en el dominio de la frecuencia basado en transformadas sobre un canal con ruido aditivo del estado de la técnica.

5 Figura 3. Diagrama de bloques de un sistema de comunicaciones con acceso múltiple por división de frecuencia con portadora única basado en transformadas sobre un canal con ruido aditivo del estado de la técnica.

10 Figura 4. Ilustración de una señal con prefijo cíclico para sistemas basados en DFT del estado de la técnica.

Figura 5. Diagrama de bloques que describe el dispositivo y el procedimiento de modulación propuesto en la presente invención para su posterior transmisión a un receptor.

15

Figura 6. Diagrama de bloques que describe el dispositivo y el procedimiento de demodulación propuesto en la presente invención para un receptor del estado de la técnica según la Figura 1.

20 Figura 7. Diagrama de bloques y operaciones del bloque 4 (MIRA).

Figura 8. Diagrama de bloques que describe el dispositivo y el procedimiento de demodulación propuesto en la presente invención para un receptor del estado de la técnica según la Figura 2.

25

Figura 9. Diagrama de bloques que describe el dispositivo y el procedimiento de demodulación propuesto en la presente invención para un receptor del estado de la técnica según la Figura 3.

### 30 DESCRIPCIÓN DE UNA FORMA DE REALIZACIÓN DE LA INVENCION

El procedimiento de modulación propuesto en la invención se caracteriza por el diagrama de bloques que se muestra en la figura 5. Este procedimiento sería válido para sistemas multiportadora (figura 1) y de portadora única para acceso múltiple (figura 3), pues comprende elementos fundamentales de los mismos. Se parte de una  
 35 señal que constituye el vector de  $N$  datos  $\mathbf{X}_e = [X_{e,0}, \dots, X_{e,N-1}]^T$  en el dominio

transformado, los cuales son el resultado de aplicar un conjunto de algoritmos de procesamiento a una señal binaria, salvo dos datos, que son nulos. Este vector  $X_e$  se introduce en el bloque de operaciones aritméticas **1** de la figura 5, que proporciona como salida el vector de  $N$  datos  $X = [X_0, \dots, X_{N-1}]^T$ , el cual contiene  $N-2$  componentes comunes con  $X_e$  y además se deben cumplir las siguientes condiciones:

$$X_0 + 2 \sum_{j=1}^{N-2} X_j + X_{N-1} = 0, \quad (1)$$

$$X_0 - 2 \sum_{j=1}^{N-2} (-1)^j \cdot X_j - X_{N-1} = 0, \quad (2)$$

10 Por ejemplo, si las componentes nulas de  $X_e$  son la primera y última (es decir,  $X_{e,0} = X_{e,N-1} = 0$ ), entonces el bloque **1** de la figura 5 define el vector  $X$  de la siguiente forma: sus componentes centrales son  $X_i = X_{e,i}$  para  $1 \leq i \leq N-2$ , mientras que los valores de la primera y última subportadora de  $X$  se calculan como

$$15 \quad X_0 = -2 \sum_{j=1}^{N/2-1} X_{e,2j-1}, \quad (3)$$

$$X_{N-1} = -2 \sum_{j=1}^{N/2-1} X_{e,2j}, \quad (4)$$

De este modo se garantiza el cumplimiento de las condiciones (1) y (2) del vector  $X$ .

20 A continuación, el bloque **2** multiplica el vector de datos transformados  $X = [X_0, \dots, X_{N-1}]^T$  por la matriz  $T_a^{-1}$ . En este ejemplo de realización de la invención, la matriz  $T_a^{-1} = C_{1e}$ , es decir,  $C_{1e}$  es una DCT tipo-I par donde cada elemento se obtiene del siguiente modo

$$[C_{1e}]_{k,j} = a_j \cos\left(\frac{kj\pi}{N-1}\right), \quad (5)$$

25 para  $0 \leq k, j \leq N-1$ . Los coeficientes  $a_j$  pueden ser definidos de diferentes maneras. Como ejemplo ilustrativo no limitativo, la definición

$$a_j = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2(N-1)}}, & \text{si } j = 0, N-1, \\ \frac{2}{\sqrt{2(N-1)}}, & \text{resto,} \end{cases} \quad (6)$$

30 asegura que se cumpla la propiedad de involución:  $C_{1e} = C_{1e}^{-1}$ . El resultado de esta operación matricial es un símbolo de  $N$  datos en el dominio del tiempo  $x = [x_0, \dots, x_{N-1}]^T$  que serán posteriormente transmitidos. Las ecuaciones (1) y (2) garantizan que el símbolo de  $N$  datos es de la forma  $x = [0, x_1, \dots, x_{N-2}, 0]^T$ . La

ecuación salida-entrada en el bloque 2 del modulador, a partir de la salida del bloque **1** de operaciones aritméticas, es la siguiente:

$$\mathbf{x} = \mathbf{C}_{1e} \cdot \mathbf{X}.$$

5 Finalmente, la señal  $\mathbf{x}_{tx}$  es el resultado de añadir un prefijo y/o un sufijo de ceros al vector de datos en el dominio del tiempo. Esta operación la realiza el bloque **3** de la forma

$$\mathbf{x}_{tx} = \mathbf{\Gamma} \cdot \mathbf{x},$$

donde

10

$$\mathbf{\Gamma} = \begin{bmatrix} \mathbf{0}_{\alpha \times N} \\ \mathbf{I}_N \\ \mathbf{0}_{\beta \times N} \end{bmatrix},$$

siendo  $\alpha$  el número de ceros que se añaden como prefijo, y  $\beta$  el número de ceros incluidos en el sufijo. El convertidor paralelo serie transforma la matriz columna de dimensiones  $(N + \alpha + \beta) \times 1$  en un vector de dimensiones  $1 \times (N + \alpha + \beta)$ .

15 En la invención también se proponen tres procedimientos de demodulación. El primero se caracteriza por el diagrama de bloques de la figura 6, y sería válido para tres tipos de sistemas: multiprotadora (figura 1), de portadora única para acceso múltiple (figura 3), y de portadora única con igualación en el dominio de la frecuencia (figura 2). Además, este procedimiento es común a todos los demoduladores de la invención  
20 (figuras 6, 8 y 9).

Se parte del vector de datos  $\tilde{\mathbf{y}} = [\tilde{y}_{-M}, \tilde{y}_{1-M}, \dots, \tilde{y}_{N+M-2}, \tilde{y}_{N+M-1}]^T$  que provienen de los datos recibidos correspondientes al símbolo transmitido  $\mathbf{x}_{tx}$ , tras su paso por el canal de comunicaciones, y unos procesos de sincronización y de filtrado,  
25 si se requiriesen. La primera etapa es el bloque **4**, representado en la figura 7. A partir del vector de datos  $\tilde{\mathbf{y}}$ , se obtiene el vector:

$$\begin{aligned} \tilde{\mathbf{y}}_r = & \\ & [\tilde{y}_0, \dots, \tilde{y}_{M-1}, \tilde{y}_M, \dots, \tilde{y}_{N-M}, \dots, \tilde{y}_{N-1}]^T + \\ & [\tilde{y}_0, \dots, \tilde{y}_{1-M}, 0, \dots, 0, \tilde{y}_{N+M-2}, \dots, \tilde{y}_{N-1}]^T \end{aligned} \quad (7)$$

30

Este procedimiento novedoso, que se puede denominar en inglés de *Mirror, Replicate and Add* (MIRA), se puede caracterizar por una multiplicación de  $\tilde{\mathbf{y}}$  por una matriz  $\mathbf{Y}$  que se define como

$$\mathbf{Y} = [\mathbf{0}_{N \times M} \quad \mathbf{I}_N \quad \mathbf{0}_{N \times M}] + \begin{bmatrix} \mathbf{0} & \mathbf{J}_M & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{J}_M & \mathbf{0} \end{bmatrix}, \quad (8)$$

donde  $\mathbf{J}_M$  es la matriz de orden  $M$ , denominada antidiagonal porque tiene 1's en la diagonal secundaria y ceros en el resto de elementos. Por otro lado,  $\mathbf{0}$  es una matriz de ceros con las dimensiones adecuadas.

A continuación, en el bloque **5**, que es común en los tres demoduladores de la invención (figuras 6, 8 y 9), se multiplica el vector de datos  $\tilde{\mathbf{y}}_r$  en el dominio del tiempo por la matriz  $\mathbf{T}_c = \mathbf{C}_{1e}$ , definida con anterioridad.

El bloque **6** lleva a cabo la igualación del canal. Esta operación se caracteriza por la multiplicación de los datos resultantes  $\tilde{\mathbf{Y}}_r$  por una matriz  $\tilde{\mathbf{D}}^{-1}$ , que generalmente es diagonal. En este caso, la igualación del canal se puede realizar con filtros independientes en cada uno de los subcanales. A modo de ejemplo ilustrativo no limitativo, consideremos la respuesta al impulso global simétrica y que caracteriza al canal de comunicaciones (ver figuras 1, 2 y 3):

$$\mathbf{h} = \mathbf{h}_{ch} * \mathbf{h}_{pf},$$

dónde

$$\mathbf{h} = [h_{L-1}, \dots, h_1, h_0, h_1, \dots, h_{L-1}].$$

La matriz  $\tilde{\mathbf{D}}$  puede tener elementos en la diagonal principal obtenidos mediante la siguiente operación

$$\mathbf{C}_{1e} \cdot [h_0, h_1, \dots, h_{L-1}, 0, \dots, 0]^T. \quad (9)$$

La ecuación salida-entrada del receptor es la siguiente:

$$\hat{\mathbf{X}} = \tilde{\mathbf{D}}^{-1} \cdot \mathbf{C}_{1e} \cdot \mathbf{Y} \cdot \tilde{\mathbf{y}}.$$

La invención que caracteriza al segundo demodulador (figura 8) es útil para un sistema de portadora única por igualación en el dominio de la frecuencia. Los primeros bloques de procesamiento son similares a los de la figura 6, pero en este caso, tras el bloque **6**, se ubica el bloque **7**, que realiza la transformada discreta inversa del coseno tipo-I par. Este bloque **7** es similar al bloque **2** mostrado en la figura 5.



El demodulador 3 propuesto en la invención, representado en la figura 9, se puede utilizar para un sistema de acceso múltiple por división de frecuencia con portadora única. A continuación del bloque 6 se ubica un bloque 8 que realiza una transformada inversa  $\mathbf{T}_d^{-1}$ , que puede tener un número de datos diferente al de los bloques 2 y 5.

- 5 Esta transformada puede ser la DFT, cualquiera DCT, u otro tipo de transformación utilizada en el modulador correspondiente.

**REIVINDICACIONES**

1.- Procedimiento de modulación para comunicaciones multiportadora y de portadora única, caracterizado porque comprende:

- 5
- generar un vector de datos  $\mathbf{X} = [X_0, \dots, X_{N-1}]^T$  en el dominio transformado a partir de una señal, la cual está representada por un vector de  $N$  datos  $\mathbf{X}_e = [X_{e,0}, \dots, X_{e,N-1}]^T$  con dos datos nulos, tal que  $\mathbf{X}$  conserve los  $N - 2$  datos no nulos de  $\mathbf{X}_e$  sin modificar y se sustituyan los dos datos nulos de  $\mathbf{X}_e$  por otros dos datos nuevos calculados de forma que se cumpla:

10

$$X_0 + 2 \sum_{j=1}^{N-2} X_j + X_{N-1} = 0,$$

$$X_0 - 2 \sum_{j=1}^{N-2} (-1)^j \cdot X_j - X_{N-1} = 0,$$

- calcular un vector de datos en el dominio del tiempo  $\mathbf{x} = [0, x_1, \dots, x_{N-2}, 0]^T$  aplicando una transformada inversa al vector de datos  $\mathbf{X} = [X_0, \dots, X_{N-1}]^T$  ;
  - calcular un señal como el vector de datos  $\mathbf{x}_{tx}$ , siendo dicho vector de datos  $\mathbf{x}_{tx}$  el resultado de añadir al vector de datos en el dominio del tiempo  $\mathbf{x} = [0, x_1, \dots, x_{N-2}, 0]^T$  un elemento seleccionado de entre un prefijo de ceros, un sufijo de ceros y una combinación de ambos; y, aplicar una conversión paralelo a serie.
- 15

20 2.- Procedimiento de modulación para comunicaciones multiportadora y de portadora única según la reivindicación 1, caracterizado porque la transformada inversa que se aplica al vector de datos  $\mathbf{X} = [X_0, \dots, X_{N-1}]^T$ , es una transformada discreta del coseno tipo-I par - DCT1e, de tal forma que:

25

$$\mathbf{x} = \mathbf{C}_{1e} \cdot \mathbf{X}.$$

3.- Procedimiento de modulación para comunicaciones multiportadora y de portadora única según la reivindicación 2, caracterizado porque la transformada discreta del coseno tipo-I par - DCT1e tiene unos coeficientes  $[\mathbf{C}_{1e}]_{k,j}$  definidos de la siguiente forma:

30

$$[\mathbf{C}_{1e}]_{k,j} = a_j \cos\left(\frac{kj\pi}{N-1}\right),$$

para  $0 \leq k, j \leq N-1$ ; donde los coeficientes  $a_j$  son:

$$a_j = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2(N-1)}}, & \text{si } j = 0, N-1, \\ \frac{2}{\sqrt{2(N-1)}}, & \text{resto.} \end{cases}$$

- 5 4.- Procedimiento de modulación para comunicaciones multiportadora y de portadora única según la reivindicación 1, caracterizado porque el sufijo de ceros y la combinación de ambos se lleva a cabo mediante la siguiente matriz:

$$\mathbf{\Gamma} = \begin{bmatrix} \mathbf{0}_{\alpha \times N} \\ \mathbf{I}_N \\ \mathbf{0}_{\beta \times N} \end{bmatrix},$$

- 10 siendo  $\alpha$  el número de ceros que se añaden como prefijo, y  $\beta$  el número de ceros incluidos en el sufijo; y de tal forma que:

$$\mathbf{x}_{tx} = \mathbf{\Gamma} \cdot \mathbf{x}.$$

5.- Procedimiento de demodulación para comunicaciones multiportadora y de portadora única, caracterizado porque comprende:

- 15
- aplicar una conversión serie a paralelo a un vector de datos  $\tilde{\mathbf{y}}$  que representa una señal recibida;
  - generar, a partir del vector de datos recibido  $\tilde{\mathbf{y}}$ , un vector de datos  $\tilde{\mathbf{y}}_r$  según la expresión:

$$\tilde{\mathbf{y}}_r = \mathbf{Y} \cdot \tilde{\mathbf{y}}$$

donde:

20

$$\begin{aligned} \tilde{\mathbf{y}} &= [\tilde{y}_{-M}, \tilde{y}_{1-M}, \dots, \tilde{y}_{N+M-2}, \tilde{y}_{N+M-1}]^T; \\ \tilde{\mathbf{y}}_r &= [\tilde{y}_0, \dots, \tilde{y}_{M-1}, \tilde{y}_M, \dots, \tilde{y}_{N-M}, \dots, \tilde{y}_{N-1}]^T \\ &+ [\tilde{y}_0, \dots, \tilde{y}_{1-M}, 0, \dots, 0, \tilde{y}_{N+M-2}, \dots, \tilde{y}_{N-1}]^T \\ \mathbf{Y} &= [\mathbf{0}_{N \times M} \quad \mathbf{I}_N \quad \mathbf{0}_{N \times M}] + \begin{bmatrix} \mathbf{0} & \mathbf{J}_M & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{J}_M & \mathbf{0} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

y donde  $\mathbf{J}_M$  es la matriz de orden  $M$ , denominada antidiagonal porque tiene 1's en la diagonal secundaria y ceros en el resto de elementos y  $\mathbf{0}$  es una matriz de ceros;

- 5
- calcular  $\tilde{\mathbf{Y}}_r$  aplicando una transformada discreta directa  $\mathbf{T}_c$  en el dominio del tiempo a  $\tilde{\mathbf{y}}_r$  de tal forma que:  $\tilde{\mathbf{Y}}_r = \mathbf{T}_c \cdot \tilde{\mathbf{y}}_r$ ;
  - llevar a cabo una igualación del canal.

6.- Procedimiento de demodulación para comunicaciones multiportadora y de portadora única, según la reivindicación 5, caracterizado porque la transformada discreta directa  $\mathbf{T}_c$  en el dominio del tiempo es una transformada discreta del coseno tipo-I par - DCT1e, de tal forma que:

10

$$\tilde{\mathbf{Y}}_r = \mathbf{C}_{1e} \cdot \tilde{\mathbf{y}}_r$$

15 donde  $\tilde{\mathbf{Y}}_r$  es un vector de datos en el dominio transformado.

7.- Procedimiento de demodulación para comunicaciones multiportadora y de portadora única, según la reivindicación 6, caracterizado porque la transformada discreta del coseno tipo-I par - DCT1e tiene unos coeficientes  $[\mathbf{C}_{1e}]_{k,j}$  definidos de la siguiente forma:

20

$$[\mathbf{C}_{1e}]_{k,j} = a_j \cos\left(\frac{kj\pi}{N-1}\right),$$

para  $0 \leq k, j \leq N-1$ ;

donde los coeficientes  $a_j$  son:

$$a_j = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2(N-1)}}, & \text{si } j = 0, N-1, \\ \frac{2}{\sqrt{2(N-1)}}, & \text{resto.} \end{cases}$$

8.- Procedimiento de demodulación para comunicaciones multiportadora y de portadora única, según la reivindicación 6 o 7, caracterizado porque la igualación del canal se lleva a cabo mediante la siguiente expresión:

25

$$\hat{\mathbf{X}} = \hat{\mathbf{D}}^{-1} \cdot \tilde{\mathbf{Y}}_r$$

donde la matriz  $\tilde{\mathbf{D}}^{-1}$  es la inversa de una matriz  $\tilde{\mathbf{D}}$  cuya diagonal se obtiene mediante la siguiente operación:

$$\mathbf{C}_{1e} \cdot [h_0, h_1, \dots, h_{L-1}, 0, \dots, 0]^T.$$

5

9.- Procedimiento de demodulación para comunicaciones multiportadora y de portadora única, según la reivindicación 8, caracterizado porque adicionalmente comprende calcular un vector de datos  $\hat{\mathbf{x}}$  en el dominio del tiempo mediante la expresión:

$$\hat{\mathbf{x}} = \mathbf{T}_a^{-1} \cdot \hat{\mathbf{X}}$$

10 siendo:

$$\mathbf{T}_a^{-1} = \mathbf{T}_c^{-1} = \mathbf{C}_{1e}^{-1}.$$

10.- Procedimiento de demodulación para comunicaciones multiportadora y de portadora única, según la reivindicación 8, caracterizado porque adicionalmente comprende calcular un vector de datos  $\hat{\mathbf{x}}$  en el dominio del tiempo mediante la expresión:

15

$$\hat{\mathbf{x}} = \mathbf{T}_d^{-1} \cdot \hat{\mathbf{X}}$$

siendo  $\mathbf{T}_d^{-1}$  una transformada seleccionada entre al menos una DFT y una DCT.

11.- Dispositivo de modulación para comunicaciones multiportadora y de portadora única, configurado para llevar a cabo el procedimiento definido en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4.

20

12.- Dispositivo de modulación para comunicaciones multiportadora y de portadora única, según la reivindicación 11, caracterizado porque comprende:

25

- un primer bloque de operaciones aritméticas (1) configurado para generar un vector de datos  $\mathbf{X} = [X_0, \dots, X_{N-1}]^T$  en el dominio transformado a partir de una señal representada por un vector de  $N$  datos  $\mathbf{X}_e = [X_{e,0}, \dots, X_{e,N-1}]^T$  con dos datos nulos, tal que  $\mathbf{X}$  conserve los  $N-2$  datos no nulos de  $\mathbf{X}_e$  sin modificar y se sustituyan los dos datos nulos de  $\mathbf{X}_e$  por otros dos datos nuevos calculados de forma que se cumpla:

30

$$X_0 + 2 \sum_{j=1}^{N-2} X_j + X_{N-1} = 0,$$

$$X_0 - 2 \sum_{j=1}^{N-2} (-1)^j \cdot X_j - X_{N-1} = 0,$$

- un segundo bloque (2) conectado en serie con el primer bloque de operaciones aritméticas (1), donde el segundo bloque (2) está configurado para al menos calcular un vector de datos en el dominio del tiempo  $\mathbf{x} = [0, x_1, \dots, x_{N-2}, 0]^T$  aplicando una transformada inversa al vector de datos  $\mathbf{X} = [X_0, \dots, X_{N-1}]^T$  ;
- 5 • un tercer bloque (3) conectado en serie con el segundo bloque de operaciones aritméticas (2), donde el tercer bloque (3) está configurado para al menos calcular un señal como el vector de datos  $\mathbf{x}_{tx}$ , siendo dicho vector de datos  $\mathbf{x}_{tx}$  el resultado de añadir al vector de datos en el dominio del tiempo  $\mathbf{x} = [0, x_1, \dots, x_{N-2}, 0]^T$  un elemento seleccionado de entre un prefijo de ceros, un sufijo de ceros y una combinación de ambos; y, aplicar una conversión paralelo a serie.

13.- Dispositivo de demodulación para comunicaciones multiportadora y de portadora única, caracterizado porque comprende:

- 15 • un cuarto bloque de operaciones aritméticas (4) configurado para:
  - aplicar una conversión serie a paralelo a un vector de datos  $\tilde{\mathbf{y}}$  que representa una señal recibida de un dispositivo de emisión con modulación multiportadora o de portadora única;
  - generar, a partir del vector de datos recibido  $\tilde{\mathbf{y}}$ , un vector de datos  $\tilde{\mathbf{y}}_r$  según la expresión:

$$\tilde{\mathbf{y}}_r = \mathbf{Y} \cdot \tilde{\mathbf{y}}$$

donde:

$$\begin{aligned} \tilde{\mathbf{y}} &= [\tilde{y}_{-M}, \tilde{y}_{1-M}, \dots, \tilde{y}_{N+M-2}, \tilde{y}_{N+M-1}]^T; \\ \tilde{\mathbf{y}}_r &= [\tilde{y}_0, \dots, \tilde{y}_{M-1}, \tilde{y}_M, \dots, \tilde{y}_{N-M}, \dots, \tilde{y}_{N-1}]^T \\ &+ [\tilde{y}_0, \dots, \tilde{y}_{1-M}, 0, \dots, 0, \tilde{y}_{N+M-2}, \dots, \tilde{y}_{N-1}]^T \\ \mathbf{Y} &= [\mathbf{0}_{N \times M} \quad \mathbf{I}_N \quad \mathbf{0}_{N \times M}] + \begin{bmatrix} \mathbf{0} & \mathbf{J}_M & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{J}_M & \mathbf{0} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

y donde  $\mathbf{J}_M$  es la matriz de orden  $M$ , denominada antidiagonal porque tiene 1's en la diagonal secundaria y ceros en el resto de elementos y

25  $\mathbf{0}$  es una matriz de ceros;

- un quinto bloque de operaciones aritméticas (5) conectado en serie con el cuarto bloque de operaciones aritméticas (4), donde el quinto bloque de operaciones aritméticas (5) está configurado calcular  $\tilde{\mathbf{Y}}_r$  aplicando una

transformada discreta directa  $\mathbf{T}_c$  en el dominio del tiempo a  $\tilde{\mathbf{y}}_r$  de tal forma que:  $\tilde{\mathbf{Y}}_r = \mathbf{T}_c \cdot \tilde{\mathbf{y}}_r$  ;

- un sexto bloque de operaciones aritméticas (6) conectado en serie con el quinto bloque de operaciones aritméticas (5), donde el sexto bloque de operaciones aritméticas (6) está configurado llevar a cabo una igualación del canal mediante la expresión:

$$\hat{\mathbf{X}} = \tilde{\mathbf{D}}^{-1} \cdot \tilde{\mathbf{Y}}_r$$

donde la matriz  $\tilde{\mathbf{D}}^{-1}$  es la inversa de una matriz cuyos coeficientes se obtienen a partir de la respuesta al impulso del canal de comunicación.

- 10 14.- Dispositivo de demodulación para comunicaciones multiportadora y de portadora única, según la reivindicación 13, caracterizado porque el sexto bloque (6) calcula la matriz  $\tilde{\mathbf{D}}^{-1}$  es la inversa de la matriz cuya diagonal se obtiene mediante la siguiente operación:

$$\mathbf{C}_{1e} \cdot [h_0, h_1, \dots, h_{L-1}, 0, \dots, 0]^T,$$

- 15 donde:

$$[\mathbf{C}_{1e}]_{k,j} = a_j \cos\left(\frac{kj\pi}{N-1}\right),$$

para  $0 \leq k, j \leq N-1$ ;

donde los coeficientes  $a_j$  son:

$$a_j = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2(N-1)}}, & \text{si } j = 0, N-1, \\ \frac{2}{\sqrt{2(N-1)}}, & \text{resto.} \end{cases}$$

- 20 15.- Dispositivo de demodulación para comunicaciones multiportadora y de portadora única, según la reivindicación 14, caracterizado porque adicionalmente comprende un séptimo bloque de operaciones aritméticas (7) conectado en serie con el sexto bloque de operaciones aritméticas (6), donde el séptimo bloque de operaciones aritméticas (7) calcula un vector de datos  $\hat{\mathbf{x}}$  en el dominio del tiempo mediante la expresión:

$$\hat{\mathbf{x}} = \mathbf{T}_a^{-1} \cdot \hat{\mathbf{X}}$$

- 25 siendo:

$$\mathbf{T}_a^{-1} = \mathbf{T}_c^{-1} = \mathbf{C}_{1e}^{-1}.$$

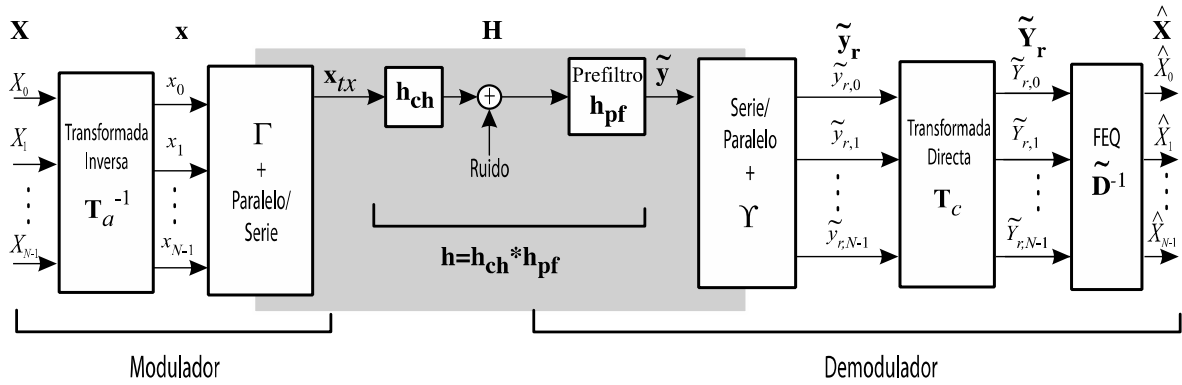
16.- Dispositivo de demodulación para comunicaciones multiportadora y de portadora única, según la reivindicación 14, caracterizado porque adicionalmente comprende un octavo bloque de operaciones aritméticas (8) conectado en serie con el sexto bloque de operaciones aritméticas (6), donde el octavo bloque de operaciones aritméticas (8)

5 calcula un vector de datos  $\hat{\mathbf{x}}$  en el dominio del tiempo mediante la expresión:

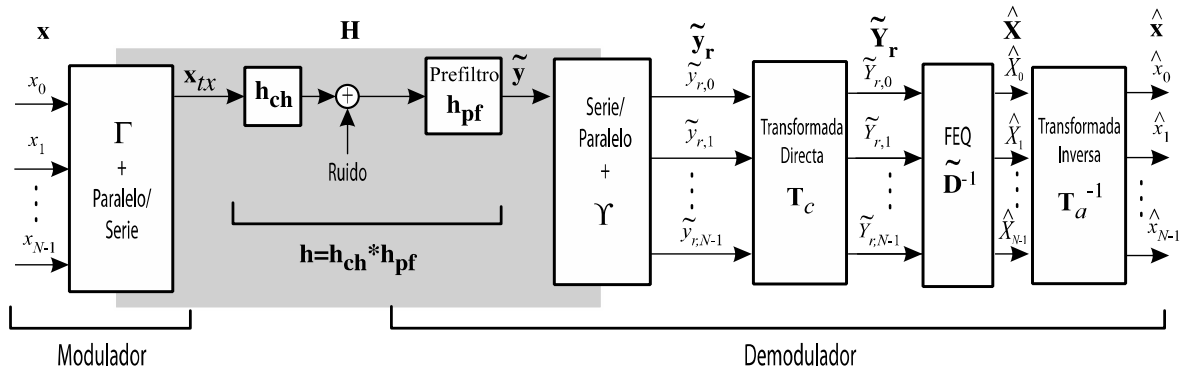
$$\hat{\mathbf{x}} = \mathbf{T}_d^{-1} \cdot \hat{\mathbf{X}}$$

siendo  $\mathbf{T}_d^{-1}$  una transformada seleccionada entre al menos una DFT y una DCT.

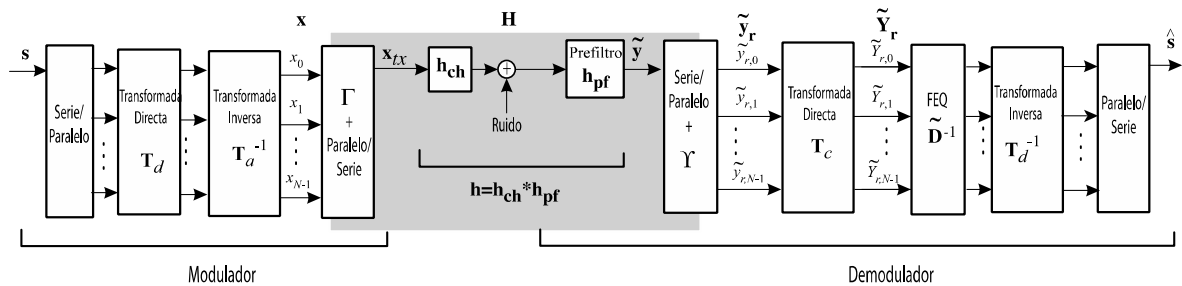




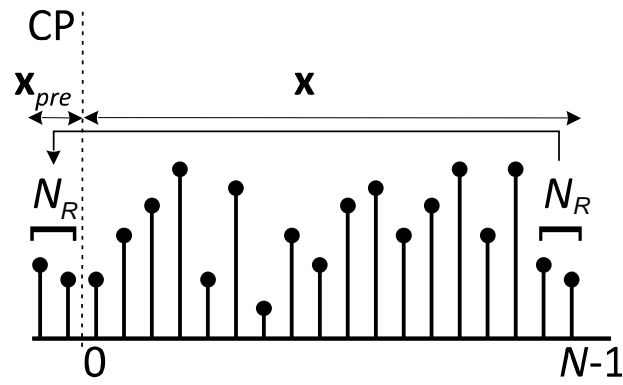
**Fig. 1**  
(Estado de la técnica)



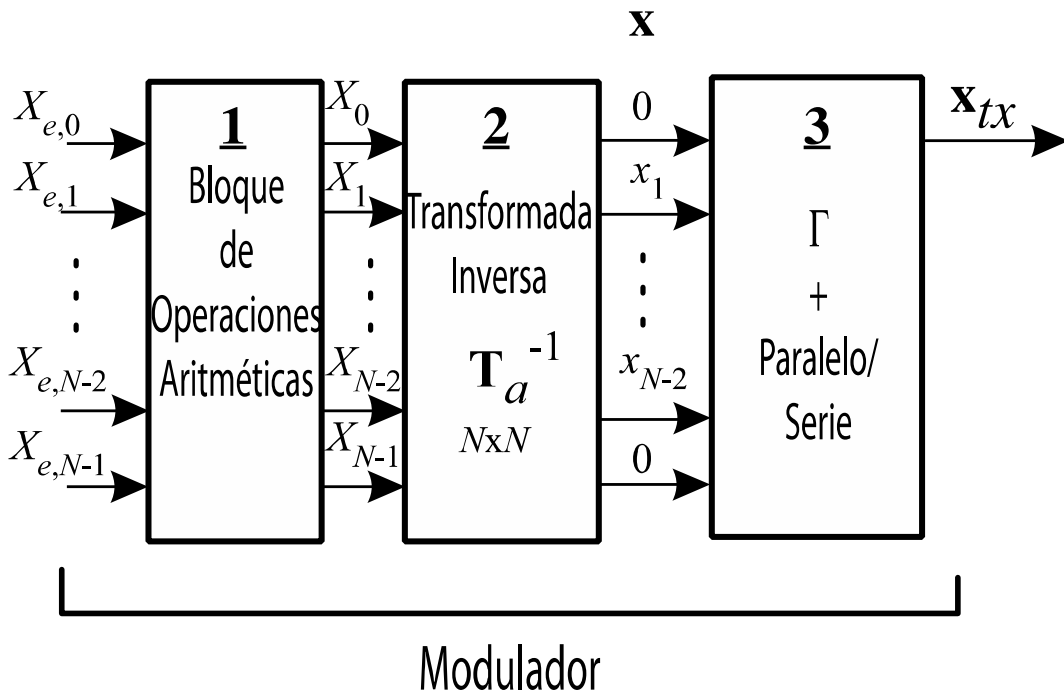
**Fig. 2**  
(Estado de la técnica)



**Fig. 3**  
(Estado de la técnica)



**Fig. 4**  
(Estado de la técnica)



**Fig. 5**

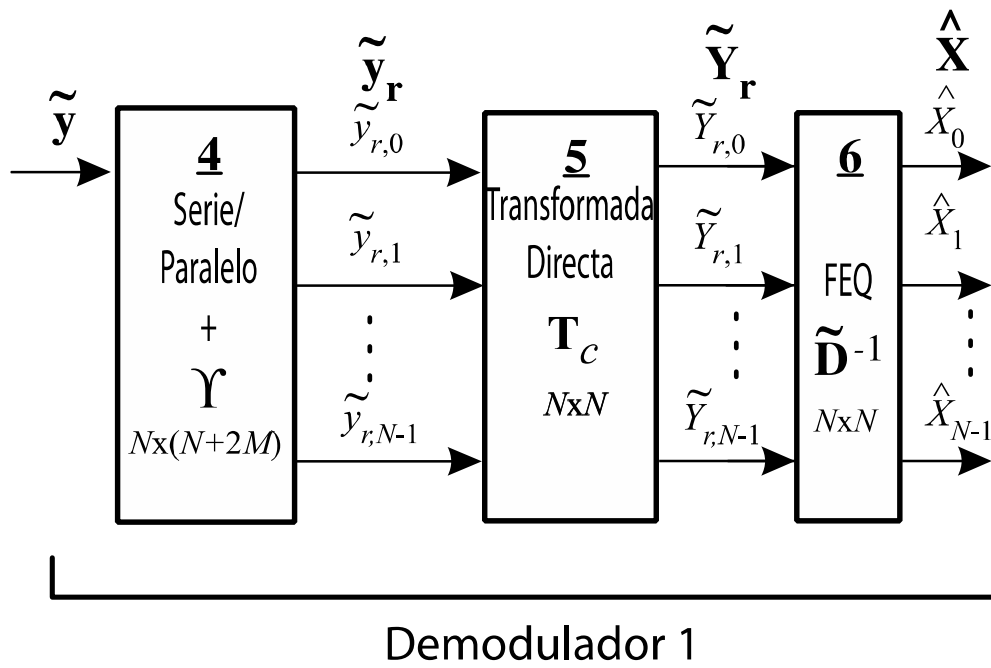


Fig. 6

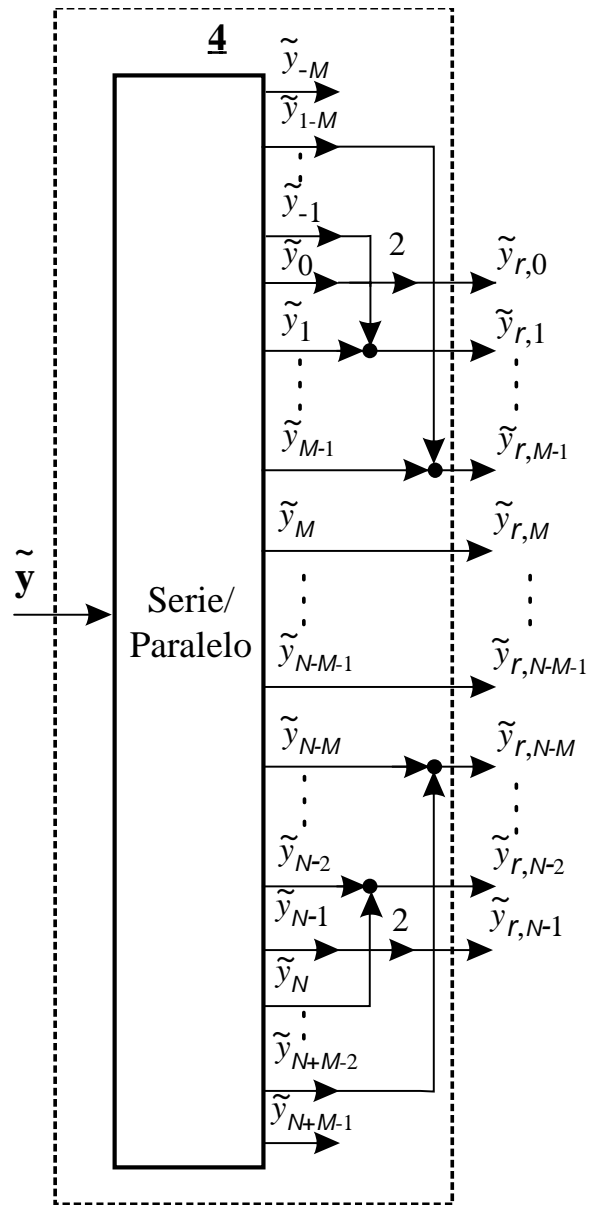
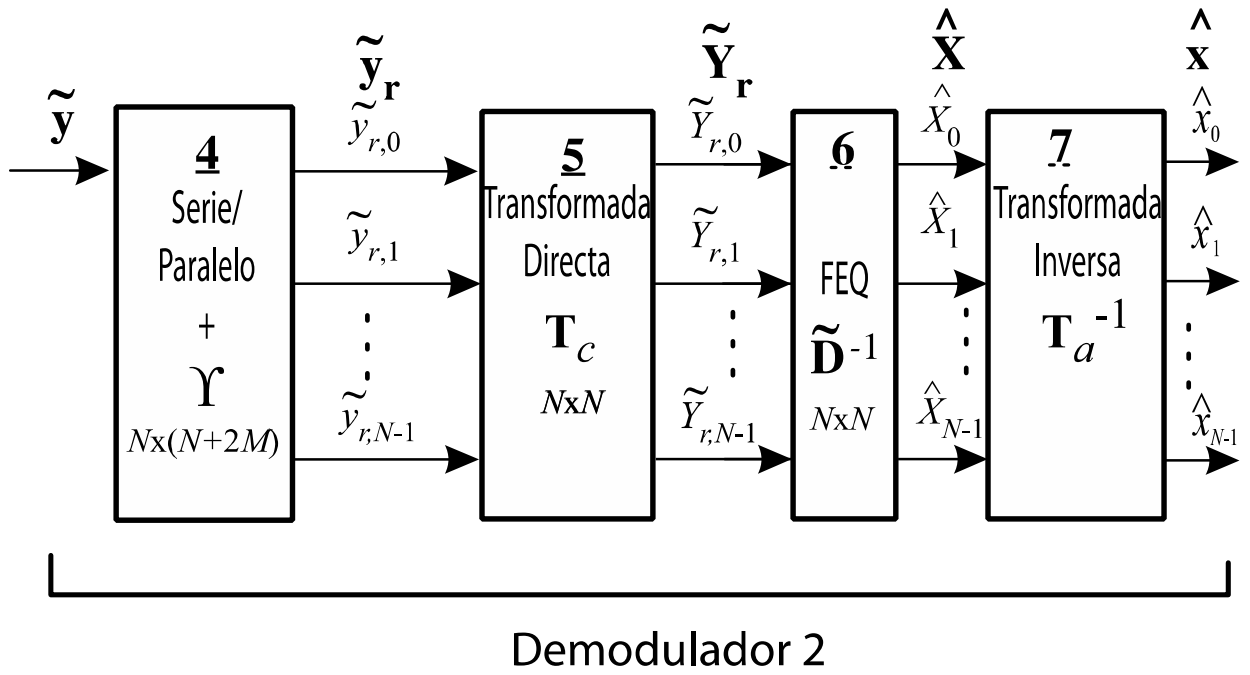
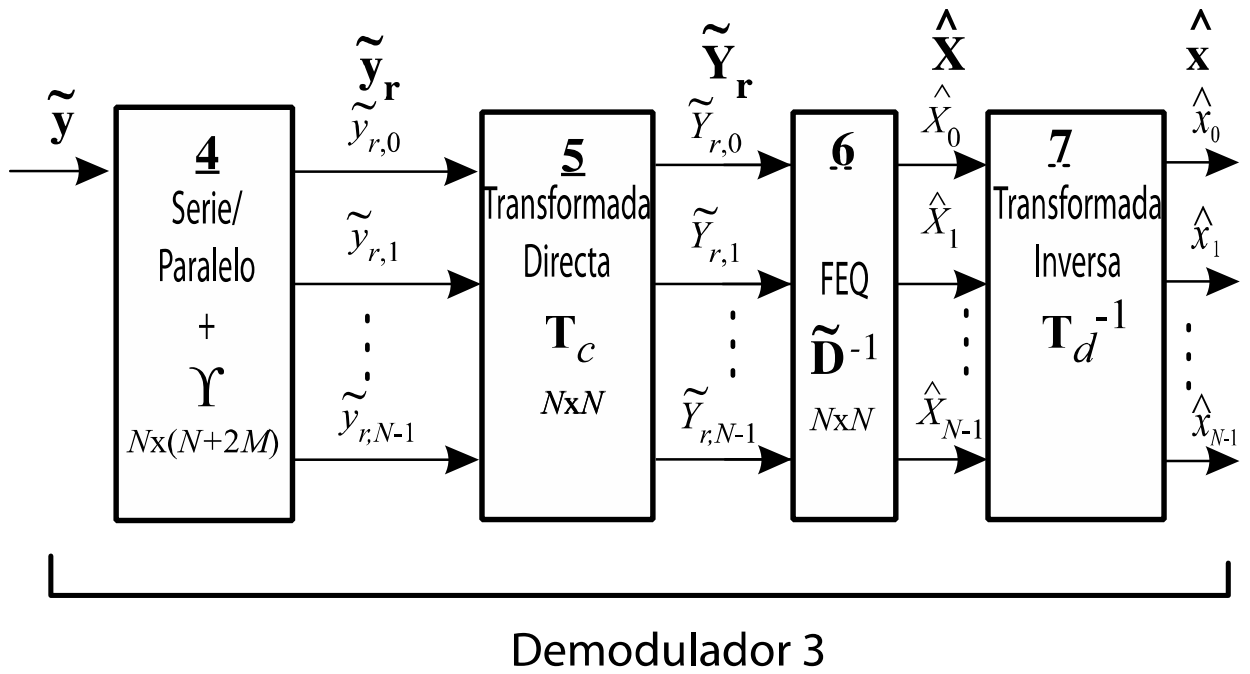


Fig. 7



**Fig. 8**



**Fig. 9**



- ②① N.º solicitud: 202031009  
②② Fecha de presentación de la solicitud: 06.10.2020  
③② Fecha de prioridad: **22-05-2020**

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: **H04L27/26** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	DOMINGUEZ-JIMENEZ MARIA ELENA et al. Signal Reconstruction in Multicarrier Communications by Means of the Discrete Cosine Transform Type-III Even. 2018 41st International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP), 20180704 IEEE. , 04/07/2018, Páginas 1 - 4 [en línea][recuperado el 04/06/2021]. Recuperado de Internet <URL: <a href="https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8441489">https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8441489</a> >, <DOI: doi:10.1109/TSP.2018.8441489>. Apartado III; figura 1	1-16
L	FERNANDO CRUZ-ROLDAN et al. On the Use of Discrete Cosine Transforms for Multicarrier Communications. IEEE transactions on signal processing, 20121101 IEEE SERVICE CENTER, NEW YORK, NY, US. , 01/11/2012, Vol. 60, Páginas 6085 - 6090 [en línea][recuperado el 04/06/2021]. Recuperado de Internet <URL: <a href="https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/482113">https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/482113</a> >, ISSN 1053-587X, <DOI: doi:10.1109/TSP.2012.2210714>. páginas 2634 - 2635;	1-16
L	SANCHEZ V et al. Diagonalizing properties of the discrete cosine transforms. IEEE Transactions on Signal Processing Nov. 1995 USA. , 31/10/1995, Vol. 43, Páginas 2631 - 2641 [en línea][recuperado el 04/06/2021]. Recuperado de Internet <URL: <a href="https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6252068">https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6252068</a> >, ISSN 1053-587X (print), <DOI: doi:10.1109/78.482113>. Apartados II-III; figura 1	2, 8, 14

Categoría de los documentos citados  
X: de particular relevancia  
Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría  
L: documento que puede plantear dudas sobre una reivindicación de prioridad o que se cita para determinar la fecha de publicación de otra cita o por una razón especial (como la indicada).

O: referido a divulgación no escrita  
P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud  
E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud  
A: refleja el estado de la técnica

**El presente informe ha sido realizado**

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe  
27.07.2021

Examinador  
J. M. Vazquez Burgos

Página  
1/3



- 21 N.º solicitud: 202031009  
22 Fecha de presentación de la solicitud: 06.10.2020  
32 Fecha de prioridad: **22-05-2020**

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

51 Int. Cl.: **H04L27/26** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	56 Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
L	CRUZ-ROLDAN FERNANDO et al. Single-Carrier and Multicarrier Transceivers Based on Discrete Cosine Transform Type-IV. IEEE Transactions on Wireless Communications, 20131201 IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US. , 01/12/2013, Vol. 12, Páginas 6454 - 6463 [en línea][recuperado el 28/05/2020]. Recuperado de Internet <URL: <a href="https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6678353">https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6678353</a> >, ISSN 1536-1276, <DOI: doi:10.1109/TWC.2013.111313.130751>. Apartados II-III; figura 1	5-10, 13-16
L	DOMINGUEZ-JIMENEZ M E et al. On the use of Zero Padding with discrete cosine transform Type-II in multicarrier communications. 2014 22nd European Signal Processing Conference (EUSIPCO), 20140901 EURASIP., 01/09/2014, Páginas 825 - 829 [en línea][recuperado el 04/06/2021]. Recuperado de Internet <URL: <a href="https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6952264">https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6952264</a> >. figura 1; Apartado 3.1	8, 14
A	CRUZ-ROLDAN FERNANDO et al. Achievable Data Rate of DCT-Based Multicarrier Modulation Systems. IEEE Transactions on Wireless Communications, 20190301 IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US. , 01/03/2019, Vol. 18, Páginas 1739 - 1749 [en línea][recuperado el 04/06/2021]. Recuperado de Internet <URL: <a href="https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8636534">https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8636534</a> >, ISSN 1536-1276, <DOI: doi:10.1109/TWC.2019.2896073>. Figura 1; tabla I	4, 11
A	Discrete Cosine transform. Wikipedia, 19/05/2020 [en línea][recuperado el 31/05/2021]. Recuperado de Internet <URL: <a href="https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Discrete_cosine_transform&amp;oldid=957517735#DCT-I">https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Discrete_cosine_transform&amp;oldid=957517735#DCT-I</a> >	3, 7, 14

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

L: documento que puede plantear dudas sobre una reivindicación de prioridad o que se cita para determinar la fecha de publicación de otra cita o por una razón especial (como la indicada).

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

A: refleja el estado de la técnica

**El presente informe ha sido realizado**

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones n.º:

Fecha de realización del informe  
27.07.2021

Examinador  
J. M. Vazquez Burgos

Página  
2/3

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

H04L

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC,WPI, INTERNET