

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 702 313**

51 Int. Cl.:

G06F 1/03 (2006.01)

H04L 27/26 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.08.2015** **E 15290224 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.10.2018** **EP 3136200**

54 Título: **Método y aparato para proporcionar un vector de muestra que represente al menos una parte de una señal modulada multiportadora**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
28.02.2019

73 Titular/es:

**ALCATEL LUCENT (100.0%)
Site Nokia Paris Saclay Route de Villejust
91620 Nozay , FR**

72 Inventor/es:

**WILD, THORSTEN y
SCHAICH, FRANK**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 702 313 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

Método y aparato para proporcionar un vector de muestra que represente al menos una parte de una señal modulada multiportadora

5 **Campo de la invención**

La invención se refiere a un método para proporcionar un vector de muestra que representa al menos una parte de una señal modulada multiportadora que comprende al menos una sub-banda, comprendiendo dicha sub-banda una pluralidad de subportadoras.

La invención también se refiere a un aparato para proporcionar una señal modulada multiportadora.

15 **Antecedentes**

La señales moduladas multiportadora se usan ampliamente en las telecomunicaciones. La forma de onda de capa física inalámbrica dominante en la actualidad es la multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM) de prefijo cíclico (CP-). Se usa en sistemas móviles de cuarta generación (4G) como LTE(-A), así como en los estándares IEEE 802.11. Un inconveniente de la CP-OFDM es su propiedad espectral de altos niveles de lóbulos laterales. Como consecuencia, la CP-OFDM debe operarse en estricto alineamiento tiempo-frecuencia con el fin de evitar la interferencia entre portadoras.

Schaich, F.; Wild, T.; Chen, Y.; "Waveform contenders for 5G - suitability for short packet and low latency transmissions", en los procedimientos de IEEE Veh. Tecnol. Conf. Spring (VTC'14 Spring), mayo de 2014, (referencia 1) desvela tres formas de onda candidatas multiportadora para la interfaz aérea de redes de quinta generación (5G). De acuerdo con esta publicación, la multiportadora filtrada universal (UFMC), que también se denomina multiplexación por división de frecuencia ortogonal filtrada universal, UF-OFDM, parece ser una candidata prometedora para la forma de onda 5G.

La figura 1 representa un diagrama de bloques de una cadena de transmisor convencional 1000 para UF-OFDM en una configuración de enlace ascendente (UL). Se proporcionan B submódulos de UF-OFDM 1010_1, 1010_2, ..., 1010_B, cada uno de los cuales recibe, por ejemplo, unos símbolos modulados s_{1k}, \dots, s_{Bk} por QAM (modulación de amplitud en cuadratura), representando el índice k un usuario específico, y cada uno de los cuales genera un vector de transmisión de dominio de tiempo $x_{1k}, x_{2k}, \dots, x_{Bk}$ respectivo obtenido en función de dichos símbolos modulados por QAM de la manera que se explica detalladamente a continuación.

Los B vectores de transmisión de dominio de tiempo x_{1k}, \dots, x_{Bk} así obtenidos se superponen (es decir, se añaden) por el sumador 1020, y la señal de suma x_k obtenida en una salida del sumador 1020 se convierte con aumento, por ejemplo, en un intervalo de radiofrecuencia (RF), por medio de la unidad de conversión ascendente 1030, por lo que se obtiene una rfo de señal de RF modulada de UF-OFDM. Opcionalmente, dicha unidad de conversión ascendente 1030 también puede realizar otro procesamiento de RF bien conocido, tal como filtrado, amplificación y similares.

Un detector (no mostrado) puede recibir la rfo de señal de RF modulada de UF-OFDM que también puede comprender ruido y/o una interferencia provocada por el canal de RF/otros usuarios/transmisores de una manera conocida per se. Después de la conversión a un intervalo de frecuencias de banda base, el vector de señal recibido puede procesarse como se conoce en la técnica para mejorar la calidad de señal recibida.

Haciendo referencia de nuevo a la figura 1, de acuerdo con la técnica de UF-OFDM convencional descrita en el documento mencionado anteriormente de Schaich et al., el vector de transmisión de dominio de tiempo x_k para un símbolo multiportadora específico de un usuario "k" se obtiene como la superposición (véase el sumador 1020) de los componentes filtrados en términos de sub-banda, con longitud de filtro L y longitud N de FFT (transformada rápida de Fourier):

$$x_k = \sum_{i=1}^B F_{ik} V_{ik} s_{ik} \quad (\text{ecuación 1})$$

donde x_k es un vector $[(N+L-1) \times 1]$, es decir, un vector de columna que tiene (N+L-1) filas, donde F_{ik} es una matriz $[(N+L-1) \times N]$, donde V_{ik} es una matriz $[N \times n_i]$, y donde s_{ik} es un vector $[n_i \times 1]$. En aras de la simplicidad, no se considera un índice de tiempo "m" en la ecuación 1.

Para cada una de las B sub-bandas, indexadas por i, n_i símbolos de QAM complejos, reunidos en s_{ik} , se transforman en el dominio de tiempo por una matriz de IDFT V_{ik} . Esto se representa a modo de ejemplo para la primera sub-banda (i=1) por la unidad de difusión de IDFT 1012_1. La matriz de IDFT V_{ik} incluye las columnas pertinentes de una matriz de Fourier inversa de acuerdo con la posición de sub-banda respectiva (índice "i") dentro del intervalo general de frecuencias disponible. La matriz F_{ik} es una matriz de Toeplitz, compuesta por una respuesta de impulso de filtro de un filtro que realiza la convolución lineal para filtrar las señales de dominio de tiempo obtenidas por la matriz de

IDFT V_{ik} , estando dicha funcionalidad de filtro que implementa dicha matriz F_{ik} , o matriz F_{1k} , para la primera sub-banda ($i=1$), respectivamente, representada por dicha unidad de filtro 1014_1.

5 En otras palabras, el sub-módulo de UF-OFDM 1010_1 comprende la unidad de difusión de IDFT 1012_1 y la unidad de filtro 1014_1. Los otros submódulos de UF-OFDM 1010_2, ..., 1010_B comprenden una estructura similar con una unidad de difusión de IDFT respectiva (que implementa la matriz de IDFT V_{ik}) y una unidad de filtro respectiva (que implementa la matriz F_{ik}), incluyendo (como se ha indicado anteriormente) la matriz de IDFT V_{ik} las columnas pertinentes de una matriz de Fourier inversa de acuerdo con la posición de sub-banda respectiva "i" dentro del intervalo general de frecuencias disponible, y comprendiendo la matriz F_{ik} una respuesta de impulso de filtro
10 adecuada para cada sub-banda i.

Por ahora, no se ha proporcionado ninguna solución eficiente para un aparato y un método capaces de proporcionar señales moduladas multiportadora, especialmente del tipo UF-OFDM.

15 El documento US 2008/123515 A1 desvela un transmisor de OFDM que incluye una tabla de consulta para almacenar al menos dos grupos de dígitos de datos asociados a diferentes frecuencias características respectivas.

El documento WO 2014/153370 A2 desvela un aparato de comunicación multiportadora espectralmente eficiente.

20 El documento US 2008/123515 A1 desvela un transmisor de OFDM que incluye una tabla de consulta para almacenar al menos dos grupos de dígitos de datos asociados a diferentes frecuencias características respectivas.

El documento WO 2014/153370 A2 desvela un aparato de comunicación multiportadora espectralmente eficiente.

25 W THORSTEN ET AL: "A Reduced Complexity Transmitter for UF-OFDM", 81ª CONFERENCIA DE TECNOLOGÍA VEHICULAR IEEE 2015 (VTC SPRING), IEEE, 11 de Mayo de 2015 (11/05/2015), páginas 1-6, XP033167111, DOI: 10.1109/VTCSRING.2015.7145643 desvela un transmisor de UF-OFDM de complejidad reducida.

30 Sumario

Por lo tanto, un objeto de la presente invención es proporcionar un método y un aparato para la generación eficiente de señales multiportadora, por ejemplo, del tipo UF-OFDM o del tipo CP-OFDM o similares.

35 Este objeto se logra por un método de acuerdo con la reivindicación 1 y por un aparato correspondiente de acuerdo con la reivindicación 7. Las realizaciones no cubiertas por el alcance de las reivindicaciones deben entenderse como ejemplos útiles para comprender la invención.

40 El uso de dicha primera tabla de consulta reduce ventajosamente la complejidad requerida de un aparato que realiza el método de acuerdo con las realizaciones y, por ejemplo, permite proporcionar terminales de reducida complejidad informática. En función del tipo de datos calculados previamente almacenados en dicha primera tabla de consulta, pueden realizarse una o más consultas de tabla y, opcionalmente, pueden combinarse varios vectores de muestra de salida después de la recuperación de dicha primera tabla de consulta.

45 Por ejemplo, como una salida del método de acuerdo con las realizaciones, puede obtenerse un vector de muestra de salida que se corresponde básicamente con el vector de transmisión de dominio de tiempo x_{1k} como se ha explicado anteriormente con referencia a la figura 1. Sin embargo, a diferencia de los cálculos complejos requeridos por el enfoque de la técnica anterior, al menos algunas partes de estos cálculos complejos se eliminan al proporcionar la primera tabla de consulta de acuerdo con las realizaciones.

50 De acuerdo con una primera realización especialmente preferida, que se explicará a continuación con referencia a la figura 5a, 6a, dicha al menos una tabla de consulta puede usarse, por ejemplo, para proporcionar un vector de muestra de salida x para una sub-banda modulada (completa), es decir, para todas las subportadoras de una sub-banda respectiva. Dicho vector de muestra de salida corresponde al vector de transmisión de dominio de tiempo x_{1k} como se ha explicado anteriormente con referencia a la figura 1.

55 De acuerdo con una segunda realización especialmente preferida, que se explicará a continuación con referencia a la figura 5b, 6b, como alternativa, dicha al menos una tabla de consulta puede usarse para proporcionar un vector de muestra de salida x para una única subportadora modulada con una cierta posición de frecuencia relativa dentro de una sub-banda. En este caso, si va a construirse un vector de muestra de salida resultante para una sub-banda completa, pueden ser beneficiosas varias consultas de tablas, así como la combinación de los resultados de varias consultas de tablas.

60 De acuerdo con una tercera realización especialmente preferida, que se explicará a continuación con referencia a la figura 5c, 6c, como alternativa, dicha al menos una tabla de consulta puede usarse para proporcionar un vector de muestra de salida x para un grupo de varias (es decir, dos o más) subportadoras moduladas con una cierta posición de frecuencia relativa dentro de una sub-banda. De nuevo, en este caso, si va a construirse un vector de muestra de

salida resultante para una sub-banda completa, pueden ser beneficiosas varias consultas de tablas, así como la combinación de los resultados de varias consultas de tablas.

5 Ventajosamente, se realiza un desplazamiento de frecuencia en dicho vector de muestra para obtener un vector de muestra con desplazamiento de frecuencia, que permite proporcionar la señal modulada multiportadora deseada dentro de un intervalo de frecuencias de sub-banda arbitrario. En otras palabras, de acuerdo con algunas realizaciones, dicha primera tabla de consulta puede comprender dichos vectores de muestra de salida que se calculan previamente para una sub-banda prototípica específica, y cuyas subportadoras respectivas representan "posiciones" de subportadora relativas dentro de dicha sub-banda prototípica. Cuando una sub-banda deseada es diferente de dicha sub-banda prototípica, después de la o las consultas de tabla, puede realizarse el desplazamiento de frecuencia mencionado anteriormente de acuerdo con algunas realizaciones.

15 Ventajosamente, dicho desplazamiento de frecuencia se realiza determinando un vector de desplazamiento de frecuencia complejo a partir de una segunda tabla de consulta, y aplicando el producto Hadamard (es decir, en términos de elementos) en dicho vector de muestra y dicho vector de desplazamiento de frecuencia complejo, por lo que se efectúa un desplazamiento de frecuencia eficiente.

20 Ventajosamente, dicho vector de desplazamiento de frecuencia complejo se determina a partir de dicha segunda tabla de consulta en función de un valor deseado para dicho desplazamiento de frecuencia, por ejemplo, una sub-banda objetivo deseada para la que van a modularse los datos de entrada.

25 De acuerdo con otra realización preferida, dicha primera tabla de consulta comprende a. unos vectores de muestra de salida para al menos una sub-banda modulada, y/o b. unos vectores de muestra de salida para al menos una única subportadora modulada con una cierta posición de frecuencia relativa dentro de una sub-banda, y/o c. unos vectores de muestra de salida para un grupo de varias, es decir, dos o más, subportadoras moduladas, con una cierta posición de frecuencia relativa dentro de una sub-banda.

30 De acuerdo con otras realizaciones, dicha primera tabla de consulta puede comprender solo unos vectores de muestra de salida para cada categoría única de los párrafos anteriores a., b., c. Sin embargo, de acuerdo con otras realizaciones, dicha primera tabla de consulta también puede comprender unos vectores de muestra de salida de unas categorías diferentes a las categorías mencionadas de los párrafos anteriores a., b., c.

35 De acuerdo con otra realización preferida, dicha primera tabla de consulta comprende M^Q vectores de muestra de salida, siendo M igual o mayor de 2, siendo Q un número entero positivo y representando un número de subportadoras (sc) por sub-banda y estando cada uno de dichos M^Q vectores de muestra de salida de dicha primera tabla de consulta (LUT1_a) asociado a un conjunto respectivo de datos de entrada, representando, preferentemente, dicho conjunto respectivo de datos de entrada una combinación específica de símbolos de modulación para dichas Q subportadoras.

40 De acuerdo con una realización preferida, puede elegirse $M=2$ para reflejar una tabla de símbolos de modulación de BPSK. De acuerdo con otra realización preferida, puede elegirse $Q=12$, de manera similar a los bloques de recursos físicos estandarizados (PRB) de los sistemas de comunicaciones LTE y/o LTE-Avanzada existentes. Sin embargo, de acuerdo con otras realizaciones, también pueden elegirse otros valores para M y/o Q. Aún más, de acuerdo con otras realizaciones, la primera tabla de consulta también puede comprender menos de M^Q vectores de muestra de salida, por ejemplo, si puede tolerarse que solo una parte de las permutaciones teóricamente posibles de los símbolos de modulación para las Q subportadoras pueda consultarse desde dicha primera tabla de consulta. Por ejemplo, de acuerdo con una realización, si fuera necesario puede calcularse otra parte de las permutaciones teóricamente posibles de los símbolos de modulación para las Q subportadoras, que pueden no estar comprendidas en la tabla de consulta.

50 De acuerdo con otra realización preferida, dicha primera tabla de consulta comprende M^Q vectores de muestra de salida, siendo M igual o mayor de 2, siendo Q un número entero positivo y representando un número de subportadoras, y estando cada uno de dichos M^Q vectores de muestra de salida de dicha primera tabla de consulta asociado a un conjunto respectivo de datos de entrada, representando, preferentemente, dicho conjunto respectivo de datos de entrada una combinación de un símbolo de modulación específico con una subportadora específica o una posición de subportadora específica dentro de la sub-banda asociada a dicha primera tabla de consulta.

60 De acuerdo con una realización preferida, puede elegirse $M=2$ para reflejar una tabla de símbolos de modulación de BPSK. De acuerdo con otra realización preferida, puede elegirse $Q=12$, de manera similar a los bloques de recursos físicos estandarizados (PRB) de los sistemas de comunicaciones LTE y/o LTE-Avanzada existentes. Sin embargo, de acuerdo con otras realizaciones, también pueden elegirse otros valores para M y/o Q. Aún más, de acuerdo con otras realizaciones, la primera tabla de consulta también puede comprender menos de M^Q vectores de muestra de salida, por ejemplo, si puede tolerarse que solo una parte de las permutaciones teóricamente posibles de los símbolos de modulación/subportadoras pueda consultarse desde dicha primera tabla de consulta.

65 De acuerdo con otra realización preferida, dicha primera tabla de consulta comprende $(M^Q) * (Q/P)$ vectores de

muestra de salida, siendo M igual o mayor de 2, siendo Q un número entero positivo y representando un número total de subportadoras por sub-banda, siendo P un número entero positivo y representando un número de subportadoras por grupo de subportadoras, y estando cada uno de dichos $(M^Q) * (Q/P)$ vectores de muestra de salida de dicha primera tabla de consulta asociado a un conjunto respectivo de datos de entrada, representando, preferentemente, dicho conjunto respectivo de datos de entrada una combinación específica de P símbolos de modulación para dichas P subportadoras por grupo de subportadoras.

De acuerdo con una realización preferida, puede elegirse M=2 para reflejar una tabla de símbolos de modulación de BPSK. De acuerdo con otra realización preferida, puede elegirse Q=12, de manera similar a los bloques de recursos físicos estandarizados (PRB) de los sistemas de comunicaciones LTE y/o LTE-Avanzada existentes. De acuerdo con otra realización preferida, puede elegirse P=2. Sin embargo, de acuerdo con otras realizaciones, también pueden elegirse otros valores para M y/o Q y/o P. Aún más, de acuerdo con otras realizaciones, la primera tabla de consulta también puede comprender menos de $(M^P) * (Q/P)$ vectores de muestra de salida, por ejemplo, si puede tolerarse que solo una parte de las permutaciones teóricamente posibles de P tuplas de símbolos de modulación para la P subportadoras pueda consultarse desde dicha primera tabla de consulta.

De acuerdo con otra realización, también es posible proporcionar dicha primera tabla de consulta en una manera que comprende vectores de muestra de salida para diferentes grupos de subportadoras, comprendiendo al menos dos grupos de subportadoras un número diferente de subportadoras cada uno. Por ejemplo, en este caso, de acuerdo con un ejemplo, la primera tabla de consulta podría comprender un primer número de vectores de muestra de salida, cuyo primer número está asociado a un primer conjunto respectivo de datos de entrada, representando, preferentemente, dicho primer conjunto respectivo de datos de entrada una combinación específica de P1 símbolos de modulación para dichas P1 subportadoras por (primer) grupo de subportadoras, y pudiendo la (misma) primera tabla de consulta comprender un segundo número de vectores de muestra de salida, estando el segundo número asociado a un segundo conjunto respectivo de datos de entrada, representando, preferentemente, dicho segundo conjunto respectivo de datos de entrada una combinación específica de P2 símbolos de modulación para dichas P2 subportadoras por (segundo) grupo de subportadoras, siendo P1 diferente de P2. En otras palabras, la primera tabla de consulta puede comprender, por ejemplo, varios vectores de muestra de salida para grupos de subportadoras que tienen, por ejemplo, P1=3 subportadoras y sus símbolos de modulación asociados, así como varios vectores de muestra de salida adicionales para otros grupos de subportadoras que tienen, por ejemplo, P2=2 subportadoras y sus símbolos de modulación asociados, y similares. Una solución adicional al objeto de la presente invención se proporciona mediante un método para operar un terminal para un sistema de comunicaciones móviles, comprendiendo dicho método para operar un terminal un método para proporcionar un vector de muestra de acuerdo con las realizaciones. Por lo tanto, un terminal puede proporcionar eficientemente vectores de muestra de salida que representan señales moduladas multiportadora y/o partes de las mismas.

Otra solución más para el objeto de la presente invención se proporciona por un aparato para proporcionar un vector de muestra de acuerdo con la reivindicación 7.

Ventajosamente, dicho aparato está configurado para realizar un desplazamiento de frecuencia en dicho vector de muestra para obtener un vector de muestra con desplazamiento de frecuencia.

Ventajosamente, dicho aparato comprende una segunda tabla de consulta, estando dicho aparato configurado para realizar dicho desplazamiento de frecuencia determinando un vector de desplazamiento de frecuencia complejo a partir de dicha segunda tabla de consulta, y aplicando el producto Hadamard en dicho vector de muestra y dicho vector de desplazamiento de frecuencia complejo.

Ventajosamente, dicho aparato está configurado para determinar dicho vector de desplazamiento de frecuencia complejo a partir de dicha segunda tabla de consulta en función de un valor deseado para dicho desplazamiento de frecuencia.

De acuerdo con otra realización, dicha primera tabla de consulta comprende M^Q vectores de muestra de salida, siendo M igual o mayor de 2, siendo Q un número entero positivo y representando un número de subportadoras por sub-banda, y estando cada uno de dichos M^Q vectores de muestra de salida de dicha primera tabla de consulta asociado a un conjunto respectivo de datos de entrada, representando, preferentemente, dicho conjunto respectivo de datos de entrada una combinación específica de símbolos de modulación para dichas Q subportadoras.

De acuerdo con otra realización, dicha primera tabla de consulta comprende M^Q vectores de muestra de salida, siendo M igual o mayor de 2, siendo Q un número entero positivo y representando un número de subportadoras, y estando cada uno de dichos M^Q vectores de muestra de salida de dicha primera tabla de consulta asociado a un conjunto respectivo de datos de entrada, representando, preferentemente, dicho conjunto respectivo de datos de entrada una combinación específica de símbolos de modulación para dichas Q subportadoras.

De acuerdo con otra realización, dicha primera tabla de consulta comprende $(M^P) * (Q/P)$ vectores de muestra de salida, siendo M igual o mayor de 2, siendo Q un número entero positivo y representando un número de subportadoras, y estando cada uno de dichos $(M^P) * (Q/P)$ vectores de muestra de salida de dicha primera tabla de consulta asociado a un conjunto respectivo de datos de entrada, representando, preferentemente, dicho conjunto

respectivo de datos de entrada una combinación específica de símbolos de modulación para dichas Q subportadoras.

5 Otra solución para el objeto de la presente invención se proporciona por un terminal para un sistema de comunicaciones móviles, comprendiendo dicho terminal al menos un aparato de acuerdo con las realizaciones.

Otra solución más para el objeto de la presente invención se proporciona por una estación base para un sistema de comunicaciones móviles, comprendiendo dicha estación base al menos un aparato de acuerdo con las realizaciones.

10 **Breve descripción de las figuras**

Otras características, aspectos y ventajas de la presente invención se ofrecen en la siguiente descripción detallada con referencia a los dibujos en los que:

- 15 Figura 1 representa esquemáticamente un diagrama de bloques de un transmisor de UF-OFDM convencional,
- Figura 2 representa esquemáticamente una potencia relativa en decibelios sobre un espaciamiento de frecuencia en pasos de subportadora de una señal modulada multiportadora obtenida de acuerdo con las realizaciones,
- 20 Figura 3 representa esquemáticamente un diagrama de flujo simplificado de un método de acuerdo con una realización,
- Figura 4 representa esquemáticamente un diagrama de bloques simplificado de un aparato de acuerdo con una realización,
- 25 Figura 5a representa esquemáticamente un diagrama de bloques simplificado de una realización adicional,
- Figura 5b representa esquemáticamente un diagrama de bloques simplificado de una realización adicional,
- 30 Figura 5c representa esquemáticamente un diagrama de bloques simplificado de una realización adicional,
- Figura 6a representa esquemáticamente una primera tabla de consulta de acuerdo con la realización de la figura 5a,
- 35 Figura 6b representa esquemáticamente una primera tabla de consulta de acuerdo con la realización de la figura 5b,
- Figura 6c representa esquemáticamente una primera tabla de consulta de acuerdo con la realización de la figura 5c, y
- 40 Figura 7 representa esquemáticamente un terminal de acuerdo con una realización.

45 **Descripción de las realizaciones**

La figura 1 representa esquemáticamente un diagrama de bloques de un transmisor de UF-OFDM convencional 1000 que se ha explicado en detalle anteriormente.

50 La figura 2 representa esquemáticamente una señal modulada multiportadora mcs a modo de ejemplo del tipo UF-OFDM que puede obtenerse usando el transmisor de UF-OFDM convencional 1000 de la figura 1 y que también puede obtenerse, de una manera más eficiente, por un aparato y un método de acuerdo con las presentes realizaciones como se explica en detalle a continuación. Más específicamente, en la figura 2, un eje horizontal cx representa un espaciamiento de frecuencia en unidades de 0,125 pasos de subportadora de la señal modulada multiportadora mcs, y un eje vertical cy representa una potencia relativa en decibelios (dB).

55 Como puede verse en la figura 2, la señal modulada multiportadora mcs comprende, a modo de ejemplo, seis sub-bandas sb1, sb2, ..., sb6, comprendiendo cada sub-banda un número de doce subportadoras sc a modo de ejemplo. Las subportadoras sc están indicadas para la primera sub-banda sb1 solo por razones de claridad.

60 Como también puede verse en la figura 2, las señales de sub-banda individuales, véase por ejemplo la sub-banda sb1, comprenden un comportamiento de lóbulo lateral especialmente ventajoso (véase el borde de banda inferior de la parte de señal de la primera sub-banda) porque los lóbulos laterales respectivos del espectro comprenden una pendiente pronunciada, en comparación con las señales de OFDM convencionales.

65 El principio de acuerdo con las realizaciones permite ventajosamente obtener una señal modulada multiportadora tal como la señal mcs a modo de ejemplo representada en la figura 2 con mayor eficiencia y con una complejidad

significativamente reducida en comparación con el sistema convencional 1000 de la figura 1.

La figura 3 representa esquemáticamente un diagrama de flujo simplificado de un método de acuerdo con una realización. El método sirve para proporcionar eficientemente un vector de muestra similar al vector x_k de la figura 1, que representa al menos una parte (por ejemplo, una sub-banda completa o varias subportadoras de dicha sub-banda) de una señal modulada multiportadora mcs (figura 2) que comprende al menos una sub-banda sb1, en el que dicha sub-banda sb1 comprende una pluralidad de subportadoras sc. El método de acuerdo con la figura 3 comprende las siguientes etapas: proporcionar 200 una primera tabla de consulta LUT (figura 4), en el que dicha primera tabla de consulta comprende un primer número predeterminado de vectores de muestra de salida asociados a los respectivos conjuntos de datos de entrada, obtener 210 un segundo número predeterminado de n vectores de muestra de salida deseados de dicha primera tabla de consulta, en el que n es igual o mayor de uno (preferentemente n es un número entero positivo), en el que cada uno de dichos vectores de muestra de salida deseados está asociado a un conjunto respectivo de datos de entrada. Dichos datos de entrada pueden corresponder, por ejemplo, a los símbolos modulados s_{1k}, \dots, s_{Bk} , como se ha explicado con referencia a la figura 1 anterior, o, en general, a cualquier dato de entrada a transmitir por medio de dicha señal modulada multiportadora mcs (figura 2) o una parte de la misma. Por ejemplo, dichos datos de entrada también pueden comprender datos binarios, por ejemplo, una o más secuencias de bits. En otras palabras, para las partes específicas de los datos de entrada digitales, la primera tabla de consulta de acuerdo con las realizaciones puede comprender los vectores de muestra de salida respectivos asociados a dichos datos de entrada digitales. Dichos vectores de muestra de salida pueden corresponder, por ejemplo, a vectores de transmisión de dominio de tiempo, cuyo contenido puede convertirse con aumento a un intervalo de RF y transmitirse a través de una interfaz aérea como se ha explicado anteriormente con referencia a la figura 1.

Además, de acuerdo con la realización de la figura 3, si dicho segundo número predeterminado n de vectores de muestra de salida deseados es mayor de uno, lo que puede determinarse en el bloque de determinación 215, el método puede continuar con la combinación 220 de dichos n vectores de muestra de salida deseados para obtener un vector de suma como dicho vector de muestra. De acuerdo con una realización, n puede elegirse, por ejemplo, mayor de uno, si la primera tabla de consulta no almacena vectores de muestra de salida de sub-bandas completas, sino solo de subportadoras individuales o grupos de subportadoras. En este caso, pueden requerirse varias consultas de tabla para agregar una sub-banda completa.

De lo contrario, si dicho segundo número n predeterminado de vectores de muestra de salida deseados es igual a uno ($n = 1$), por ejemplo, si la primera tabla de consulta almacena vectores de muestra de salida de sub-bandas completas, dicho único vector de muestra de salida deseado puede obtenerse en la etapa 230 como dicho vector de muestra.

El uso de la tabla de consulta en la etapa 210 aumenta ventajosamente la eficiencia del procedimiento general, ya que los requisitos de cálculo para cálculos en tiempo real o casi en tiempo real se reducen considerablemente, debido a que los cálculos respectivos pueden realizarse de antemano (por ejemplo, un cálculo previo de los vectores de muestra de salida para al menos algunas o todas las permutaciones de los datos de entrada digitales y/o los símbolos de modulación junto con una posición de subportadora respectiva dentro de una sub-banda), y los resultados de los mismos pueden proporcionarse en forma de la primera tabla de consulta, a la que puede accederse durante el funcionamiento del aparato de acuerdo con las realizaciones.

La figura 4 representa esquemáticamente un diagrama de bloques simplificado de un aparato 2000 de acuerdo con una realización. El aparato 2000 comprende una unidad de cálculo 2002 que está configurada para realizar las etapas del método de acuerdo con las realizaciones, por ejemplo, como se ha explicado anteriormente con referencia a la figura 3. Además, el aparato 2000 puede comprender una primera tabla de consulta LUT, como se ha explicado anteriormente con referencia a la figura 3. La unidad de cálculo 2002 puede, por ejemplo, comprender un procesador de señales digitales y/o un microcontrolador y/o una matriz de puertas programables en campo (FPGA) y/o un ASIC (circuito integrado específico de aplicación), y opcionalmente también puede comprender una o más tablas de consulta de acuerdo con las realizaciones.

Opcionalmente, de acuerdo con otras realizaciones, dicho aparato 2000 también puede comprender al menos una segunda tabla de consulta LUT2, que se explicará en detalle a continuación con referencia a las figuras 5a, 5b, 5c.

En general, de acuerdo con las realizaciones, dicho aparato 2000 está configurado para recibir datos de entrada I (figura 4), que pueden comprender datos de entrada de usuario que van a transmitirse por medio de dicha señal modulada multiportadora mcs (figura 2) o una parte de la misma. De acuerdo con algunas realizaciones, además de dichos datos de entrada de usuario, dichos datos de entrada I también pueden comprender información de control de sub-banda en una posición de sub-banda deseada que indica dentro de cuál o cuáles de las sub-bandas sb1, sb2, ... (figura 2) de la señal modulada multiportadora mcs van a transmitirse los datos de entrada de usuario. En función de dichos datos de entrada I, dicho aparato 2000 proporciona un vector de muestra x (figura 4) que representa al menos una parte de una señal modulada multiportadora mcs, que se realiza utilizando la al menos una tabla de consulta.

De acuerdo con una realización, que se explicará a continuación con referencia a las figuras 5a, 6a, dicha al menos una tabla de consulta puede usarse para proporcionar un vector de muestra x para una sub-banda modulada (completa), es decir, para todas las subportadoras de una sub-banda respectiva. En el contexto de la figura 2, esto puede corresponder, a modo de ejemplo, a proporcionar un vector de muestra x para la sub-banda sb1 (figura 2),
 5 incluyendo todas las 12 subportadoras sc presentes de dicha sub-banda sb1.

De acuerdo con otra realización, que se explicará a continuación con referencia a las figuras 5b, 6b, dicha al menos una tabla de consulta puede usarse para proporcionar un vector de muestra x para una única subportadora modulada con una cierta posición de frecuencia relativa dentro de una sub-banda. En el contexto de la figura 2, esto puede corresponder, a modo de ejemplo, a proporcionar un vector de muestra x para una única subportadora modulada de la sub-banda sb1 (figura 2).
 10

De acuerdo con otra realización, que se explicará a continuación con referencia a las figuras 5c, 6c, dicha al menos una tabla de consulta puede usarse para proporcionar un vector de muestra x para un grupo de varias (es decir, dos o más) subportadoras moduladas con una cierta posición de frecuencia relativa dentro de una sub-banda. En el contexto de la figura 2, esto puede corresponder, a modo de ejemplo, a proporcionar un vector de muestra x para un grupo de varias subportadoras de la sub-banda sb1 (figura 2).
 15

De acuerdo con algunas realizaciones, puede realizarse un desplazamiento de frecuencia en dicho vector de muestra x para obtener un vector de muestra con desplazamiento de frecuencia $x_{\text{desplazamiento}}$. De acuerdo con una realización preferida, dicho desplazamiento de frecuencia puede realizarse por el aparato 2000, específicamente por la unidad de cálculo 2002. En este caso, el vector de muestra con desplazamiento de frecuencia $x_{\text{desplazamiento}}$ se obtiene como una salida del aparato 2000, en lugar del vector de muestra x . De acuerdo con una realización, el desplazamiento de frecuencia, como se ha explicado anteriormente, es posible para cualquier tipo de vector de muestra de salida, es decir, independientemente de si un vector de muestra de salida específico x corresponde a una sub-banda modulada (completa), a una única subportadora modulada de una sub-banda, o a un grupo de varias subportadoras moduladas de una sub-banda.
 20
 25

Volviendo a la figura 3, el desplazamiento de frecuencia opcional se indica por los bloques discontinuos 240, 245.
 30

De acuerdo con otra realización, el desplazamiento de frecuencia puede corresponder a una o más sub-bandas de dicha señal de salida modulada multiportadora. Es decir, si el vector de muestra x se ha obtenido mediante el aparato 2000 de una manera en la que los datos de entrada de usuario se han asociado a una primera sub-banda sb1 (figura 2), la señal así obtenida puede desplazarse a otra sub-banda sb2, sb3, ..., por dicha etapa opcional de desplazamiento de frecuencia.
 35

De acuerdo con otra realización, dicho desplazamiento de frecuencia 240, 245 (figura 3) puede realizarse determinando un vector de desplazamiento de frecuencia complejo a , a partir de dicha segunda tabla de consulta LUT2 (figura 4), y aplicando el producto Hadamard en dicho vector de muestra x que va a desplazarse y en dicho vector de desplazamiento de frecuencia complejo a .
 40

De acuerdo con otra realización, dicho vector de desplazamiento de frecuencia complejo a puede determinarse a partir de dicha segunda tabla de consulta LUT2 en función de un valor deseado para dicho desplazamiento de frecuencia, pudiendo dicho valor deseado comprender, por ejemplo, un valor de desplazamiento de frecuencia representado por un número entero positivo que indica cuántas sub-bandas debe desplazar en frecuencia un vector de muestra x .
 45

La figura 7 representa un terminal 300 para un sistema de comunicaciones móviles. Dicho terminal 300 comprende ventajosamente al menos un aparato 2000 (véase también la figura 4) de acuerdo con las realizaciones y, como tal, está habilitado para realizar el método de acuerdo con las realizaciones. Por ejemplo, el terminal 300 puede generar eficientemente, empleando el principio de acuerdo con las realizaciones, un vector de muestra de salida x correspondiente al vector x_k de la figura 1 o correspondiente a una parte del mismo (dicha parte que representa solo una o un grupo de varias subportadoras moduladas). Dicho vector de muestra de salida x puede a continuación convertirse con aumento (es decir, desplazarse en frecuencia a , por ejemplo, un intervalo de radiofrecuencia, RF, de, por ejemplo, 1 o 2 GHz (gigahercios)) por medio de una unidad de conversión ascendente 1030, por lo que se obtiene una rfo de señal de RF modulada de UF-OFDM para la transmisión a través de una interfaz aérea.
 50
 55

De acuerdo con otras realizaciones, también es posible proporcionar una estación base 400 con al menos un aparato 2000 de acuerdo con las realizaciones.
 60

De acuerdo con algunas realizaciones, las prometedoras formas de onda candidatas de 5G son formas de onda multiportadora. Además de CP-OFDM, las soluciones candidatas más destacadas son las formas de onda multiportadora filtradas, que son algunas variantes filtradas de OFDM (o basadas en postfijo cero (ZP) o prefijo cíclico (CP)): multiportadora filtrada universal (UFMC) también conocida como UF-OFDM; o f-OFDM. Habitualmente, el filtrado en términos de sub-banda puede usarse en esas formas de onda candidatas. Además, todas las candidatas pueden usar adicionalmente la difusión de DFT para generar una señal de SC-FDMA.
 65

El principio de acuerdo con las realizaciones permite proporcionar una implementación de transmisor de baja complejidad para generar una parte de modulación multiportadora de, por ejemplo, una señal de banda base digital. Dicha técnica puede aplicarse en el terminal 300 (figura 7), así como en la estación base 400.

De acuerdo con algunas realizaciones, un vector de muestra de una señal de UF-OFDM en el dominio de tiempo en el instante de tiempo k (la variable de índice de tiempo k es igual o mayor de cero) de una sub-banda (por ejemplo, sb1 de la figura 2) indexada por el número entero i puede escribirse como

$$\mathbf{x}_k = \sum_{i=1}^B \mathbf{F}_{ik} \mathbf{V}_{ik} \mathbf{P}_{ik} \mathbf{D}_{ik} \mathbf{s}_{ik} \quad (\text{ecuación 2})$$

donde \mathbf{s} es un vector de entrada de símbolo de modulación que tiene n_i filas (correspondiendo n_i a un número de subportadoras) y una columna, donde \mathbf{D}_{ik} es una matriz con n_i filas y n_i columnas que realiza una difusión de DFT, especialmente en el caso de SC-FDMA (acceso múltiple por división de frecuencia de portadora única), donde \mathbf{P}_{ik} es una matriz diagonal con n_i filas y n_i columnas para precodificar una respuesta de frecuencia de sub-banda (por ejemplo, para una pasa banda plana), donde \mathbf{V}_{ik} es una matriz de iFFT (transformada inversa rápida de Fourier) con N filas y n_i columnas, donde N es el número de puntos de iFFT aplicados en la iFFT, y donde \mathbf{F}_{ik} es una matriz de Toeplitz con (N+L-1) filas y N columnas para la convolución por un filtro de FIR de sub-banda, donde L corresponde a una longitud de filtro de dicho filtro de FIR. En consecuencia, la matriz de modulación general \mathbf{T}_{UF} para una sub-banda (por ejemplo, sb1 de la figura 2, eliminando la variable de índice de subportadora "i") es, por lo tanto, $\mathbf{T}_{UF} = \mathbf{FVPD}$.

Para un sistema de OFDM-CP (prefijo cíclico) sin filtrar con SC-FDMA, cuando \mathbf{C} es una matriz circulante para realizar el prefijo cíclico, podemos escribir, en su lugar, una matriz de modulación general correspondiente $\mathbf{T}_{CP} = \mathbf{CVD}$ (es decir, la matriz \mathbf{P} no es necesaria).

En lugar de evaluar completamente la ecuación (2) anterior durante el funcionamiento del aparato 2000 (figura 4), de acuerdo con las realizaciones, la primera tabla de consulta LUT (figura 4) comprende un primer número predeterminado de vectores de muestra de salida (calculados previamente) junto con los conjuntos respectivos asociados de datos de entrada. Por lo tanto, al realizar una consulta de tabla en función de dichos datos de entrada, pueden obtenerse los vectores de muestra de salida correspondientes a partir de dicha primera tabla de consulta LUT1.

En otras palabras, de acuerdo con algunas realizaciones, dicha primera tabla de consulta LUT1 puede comprender dichos vectores de muestra de salida que se calculan previamente para una sub-banda prototípica específica (que corresponde a la omisión de la variable de índice de sub-banda i mencionada en la ecuación 2, o la elección de, por ejemplo, i=1), y las subportadoras respectivas de las que representan "posiciones" de subportadora relativas dentro de dicha sub-banda prototípica. Cada vez que una sub-banda deseada debe generar una señal dentro de dicha sub-banda prototípica, después de la o las consultas de tabla, puede realizarse el desplazamiento de frecuencia mencionado anteriormente de acuerdo con algunas realizaciones.

La figura 5A representa esquemáticamente un diagrama de bloques simplificado de acuerdo con una realización. La funcionalidad del diagrama de bloques 5a puede estar, por ejemplo, comprendida, al menos en parte, en el aparato 2000 como se representa en la figura 4.

El bloque 102 representa una entrada de datos de usuario, por ejemplo, en forma de datos binarios, que debe transmitirse por medio de una señal modulada multiportadora mcs a generar de acuerdo con las realizaciones.

El bloque 104 representa la información de control de sub-banda que señala una posición de sub-banda deseada, que indica, dentro de cuál o cuáles de las sub-bandas sb1, sb2, ..., (figura 2) de la señal modulada multiportadora mcs, van a transmitirse los datos de entrada de usuario proporcionados al bloque 102.

El bloque 106 realiza una consulta de tabla en la primera tabla de consulta LUT1_a, que puede comprender, por ejemplo, una forma como se representa en la figura 6a.

De acuerdo con la presente realización, dicha primera tabla de consulta LUT1_a comprende M^Q vectores de muestra de salida, siendo M igual o mayor de 2, siendo Q un número entero positivo y representando un número de subportadoras s_c (figura 2) por sub-banda, estando cada uno de dichos M^Q vectores de muestra de salida de dicha primera tabla de consulta LUT1_a asociado a un conjunto respectivo de datos de entrada, representando preferentemente dicho conjunto respectivo de datos de entrada una combinación específica de símbolos de modulación para dichas Q subportadoras.

Actualmente, por ejemplo, M se elige para que sea igual a 2, es decir, M=2, lo que, por ejemplo, corresponde a un esquema de modulación de BPSK (modulación por desplazamiento de fase binaria). Actualmente, por ejemplo, Q se elige para que sea igual a 12, es decir, Q=12, lo que significa que hay Q=12 subportadoras por sub-banda sb1, sb2,... (figura 2). Por lo tanto, la primera tabla de consulta LUT1_a comprende actualmente $M^Q = 2^{12} = 4096$

entradas, por ejemplo, líneas, cada una de las cuales comprende un vector de muestra de salida que tiene $(N+L-1)$ componentes de vector de valores complejos cada uno.

Actualmente, por ejemplo, N se elige para que sea igual a 1024, es decir, $N=1024$, lo que indica que se usan 1024 puntos para la iFFT, como se ha explicado anteriormente y como se representa por la matriz de iFFT V_{ik} de la ecuación 2 anterior. Actualmente, por ejemplo, L se elige para que sea igual a 74, es decir, $L=74$, lo que indica una longitud de filtro del filtro de FIR implementado por la matriz de Toeplitz F_{ik} , como se ha explicado anteriormente con referencia a la ecuación 2. Por lo tanto, actualmente, el vector de muestra de salida tiene $(N+L-1) = 1024+74-1 = 1097$ componentes de vector de valores complejos $x_1, x_2, x_3, \dots, x_{1097}$ cada uno.

Para determinar un vector de muestra de salida deseado x (figura 5a), se realiza una consulta de tabla en la primera tabla de consulta LUT1_a, que comprende determinar qué línea de la primera tabla de consulta LUT1_a hay que considerar, y qué produce el vector de muestra de salida respectivo comprendido en dicha línea de dicha tabla LUT1_a.

Actualmente, los datos de entrada de usuario del bloque 102 se usan para determinar qué línea de la primera tabla de consulta LUT1_a hay que considerar. Esto se representa a modo de ejemplo en la tabla de datos de entrada de usuario ID_a de la figura 6a. Debe tenerse en cuenta que no es necesario generar o almacenar dicha tabla ID_a cuando se realiza el método de acuerdo con las realizaciones. Por el contrario, esta tabla ID_a simplemente representa un índice para acceder a la primera tabla de consulta LUT1_a en función de los datos de entrada de usuario.

Supongamos que para una secuencia de datos de entrada digital de "000000000000", se consulta un vector de muestra de salida correspondiente en dicha tabla LUT1_a. En este caso, se determina que debe evaluarse la línea 11, es decir, la primera línea, de la primera tabla de consulta LUT1_a para obtener el vector de muestra de salida correspondiente adecuado. Mientras que, si va a recuperarse un vector de muestra de salida correspondiente adecuado para una secuencia de datos de entrada digital de "111111111111", se determina que la línea 14095, es decir, la última línea, de la primera tabla de consulta LUT1_a debe evaluarse, y similares.

Cuando la primera tabla de consulta LUT1_a comprende valores calculados previamente para los vectores de muestra de salida potencialmente deseados, los valores de dichos vectores de muestra de salida deseados pueden consultarse fácilmente en dicha tabla durante el funcionamiento del aparato 2000 (figura 4) y no es necesario que se calculen dinámicamente, por ejemplo, de acuerdo con la ecuación 2 anterior. Esto ahorra una cantidad sustancial de recursos de procesamiento en el aparato 2000 y, por lo tanto, permite proporcionar unos aparatos 2000 con una complejidad y unos requisitos de potencia reducidos.

La provisión de la primera tabla de consulta LUT1_a también puede considerarse para calcular previamente una sola ecuación de sub-banda de frecuencia prototipo 2, como se ha indicado anteriormente, y almacenar los resultados de dicho cálculo en la primera tabla de consulta LUT1_a.

Opcionalmente, de acuerdo con otra realización, cuando se calcula previamente la sub-banda prototipo para su almacenamiento en la primera tabla de consulta LUT1_a, también pueden aplicarse técnicas de preprocesamiento de RF (radiofrecuencia), tales como, por ejemplo, el recorte, el filtrado adicional, a la sub-banda prototipo así obtenida.

Después de la consulta de tabla del bloque 106 (figura 5a), como resultado, se obtiene el vector de muestra de salida deseado x para toda una sub-banda. Opcionalmente, puede realizarse un desplazamiento de frecuencia en dicho vector de muestra de salida x por medio del bloque 108, por lo que se obtiene un vector de muestra de salida con desplazamiento de frecuencia $x_{\text{desplazamiento}}$. Esto es especialmente beneficioso si la sub-banda deseada para la salida de los datos de entrada de usuario modulados es diferente de la sub-banda prototipo para la que se ha calculado previamente la primera tabla de consulta LUT1_a.

Por ejemplo, si la sub-banda prototipo para la que se ha calculado previamente la primera tabla de consulta corresponde a la primera sub-banda sb1 de la señal modulada multiportadora mcs de la figura 2, pero la señal resultante deben estar comprendida en, por ejemplo, la segunda sub-banda sb2, el desplazamiento de frecuencia mencionado anteriormente puede aplicarse por medio del bloque 108 de la figura 5a. De acuerdo con otra realización, por medio del bloque 108 de la figura 5a, pueden realizarse desplazamientos de frecuencia de múltiplos de un ancho de banda de sub-banda.

De acuerdo con otra realización, dicho desplazamiento de frecuencia se realiza determinando un vector de desplazamiento de frecuencia complejo a (figura 4) a partir de la segunda tabla de consulta LUT2, y aplicando el producto Hadamard en dicho vector de muestra x (figura 5a) y dicho vector de desplazamiento de frecuencia complejo a . Es decir, para aplicar el desplazamiento de frecuencia por medio de un vector de desplazamiento de frecuencia a así recuperado, se multiplica en términos de elementos, en el sentido del producto Hadamard, por el vector de muestra de salida respectivo x , para obtener el vector de muestra de salida con desplazamiento de frecuencia $x_{\text{desplazamiento}}$ (figura 5a).

De acuerdo con otra realización, dicho vector de desplazamiento de frecuencia complejo a se determina a partir de dicha segunda tabla de consulta LUT2 en función de un valor deseado para dicho desplazamiento de frecuencia.

5 Por ejemplo, el vector de desplazamiento de frecuencia puede comprender $N+L-1$ elementos tales como:

$$a = [1, e^{(j\phi)}, e^{(j2\phi)}, e^{(j3\phi)}, \dots, e^{(j^{(N+L-1)}\phi)}],$$

donde ϕ representa un desplazamiento de fase continuo para desplazar la sub-banda del vector de muestra de salida x a la posición de frecuencia deseada.

10 De acuerdo con otra realización, si se consideran las señales de CP-OFDM, solo se requieren N últimas muestras (en oposición a $N+L-1$) del vector de desplazamiento de frecuencia a para considerar que la aplicación del prefijo cíclico (CP) implica una repetición de los valores de muestra.

15 El párrafo siguiente evalúa el consumo de memoria estimado para los vectores de muestra de salida x en la realización de acuerdo con la figura 5a, es decir, los requisitos de almacenamiento de la primera tabla de consulta LUT1_a. Cuando se considera CP-OFDM, hay muestras $N \cdot M^Q$ ($N \cdot M^Q$), con 2 bytes para cada parte I/Q (es decir, la parte real e imaginaria de los números complejos respectivos representados por los componentes x_1, x_2, \dots del vector de muestra de salida), $N=1024$ (tamaño de iFFT, véase arriba), $M=2$ (tipo de modulación: BPSK), $Q=12$ (es decir, doce subportadoras por sub-banda):

20 $1024 \cdot 2^{12} \cdot 2^2 = 165777216 \approx 16,7$ megabytes. Al considerar UF-OFDM, hay $(N+L-1) \cdot M^Q$ muestras, con 2 bytes para cada parte I/Q, $N=1024$, $L=74$, $M=2$ (BPSK), $Q=12$; $(1024+74-1) \cdot 2^{12} \cdot 2^2 = 17973248 \approx 18$ megabytes.

25 El párrafo siguiente evalúa el consumo de memoria estimado para el vector de desplazamiento de frecuencia a , es decir, la segunda tabla de consulta LUT2. Al considerar CP-OFDM: $N \cdot B$ muestras (B es el número de desplazamientos de frecuencia potencialmente requeridos), con 2 bytes para cada parte I/Q, $N=1024$, $B=50$: ≈ 200 kilobytes, y al considerar UF-OFDM: $(N+L-1) \cdot B$ muestras (B es el número de desplazamientos de frecuencia potencialmente requeridos), con 2 bytes para cada parte I/Q, $N=1024$, $B=50$: 214 kilobytes.

30 Téngase en cuenta que, de acuerdo con una realización, puede usarse una inversión binaria con complejidad insignificante para cambios de signo con el fin de reducir aún más el número de desplazamientos a almacenar mediante el almacenamiento del mismo vector para desplazamientos de frecuencia positivos y negativos. Téngase en cuenta también que el consumo de memoria para la segunda tabla de consulta LUT2 en las realizaciones adicionales que se explican a continuación es sustancialmente idéntico, por lo que no se menciona para evitar la repetición.

35 El párrafo siguiente evalúa el número total estimado de operaciones matemáticas para la realización, como se ha explicado anteriormente con referencia a la figura 5a. Al considerar CP-OFDM: $6 \cdot N$ (una multiplicación compleja requiere 6 operaciones reales); por ejemplo, configurar esto es el 17,6 % de la complejidad de CP-OFDM regular (sin SC-FDMA), y al considerar UF-OFDM: $6 \cdot (N+L-1)$; por ejemplo, configurar esto es el 18,9 % de la complejidad de CP-OFDM sin filtrar.

45 Para la realización, como se ha explicado anteriormente con referencia a la figura 5a, el tamaño de memoria requerido crece exponencialmente con el parámetro M en la base. Es decir, los requisitos de memoria para el esquema de modulación de QPSK con $Q=6$ subportadoras y para el esquema de modulación de 16-QAM con 3 subportadoras son idénticos.

50 Como resultado, la realización, como se ha explicado anteriormente con referencia a la figura 5a, es especialmente beneficiosa para esquemas de modulación "de orden bajo", tales como BPSK ($M=2$) o QPSK ($M=4$) con algunas subportadoras ($Q \leq 12$). Por supuesto, si hay suficiente memoria disponible para las tablas de consulta LUT1_a, LUT2, también son posibles esquemas de modulación de orden superior, tales como 16QAM o incluso 64QAM y un mayor número de subportadoras.

55 La figura 5b representa esquemáticamente un diagrama de bloques simplificado de acuerdo con otra realización. Por ejemplo, la funcionalidad del diagrama de bloques 5b puede estar comprendida, al menos en parte, en el aparato 2000 como se representa en la figura 4.

60 De manera similar a la realización de la figura 5a, el bloque 102 de la figura 5b representa una entrada de datos de usuario, por ejemplo, en forma de datos binarios, que se transmiten por medio de una señal modulada multiportadora mcs que se generará de acuerdo con las realizaciones. El bloque 104 representa información de control de sub-banda que señala una posición de sub-banda deseada que indica, dentro de cuál o cuáles de las sub-bandas sb_1, sb_2, \dots (figura 2) de la señal modulada multiportadora mcs , van a transmitirse los datos de entrada de usuario proporcionados al bloque 102.

El bloque 106 realiza una consulta de tabla en la primera tabla de consulta LUT1_b, que puede comprender, por ejemplo, una forma tal como la representada en la figura 6b. De acuerdo con la presente realización, dicha primera tabla de consulta LUT1_b comprende $M \cdot Q$ vectores de muestra de salida, siendo M igual o mayor de 2, siendo Q un número entero positivo y representando un número de subportadoras sc , y donde cada uno de dichos $M \cdot Q$ vectores de muestra de salida de dicha primera tabla de consulta LUT1_b está asociado a un conjunto respectivo de datos de entrada, representando preferentemente dicho conjunto respectivo de datos de entrada una combinación específica de símbolos de modulación para dichas Q subportadoras.

Actualmente, por ejemplo, M se elige para que sea igual a 2, es decir, $M=2$, lo que, por ejemplo, corresponde a BPSK. Actualmente, por ejemplo, Q se elige para que sea igual a 12, es decir, $Q=12$, lo que significa que hay $Q=12$ subportadoras por sub-banda $sb1, sb2, \dots$ (figura 2). Por lo tanto, la primera tabla de consulta LUT1_b comprende actualmente $M \cdot Q = 2 \cdot 12 = 24$ entradas, por ejemplo, líneas, cada una de las cuales comprende un vector de muestra de salida que tiene actualmente $(N+L-1)$ componentes de vector de valores complejos cada uno.

Actualmente, por ejemplo, y de manera similar a la realización de la figura 5a, N se elige para que sea igual a 1024, es decir, $N=1024$, lo que indica que se usan 1024 puntos para la iFFT, como se ha explicado anteriormente y como se representa por la matriz de iFFT V_{ik} de la ecuación 2 anterior. Actualmente, por ejemplo, L se elige para que sea igual a 74, es decir, $L=74$, lo que indica una longitud de filtro del filtro de FIR implementado por la matriz de Toeplitz F_{ik} , como se ha explicado anteriormente con referencia a la ecuación 2. Por lo tanto, actualmente, el vector de muestra de salida tiene $(N+L-1) = 1024+74-1 = 1097$ componentes de vector de valores complejos $x_1, x_2, x_3, \dots, x_{1097}$ cada uno.

Para determinar un vector de muestra de salida deseado x (figura 5b), se realiza una consulta de tabla en la primera tabla de consulta LUT1_b, que comprende determinar qué línea de la primera tabla de consulta LUT1_b hay que considerar, y qué produce el vector de muestra de salida respectivo x comprendido en dicha línea de dicha tabla LUT1_b.

Actualmente, los datos de entrada de usuario del bloque 102 se usan para determinar qué línea de la primera tabla de consulta LUT1_a hay que considerar. Esto se representa a modo de ejemplo en la tabla de datos de entrada de usuario ID_b de la figura 6b. Debe tenerse en cuenta que no es necesario generar o almacenar dicha tabla ID_b cuando se realiza el método de acuerdo con las realizaciones. Por el contrario, esta tabla ID_b simplemente representa el índice para acceder a la primera tabla de consulta LUT1_b en función de los datos de entrada de usuario.

Supongamos que para unos datos de entrada digitales correspondientes a un símbolo de modulación de "0", asociado a una posición de sub-banda relativa (es decir, una frecuencia de subportadora específica dentro de una sub-banda considerada) de "2", se consulta un vector de muestra de salida correspondiente en dicha primera tabla de consulta LUT1_b. En este caso, se determina que debe evaluarse la línea l2, es decir, la segunda línea, de la primera tabla de consulta LUT1_b para obtener el vector de muestra de salida correspondiente $[X_{2,1}, X_{2,2}, X_{2,3}, \dots, X_{2,N+L-1}]$, debido a que dicha segunda línea l2 corresponde a un símbolo de modulación de "0", véase la primera columna c1 de la tabla ID_b, y a una posición de sub-banda relativa de "2", véase la segunda columna c2 de la tabla ID_b. Mientras que, si debe recuperarse un vector de muestra de salida correspondiente para un símbolo de modulación "1" asociado a una posición de sub-banda relativa de valor "Q", se determina que debe evaluarse la línea l24, es decir, la última línea, de la primera tabla de consulta LUT1_b, véase la línea l24 de la tabla ID_b, que produce el vector de muestra de salida $[X_{Q,1}, X_{Q,2}, X_{Q,3}, \dots, X_{Q,N+L-1}]$.

Como la primera tabla de consulta LUT1_b de la figura 5b comprende valores calculados previamente para los vectores de muestra de salida potencialmente deseados, los valores de dichos vectores de muestra de salida deseados pueden consultarse fácilmente en dicha tabla durante el funcionamiento del aparato 2000 (figura 4) y no es necesario que se calculen dinámicamente, por ejemplo, de acuerdo con la ecuación 2 anterior. Esto ahorra una cantidad sustancial de recursos de procesamiento en el aparato 2000 y, por lo tanto, permite proporcionar unos aparatos 2000 con una complejidad y unos requisitos de potencia reducidos.

Sin embargo, en contraste con la realización de la figura 5a, la primera tabla de consulta LUT1_b de la figura 5b no comprende un vector de muestra de salida respectivo para una sub-banda completa. Por el contrario, la primera tabla de consulta LUT1_b de la figura 5b comprende unos vectores de muestra de salida respectivos por tupla (símbolo de modulación/subportadora). En otras palabras, si debe evaluarse una sub-banda completa de, por ejemplo, $Q=12$ subportadoras empleando la realización de la figura 5b, deben realizarse $Q=12$ consultas de la tabla de consulta LUT1_b (es decir, una consulta por subportadora), por lo que actualmente se obtienen $Q=12$ vectores de muestra de salida, que se combinan combinando el bloque 106' para obtener un vector de suma como dicho vector de muestra x .

De acuerdo con la presente realización de la figura 5b, por ejemplo, una matriz de modulación general para una sub-banda, $T_{UF} = FVPD$, es de dimensión $(N+L-1) \times Q$. El m -ésimo vector de columna t_m de T_{UF} se atribuye a la m -ésima entrada de símbolo de modulación s_m . Esta solución de realización usa a continuación los vectores de columna individuales t_m . Para calcular la contribución del m -ésimo símbolo de modulación al vector de muestra prototipo

general, se determina en primer lugar el vector de modulación $s_m t_m$. A continuación, para proporcionar la tabla de consulta LUT1_b, todas las M combinaciones de $s_m t_m$ se almacenan en la LUT. De acuerdo con una realización alternativa, la expresión " $s_m t_m$ " se calcula en línea, es decir, en tiempo real o dinámicamente, ahorrando memoria pero aumentando la complejidad del procesamiento.

5 De acuerdo con la presente realización de la figura 5b, para una entrada de modulación determinada, el vector de modulación adecuado $s_m t_m$ se lee de la LUT. Téngase en cuenta que en el contexto de la presente descripción, dicho vector de modulación también se indica como "vector de muestra de salida". A continuación, se añaden todos los vectores de modulación o vectores de muestra de salida, véase el combinador 106' de la figura 5b, hacia arriba y, opcionalmente, se realiza un desplazamiento de frecuencia mediante $x_{\text{desplazado}} = x \cdot a$, si fuera necesario. De acuerdo con otra realización, para CP-OFDM solo se deben almacenarse y calcularse las últimas N muestras.

10 La provisión de la primera tabla de consulta LUT1_b y una sola tabla de consulta en la misma también puede considerarse como un cálculo previo para una sola subportadora de una sola ecuación de sub-banda de frecuencia prototipo 2, como se ha indicado anteriormente, y el almacenamiento de los resultados de dicho cálculo en la primera tabla de consulta LUT1_b.

15 Opcionalmente, de acuerdo con otra realización, cuando se calcula previamente la sub-banda prototipo para su almacenamiento en la primera tabla de consulta LUT1_b, también pueden aplicarse técnicas de preprocesamiento de RF (radiofrecuencia), tales como, por ejemplo, el recorte, el filtrado adicional, a la sub-banda prototipo así obtenida.

20 Después de las múltiples consultas de tabla del bloque 106 y el bloque de combinación 106', como resultado, se obtiene el vector de muestra de salida deseado x. Opcionalmente, como ya se ha mencionado anteriormente, puede realizarse un desplazamiento de frecuencia en dicho vector de muestra de salida x por medio del bloque 108, por lo que se obtiene un vector de muestra de salida con desplazamiento de frecuencia $x_{\text{desplazamiento}}$. Esto es especialmente beneficioso si la sub-banda deseada para la salida de los datos de entrada de usuario modulados es diferente de la sub-banda prototipo para la que se ha calculado previamente la primera tabla de consulta LUT1_b.

25 Por ejemplo, si la sub-banda prototipo para la que se ha calculado previamente la primera tabla de consulta corresponde a la primera sub-banda sb1 de la señal modulada multiportadora mcs de la figura 2, pero la señal resultante debe estar comprendida en, por ejemplo, la segunda sub-banda sb2, el desplazamiento de frecuencia mencionado anteriormente puede aplicarse por medio del bloque 108 de la figura 5b de manera similar al procedimiento ya explicado anteriormente con referencia a la figura 5a.

30 El párrafo siguiente evalúa el consumo de memoria estimado para los vectores de muestra de salida x en la realización de acuerdo con la figura 5b, es decir, los requisitos de almacenamiento de la primera tabla de consulta LUT1_b. Al considerar CP-OFDM, hay $N \cdot M \cdot Q$ muestras; con 2 bytes para cada parte I/Q, $N=1024$, $M=2$ (BPSK), $Q=12$: ≈ 100 kbytes (64 QAM $\approx 3,2$ Mbytes); y al considerar UF-OFDM, hay $(N+L-1) \cdot M \cdot Q$ muestras; con 2 bytes para cada parte I/Q, $N=1024$, $L=74$, $M=2$ (BPSK), $Q=12$: 105 bytes, (64 QAM $\approx 3,4$ Mbytes).

35 El párrafo siguiente evalúa el número total estimado de operaciones matemáticas para la realización, como se ha explicado anteriormente con referencia a la figura 5b. Al considerar CP-OFDM: $2 \cdot N \cdot (Q-1) + 6 \cdot N$ (una multiplicación compleja requiere 2 operaciones reales); por ejemplo, configurar esto es el 82,3 % de la complejidad de CP-OFDM regular (sin SC-FDMA). Al considerar UF-OFDM: $2 \cdot (N+L-1) \cdot (Q-1) + 6 \cdot (N+L-1)$; por ejemplo, configurar esto es el 88,2 % de la complejidad de CP-OFDM sin filtrar.

40 La figura 5c representa esquemáticamente un diagrama de bloques simplificado de acuerdo con otra realización. Por ejemplo, la funcionalidad del diagrama de bloques 5c puede estar comprendida, al menos parcialmente, en el aparato 2000 como se representa en la figura 4.

45 De manera similar a la realización de la figura 5b, el bloque 102 de la figura 5c representa una entrada de datos de usuario, por ejemplo, en forma de datos binarios, que debe transmitirse por medio de una señal modulada multiportadora mcs a generar de acuerdo con las realizaciones. El bloque 104 representa la información de control de sub-banda que señala una posición de sub-banda deseada, que indica, dentro de cuál o cuáles de las sub-bandas sb1, sb2, ..., (figura 2) de la señal modulada multiportadora mcs, van a transmitirse los datos de entrada de usuario proporcionados al bloque 102.

50 El bloque 106 realiza una consulta de tabla en la primera tabla de consulta LUT1_c, que puede comprender, por ejemplo, una forma como se representa por la figura 6c. De acuerdo con la presente realización, dicha primera tabla de consulta LUT1_c comprende $(M^P) \cdot (Q/P)$ vectores de muestra de salida, siendo M igual o mayor de 2, siendo Q un número entero positivo y representando un número total de subportadoras sc por sub-banda, donde P es un número entero positivo y representa un número de subportadoras por grupo de subportadoras, y donde cada uno de dichos $(M^P) \cdot (Q/P)$ vectores de muestra de salida de dicha primera tabla de consulta (LUT1_c) está asociado a un conjunto respectivo de datos de entrada, representando preferentemente dicho conjunto respectivo de datos de entrada una combinación específica de P símbolos de modulación para dichas P subportadoras por grupo de

subportadoras.

Actualmente, por ejemplo, M se elige para que sea igual a 2, es decir, $M=2$, lo que, por ejemplo, corresponde a BPSK. Actualmente, por ejemplo, Q se elige para que sea igual a 12, es decir, $Q=12$, lo que significa que hay $Q=12$ subportadoras por sub-banda sb1, sb2,... (figura 2). Además, actualmente, por ejemplo, P se elige para que sea igual a 2, es decir, $P=2$, lo que significa que hay dos subportadoras por grupo de subportadoras. Por lo tanto, la primera tabla de consulta LUT1_c de acuerdo con la figura 6c, comprende actualmente $(M \wedge P) * (Q/P) = (2^2) * (12/2) = 4*6 = 24$ entradas, por ejemplo, líneas l1, ..., l24, cada una de las cuales comprende un vector de muestra de salida que tiene actualmente $(N+L-1)$ componentes de vector de valores complejos cada uno.

Actualmente, por ejemplo, y de manera similar a la realización de la figura 5b, N se elige para que sea igual a 1024, es decir, $N=1024$, lo que indica que se usan 1024 puntos para la iFFT, como se ha explicado anteriormente y como se representa por la matriz de iFFT V_{ik} de la ecuación (2) anterior. Actualmente, por ejemplo, L se elige para que sea igual a 74, es decir, $L=74$, lo que indica una longitud de filtro del filtro de FIR implementado por la matriz de Toeplitz F_{ik} , y como se ha explicado anteriormente con referencia a la ecuación (2). Por lo tanto, actualmente, el vector de muestra de salida tiene $(N+L-1) = 1024+74-1 = 1097$ componentes de vector de valores complejos $x_1, x_2, x_3, \dots, x_{1097}$ cada uno.

Para determinar un vector de muestra de salida deseado x (figura 5c), se realiza una consulta de tabla en la primera tabla de consulta LUT1_c, que comprende determinar qué línea de la primera tabla de consulta LUT1_c hay que considerar, y qué produce el vector de muestra de salida respectivo comprendido en dicha línea de dicha tabla LUT1_c.

Actualmente, los datos de entrada de usuario del bloque 102 se usan para determinar qué línea de la primera tabla de consulta LUT1_c hay que considerar. Esto se representa a modo de ejemplo en la tabla de datos de entrada de usuario ID_c de la figura 6c. Debe tenerse en cuenta que no es necesario generar o almacenar dicha tabla ID_c cuando se realiza el método de acuerdo con las realizaciones. Por el contrario, esta tabla ID_c simplemente representa el índice para acceder a la primera tabla de consulta LUT1_c en función de los datos de entrada de usuario.

Supongamos que para unos datos de entrada digitales correspondientes a dos símbolos de modulación de "00", asociados a unas posiciones de sub-banda relativas 1 y 2 (es decir, unas frecuencias de subportadora específicas dentro de una sub-banda considerada), se consulta un vector de muestra de salida correspondiente en dicha primera tabla de consulta LUT1_c. En este caso, se determina que debe evaluarse la línea l1, es decir, la primera línea, de la primera tabla de consulta LUT1_c para obtener el vector de muestra de salida correspondiente, debido a que dicha primera línea l1 corresponde a una tupla de símbolo de modulación de "00", véase la primera columna c1, primera línea l1, de la tabla ID_c, y a unas posiciones de sub-banda relativas de "1&2", véase la segunda columna c2, primera línea l1, de la tabla ID_c. Mientras que, si debe recuperarse un vector de muestra de salida correspondiente adecuado para un símbolo de modulación 2-tupla de "11" asociado a unas posiciones de sub-banda relativas de "Q-1" y "Q", se determina que debe evaluarse la línea l24, es decir, la última línea, de la primera tabla de consulta LUT1_c, véase la línea l24 de la tabla ID_c.

Como la primera tabla de consulta LUT1_c de la figura 5c comprende valores calculados previamente para los vectores de muestra de salida potencialmente deseados, los valores de dichos vectores de muestra de salida deseados pueden consultarse fácilmente en dicha tabla durante el funcionamiento del aparato 2000 (figura 4) y no es necesario que se calculen dinámicamente, por ejemplo, de acuerdo con la ecuación 2 anterior. Esto ahorra una cantidad sustancial de recursos de procesamiento en el aparato 2000 y, por lo tanto, permite proporcionar unos aparatos 2000 con una complejidad y unos requisitos de potencia reducidos.

Sin embargo, en contraste con la realización de la figura 5a, la primera tabla de consulta LUT1_c de la figura 5c no comprende un vector de muestra de salida respectivo para una sub-banda completa. Además, en contraste con la realización de la figura 5b, la primera tabla de consulta LUT1_c de la figura 5c no comprende un vector de muestra de salida respectivo para una única subportadora. Por el contrario, la primera tabla de consulta LUT1_c de la figura 5c comprende unos vectores de muestra de salida respectivos por P-tupla de (actualmente $P=2$) símbolos de modulación y (actualmente 2) subportadoras. En otras palabras, si debe evaluarse una sub-banda completa de, por ejemplo, $Q=12$ subportadoras empleando la realización de la figura 5c, deben realizarse Q/P consultas de tabla (es decir, actualmente 6) de la tabla de consulta LUT1_c, por lo que actualmente se obtienen 6 vectores de muestra de salida, que se combinan combinando el bloque 106' para obtener un vector de suma como dicho vector de muestra x. Por ejemplo, si usando la tabla de consulta LUT1_c de la figura 6c, deben consultarse los vectores de muestra de salida para una sub-banda completa que tiene $Q=12$ subportadoras, por ejemplo, para la tupla de símbolo de modulación "00", deben realizarse seis consultas de tabla, es decir, una primera consulta para la tupla de símbolos "00" en combinación con las subportadoras 1 y 2 (columna 2 de la tabla ID_c), que produce la línea l1 de LUT1_c, una segunda consulta para la misma tupla de símbolos "00", pero ahora en combinación con las otras subportadoras 3 y 4 (columna 2 de la tabla ID_c), que produce la línea l2 de LUT1_c, y así sucesivamente, hasta una sexta consulta para la misma tupla de símbolos "00", pero ahora en combinación con las otras (y las dos últimas) subportadoras 11 y 12 ("Q&Q-1") (columna 2 de la tabla ID_c), que produce la línea seis (sin signo de referencia) de

LUT1_c. Cada uno de los seis vectores de muestra de salida así obtenidos representa una parte de señal de dominio de tiempo para las dos subportadoras respectivas junto con el símbolo de modulación asociado 2-tupla para el que se ha calculado previamente. Por lo tanto, si debe obtenerse el vector de muestra de salida general para la sub-banda completa, puede realizarse una combinación, es decir, adición, de estos seis vectores de muestra de salida en el bloque 106' de la figura 5c, que produce el vector de muestra deseado x .

Opcionalmente, como en las realizaciones anteriores explicadas anteriormente con referencia a las figuras 5a, 5b, un desplazamiento de frecuencia puede realizarse por el bloque 108 de la figura 5c, que también puede, de acuerdo con una realización, hacer uso de una tabla de consulta LUT2, cuyos detalles se han explicado anteriormente con referencia a la figura 5a.

La presente realización de acuerdo con la figura 5c puede considerarse como un compromiso entre la realización de la figura 5a y la realización de la figura 5b en términos de uso de memoria y el requisito de las etapas de consulta, lo que permite equilibrar los requisitos de complejidad y de memoria. Al ajustar la cantidad de símbolos (actualmente $P=2$) manejados en una tabla de consulta conjunta, en este caso la primera tabla de consulta LUT1_c (figura 6c), puede ajustarse el punto de compensación deseado.

De acuerdo con otra realización, también es posible proporcionar dicha primera tabla de consulta LUT1_c de las figuras 5c, 6c de una manera que comprende vectores de muestra de salida para diferentes grupos de subportadoras, comprendiendo al menos dos grupos de subportadoras un número diferente de subportadoras cada uno. Por ejemplo, en este caso, de acuerdo con un ejemplo, la primera tabla de consulta LUT1_c podría comprender un primer número de vectores de muestra de salida, cuyo primer número está asociado a un primer conjunto respectivo de datos de entrada, representando preferentemente dicho primer conjunto respectivo de datos de entrada una combinación específica de P_1 símbolos de modulación para dichas P_1 subportadoras por (primer) grupo de subportadoras, y pudiendo (la misma) primera tabla de consulta comprender un segundo número de vectores de muestra de salida, cuyo segundo número está asociado a un segundo conjunto respectivo de datos de entrada, representando preferentemente dicho segundo conjunto respectivo de datos de entrada una combinación específica de P_2 símbolos de modulación para dichas P_2 subportadoras por (segundo) grupo de subportadoras, siendo P_1 diferente de P_2 . En otras palabras, la primera tabla de consulta puede comprender, por ejemplo, varios vectores de muestra de salida para grupos de subportadoras que tienen, por ejemplo, $P_1=3$ subportadoras y sus símbolos de modulación asociados, así como varios vectores de muestra de salida adicionales para otros grupos de subportadoras que tienen, por ejemplo, $P_2=2$ subportadoras y sus símbolos de modulación asociados, y similares. En este caso, una primera tabla de consulta LUT1_c completa comprendería un número total de vectores de muestra de salida diferentes del ejemplo explicado anteriormente (dicho ejemplo tenía $(M^P) \cdot (Q/P)$ vectores de muestra de salida), entre otros, en función del tamaño respectivo de los grupos de subportadoras.

De acuerdo con una realización, para el ejemplo de almacenar los primeros P símbolos de entrada de una sub-banda, deben almacenarse todas las M^P posibles combinaciones de $s_1 t_1 + s_2 t_2 + \dots + s_P t_P$. Sin pérdida de generalidad, supongamos que Q puede dividirse por P . A continuación, es necesario realizar $(Q/P-1)$ adiciones complejas para generar el vector de sub-banda completo x . A continuación, opcionalmente, como se ha explicado anteriormente, puede realizarse un desplazamiento de frecuencia con $x_{\text{desplazado}} = x \bullet a$, donde el operador " \bullet " indica el producto Hadamard (es decir, en términos de elementos) del vector de salida y el vector de desplazamiento de frecuencia a .

De acuerdo con otra realización, para CP-OFDM (en contraste con el ejemplo de UF-OFDM considerado anteriormente) de nuevo solo hay que almacenar y calcular las últimas N muestras.

El párrafo siguiente evalúa el consumo de memoria estimado para los vectores de muestra de salida x en la realización de acuerdo con la figura 5c, es decir, los requisitos de almacenamiento de la primera tabla de consulta LUT1_c. Al considerar CP-OFDM, hay $N \cdot M^P \cdot Q/P$ muestras; con 2 bytes para cada parte I/Q, $N=1024$, $M=2$ (BPSK), $Q=12$, $P=2$: ≈ 100 kbytes (para 16 QAM $\approx 6,3$ Mbytes, 64 QAM 100 Mbytes).

Al considerar UF-OFDM, hay $(N+L-1) \cdot M^P \cdot Q/P$ muestras, con 2 bytes para cada parte I/Q, $N=1024$, $L=74$, $M=2$ (BPSK), $Q=12$, $P=2$: ≈ 105 kbytes (para 16 QAM $\approx 6,7$ Mbytes, 64 QAM ≈ 107 Mbytes).

El párrafo siguiente evalúa el número total estimado de operaciones matemáticas para la realización, como se ha explicado anteriormente con referencia a la figura 5c. Al considerar CP-OFDM, hay $2 \cdot N \cdot (Q/P-1) + 6 \cdot N$ operaciones (una multiplicación compleja requiere 2 operaciones reales); por ejemplo, configurar esto es el 29,4 % de la complejidad de CP-OFDM regular (sin SC-FDMA), y al considerar UF-OFDM, hay $2 \cdot (N+L-1) \cdot (Q/P-1) + 6 \cdot (N+L-1)$ operaciones; por ejemplo, configurar esto es el 31,5 % de la complejidad de CP-OFDM sin filtrar.

Opcionalmente, de acuerdo con otra realización, cuando se calculan previamente los vectores de muestra de salida para su almacenamiento en la primera tabla de consulta LUT1_c, también pueden aplicarse técnicas de preprocesamiento de RF (radiofrecuencia), tales como, por ejemplo, el recorte, el filtrado adicional, a la sub-banda prototipo así obtenida.

El principio de acuerdo con las realizaciones proporciona una reducción de la complejidad ventajosa para proporcionar formas de onda 5G, especialmente cuando se usan dispositivos de gama baja con anchos de banda de asignación más pequeños y limitaciones de capacidad de procesamiento más estrictas. El principio de acuerdo con las realizaciones proporciona una reducción de la complejidad, que va del factor 6 al 20% en comparación con la OFDM convencional para la generación de una sub-banda y soporta formas de onda multiportadora filtradas al precio de una pequeña cantidad de memoria adicional requerida para proporcionar la primera tabla de consulta LUT (y opcionalmente la segunda tabla de consulta LUT2).

- 5
- 10

El principio de acuerdo con las realizaciones puede aplicarse, por ejemplo, en una parte (transmisor de un terminal 300 o la estación base 400) de un procesamiento de interfaz aérea en sistemas 5G.

REIVINDICACIONES

1. Método para proporcionar un vector de muestra (x) que representa al menos una parte de una señal modulada multiportadora (mcs) del tipo multiplexación por división de frecuencia ortogonal, OFDM, tipo que comprende al menos una sub-banda (sb1), en donde dicha sub-banda (sb1) comprende una pluralidad de subportadoras (sc), que comprende las siguientes etapas:
- proporcionar (200) una primera tabla de consulta (LUT; LUT1_a; LUT1_b; LUT1_c), en donde dicha primera tabla de consulta (LUT1_a; LUT1_b; LUT1_c) comprende un primer número predeterminado de vectores de muestra de salida asociados a los respectivos conjuntos de datos de entrada,
 - obtener (210) un segundo número predeterminado de n vectores de muestra de salida deseados a partir de dicha primera tabla de consulta (LUT1_a; LUT1_b; LUT1_c), en donde n es igual o mayor de uno, en donde cada uno de dichos vectores de muestra de salida deseados está asociado a un conjunto respectivo de datos de entrada,
 - si dicho segundo número predeterminado n de vectores de muestra de salida deseados es mayor de uno, combinar (220) dichos n vectores de muestra de salida deseados para obtener un vector de suma como dicho vector de muestra (x),
 - y si dicho segundo número predeterminado n de vectores de muestra de salida deseados es igual a uno, obtener (230) dicho único vector de muestra de salida deseado como dicho vector de muestra (x),
- en el que se realiza un desplazamiento de frecuencia (240, 245) en dicho vector de muestra (x) para obtener un vector de muestra con desplazamiento de frecuencia ($X_{\text{desplazamiento}}$), en el que dicho desplazamiento de frecuencia (240, 245) se realiza determinando un vector de desplazamiento de frecuencia complejo (a) a partir de una segunda tabla de consulta (LUT2), y aplicando el producto Hadamard en dicho vector de muestra (x) y dicho vector de desplazamiento de frecuencia complejo (a), en donde dicho vector de desplazamiento de frecuencia complejo (a) se determina a partir de dicha segunda tabla de consulta (LUT2) en función de un valor deseado para dicho desplazamiento de frecuencia.
2. Método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicha primera tabla de consulta (LUT1_a; LUT1_b; LUT1_c) comprende
- a. unos vectores de muestra de salida (x) para al menos una sub-banda modulada (sb1), y/o
 - b. unos vectores de muestra de salida (x) para al menos una única subportadora modulada con una cierta posición de frecuencia relativa dentro de una sub-banda (sb1), y/o
 - c. unos vectores de muestra de salida (x) para un grupo de varias, es decir, dos o más, subportadoras moduladas, con una cierta posición de frecuencia relativa dentro de una sub-banda (sb1).
3. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 2, en el que dicha primera tabla de consulta (LUT1_a) comprende M^Q vectores de muestra de salida, en donde M es igual o mayor de 2, en donde Q es un número entero positivo y representa un número de subportadoras (sc) por sub-banda, y en donde cada uno de dichos M^Q vectores de muestra de salida de dicha primera tabla de consulta (LUT1_a) está asociado a un conjunto respectivo de datos de entrada, en donde preferentemente dicho conjunto respectivo de datos de entrada representa una combinación específica de símbolos de modulación para dichas Q subportadoras.
4. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 2, en el que dicha primera tabla de consulta (LUT1_b) comprende M^Q vectores de muestra de salida, en donde M es igual o mayor de 2, en donde Q es un número entero positivo y representa un número de subportadoras (sc), y en donde cada uno de dichos M^Q vectores de muestra de salida de dicha primera tabla de consulta (LUT1_b) está asociado a un conjunto respectivo de datos de entrada, en donde preferentemente dicho conjunto respectivo de datos de entrada representa una combinación de un símbolo de modulación específico con una subportadora específica.
5. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 2, en el que dicha primera tabla de consulta (LUT1_c) comprende $(M^Q) * (Q/P)$ vectores de muestra de salida, en donde M es igual o mayor de 2, en donde Q es un número entero positivo y representa un número total de subportadoras (sc) por sub-banda, en donde P es un número entero positivo y representa un número de subportadoras por grupo de subportadoras, y en donde cada uno de dichos $(M^Q) * (Q/P)$ vectores de muestra de salida de dicha primera tabla de consulta (LUT1_c) está asociado a un conjunto respectivo de datos de entrada, en donde dicho conjunto respectivo de datos de entrada representa una combinación específica de P símbolos de modulación para dichas P subportadoras por grupo de subportadoras.
6. Método para operar un terminal para un sistema de comunicaciones móviles, comprendiendo dicho método un método para proporcionar un vector de muestra (x) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores.
7. Aparato (2000) para proporcionar un vector de muestra (x) que representa al menos una parte de una señal modulada multiportadora (mcs) del tipo multiplexación por división de frecuencia ortogonal, OFDM, que comprende al menos una sub-banda (sb1), en donde dicha sub-banda (sb1) comprende una pluralidad de subportadoras (sc), comprendiendo dicho aparato (2000) una primera tabla de consulta (LUT1_a; LUT1_b; LUT1_c), en donde dicha

primera tabla de consulta (LUT1_a; LUT1_b; LUT1_c) comprende un primer número predeterminado de vectores de muestra de salida (102a; 102b; 102c) asociados a los conjuntos respectivos (104a) de datos de entrada, en donde dicho aparato (2000) está configurado para:

- 5 - obtener (210) un segundo número predeterminado de n vectores de muestra de salida deseados a partir de dicha primera tabla de consulta (100a; 100b; 100c), en donde n es igual o mayor de uno, en donde cada uno de dichos vectores de muestra de salida deseados está asociado a un conjunto respectivo de datos de entrada,
 - si dicho segundo número predeterminado n de vectores de muestra de salida deseados es mayor de uno, combinar (220) dichos n vectores de muestra de salida deseados para obtener un vector de suma como dicho
 10 vector de muestra (x),
 - y si dicho segundo número predeterminado n de vectores de muestra de salida deseados es igual a uno, obtener (230) dicho único vector de muestra de salida deseado como dicho vector de muestra (x),

15 en donde dicho aparato (2000) está configurado para realizar un desplazamiento de frecuencia (240, 245) en dicho vector de muestra (x) para obtener un vector de muestra con desplazamiento de frecuencia ($x_{\text{desplazamiento}}$), en donde dicho aparato (2000) comprende una segunda tabla de consulta (LUT2), y en donde dicho aparato (2000) está configurado para realizar dicho desplazamiento de frecuencia (240, 245) determinando un vector de desplazamiento de frecuencia complejo (a) a partir de dicha segunda tabla de consulta (LUT2), y aplicando el producto Hadamard en dicho vector de muestra (x) y dicho vector de desplazamiento de frecuencia complejo (a),
 20 en donde dicho aparato (2000) está configurado para determinar dicho vector de desplazamiento de frecuencia complejo (a) a partir de dicha segunda tabla de consulta (LUT2) en función de un valor deseado para dicho desplazamiento de frecuencia.

25 8. Aparato (2000) de acuerdo con la reivindicación 7, en el que dicha primera tabla de consulta (LUT1_a) comprende M^Q vectores de muestra de salida, en donde M es igual o mayor de 2, en donde Q es un número entero positivo y representa un número de subportadoras (sc) por sub-banda, y en donde cada uno de dichos M^Q vectores de muestra de salida de dicha primera tabla de consulta (LUT1_a) está asociado a un conjunto respectivo de datos de entrada, en donde preferentemente dicho conjunto respectivo de datos de entrada representa una combinación específica de símbolos de modulación para dichas Q subportadoras.
 30

9. Aparato (2000) de acuerdo con la reivindicación 7, en el que dicha primera tabla de consulta (LUT1_b) comprende M^Q vectores de muestra de salida, en donde M es igual o mayor de 2, en donde Q es un número entero positivo y representa un número de subportadoras (sc), y en donde cada uno de dichos M^Q vectores de muestra de salida de dicha primera tabla de consulta (LUT1_b) está asociado a un conjunto respectivo de datos de entrada, en donde preferentemente dicho conjunto respectivo de datos de entrada representa una combinación específica de símbolos de modulación para dichas Q subportadoras; y/o
 35 en donde dicha primera tabla de consulta (LUT1_c) comprende $(M^P) * (Q/P)$ vectores de muestra de salida, en donde M es igual o mayor de 2, en donde Q es un número entero positivo y representa un número de subportadoras (sc), y en donde cada uno de dichos $(M^P) * (Q/P)$ vectores de muestra de salida de dicha primera tabla de consulta (LUT1_c) está asociado a un conjunto respectivo de datos de entrada, en donde preferentemente dicho conjunto respectivo de datos de entrada representa una combinación específica de símbolos de modulación para dichas Q subportadoras.
 40

45 10. Terminal (300) para un sistema de comunicaciones móviles, en donde dicho terminal comprende al menos un aparato (2000) de acuerdo con una de las reivindicaciones 7 a 9.

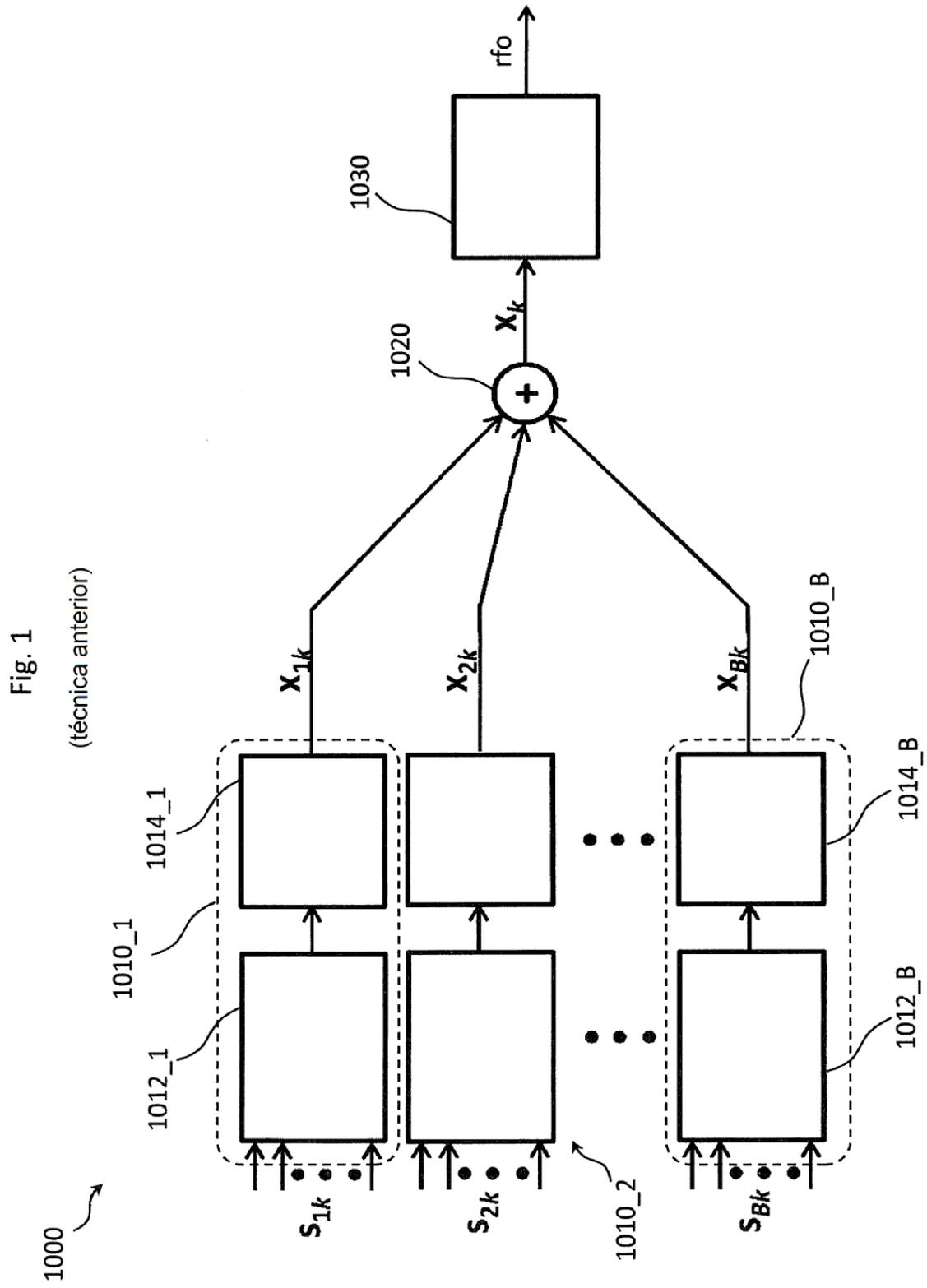


Fig. 2

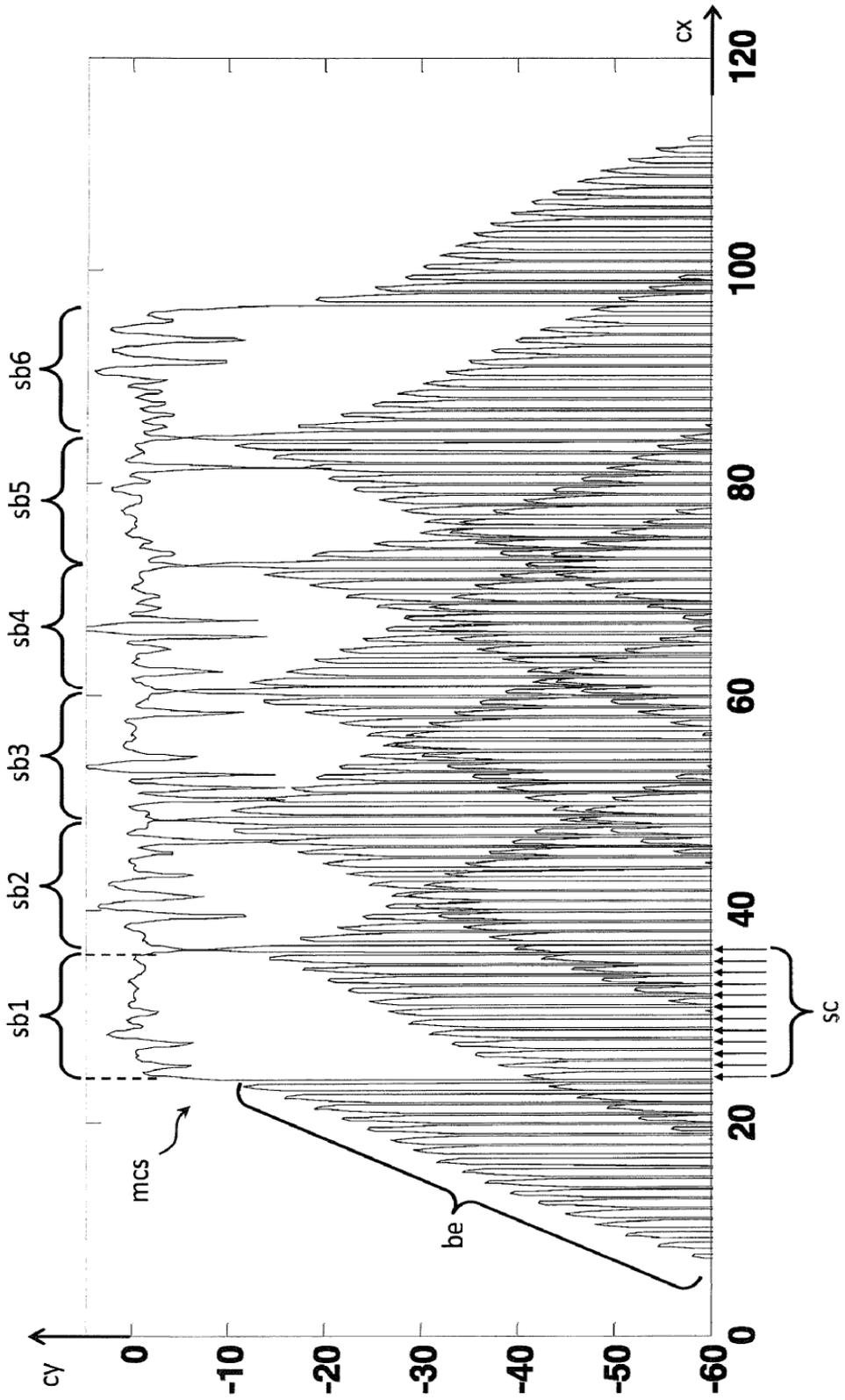


Fig. 3

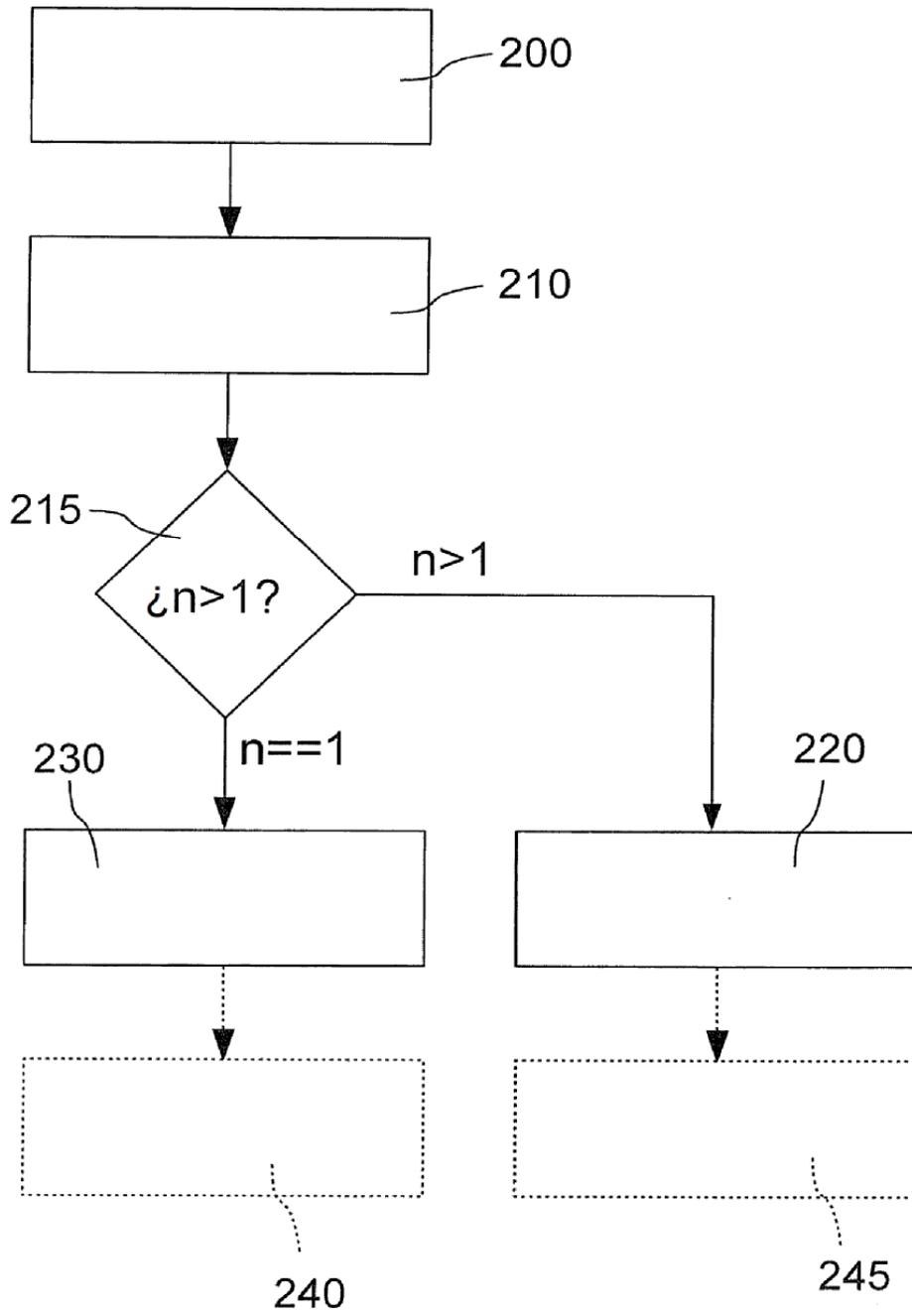


Fig. 4

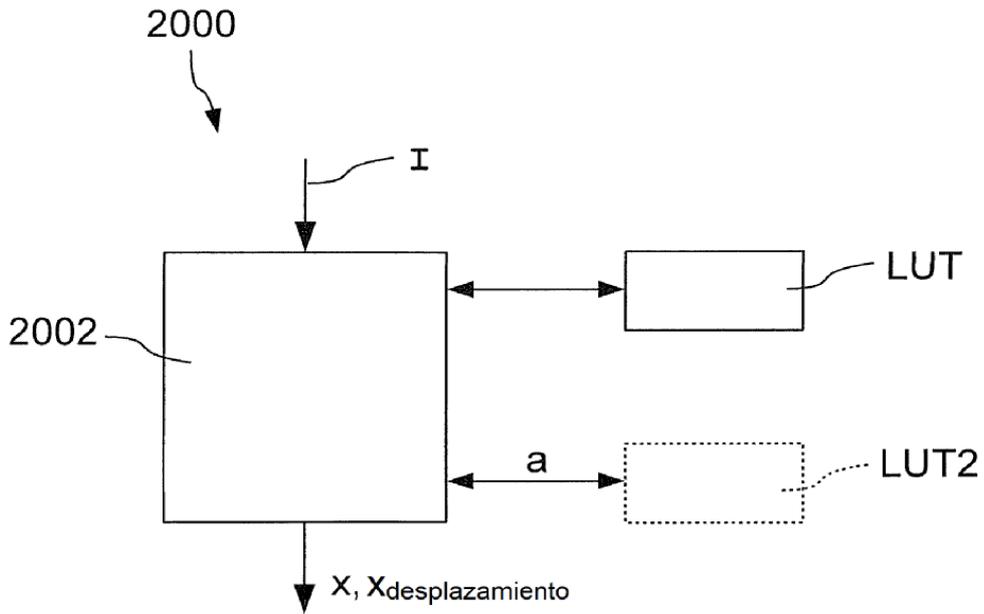


Fig. 7

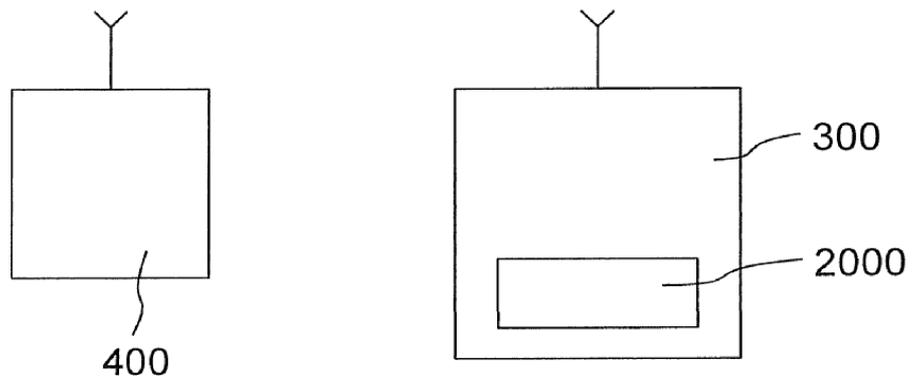


Fig. 5a

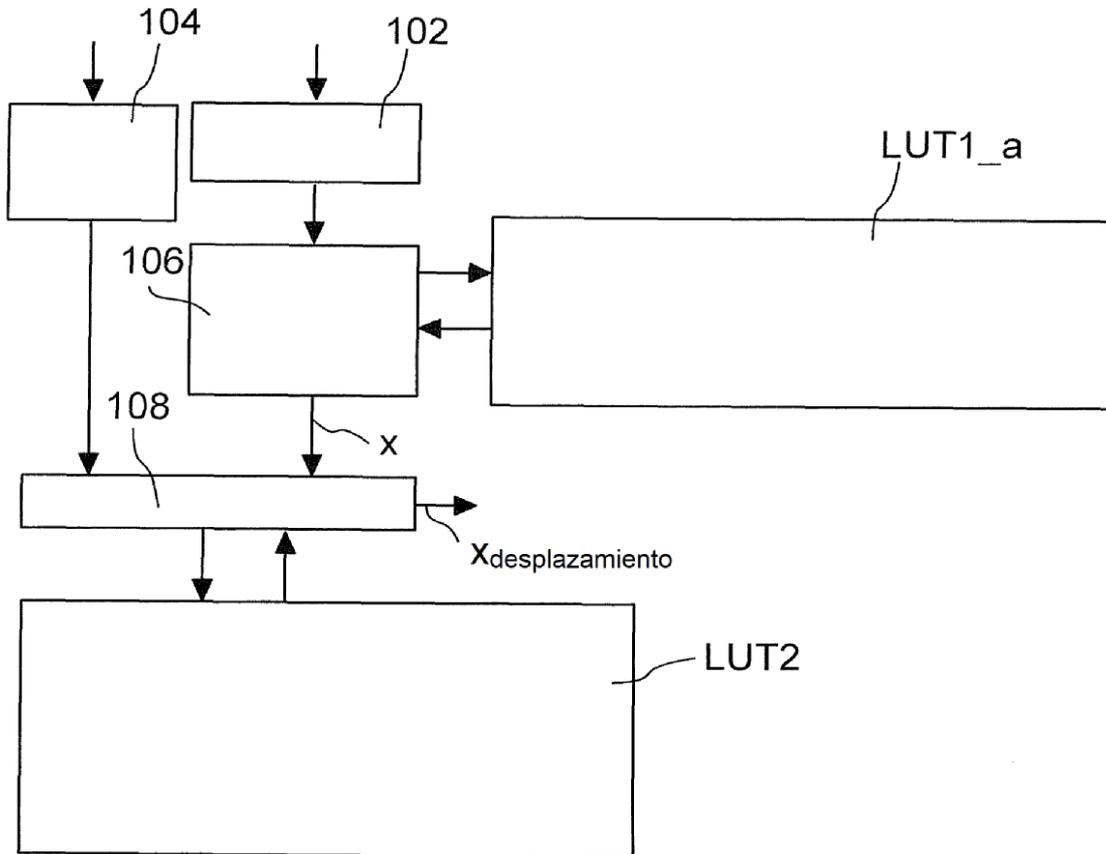


Fig. 5b

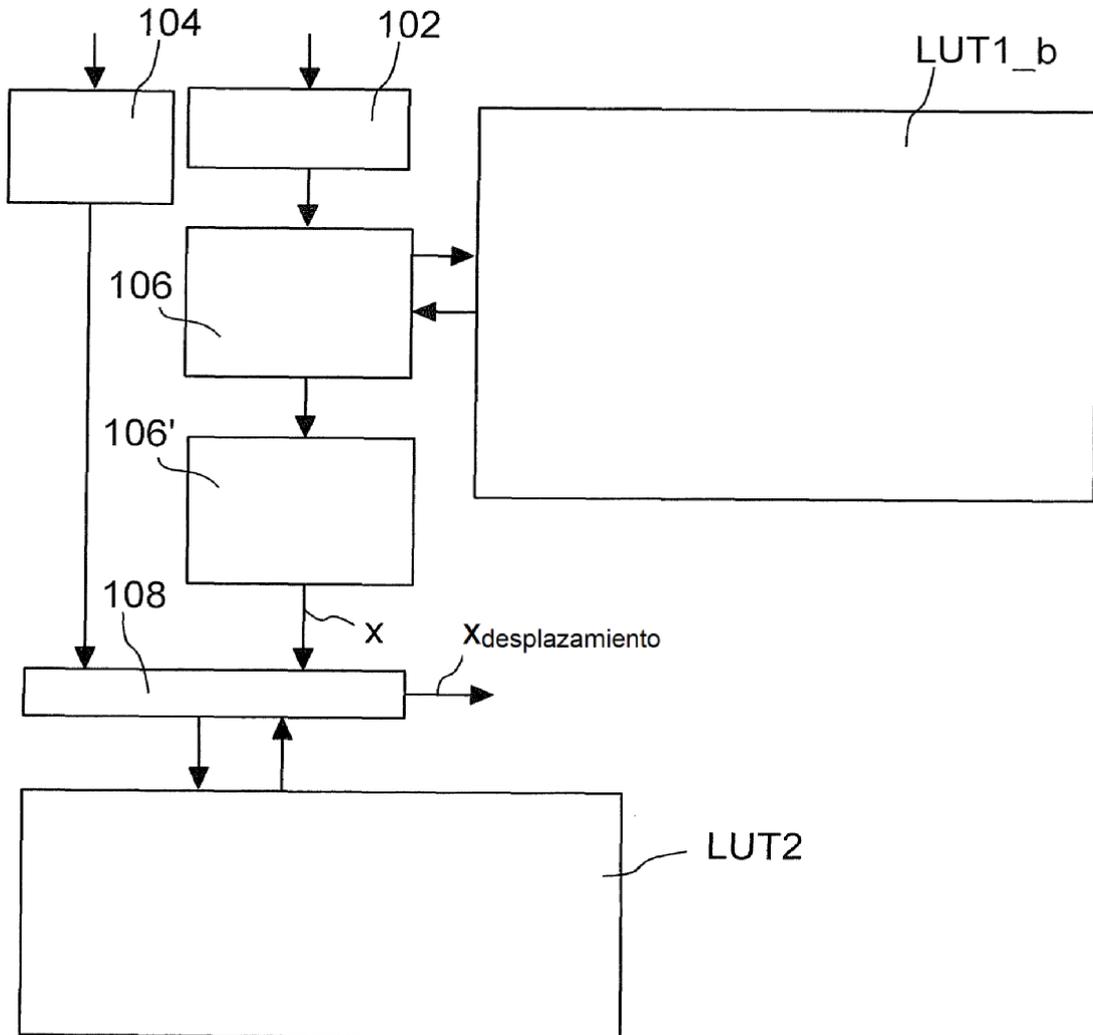


Fig. 5c

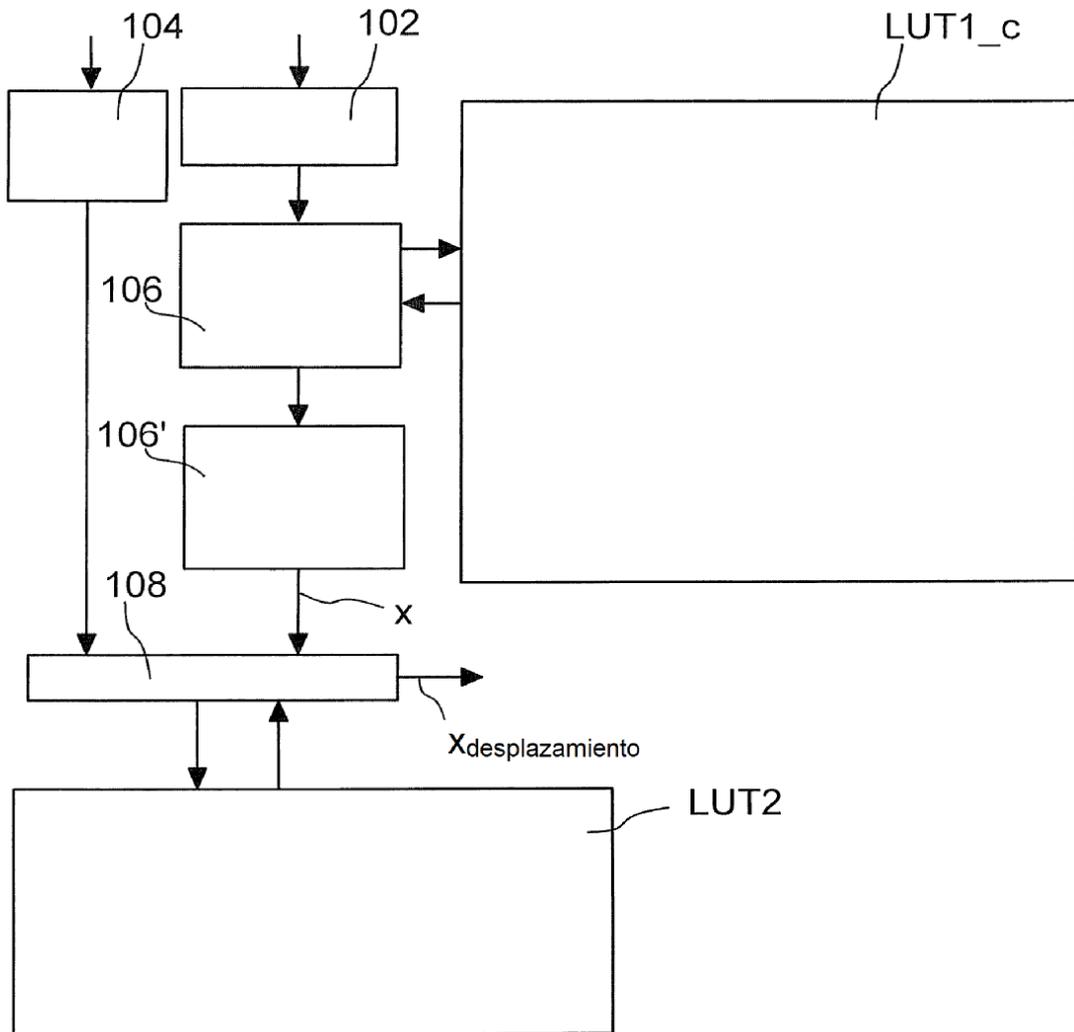


Fig. 6a

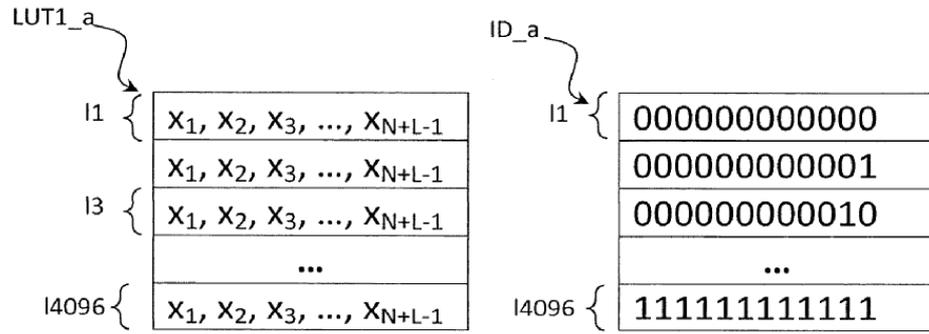


Fig. 6b

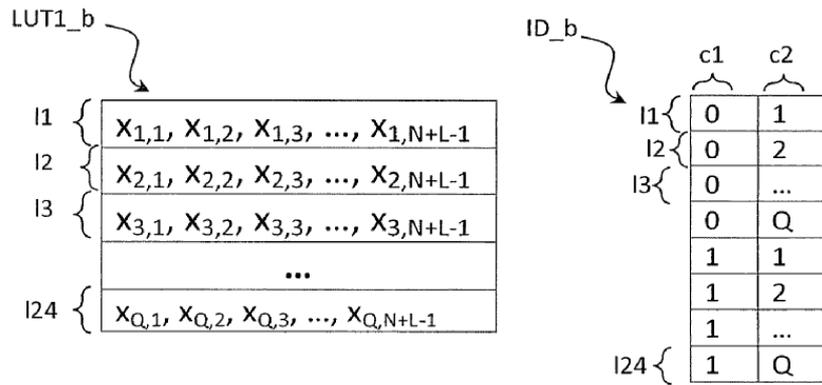


Fig. 6c

