

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 939 705**

51 Int. Cl.:

**H04B 7/04** (2007.01)

**H04B 7/06** (2006.01)

**H04L 25/03** (2006.01)

**H04B 7/0456** (2007.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.09.2015 E 21194851 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.12.2022 EP 3940965**

54 Título: **Nodo de red, equipo de usuario y métodos en los mismos para permitir al UE determinar un libro de códigos de precodificador**

30 Prioridad:

**25.09.2014 US 201462055350 P**

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

**26.04.2023**

73 Titular/es:

**TELEFONAKTIEBOLAGET LM ERICSSON (PUBL)  
(100.0%)  
164 83 Stockholm, SE**

72 Inventor/es:

**JÖNGREN, GEORGE;  
JÄRMYR, SIMON;  
WERNERSSON, NIKLAS y  
FAXÉR, SEBASTIAN**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

**ES 2 939 705 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

Nodo de red, equipo de usuario y métodos en los mismos para permitir al UE determinar un libro de códigos de precodificador

**Campo técnico**

- 5 Las realizaciones de la presente memoria se refieren a un nodo de red, un equipo de usuario (UE), y los métodos en los mismos permiten la comunicación en un sistema de comunicación inalámbrica. En particular, las realizaciones de la presente memoria se refieren a permitir al UE determinar un libro de códigos de precodificador que se utilizará en comunicaciones con el nodo de red en el sistema de comunicación inalámbrica. Las realizaciones de la presente memoria pueden referirse además a la generación del libro de códigos de precodificador y a la formación de haces digitales en un sistema de comunicación inalámbrica. Las realizaciones de la presente memoria se refieren en particular a un nodo de red, un equipo de usuario (UE) y métodos en los mismos para permitir al UE determinar un libro de códigos de precodificador en el sistema de comunicación inalámbrica.

**Antecedentes**

- 15 Las técnicas de múltiples antenas pueden aumentar significativamente la velocidad de datos y la fiabilidad de un sistema de comunicación inalámbrica. El rendimiento mejora particularmente si tanto el transmisor como el receptor están equipados con múltiples antenas, lo que da como resultado un canal de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO). Dichos sistemas y/o técnicas relacionadas se denominan comúnmente MIMO.

- 20 El estándar de comunicación de evolución a largo plazo (LTE) está evolucionando actualmente con soporte MIMO mejorado. Un componente central de LTE es el soporte de despliegues de antenas MIMO y técnicas relacionadas con MIMO. Actualmente, LTE-Advanced soporta un modo de multiplexación espacial de 8 capas para 8 antenas de transmisión (Tx) con precodificación dependiente del canal. El modo de multiplexación espacial está destinado a altas velocidades de datos en condiciones de canal favorables. En la Figura 1 se muestra una ilustración de la operación de multiplexación espacial. IFFT en la Figura 1 significa Transformada Rápida de Fourier Inversa y se usa para Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal (OFDM).

- 25 Como se ve, el vector  $s$  de símbolos portadores de información se multiplica por una matriz  $W$  de precodificador de  $N_r \times r$ , que sirve para distribuir la energía de transmisión en un subespacio del espacio vectorial de  $N_r$  dimensiones. El espacio vectorial de  $N_r$  dimensiones corresponde a  $N_r$  puertos de antena. La matriz de precodificador se selecciona típicamente de un libro de códigos de posibles matrices de precodificador, y normalmente se indica utilizando un *indicador de matriz de precodificador* (PMI), que especifica una matriz de precodificador única en el libro de códigos para un número dado de flujos de símbolos. Si la matriz de precodificador se limita a tener columnas ortonormales, entonces el diseño del libro de códigos de las matrices de precodificador corresponde a un problema de empaquetamiento de subespacio de Grassmann. Los  $r$  símbolos en  $s$  corresponden cada uno a una capa y  $r$  se denomina rango de transmisión. De esta manera, se logra la multiplexación espacial, ya que pueden transmitirse múltiples símbolos simultáneamente sobre el mismo elemento de recursos de tiempo/frecuencia (TFRE). El número de símbolos  $r$  se adapta típicamente para adaptarse a las propiedades del canal actual.

LTE utiliza OFDM en el enlace descendente y OFDM precodificada por transformada discreta de Fourier (DFT) en el enlace ascendente y, por lo tanto, el vector  $y_n$  de  $N_R \times 1$  recibido para un determinado TFRE en la subportadora  $n$  (o, alternativamente, datos TFRE número  $n$ ) se modela mediante

$$y_n = H_n W s_n + e_n$$

- 40 dónde  $e_n$  es un vector de ruido/interferencia obtenido como realizaciones de un proceso aleatorio. La matriz de precodificador,  $W$ , puede ser un precodificador de banda ancha, que es constante a lo largo de la frecuencia, o puede ser selectivo en frecuencia.

- 45 La matriz de precodificador se elige a menudo para que coincida con las características de la matriz  $H$  de canales MIMO de  $N_R \times N_T$ , dando como resultado la denominada precodificación dependiente del canal. Esto también se denomina comúnmente precodificación de bucle cerrado y esencialmente se esfuerza por concentrar la energía de transmisión en un subespacio que es fuerte en el sentido de transportar gran parte de la energía transmitida al equipo de usuario (UE). Además, la matriz de precodificador también puede seleccionarse para esforzarse por ortogonalizar el canal, lo que significa que después de una ecualización lineal adecuada en el UE, se reduce la interferencia entre capas.

- 50 En la precodificación de bucle cerrado para el enlace descendente de LTE, el UE transmite, en base a las mediciones de canal en el enlace directo, es decir, el enlace descendente, recomendaciones al NodoB mejorado (eNodoB) de un precodificador adecuado para su uso. Por ejemplo, en la precodificación de banda ancha, puede retroalimentarse un solo precodificador que se supone que cubre un gran ancho de banda. También puede ser beneficioso hacer coincidir las variaciones de frecuencia del canal y, en su lugar, retroalimentar un informe de precodificación selectiva en frecuencia, por ejemplo, para informar de varios precodificadores, uno por subbanda. Este es un ejemplo del caso más general de retroalimentación de información de estado del canal (CSI), que también abarca la retroalimentación de otras entidades además de los precodificadores para ayudar al eNodoB en transmisiones posteriores al UE. Dicha

otra información puede incluir indicadores de calidad de canal (CQI) así como indicador de rango de transmisión (RI).

El rango de transmisión y, por tanto, el número de capas multiplexadas espacialmente se refleja en el número de columnas del precodificador. Para un rendimiento eficiente, es importante que se seleccione un rango de transmisión que coincida con las propiedades del canal.

- 5 En el enlace descendente de LTE, el UE informa CQI y RI y precodificadores al eNodeB a través de un canal de retroalimentación. El canal de retroalimentación está en el canal de control de enlace ascendente físico (PUCCH) o en el canal compartido de enlace ascendente físico (PUSCH). El primero es una tubería de bits bastante estrecha en el que la retroalimentación de CSI se informa de forma periódica y configurada de forma semiestática. Por otro lado, el informe de PUSCH se activa dinámicamente como parte de la concesión de enlace ascendente. Por lo tanto, el eNodeB puede programar transmisiones CSI de forma dinámica. A diferencia del PUCCH, donde el número de bits físicos está limitado actualmente a 20, los informes de PUSCH pueden ser considerablemente mayores. Tal división de recursos tiene sentido desde la perspectiva de que los recursos configurados semiestáticamente como PUCCH no pueden adaptarse a las condiciones del tráfico que cambian rápidamente, por lo que es importante limitar su consumo general de recursos.
- 10
- 15 En LTE Rel10, para 8 puertos de antena, se utiliza una estructura de precodificador factorizada:  $W = W_1 W_2$ . El primer precodificador,  $W_1$ , es un precodificador de banda ancha que apunta a las características del canal a largo plazo y el segundo precodificador,  $W_2$ , es un precodificador selectivo en frecuencia que apunta a las características del canal a corto plazo y las diferencias en la polarización. El UE proporciona un indicador de matriz de precodificador (PMI) para cada uno de los dos precodificadores, eligiendo cada precodificador de un conjunto limitado de precodificadores disponibles (libros de códigos). Los informes de PMI para cada uno de los dos precodificadores pueden estar configurados con diferente granularidad de frecuencia.
- 20

El estándar LTE implementa una variación del siguiente precodificador factorizado. El precodificador de banda ancha

$W_1 = \begin{bmatrix} X & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & X \end{bmatrix}$  tiene una estructura diagonal por bloques que apunta a un conjunto lineal uniforme (ULA) de  $N$  antenas con polarización cruzada, es decir, el número de puertos de antena  $N_T = 2N$ . Con esta estructura, se aplica el mismo precodificador  $X$  de  $N \times 1$  a cada una de las dos polarizaciones.

25

El precodificador  $X$  es un precodificador basado en DFT, que implementa un libro de códigos de rejilla de haces, que proporciona al UE haces que apuntan en diferentes direcciones para elegir. El libro de códigos basado en DFT tiene entradas  $X^l = [1 \ e^{j2\pi \frac{1l}{NQ}} \ \dots \ e^{j2\pi \frac{(N-1)l}{NQ}}]^T$ ,  $l = 0, \dots, NQ - 1$ , donde  $Q$  es un factor de sobremuestreo entero, que define el número de haces disponibles en el libro de códigos.

- 30 Los precodificadores basados en DFT están adaptados a un ULA con un número específico de puertos de antena. Se debe especificar entonces un libro de códigos separado para cada número  $N_T$  de puertos de antena soportados .

El precodificador selectivo en frecuencia para el rango 1 se define como  $W_2 = \begin{bmatrix} 1 \\ e^{j\omega} \end{bmatrix}$ , donde  $\omega = \frac{2\pi p}{P}$ ,  $p = 0, \dots, P - 1$  y  $P = 4$ . En este caso, el precodificador resultante se convierte en

$$W = W_1 W_2 = \begin{bmatrix} X & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ e^{j\omega} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & X \\ e^{j\omega} X & e^{j\omega} X \end{bmatrix}.$$

- 35 Como se ha visto,  $W_2$  apunta a la diferencia de fase entre polarizaciones. En el estándar LTE, el precodificador de

banda ancha es en su lugar  $W_1 = \begin{bmatrix} \tilde{X}^l & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \tilde{X}^l \end{bmatrix}$ , donde  $\tilde{X}^l = [X^l \ \dots \ X^{l+N_b-1}]$ ,  $l = 0, \dots, NQ - 1$ ,  $c$  consta de varios precodificadores del libro de códigos  $X$  basado en DFT.  $W_2$  se extiende entonces para ser una matriz alta que comprende vectores de selección que selecciona uno de los precodificadores en  $\tilde{X}^l$  (además de cambiar la fase entre polarizaciones).

- 40 Una forma conveniente de extender los precodificadores basados en DFT destinados a los ULA en conjuntos de antenas bidimensionales es combinando dos precodificadores basados en DFT mediante un producto de Kronecker. El producto Kronecker  $A \otimes B$  entre dos matrices

$$A = \begin{bmatrix} A_{1,1} & \dots & A_{1,M} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{N,1} & \dots & A_{N,M} \end{bmatrix}$$

y  $B$  se define como

$$A \otimes B = \begin{bmatrix} A_{1,1}B & \cdots & A_{1,M}B \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{N,1}B & \cdots & A_{N,M}B \end{bmatrix},$$

es decir, la matriz  $B$  se multiplica por cada uno de los elementos de  $A$ . El precodificador bidimensional  $X^{N_V k+l}$  se forma entonces como

$$X^{N_V k+l} = X_H^k \otimes X_V^l,$$

5 donde  $X_H^k$  es un precodificador basado en DFT que apunta a la dimensión horizontal,  $X_V^l$  es un precodificador basado en DFT que apunta a la dimensión vertical, y  $N_V$  es el número de puertos de antena verticales. Esto tiene el efecto de aplicar el precodificador vertical  $X_V^l$  en cada columna del conjunto de antenas y el precodificador horizontal  $X_H^k$  en cada fila del conjunto de antenas.

10 Un problema con las soluciones existentes es que una gran cantidad de sobrecarga es provocada por los informes de PMI, lo que a su vez plantea un problema en los canales de retroalimentación de carga útil limitada, tal como los informes periódicos de PMI en PUCCH.

15 El documento WO2015130292, que está comprendido en el Artículo 54 (3) de EPC, describe un método y un aparato que pueden configurarse para transmitir una serie de elementos de antena de acimut, una serie de elementos de antena de elevación. El método también puede comprender recibir un indicador de matriz de precodificador de acimut y recibir un indicador de matriz de precodificador de elevación y transmitir en base al indicador de matriz de precodificador de acimut recibido y el indicador de matriz de precodificador de elevación recibido.

20 El documento US 2013/259151 describe un método para operar un conjunto de antenas en un sistema de comunicación inalámbrico para proporcionar formación de haces de acimut y elevación específicos del usuario, que incluye proporcionar una estructura de libro de códigos de producto que consiste tanto en una parte de acimut como una de elevación.

### Compendio

Es, por lo tanto, un objeto de la invención mejorar el rendimiento de un sistema de comunicación inalámbrico que utiliza libros de códigos de precodificador. La invención se define en las reivindicaciones independientes. Las realizaciones preferidas de la invención se definen en las reivindicaciones dependientes.

25 Las realizaciones y/o ejemplos que no están dentro del alcance de las reivindicaciones son útiles para comprender la invención.

### Breve descripción de los dibujos

30 Una comprensión más completa de la presente descripción, y las ventajas y características inherentes de la misma, se entenderá más fácilmente por referencia a la siguiente descripción detallada cuando se considere junto con los dibujos adjuntos en donde:

La Figura 1 es un diagrama de bloques que ilustra un sistema basado en OFDM que realiza multiplexación espacial según la técnica anterior;

La Figura 2 es un diagrama de bloques que representa realizaciones de un sistema de comunicación inalámbrica.

35 La Figura 3 es un diagrama de flujo que representa realizaciones de un método en una estación base.

La Figura 4 es un diagrama de flujo que representa realizaciones de un método en un equipo de usuario.

La Figura 5 es un diagrama de temporización que muestra realizaciones de una señal y un flujo de temporización.

40 La Figura 6 es un diagrama que muestra un conjunto de antenas bidimensional según las realizaciones de la presente memoria.

La Figura 7 es un diagrama de bloques que representa realizaciones de una estación base.

La Figura 8 es un diagrama de bloques que representa realizaciones de un UE.

La Figura 9 es un diagrama de flujo que representa realizaciones de un método en una estación base.

La Figura 10 es un diagrama de flujo que representa realizaciones de un método en una estación base.

La Figura 11 es un diagrama de flujo que representa realizaciones de un método en un UE.

La Figura 12 es un diagrama de flujo que representa realizaciones de un método en un UE.

**Descripción detallada**

5 Como parte del desarrollo de las realizaciones de la presente memoria, primero se identificará un problema y se discutirá brevemente.

Se especifican diferentes libros de códigos para diferentes números de puertos de antena. Sin embargo, con un conjunto de antenas 2D, cada configuración de conjunto de antenas ( $N_h \times N_v$ ) debe tener un libro de códigos adaptado. Especificar el libro de códigos solo por el número de puertos de antena crea una ambigüedad ya que diferentes configuraciones de conjunto de antenas pueden tener el mismo número de puertos de antena. Especificar un libro de  
10 códigos separado para cada configuración de conjunto de antenas daría como resultado un gran número de libros de códigos y no es factible.

Los libros de códigos bidimensionales requieren  $M_v \cdot M_h$  entradas para poder proporcionar  $M_h$  haces en una dimensión horizontal y  $M_v$  haces en una dimensión vertical, es decir, escala cuadráticamente con el número de haces por dimensión. Esto provoca una gran cantidad de sobrecarga en los informes de PMI, lo que plantea un problema en los  
15 canales de retroalimentación de carga útil limitada, tal como los informes de PMI periódicos en PUCCH.

Las diferencias en las propiedades de correlación entre las dimensiones horizontal y vertical pueden requerir una granularidad de tiempo/frecuencia diferente de las opciones del precodificador en cada dimensión. Esto no es posible utilizando la estructura de precodificador factorizada mencionada anteriormente. Además, existe una configuración inflexible de selección de haz selectiva en frecuencia por dimensión en  $W_2$ .

20 Antes de describir en detalle las realizaciones ejemplares que están de acuerdo con la presente descripción, se observa que los componentes del sistema y el método se han representado, cuando es apropiado, por símbolos convencionales en los dibujos, mostrando solo aquellos detalles específicos que son pertinentes para comprender las realizaciones de la presente descripción para no oscurecer la descripción con detalles que serán fácilmente evidentes para los expertos en la técnica que se benefician de la descripción de la presente memoria.

25 Obsérvese que aunque en esta descripción se usa la terminología de 3GPP LTE para la explicación de ciertas realizaciones, esto no debe verse como limitativo del alcance únicamente al sistema mencionado anteriormente. Otros sistemas inalámbricos, incluidos los sistemas de Acceso Múltiple por División de Código de Banda Ancha (WCDMA), WiMax, Banda Móvil Ultra Ancha (UMB) y Sistema Global para las Comunicaciones Móviles (GSM), también pueden beneficiarse de la explotación de los conceptos y funciones descritos en la presente memoria.

30 También obsérvese que la terminología tal como eNodeB y UE no debe considerarse como limitativa de la descripción y no implica una cierta relación jerárquica entre los dos; en general, "eNodeB" podría considerarse como dispositivo 1 y "UE" como dispositivo 2, y estos dos dispositivos se comunican entre sí a través de algún canal de radio. Además, aunque las realizaciones discutidas en la presente memoria se centran en transmisiones inalámbricas en el enlace descendente, se entiende que la implementación es igualmente aplicable en el enlace ascendente.

35 Como se usa en la presente memoria, los términos relacionales, tal como "primero" y "segundo", "arriba" y "abajo", y similares, pueden usarse únicamente para distinguir una entidad o elemento de otra entidad o elemento sin necesariamente requerir o implicar ninguna relación u orden físico o lógico entre dichas entidades o elementos.

La Figura 2 representa un sistema de comunicación inalámbrica 100 en el que pueden implementarse las realizaciones de la presente memoria. El sistema de comunicación inalámbrica 100 puede ser cualquier red o sistema que utilice comunicación por radio, tal como un sistema GSM, un sistema LTE, un sistema WCDMA, un sistema de quinta generación (5G), un sistema Wimax, un sistema de Banda Móvil Ultra Ancha (UMB) o cualquier otra red o sistema de radio. El sistema de comunicación inalámbrica 100, por ejemplo, comprende una red central y una red de acceso por radio.

Una pluralidad de nodos de red opera en el sistema de comunicación inalámbrica 100, de los cuales solo uno, una estación base 110, se representa en la Figura 2 por simplicidad. La estación base 110 puede denominarse punto de transmisión y, en algunos ejemplos, puede ser un eNodeB (eNB), un NodeB, una estación transceptora base (BTS), un punto de acceso (AP) o un Nodo B local o eNodeB local, en función de la tecnología y terminología utilizadas, o cualquier otro nodo de red capaz de comunicarse con un equipo de usuario con capacidad inalámbrica, o cualquier otra unidad de red de radio capaz de comunicarse a través de un enlace de radio en una red de comunicaciones inalámbricas.

50 Una serie de UE operan en el sistema de comunicación inalámbrica 100. En el escenario de ejemplo de la Figura 2, solo se muestra un UE por simplicidad, un UE 120 que es servido por la estación base 110. El UE 120, puede por ejemplo ser un terminal móvil o inalámbrico, un teléfono móvil, un ordenador, un ordenador tal como por ejemplo un ordenador portátil, u ordenador de tableta, a veces denominada placa de navegación, con capacidades inalámbricas, o cualquier otra unidad de red de radio capaz de comunicarse a través de un enlace de radio en una red de comunicaciones inalámbricas. Obsérvese que el término equipo de usuario utilizado en este documento también cubre  
55

otros terminales inalámbricos, tal como los dispositivos de máquina a máquina (M2M).

5 Las realizaciones de un método como se ve en la vista de la estación base 110 representada en un diagrama de flujo en la Figura 3, y las realizaciones de un método como se ve en la vista del UE 120 representado en un diagrama de flujo en la Figura 4, se describirán primero de forma general. Estas realizaciones se ejemplificarán y describirán con más detalle a continuación.

A continuación, se describirán con referencia a un diagrama de flujo representado en Figura 3 realizaciones de ejemplo del método realizado por la estación base 110 para permitir a un UE 120 determinar un libro de códigos de precodificador en un sistema de comunicación inalámbrica.

10 El método comprende las siguientes acciones, que pueden realizarse en cualquier orden adecuado. Las líneas discontinuas de algunos cuadros de la Figura 3 indican que esta acción no es obligatoria.

### Acción 301

15 En algunas realizaciones, la estación base 110 genera parámetros de precodificador asociados con una pluralidad de puertos de antena de la estación base 110. Los parámetros de precodificador se refieren a una primera dimensión y una segunda dimensión del libro de códigos de precodificador. La primera y segunda dimensiones del libro de códigos de precodificador coinciden con una distribución bidimensional de la pluralidad de puertos de antena. La pluralidad de puertos de antena comprende un número NT de puertos de antena que es función del número Nh de puertos de antena en la primera dimensión y el número Nv de puertos de antena en la segunda dimensión. Los parámetros de precodificador pueden comprender un parámetro que especifica un número Nh de puertos de antena en la primera dimensión y un parámetro que especifica un número Nv de puertos de antena en la segunda dimensión.

20 En algunas realizaciones, uno de los números Nv y Nh de puertos de antena es igual a uno.

En algunas realizaciones, el número de puertos de antena NT es igual a  $N_h * N_v * N_p$ , donde  $N_p$  representa un número de polarizaciones diferentes. Puede verse que el número  $N_p$  de diferentes polarizaciones corresponde a una dimensión adicional, además de la primera y segunda dimensiones.

25 Los parámetros de precodificador pueden comprender además un parámetro que especifica un número Mh de haces disponibles en la primera dimensión; y un parámetro que especifica un número Mv de haces disponibles en la segunda dimensión.

Los números Mh y Mv de haces pueden depender de los correspondientes factores de sobremuestreo Qh y Qv, respectivamente. La dependencia puede ser tal que  $M_h = N_h * Q_h$  y  $M_v = N_v * Q_v$ .

### Acción 302

30 La estación base 110 puede determinar el libro de códigos de precodificador en base a los parámetros de precodificador generados en la Acción 301.

Un precodificador en el libro de códigos de precodificador puede construirse o generarse combinando una matriz de precodificador en la primera dimensión y una matriz de precodificador en la segunda dimensión de una forma equivalente a usar un producto de Kronecker.

### Acción 303

35 La estación base 110 transmite al UE 120 información relativa a los parámetros de precodificador que permite al UE 120 determinar el libro de códigos de precodificador. Los parámetros de precodificador están asociados con una pluralidad de puertos de antena de la estación base 110. Como en la Acción 301, los parámetros de precodificador se refieren a una primera dimensión y una segunda dimensión del libro de códigos de precodificador, y la pluralidad de puertos de antena comprende un número NT de puertos de antena que es una función de un número Nh de puertos de antena en la primera dimensión y un número Nv de puertos de antena en la segunda dimensión.

40 Como se menciona en la Acción 301, los parámetros de precodificador pueden comprender un parámetro que especifica el número Nh de puertos de antena en la primera dimensión, y un parámetro que especifica el número Nv de puertos de antena en la segunda dimensión.

45 En algunas realizaciones, los parámetros de precodificador especifican al menos una de las siguientes combinaciones de parámetros:

- el número Nh de puertos de antena en la primera dimensión y el número Nv de puertos de antena en la segunda dimensión,

50 - un número Mh de haces disponibles en la primera dimensión y un número Mv de haces disponibles en la segunda dimensión, y

- un factor de sobremuestreo  $Q_h$  en la primera dimensión; y un factor de sobremuestreo  $Q_v$  en la segunda dimensión.

**Acción 304**

5 En algunas realizaciones, la estación base 110 recibe del UE 120, al menos un PMI que indica al menos una matriz de precodificador seleccionada por el UE 120.

El al menos un PMI puede comprender un primer indicador de matriz de precodificador que indica una primera matriz de precodificador asociada con la primera dimensión; y un segundo indicador de matriz de precodificador que indica una segunda matriz de precodificador asociada con la segunda dimensión.

**Acción 305**

10 La estación base 110 puede generar la al menos una matriz de precodificador indicada en base al al menos un PMI. Esto se describirá a continuación.

**Acción 306**

La estación base 110 puede utilizar entonces la al menos una matriz de precodificador indicada para formar haces para su transmisión al UE 120.

15 Las realizaciones de ejemplo de un método realizado por el UE 120 para determinar un libro de códigos de precodificador en un sistema de comunicación inalámbrica se describirán ahora con referencia a un diagrama de flujo representado en Figura 4.

El método comprende las siguientes acciones, que pueden realizarse en cualquier orden adecuado. Las líneas discontinuas de algunos cuadros en la Figura 4 indican que esta acción no es obligatoria.

20 **Acción 401**

El UE 120 recibe de la estación base 110 información relativa a los parámetros de precodificador que permiten al UE 120 determinar el libro de códigos de precodificador. Los parámetros de precodificador están asociados con una pluralidad de puertos de antena de la estación base 110. Los parámetros de precodificador se refieren a una primera dimensión y una segunda dimensión del libro de códigos de precodificador. La pluralidad de puertos de antena comprende un número  $N_T$  de puertos de antena que es función de un número  $N_h$  de puertos de antena en la primera dimensión, y un número  $N_v$  de puertos de antena en la segunda dimensión.

En algunas realizaciones, los parámetros de precodificador comprenden: un parámetro que especifica el número  $N_h$  de puertos de antena en la primera dimensión; y un parámetro que especifica un número  $N_v$  de puertos de antena en la segunda dimensión.

30 En algunas realizaciones, los parámetros de precodificador especifican al menos una de las siguientes combinaciones de parámetros:

- el número  $N_h$  de puertos de antena en la primera dimensión y el número  $N_v$  de puertos de antena en la segunda dimensión,

35 - un número  $M_h$  de haces disponibles en la primera dimensión y un número  $M_v$  de haces disponibles en la segunda dimensión, y

- un factor de sobremuestreo  $Q_h$  en la primera dimensión; y un factor de sobremuestreo  $Q_v$  en la segunda dimensión.

**Acción 402**

40 El UE 120 determina el libro de códigos de precodificador en base a la información recibida relativa a los parámetros de precodificador.

En algunas realizaciones, un precodificador en el libro de códigos de precodificador determinado se construye o genera combinando una matriz de precodificador que apunta a la primera dimensión y una matriz de precodificador en o para la segunda dimensión de una manera equivalente a usar un producto de Kronecker. Son los precodificadores generados los que tienen una estructura de Kronecker. Esto significa que, en un ejemplo donde la primera dimensión es la dimensión horizontal y la segunda dimensión es la dimensión vertical, un precodificador total  $W$  se crea en parte combinando un precodificador horizontal  $W_0$  de tamaño  $N_h$  con un precodificador vertical  $W_1$  de tamaño  $N_v$  mediante un producto de Kronecker  $W_0 \otimes W_1$ . La otra parte puede ser mediante multiplicación por  $W_2$ , que puede expresarse de forma equivalente como

$$v_{i,j} = W_0 \otimes W_1. \quad W_{i,j,l} = \begin{bmatrix} v_{i,j} & v_{i,j} \\ v_{i,j} & \varphi_1 v_{i,j} \end{bmatrix}$$

Por lo que el precodificador total  $W$  es una función de  $W_0 \otimes W_1$ , es decir  $W = f(W_0 \otimes W_1)$ .

5 El libro de códigos de precodificador determinado puede ser un libro de códigos basado en DFT. En algunas realizaciones, el libro de códigos basado en DFT puede comprender un primer libro de códigos basado en DFT para la primera dimensión, y un segundo libro de códigos basado en DFT para la segunda dimensión, en donde la segunda dimensión es ortogonal a la primera dimensión.

#### Acción 403

10 En algunas realizaciones, el UE 120 selecciona al menos una matriz de precodificador del libro de códigos de precodificador determinado en base a una medida de rendimiento asociada con la al menos una matriz de precodificador. Para medir el rendimiento, el UE 120 puede típicamente multiplicar una estimación del canal de enlace descendente con un precodificador para crear un canal efectivo. A partir de dicho canal efectivo, puede calcular una estimación de la potencia recibida y, en consecuencia, elegir el precodificador del libro de códigos de precodificador que maximiza la potencia recibida.

15 El UE 120 puede seleccionar al menos una matriz de precodificador del libro de códigos de precodificador determinado seleccionando un primer factor de matriz de precodificador asociado con la primera dimensión, y seleccionando un segundo factor de matriz de precodificador asociado con la segunda dimensión.

En algunas realizaciones, seleccionar al menos una matriz de precodificador comprende además seleccionar un tercer factor de matriz de precodificador que depende de la frecuencia.

20 El tercer factor de matriz de precodificador puede comprender vectores de selección, donde cada vector de selección puede seleccionar uno de una pluralidad de haces.

#### Acción 404

El UE 120 puede transmitir al menos un PMI a la estación base 110. El al menos un PMI corresponde a la al menos una matriz de precodificador seleccionada.

25 Transmitir el al menos un PMI a la estación base 110, puede comprender transmitir un primer indicador de matriz de precodificador asociado con la primera dimensión con una primera periodicidad, y transmitir un segundo indicador de matriz de precodificador asociado con la segunda dimensión en o con una segunda periodicidad diferente de la primera periodicidad.

30 El primer indicador de matriz de precodificador asociado con la primera dimensión puede indicar el primer factor de matriz de precodificador, por ejemplo, el precodificador  $W_0$ , el segundo indicador de matriz de precodificador asociado con la segunda dimensión puede indicar el segundo factor de matriz de precodificador, por ejemplo, el precodificador  $W_1$ . El tercer factor de matriz de precodificador puede ser entonces el factor  $W_2$  de matriz de precodificador selectivo en frecuencia que se discute a continuación.

35 Se describirán y explicarán ahora con más detalle las realizaciones de la presente memoria. El texto a continuación es aplicable y puede combinarse con cualquier realización adecuada descrita anteriormente. En el siguiente texto, la primera dimensión está ejemplificada por la dimensión horizontal y la segunda dimensión está ejemplificada por la dimensión vertical. Sin embargo, también son concebibles otras orientaciones de la primera y segunda dimensiones, y las enseñanzas de la presente memoria se aplican igualmente a tales otras orientaciones de la primera y segunda dimensiones.

40 Algunas realizaciones proporcionan una estructura de libro de códigos parametrizable donde la red o eNodoB, tal como la estación base 110, señala los parámetros de precodificador al UE 120. Los parámetros de precodificador señalizados incluyen información utilizada para determinar el conjunto de haces que forman parte del libro de códigos de precodificador. La Figura 5 es un diagrama de temporización que muestra un ejemplo de flujo de señales y temporización entre la estación base 110 y el UE 120. En algunas realizaciones, la estación base 110 envía 501 parámetros de precodificador al UE 120. El UE 120 determina o genera 502 un libro de códigos de precodificador en base a los parámetros de precodificador recibidos de la estación base 110, y selecciona 503 al menos una matriz de precodificador del libro de códigos generado en base a, por ejemplo, una estimación de cuál de la pluralidad de matrices de precodificador en el libro de códigos produciría el mayor rendimiento si dicha matriz de precodificador se usara para precodificar transmisiones de enlace descendente al UE 120. El UE 120 envía 504 al menos un PMI a la estación base 110 que indica la al menos una matriz de precodificador seleccionada. La estación base 110 determina o genera 505 la matriz de precodificador indicada para su uso en la formación de haces para su transmisión al UE 120.

Algunas realizaciones incluyen una estructura de precodificador que tiene un precodificador horizontal  $W_0$  y un precodificador vertical  $W_1$ , cada uno posiblemente con su propio PMI, que es señalado de vuelta por el UE 120. El precodificador total puede definirse entonces como una función general de valor matricial de  $W_0 \otimes W_1$ , es decir  $W =$

5  $f(W_0 \otimes W_1)$ . Esto está relacionado con las Acciones 304, 404 y 504 anteriores. En otras palabras, son los precodificadores generados o contruidos los que tienen una estructura de Kronecker, es decir, un precodificador total  $W$  se crea en parte combinando un precodificador horizontal  $W_0$  de tamaño  $N_h$  con un precodificador vertical  $W_1$  de tamaño  $N_v$  mediante un producto de Kronecker  $W_0 \otimes W_1$ . Por lo que el precodificador total  $W$  es una función de  $W_0 \otimes W_1$ , es decir  $W = f(W_0 \otimes W_1)$ .

10 Las técnicas relacionadas con la descripción de la presente memoria pueden aplicarse en un UE tal como el UE 120 así como en la estación base 110, por ejemplo, un eNodeB, o en otros dispositivos. Con una estructura de precodificador de Kronecker con informes de PMI separados, como se usa en algunas realizaciones, se requieren dos libros de códigos de tamaño  $N$  para proporcionar  $N$  haces, cada uno en las dimensiones horizontal y vertical. Ya que no es necesario actualizar ambos precodificadores con la misma granularidad de frecuencia/tiempo, se logra una reducción de la sobrecarga en los informes de PMI.

15 En algunas realizaciones, una estructura de precodificador de Kronecker con informes de PMI separados soporta una granularidad de tiempo/frecuencia diferente de los informes de PMI en las dimensiones horizontal y vertical. Esto disminuye la sobrecarga de señalización y mejora el rendimiento cuando las propiedades de correlación del canal difieren entre dimensiones.

20 El libro de códigos puede adaptarse para muchas configuraciones diferentes de conjuntos de antenas, ya que es parametrizable. Los parámetros pueden señalizarse al UE 120 de modo que tanto la red como la estación base 110 y el UE 120 conozcan los elementos de el/los libro(s) de códigos. Según las realizaciones de la presente memoria, no es necesario transmitir el libro de códigos completo al UE 120. Es suficiente transmitir los parámetros de precodificador al UE 120, lo que provoca una gran reducción de la sobrecarga. Pueden lograrse reducciones de complejidad si el UE 120 realiza una búsqueda secuencial. Algunas realizaciones proporcionan una configuración flexible de la selección de haz selectiva en frecuencia por dimensión en un factor de matriz selectivo en frecuencia,  $W_2$ . Por ejemplo, la selección de haces en  $W_2$  puede configurarse para que solo se permita en la dimensión horizontal.

25 Algunas realizaciones incluyen una estructura de libro de códigos de precodificador que es parametrizable para al menos adaptar el libro de códigos para diferentes configuraciones de conjuntos de antenas de la estación base 110, por ejemplo, eNodeB, o el UE 120. El libro de códigos de precodificador puede usarse para determinar información de retroalimentación que incluye el/los precodificador(es) seleccionado(s), por ejemplo, por el UE 120. El libro de códigos de precodificador también puede usarse como una entrada para determinar cómo planificar y transmitir desde la red o la estación base 110, por ejemplo, eNodeB.

30 Las configuraciones de conjuntos de antenas pueden describirse al menos parcialmente por el número de columnas de antenas correspondientes a la dimensión horizontal  $N_h$ , el número de filas de antenas correspondiente a la dimensión vertical  $N_v$ , y número de diferentes polarizaciones  $N_p$ , tal como el número de dimensiones correspondientes a diferentes polarizaciones  $N_p$ . El número total de antenas es por tanto  $N_T = N_p N_h N_v$ .

35 La configuración del conjunto de antenas puede corresponder a un conjunto de antenas físicas con el mismo número de puertos de antena que los elementos de antena en el conjunto, donde cada puerto de antena corresponde a un elemento de antena. Sin embargo, el conjunto de antenas físicas también puede comprender más elementos de antena que el número de puertos de antena. En este caso, varios elementos de antena se agruparían en un puerto de antena disponible para el procesamiento de banda base.

40 En algunas realizaciones en donde se da un número total de puertos  $N_T$ , hay un conjunto de  $(N_h, N_v)$  combinaciones disponibles, que puede ser un subconjunto de todas las combinaciones posibles. Por ejemplo, para un total de  $N_T = 32$  puertos, puede ser (1,16), (2,8), (4,4), ... La disposición de los puertos puede entonces señalizarse por un número 0,1,2, ... en lugar de señalar  $N_h$  y  $N_v$  por separado.

El número de diferentes polarizaciones  $N_p \in \{1,2\}$  puede corresponder a un conjunto de antenas físicas de elementos de antena copolarizados o un conjunto de antenas físicas de elementos de antenas con polarización cruzada.

45 Un ejemplo de un conjunto de antenas bidimensional (2D) puede verse en Figura 6. Supóngase que el puerto de antena en el índice horizontal  $m$ , índice vertical  $n$  e índice de polarización  $p$  tiene el índice del puerto de antena  $i = N_h N_v p + N_v m + n$ .

50 Una estructura de libro de códigos correspondiente apunta a una red de antenas 2D. Sin embargo, un conjunto de antenas 1D tal como una matriz lineal uniforme (ULA) es un caso especial importante del conjunto de antenas 2D. También debe observarse que *horizontal* y *vertical* podría alternativamente considerarse como *dimensión 1* y *dimensión 2*, o *primera dimensión* y *segunda dimensión* como se usa en la presente memoria.

55 Los parámetros del libro de códigos basado en parámetros se señalizan al UE 120. La señalización puede realizarse mediante, por ejemplo, un mensaje RRC, un elemento de cabecera de control de acceso al medio (MAC) o usando dinámicamente canales físicos de control de enlace descendente. En algunas realizaciones, el UE 120 conoce la estructura general del libro de códigos que se aplica a los parámetros señalizados. En base a ese conocimiento y en base a los parámetros señalizados, el UE puede determinar los precodificadores constituyentes en el/los libro(s) de códigos real(es). El UE puede configurarse con la estructura del libro de códigos de precodificador.

Actualmente, en el estándar LTE, se especifican diferentes libros de códigos para diferentes números de puertos de antena. Sin embargo, con un conjunto de antenas 2D, cada configuración de conjunto de antenas  $(N_h, N_v, N_p)$  se beneficiaría de tener un libro de códigos adaptado según las realizaciones de la presente memoria. Especificar el libro de códigos solo por el número de puertos de antena  $N_t$  según la técnica anterior crea una ambigüedad ya que diferentes configuraciones de conjuntos de antenas pueden tener el mismo número de puertos de antena. Además, especificar un libro de códigos separado para cada configuración de conjunto de antenas según la técnica anterior daría como resultado un gran número de libros de códigos y no es factible. Con una estructura de libro de códigos basada en parámetros según las realizaciones de la presente memoria, solo tendría que especificarse la estructura del libro de códigos.

- 5
- 10 El número de haces  $M$  disponible en el libro de códigos también puede incluirse en los parámetros del libro de códigos basado en parámetros. Preferiblemente, el número de haces también puede proporcionarse por dimensión, dando como resultado dos parámetros adicionales, el número de haces disponibles en la dimensión horizontal  $M_h$  y el número de haces disponibles en la dimensión vertical  $M_v$ . De manera equivalente, esto puede expresarse en términos de factores de sobremuestreo  $Q_h$  y  $Q_v$ , por ejemplo, con haces basados en DFT, de modo que  $M_h = Q_h N_h$  y  $M_v = Q_v N_v$ .
- 15 En ese caso, los parámetros del libro de códigos basado en parámetros serían  $(N_h, N_v, N_p, Q_h, Q_v)$ .

La estructura de libro de códigos basado en parámetros según las realizaciones de la presente memoria logra una gran flexibilidad en la estructura del libro de códigos, requerida por las muchas configuraciones posibles del conjunto de antenas, mientras se mantiene la sobrecarga de señalizar el libro de códigos al UE 120 al mínimo.

- 20 Puede considerarse que los precodificadores del libro de códigos basado en parámetros están compuestos por un componente horizontal  $W_0$  y un componente vertical  $W_1$ , donde

$W_0$  es un vector de formación de haces de  $N_h \times 1$  elegido de un libro de códigos  $X_H$ . El precodificador se elige del libro de códigos mediante un PMI  $k = 0, \dots, M_h - 1$ .

$W_1$  es un vector de formación de haces de  $N_v \times 1$  elegido de un libro de códigos  $X_V$ . El precodificador se elige del libro de códigos mediante un PMI  $l = 0, \dots, M_h - 1$ .

- 25 Obsérvese que  $X_H$  y  $X_V$  denota un conjunto de vectores de precodificador. Una posible representación de tal conjunto es permitir que cada columna de una matriz represente un precodificador. También son posibles otras representaciones, incluyendo una tabla de precodificadores. El precodificador total puede ser una función general de valor matricial del producto de Kronecker entre los dos vectores:

$$W = f(W_0 \otimes W_1).$$

- 30 La función  $f(X)$  puede depender de otras matrices de precodificador, posiblemente de libros de códigos adicionales con PMI separados que se deben informar. En el caso general, los libros de códigos  $X_H$  y  $X_V$  y la función  $f(X)$  pueden definirse arbitrariamente mediante un conjunto de parámetros configurables. Tal definición puede incluir la señalización explícita de un conjunto de haces que se utilizarán en cada libro de códigos.

- 35 En algunas realizaciones, cada libro de códigos puede comprender o constar de un conjunto de haces definidos de forma única por el número de haces  $M$  en el libro de códigos y el número de puertos de antena  $N$  correspondiente a la dimensión objetivo del libro de códigos. La dimensión objetivo puede referirse a la primera dimensión o la segunda dimensión, ya que está relacionada con los libros de códigos verticales u horizontales  $X_v$  y  $X_h$ . Obsérvese que, aunque por ejemplo,  $W_0$  y  $X_H$  se denominan precodificadores y libros de códigos respectivamente en este documento, puede utilizarse de forma equivalente la terminología vector/matriz para  $W_0$  y conjunto de vectores/matrices para  $X_H$ . Con tal interpretación, solo el precodificador total  $W$  es etiquetado como un precodificador que se toma de un gran libro de códigos conjunto. Además, el término PMI puede ser simplemente un índice que apunta a un conjunto asociado de matrices/precodificadores denominado libro de códigos. También puede estar implícito en que puede derivarse de un índice que apunta al precodificador total  $W$ .
- 40

- Obsérvese que existen muchas formas equivalentes de formular el producto de Kronecker  $W_0 \otimes W_1$ . Otra forma equivalente es expresarlo como una vectorización de un producto externo,  $vec(W_1 W_0^T)$ . Otra equivalencia es permutar las filas y/o columnas de  $W_0 \otimes W_1$  o de  $W$ . Estas formulaciones equivalentes logran el mismo efecto, es decir, que un primer precodificador  $W_0$  se aplica a una primera dimensión, por ejemplo, el precodificador horizontal  $W_0$  aplicado a todas las filas del conjunto de antenas bidimensional, y un segundo precodificador  $W_1$  se aplica a una segunda dimensión, por ejemplo, el precodificador vertical  $W_1$  aplicado a todas las columnas del conjunto de antenas o disposición de los puertos de antena.
- 45
- 50

O: configuración del conjunto de antenas o de los puertos de antena. Pueden incluirse precodificadores adicionales en el/los libro(s) de códigos que se aparten de la estructura descrita en la presente memoria.

- Además, en algunas realizaciones, la estructura del libro de códigos descrita solo puede aplicarse para un cierto número de filas del precodificador total  $W$ , es decir, solo puede aplicarse para un determinado subconjunto de puertos de antena. Esta limitación al considerar el número de filas puede, por ejemplo, tomarse como un subconjunto particular
- 55

del conjunto {3, 4, ..., 128}, donde cada elemento denota un posible número de filas.

Una fortaleza de la estructura generalizada del precodificador de Kronecker con informes de PMI separados es que los diferentes PMI: s ( $k, l, \dots$ ) pueden ser informados de vuelta por el UE 120 con diferente granularidad en tiempo y frecuencia. Por ejemplo, si la correlación espacial del canal es mayor en la dimensión vertical que en la dimensión horizontal, el PMI horizontal  $k$  puede ser informado con más frecuencia que el PMI vertical  $l$ . Esto tiene el efecto de reducir la sobrecarga en los informes de CSI.

La estructura generalizada del precodificador de Kronecker con informes de PMI separados también ayuda a reducir la complejidad para el UE 120 al decidir qué precodificador elegir. Para que el UE 120 decida qué precodificador ofrece el mejor rendimiento, tiene que buscar entre todos los precodificadores posibles. Sin una estructura generalizada del precodificador de Kronecker con informes de PMI separados, el UE 120 tendría que buscar entre todos los  $M = M_h M_v$  precodificadores para encontrar el de mejor rendimiento. Sin embargo, con una estructura generalizada del precodificador de Kronecker con informes de PMI separados según las realizaciones de la presente memoria, el UE 120 puede realizar una búsqueda secuencial. Primero decide cuál es el mejor precodificador horizontal  $W_0$  y luego el mejor precodificador vertical  $W_1$ . Esto requiere solo  $M_h + M_v$  búsquedas, y dado que  $M_h + M_v \ll M_h M_v$  para  $M_h$  y  $M_v$  grandes, esto reduce la complejidad para el UE 120.

Un caso especial importante de la estructura generalizada del precodificador de Kronecker es la estructura del precodificador de Kronecker ternario.

Según la invención, el precodificador total  $W$  comprende tres precodificadores:

Un precodificador horizontal  $W_0$ , que se elige de un libro de códigos  $X_H$  que comprende haces en la dirección horizontal. El libro de códigos  $X_H$  está configurado con los parámetros  $N_h$  y  $M_h$  dando como resultado un libro de códigos que comprende o consta de  $M_h$  haces/precodificadores de dimensión  $N_h \times 1$ . El precodificador se elige del libro de códigos mediante un PMI  $k = 0, \dots, M_h - 1$ .

Un precodificador vertical  $W_1$ , que se elige de un libro de códigos  $X_V$  que consta de haces en la dirección vertical. El libro de códigos  $X_V$  está configurado con los parámetros  $N_v$  y  $M_v$  dando como resultado un libro de códigos que consta de  $M_v$  haces/precodificadores de dimensión  $N_v \times 1$ . El precodificador se elige del libro de códigos mediante un PMI  $l = 0, \dots, M_h - 1$ .

Un precodificador posiblemente selectivo en frecuencia  $W_2$ , elegido de un libro de códigos  $X_F$ , para selección en frecuencia. El libro de códigos comprende o consta de matrices de dimensión  $N_p \times r$ , donde  $r$  es el rango deseado. El precodificador se elige mediante un PMI  $f$ , en donde  $f$  es un nombre arbitrario para un índice que indexa el conjunto de posibles  $W_2$  matrices.

$W_0, W_1, W_2$  pueden ser informados con diferentes granularidades de tiempo/frecuencia. Por ejemplo,  $W_0$  y  $W_1$  pueden ser de carácter de banda ancha, el mismo en todo el ancho de banda de planificación posible, mientras que  $W_2$  puede ser selectivo en frecuencia. En general, es posible cualquier tipo de combinación de granularidades de tiempo/frecuencia para los tres precodificadores/PMI, pero una configuración típica sería utilizar granularidad de banda ancha para al menos  $W_0$  y  $W_1$ .

El precodificador total  $W$  se forma entonces como

$$W = (W_0 \otimes W_1) W_2$$

en el caso en el que  $N_p = 1$ , es decir, apuntando a un conjunto de antenas de elementos de antena copolarizados, y

$$W = \begin{bmatrix} W_0 \otimes W_1 & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & W_0 \otimes W_1 \end{bmatrix} W_2$$

en el caso en el que  $N_p = 2$ , apuntando a un conjunto de antenas de antenas con polarización cruzada. La última fórmula también puede utilizarse para apuntar a una configuración de antena copolarizada con conjuntos de precodificadores adecuados utilizados para los tres tipos de precodificadores  $W_0, W_1, W_2$  diferentes.

Como se ve, este es un caso especial del caso general de  $W = f(W_0 \otimes W_1)$ . Aquí,

$$f(X) = (I_{N_p} \otimes X) W_2,$$

donde  $I_{N_p}$  es una matriz identidad de tamaño  $N_p$ , es decir, una matriz de identidad de  $N_p \times N_p$ .

En este caso, tres PMI ( $k, l, f$ ), que pueden representarse por un índice para el precodificador total, serían informados de vuelta por el UE 120. Como en el caso general, el informe de CSI puede realizarse con diferente granularidad de tiempo/frecuencia.

En una variación de la estructura de precodificador ternario mencionada anteriormente, el precodificador horizontal  $W_0$  y el precodificador vertical  $W_1$  pueden engrosarse, es decir, comprender varios haces. La matriz  $W_2$  de precodificador selectivo de frecuencia comprende entonces vectores de selección, seleccionando qué haces en las matrices de precodificador horizontal y vertical usar. Para formalizar:

- 5 El precodificador horizontal  $W_0$  es una matriz de  $N_h \times N_{b,h}$  que se toma del libro de códigos  $\tilde{X}_H$ , donde  $b$  significa haces, como el número de haces. Las entradas de  $\tilde{X}_H$  constan de matrices con  $N_{b,h}$  columnas, donde cada columna es un precodificador del libro de códigos  $X_H$ . Un ejemplo de cómo podría verse la entrada  $k$ -ésima de  $\tilde{X}_H$  es  $\tilde{X}_H^k = [X_H^k \ X_H^{k+1} \ \dots \ X_H^{k+N_{b,h}-1}]$ . La inclusión consecutiva de precodificadores en  $\tilde{X}_H$  del libro de códigos  $X_H$  no se considerará limitativo. Más bien, cualquier combinación de subconjuntos de tamaño  $N_{b,h}$  de  $X_H$  puede constituir  $\tilde{X}_H$ .

- 10 El precodificador vertical  $W_1$  es de manera similar una matriz de  $N_v \times N_{b,v}$  que se toma del libro de códigos  $\tilde{X}_V$ , que está construido de la misma manera que su contraparte horizontal.

El precodificador  $W_2$  de rango específico y selectivo en frecuencia puede, por ejemplo, construirse como  $W_2 = A \otimes (e_H \otimes e_V)$  en el caso de rango uno, donde

$A$  es una matriz de precodificador de  $N_p \times 1$  del libro de códigos  $X_F$ .

- 15  $e_H$  es un vector de selección que consta de un solo elemento distinto de cero (que es un uno), destinado a seleccionar una de las columnas en  $\tilde{X}_H$ . Por ejemplo, para seleccionar la segunda columna de  $\tilde{X}_H$ , debe usarse el vector de selección  $e_H^2 = [0 \ 1 \ 0 \ \dots \ 0]^T$ .

Similarmente,  $e_V$  es un vector de selección vertical.

- 20 Para ver que  $e_H$  y  $e_V$  seleccionan los haces de manera eficiente, considérese el caso en el que  $N_p = 2$  y se seleccionan un número de haz horizontal  $a < N_{b,h}$  y un número de haz vertical  $b < N_{b,v}$ .

$$\begin{aligned} W &= \begin{bmatrix} W_0 \otimes W_1 & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & W_0 \otimes W_1 \end{bmatrix} W_2 = \begin{bmatrix} \tilde{X}_H^k \otimes \tilde{X}_V^l & 0 \\ 0 & \tilde{X}_H^k \otimes \tilde{X}_V^l \end{bmatrix} (A \otimes (e_H^a \otimes e_V^b)) = \\ & (I_2 \otimes (\tilde{X}_H^k \otimes \tilde{X}_V^l)) (A \otimes (e_H^a \otimes e_V^b)) = A \otimes ((\tilde{X}_H^k \otimes \tilde{X}_V^l)(e_H^a \otimes e_V^b)) = \\ & A \otimes ((\tilde{X}_H^k e_H^a) \otimes (\tilde{X}_V^l e_V^b)) = A \otimes (X_H^{k+a} \otimes X_V^{l+b}) = \begin{bmatrix} a_1 \cdot (X_H^{k+a} \otimes X_V^{l+b}) \\ a_2 \cdot (X_H^{k+a} \otimes X_V^{l+b}) \end{bmatrix} \\ & = \begin{bmatrix} X_H^{k+a} \otimes X_V^{l+b} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & X_H^{k+a} \otimes X_V^{l+b} \end{bmatrix} A \end{aligned}$$

donde se ha usado la siguiente regla para los productos de Kronecker:

$$(A \otimes B)(C \otimes D) = (AC) \otimes (BD)$$

Para rangos más altos, el precodificador  $W_2$  puede construirse en la forma general

25 
$$W_2 = \begin{bmatrix} (e_H^{a_1} \otimes e_V^{b_1}) & \dots & (e_H^{a_r} \otimes e_V^{b_r}) \\ e^{j\omega_1} (e_H^{a_1} \otimes e_V^{b_1}) & \dots & e^{j\omega_r} (e_H^{a_r} \otimes e_V^{b_r}) \end{bmatrix}$$

es decir, cada uno de los  $r$  flujos espaciales pueden elegir haces arbitrarios  $a$  y  $b$  de  $\tilde{X}_H$  y  $\tilde{X}_V$  respectivamente, así como diferencias de fase arbitrarias entre polarizaciones  $\omega$ .

- 30 En una realización preferida, los libros de códigos de precodificador basados en DFT se utilizan en los libros de códigos horizontal y vertical  $X_H$  y  $X_V$ . Esto puede interpretarse en el sentido de que la diferencia de fase para dos elementos consecutivos de la misma columna de un precodificador  $W_0$  (o  $W_1$ ) es constante (posiblemente después de una permutación adecuada de los elementos de la columna).

$$X_H^k = \left[ 1 \ e^{j2\pi \frac{1k+\Delta}{N_h Q_h}} \ \dots \ e^{j2\pi \frac{(N_h-1)k+\Delta}{N_h Q_h}} \right]^T$$

- 35 El libro de códigos horizontal puede expresarse como donde  $Q_h$  es un factor de sobremuestreo horizontal y  $\Delta$  puede tomar un valor en el intervalo de 0 a 1 para "desplazar" el patrón del haz. Por ejemplo,  $\Delta = 0,5$  puede crear una simetría de haces con respecto al costado de un conjunto de antenas. Costado aquí significa que, si se observa que el conjunto de antenas 2D se encuentra en el plano  $yz$  de un

sistema de coordenadas, la dirección de la radiación máxima se describiría mediante un vector normal al plano yz, es decir, un vector a lo largo del eje x. Esta dirección de este vector puede describirse en coordenadas polares mediante  $(\varphi, \theta) = (0^\circ, 90^\circ)$ . Por lo que, si se crea una simetría de los haces a lo largo del costado del conjunto, los haces serán simétricos alrededor de  $0^\circ$  en azimut y  $90^\circ$  en cenit, respectivamente. Por lo que el costado del conjunto se refiere tanto a la dimensión vertical como a la horizontal.

5 El libro de códigos vertical puede expresarse como

$$X_V^l = \left[ 1 e^{j2\pi \frac{1k+\Delta}{N_V Q_h}} \dots e^{j2\pi \frac{(N_V-1)k+\Delta}{N_V Q_v}} \right]^T, l = 0, \dots, N_V Q_v - 1, \text{ donde}$$

$Q_v$  es un factor de sobremuestreo vertical y  $\Delta$  se define de forma similar a la anterior.

10 En algunas realizaciones de ejemplo, un mensaje de señalización de control de recursos de radio (RRC) puede decir qué libro de códigos usar de un conjunto de libros de códigos posibles, tal como el libro de códigos A, el libro de códigos B, ... etc., siendo posibles solo dos libros de códigos en este conjunto. En cada libro de códigos, al menos un subconjunto de los precodificadores constituyentes puede ser generado por una función  $f(W_0 \otimes W_1)$ , donde  $W_0$  y  $W_1$  se toman de un conjunto de haces de DFT, respectivamente. Esta fórmula está parametrizada por  $N_v, N_h$  y/o el número de haces en cada dimensión,  $M_v, M_h$ . Los libros de códigos son tales que  $M_v \geq N_v, M_h \geq N_h$ . Los al menos dos libros de códigos diferentes tienen al menos un parámetro diferente en el conjunto de parámetros  $N_v, N_h, M_v, M_h$ .

15 Volviendo ahora a las figuras de los dibujos, se muestra en Figura 7 un diagrama de bloques de la estación base 110 construida según algunas realizaciones. En una realización, la estación base 110 puede incluir una memoria, un procesador y un transceptor. En una realización, la estación base puede incluir un módulo de memoria 710, un procesador 720 y un módulo de transceptor 730. La memoria o módulo de memoria 710 está configurada para almacenar parámetros de precodificador 740 e indicadores 750 de matriz de precodificador. El procesador 720 incluye un módulo 760 selector de parámetros de precodificador y un módulo 770 de generación de matriz de precodificador. El transceptor o módulo de transceptor 730 está configurado para transmitir parámetros de precodificador a un UE 120 y para recibir indicadores de matriz de precodificador del UE 120. El módulo 760 selector de parámetros de precodificador está configurado para elegir parámetros de precodificador tales como, por ejemplo, una serie de antenas o puertos de antena en una primera dimensión, una serie de antenas o puertos de antena en una segunda dimensión, una serie de haces en la primera dimensión, una serie de haces en la segunda dimensión, una cantidad de sobremuestreo en la primera dimensión y una cantidad de sobremuestreo en la segunda dimensión. Estos parámetros de precodificador son transmitidos al UE 120 por el transceptor. En algunas realizaciones, el UE 120 usa estos parámetros para construir un libro de códigos de precodificador, para probar cada una de una pluralidad de matrices de precodificador obtenidas del libro de códigos de precodificador, para elegir una matriz o matrices de precodificador y para transmitir al menos un PMI que indica la matriz o matrices de precodificador a la estación base. El módulo 770 de generación de matriz de precodificador de la estación base 110 genera la matriz o matrices de precodificador indicadas por el al menos un PMI.

35 Figura 8 es un diagrama de bloques de un equipo de usuario ejemplar, tal como el UE 120 construido según algunas realizaciones. En una realización, el UE 120 puede incluir una memoria, un procesador y un transceptor. En una realización, el UE 120 puede incluir un módulo de memoria 810, a procesador 820 y un módulo de transceptor 830. La memoria o módulo de memoria 810 está configurada para almacenar parámetros de precodificador 840 e indicadores 850 de matriz de precodificador. El procesador 820 incluye un módulo 860 de generación de libro de códigos de precodificador, un módulo 870 de determinación de parámetros de rendimiento y un módulo 880 selector de indicador de matriz de precodificador. El transceptor o módulo de transceptor 830 está configurado para recibir de la estación base 110 un conjunto de uno o más parámetros de precodificador 840 a partir de los cuales el módulo 860 de generación de libro de códigos de precodificador se configura para generar un libro de códigos. El módulo 870 de determinación de parámetros de rendimiento está configurado para probar cada una de una pluralidad de matrices de precodificador en el libro de códigos para determinar una matriz o matrices de precodificador, es decir, la matriz o conjunto de matrices que proporcionan un rendimiento óptimo. El módulo 880 selector de indicador de matriz de precodificador está configurado para seleccionar el PMI correspondiente a la matriz o matrices determinadas. El transceptor o módulo de transceptor 830 está configurado para transmitir el PMI seleccionado a la estación base, que usa el PMI para generar la matriz o matrices determinadas.

50 Figura 9 es un diagrama de flujo de un proceso ejemplar para generar y transmitir un conjunto de uno o más parámetros de precodificador. Se generan 901 los parámetros de precodificador asociados con una pluralidad de antenas de una estación base. Los parámetros de precodificador generados se transmiten 902 a un UE tal como el UE 120 para permitir al UE generar o determinar un libro de códigos de precodificador.

55 Figura 10 es un diagrama de flujo de un proceso ejemplar para generar una matriz de precodificador utilizada para formar haces. Una estación base tal como la estación base 110 recibe 1001 de un UE tal como el UE 120 un indicador de matriz de precodificador que indica una matriz de precodificador seleccionada por el UE. Se selecciona 1002 la matriz de precodificador indicada para formar haces en la estación base.

Figura 11 es un diagrama de flujo de un proceso ejemplar para recibir parámetros de precodificador y generar libros de códigos correspondientes en un UE tal como el UE 120. El UE recibe 1101 al menos un parámetro de precodificador de una estación base tal como la estación base 110. El UE genera 1102 un libro de códigos de precodificador en base

al al menos un parámetro de precodificador recibido.

Figura 12 es un diagrama de flujo de un proceso para seleccionar una matriz de precodificador a partir de un libro de códigos y transmitir el PMI correspondiente a la estación base tal como la estación base 110 en un UE tal como el UE 120. Se selecciona 1201 una matriz de precodificador particular a partir de un libro de códigos de precodificador en base a una medida de rendimiento. Se transmite 1202 a la estación base un PMI correspondiente a la matriz de precodificador particular.

Para realizar las acciones del método para permitir al UE 120 determinar un libro de códigos de precodificador en el sistema de comunicación inalámbrica 100 descrito anteriormente, la estación base 110 puede comprender la siguiente disposición representada en la Figura 7.

10 En algunas realizaciones, la estación base 110 es operativa para, por ejemplo, por medio de que el módulo 760 selector de parámetros de precodificador esté configurado para ello, generar parámetros de precodificador asociados con una pluralidad de puertos de antena de la estación base 110. Los parámetros de precodificador se refieren a una primera dimensión y una segunda dimensión del libro de códigos de precodificador. La primera y segunda dimensiones del libro de códigos de precodificador coinciden con una distribución bidimensional de la pluralidad de puertos de antena. La pluralidad de puertos de antena puede comprender un número NT de puertos de antena que es una función del número Nh de puertos de antena en la primera dimensión y el número Nv de puertos de antena en la segunda dimensión. Los parámetros de precodificador pueden comprender un parámetro que especifica un número Nh de puertos de antena en la primera dimensión y un parámetro que especifica un número Nv de puertos de antena en la segunda dimensión.

20 En algunas realizaciones, uno de los números Nv y Nh de los puertos de antena es igual a uno.

En algunas realizaciones, el número de puertos de antena NT es igual a  $Nh * Nv * Np$ , donde Np representa un número de diferentes polarizaciones. Puede verse que el número Np de diferentes polarizaciones corresponde a una dimensión adicional, además de la primera y segunda dimensiones.

25 Los parámetros de precodificador pueden comprender además un parámetro que especifica un número Mh de haces disponibles en la primera dimensión; y un parámetro que especifica un número Mv de haces disponibles en la segunda dimensión. Los números Mh y Mv de los haces pueden depender de los correspondientes factores de sobremuestreo Qh y Qv, respectivamente.

30 La estación base 110 es además operativa para, por ejemplo, por medio de que el módulo de transceptor 730 esté configurado para ello, transmitir al UE 120 información relativa a los parámetros de precodificador que permiten al UE 120 determinar el libro de códigos de precodificador. Los parámetros de precodificador están asociados con una pluralidad de puertos de antena de la estación base 110. Los parámetros de precodificador se refieren a una primera dimensión y una segunda dimensión del libro de códigos de precodificador. La pluralidad de puertos de antena comprende un número NT de puertos de antena que es función de un número Nh de puertos de antena en la primera dimensión, y un número Nv de puertos de antena en la segunda dimensión.

35 Los parámetros de precodificador pueden comprender un parámetro que especifica el número Nh de puertos de antena en la primera dimensión y un parámetro que especifica el número Nv de puertos de antena en la segunda dimensión.

En algunas realizaciones, los parámetros de precodificador especifican al menos una de las siguientes combinaciones de parámetros:

- 40 - el número Nh de puertos de antena en la primera dimensión y el número Nv de puertos de antena en la segunda dimensión, y
- un número Mh de haces disponibles en la primera dimensión y un número Mv de haces disponibles en la segunda dimensión
- un factor de sobremuestreo Qh en la primera dimensión; y un factor de sobremuestreo Qv en la segunda dimensión.

45 La estación base 110 es además operativa para, por ejemplo, por medio de que el módulo 780 de determinación de libro de códigos de precodificador esté configurado para ello, determinar el libro de códigos de precodificador en base a los parámetros de precodificador.

50 Un precodificador en el libro de códigos de precodificador puede construirse o generarse combinando una matriz de precodificador en la primera dimensión y una matriz de precodificador en la segunda dimensión de una forma equivalente a usar un producto de Kronecker.

La estación base 110 puede ser operativa además para, por ejemplo, por medio de que el módulo de transceptor 730 esté configurado para ello, recibir del UE 120, al menos un PMI que indica al menos una matriz de precodificador seleccionada por el UE 120.

La estación base 110 puede ser operativa además para, por ejemplo, por medio de que el módulo 770 de generación de matriz de precodificador esté configurado para ello, generar la al menos una matriz de precodificador indicada en base al al menos un PMI;

5 La estación base 110 puede además ser operativa para utilizar la al menos una matriz de precodificador indicada para formar haces para su transmisión al UE 120.

El al menos un PMI puede comprender un primer indicador de matriz de precodificador que indica una primera matriz de precodificador asociada con la primera dimensión; y un segundo indicador de matriz de precodificador que indica una segunda matriz de precodificador asociada con la segunda dimensión.

10 Para realizar las acciones del método para determinar un libro de códigos de precodificador en el sistema de comunicación inalámbrica 100 descrito anteriormente, el UE 120 puede comprender la siguiente disposición representada en la Figura 8.

15 El UE 120 es operativo para, por ejemplo, por medio de que el módulo de transceptor 830 esté configurado para ello, recibir de la estación base 110, información relativa a los parámetros de precodificador que permiten al UE 120 determinar el libro de códigos de precodificador del libro de códigos de precodificador. Los parámetros de precodificador están asociados con una pluralidad de puertos de antena de la estación base 110. Los parámetros de precodificador se refieren a una primera dimensión y una segunda dimensión del libro de códigos de precodificador. La pluralidad de puertos de antena comprende un número NT de puertos de antena que es función de un número Nh de puertos de antena en la primera dimensión, y un número Nv de puertos de antena en la segunda dimensión.

20 Los parámetros de precodificador pueden comprender un parámetro que especifica el número Nh de puertos de antena en la primera dimensión, y un parámetro que especifica el número Nv de puertos de antena en la segunda dimensión.

En algunas realizaciones, los parámetros de precodificador especifican al menos una de las siguientes combinaciones de parámetros:

- el número Nh de puertos de antena en la primera dimensión y el número Nv de puertos de antena en la segunda dimensión,
- 25 - un número Mh de haces disponibles en la primera dimensión y un número Mv de haces disponibles en la segunda dimensión, y
- un factor de sobremuestreo Qh en la primera dimensión; y un factor de sobremuestreo Qv en la segunda dimensión.

30 El UE 120 es además operativo para, por ejemplo, por medio de que el módulo 860 de generación de libro de códigos de precodificador esté configurado para ello, determinar el libro de códigos de precodificador en base a la información recibida relativa a los parámetros de precodificador.

En algunas realizaciones, un precodificador en el libro de códigos de precodificador determinado se construye o genera combinando una matriz de precodificador en o para la primera dimensión y una matriz de precodificador en o para la segunda dimensión de una forma equivalente a usar un producto de Kronecker.

35 El libro de códigos de precodificador determinado puede ser un libro de códigos basado en DFT. En algunas realizaciones, el libro de códigos basado en DFT puede comprender un primer libro de códigos basado en DFT para la primera dimensión, y un segundo libro de códigos basado en DFT para la segunda dimensión, en donde la segunda dimensión es ortogonal a la primera dimensión.

40 El UE 120 puede además ser operativo para, por ejemplo, por medio de que el módulo 880 selector de indicador de matriz de precodificador esté configurado para ello, seleccionar al menos una matriz de precodificador del libro de códigos de precodificador determinado en base a una medida de rendimiento asociada con la al menos una matriz de precodificador.

45 El UE 120 puede además ser operativo para, por ejemplo, por medio de que el módulo 880 selector de indicador de matriz de precodificador esté configurado para ello, seleccionar al menos una matriz de precodificador de la al menos una matriz de precodificador seleccionando un primer factor de matriz de precodificador asociado con una primera dimensión; y seleccionar un segundo factor de matriz de precodificador asociado con una segunda dimensión.

50 El UE 120 puede además ser operativo para, por ejemplo, por medio de que el módulo 880 selector de indicador de matriz de precodificador esté configurado para ello, seleccionar al menos una matriz de precodificador del libro de códigos de precodificador determinado seleccionando un primer factor de matriz de precodificador asociado con la primera dimensión; y seleccionar un segundo factor de matriz de precodificador asociado con la segunda dimensión.

El UE 120 puede además ser operativo para, por ejemplo, por medio de que el módulo de transceptor 830 esté configurado para ello, transmitir al menos un PMI a la estación base 110. El al menos un PMI corresponde a la al menos una matriz de precodificador seleccionada.

El UE 120 puede además ser operativo para, por ejemplo, por medio de que el módulo de transceptor 830 esté configurado para ello, transmitir el al menos un PMI a la estación base 110, transmitiendo un primer indicador de matriz de precodificador asociado con la primera dimensión con una primera periodicidad, y transmitiendo un segundo indicador de matriz de precodificador asociado con la segunda dimensión con una segunda periodicidad diferente de la primera periodicidad.

Las realizaciones de la presente memoria que comprenden el proceso para determinar un libro de códigos de precodificador en el sistema 100 de comunicación inalámbrica pueden implementarse a través de uno o más procesadores, tal como el procesador 720 en la estación base 110 representado en la Figura 7, y el procesador 820 en el UE 120 representado en la Figura 8, junto con código del programa informático para realizar las funciones y acciones de las realizaciones de la presente memoria. El código de programa mencionado anteriormente también puede proporcionarse como un producto de programa informático, por ejemplo, en forma de un portador de datos que lleva un código de programa informático para realizar las funciones y acciones de las realizaciones en la presente memoria cuando se carga en la respectiva estación base 110 y UE 120. Uno de dichos portadores puede ser en forma de un disco compacto de memoria de sólo lectura de disco (CD ROM). Sin embargo, es factible con otros portadores de datos tal como una memoria extraíble. El código de programa informático puede proporcionarse además como código de programa en un servidor y descargarse a la respectiva estación base 110 y UE 120.

La estación base 110 y el UE 120 pueden comprender además memorias que comprenden uno o más módulos de memoria tales como el módulo de memoria 710 en la estación base 110 representado en la Figura 7, y el módulo de memoria 810 en el UE 120 representado en la Figura 8. El módulo de memoria 710 comprende instrucciones ejecutables por el procesador 720 y el módulo de memoria 810 comprende instrucciones ejecutables por el procesador 820.

Los expertos en la técnica también apreciarán que los módulos descritos anteriormente pueden referirse a una combinación de circuitos analógicos y digitales, y/o uno o más procesadores configurados con software y/o firmware, por ejemplo, almacenados en los módulos de memoria 710 y 810, que cuando son ejecutados por el uno o más procesadores tales como el procesador 720 y 820 realizan las funciones y acciones de las realizaciones en la presente memoria como se describió anteriormente. Uno o más de estos procesadores, así como el otro hardware digital, pueden incluirse en un solo circuito integrado de aplicación específica (ASIC), o pueden distribuirse varios procesadores y varios equipos digitales entre varios componentes separados, ya sea empaquetados individualmente o ensamblados en un sistema en chip (SoC).

Según las realizaciones de la presente memoria, se proporciona un conjunto de libros de códigos de precodificador.

Es posible generar al menos parte de cada libro de códigos de precodificador en el conjunto de libros de códigos de precodificador a partir de un conjunto de parámetros de precodificador que comprenden una cualquiera o más de las siguientes combinaciones de parámetros de precodificador:

- un número  $N_h$  de puertos de antena en la primera dimensión y un número  $N_v$  de puertos de antena en la segunda dimensión,
- un número  $M_h$  de haces disponibles en la primera dimensión; y un número  $M_v$  de haces disponibles en la segunda dimensión, y
- un factor de sobremuestreo  $Q_h$  en la primera dimensión; y un factor de sobremuestreo  $Q_v$  en la segunda dimensión.

En algunas realizaciones, es posible generar al menos parte de cada libro de códigos de precodificador en el conjunto de libros de códigos de precodificador a partir de una estructura común general que depende de un conjunto de parámetros clave de precodificador y un conjunto de parámetros de precodificador correspondientes.

Al menos un parámetro de precodificador en el conjunto de parámetros de precodificador difiere entre los libros de códigos de precodificador comprendidos en el conjunto de libros de códigos de precodificador.

Las realizaciones de la presente memoria proporcionan una estación base tal como la estación base 110 que comprende un libro de códigos de precodificador comprendido en el conjunto de libros de códigos de precodificador.

Las realizaciones de la presente memoria proporcionan además un UE tal como el UE 120 que comprende un libro de códigos de precodificador comprendido en el conjunto de libros de códigos de precodificador.

Las presentes realizaciones pueden realizarse en hardware o en una combinación de hardware y software. Cualquier tipo de sistema informático, u otro aparato adaptado para llevar a cabo los métodos descritos en la presente memoria, es adecuado para realizar las funciones descritas en la presente memoria. Una combinación típica de hardware y software podría ser un sistema informático especializado, por ejemplo, una estación base o un terminal inalámbrico, que tenga uno o más elementos de procesamiento y un programa informático almacenado en un medio de almacenamiento que, cuando se carga y ejecuta, controla el sistema informático de manera que lleva a cabo los métodos descritos en la presente memoria. Las presentes realizaciones también pueden integrarse en un producto de

programa informático, que comprende todas las características que permiten la implementación de los métodos descritos en la presente memoria y que, cuando se carga en un sistema informático, es capaz de llevar a cabo estos métodos. Medio de almacenamiento se refiere a cualquier dispositivo de almacenamiento volátil o no volátil.

- 5 Programa informático o aplicación en el presente contexto significa cualquier expresión, en cualquier lenguaje, código o notación, de un conjunto de instrucciones destinadas a hacer que un sistema que tiene una capacidad de procesamiento de información realice una función particular, ya sea directamente o después de uno o ambos de los siguientes a) conversión a otro lenguaje, código o notación; b) reproducción en una forma material diferente.

## REIVINDICACIONES

1. Un método realizado por un Equipo de usuario, UE, (120) para determinar un libro de códigos de precodificador en un sistema de comunicación inalámbrico, el método comprende:
- 5            *recibir* (401) de una estación base valores de los parámetros del precodificador que permiten al UE (120) determinar el libro de códigos del precodificador, donde los parámetros del precodificador están asociados con una pluralidad de puertos de antena de la estación base (110) y donde los parámetros del precodificador especifican varios puertos de antena en una primera dimensión y un factor de sobremuestreo en la primera dimensión y especifican varios puertos de antena en una segunda dimensión y un factor de sobremuestreo en la segunda dimensión; y
- 10           *determinar* (402) el libro de códigos del precodificador en función de los valores recibidos de los parámetros del precodificador y un libro de códigos basado en parámetros, en el que un precodificador en el libro de códigos del precodificador comprende una primera matriz de precodificador asociada con la primera dimensión, una segunda matriz de precodificador asociada con la segunda dimensión y un precodificador selectivo en frecuencia.
- 15           2. El método de la reivindicación 1, en el que los parámetros del precodificador especifican:  
varios haces disponibles en la primera dimensión y varios haces disponibles en la segunda dimensión.
- 20           3. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1-2, en el que un precodificador en el libro de códigos del precodificador se construye o genera: combinando la primera matriz de precodificador asociada con la primera dimensión y la segunda matriz de precodificador asociada con la segunda dimensión de una manera equivalente a usar un producto de Kronecker, y multiplicando el precodificador selectivo en frecuencia con la primera matriz de precodificador combinada y la segunda matriz de precodificador.
- 25           4. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1-3, método que además comprende:  
*seleccionar* (403) al menos una matriz de precodificador del libro de códigos de precodificador determinado en función de una medida de rendimiento asociada con la al menos una matriz de precodificador; y
- transmitir* (404) al menos un Indicador de Matriz de Precodificador, PMI, a la estación base (110), correspondiendo el al menos un PMI a la al menos una matriz de precodificador seleccionada.
- 30           5. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1-4, en el que el precodificador selectivo en frecuencia comprende vectores de selección para seleccionar uno particular de una pluralidad de haces.
6. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1 - 5, en el que el libro de códigos del precodificador determinado es un libro de códigos basado en la Transformada Discreta de Fourier, DFT.
7. El método de la reivindicación 6, en el que el libro de códigos basado en DFT comprende un primer libro de códigos basado en DFT para la primera dimensión y un segundo libro de códigos basado en DFT para la segunda dimensión, siendo la segunda dimensión ortogonal a la primera dimensión.
- 35           8. Un método realizado por una estación base (110) para permitir que un Equipo de usuario, UE, (120) determine un libro de códigos de precodificador en un sistema de comunicación inalámbrico, el método comprende:
- 40           *transmitir* (303) al UE (120) valores de parámetros del precodificador que permiten al UE (120) determinar el libro de códigos del precodificador basándose en un libro de códigos basado en parámetros, en el que los parámetros del precodificador están asociados con una pluralidad de puertos de antena de la estación base (110) y en el que los parámetros del precodificador especifican varios puertos de antena en una primera dimensión y un factor de sobremuestreo en la primera dimensión y además especifican varios puertos de antena en una segunda dimensión y un factor de sobremuestreo en la segunda dimensión, y
- en el que un precodificador en el libro de códigos del precodificador comprende una primera matriz de precodificador asociada con la primera dimensión, una segunda matriz de precodificador asociada con la segunda dimensión y un precodificador selectivo en frecuencia.
- 45           9. El método de la reivindicación 8, en el que los parámetros del precodificador especifican:  
varios haces disponibles en la primera dimensión y varios haces disponibles en la segunda dimensión.
- 50           10. El método de cualquiera de las reivindicaciones 8-9, en el que se construye o genera un precodificador en el libro de códigos del precodificador combinando la primera matriz de precodificador en la primera dimensión y la segunda matriz de precodificador en la segunda dimensión de una manera equivalente a usar un producto de Kronecker, y multiplicando el precodificador selectivo de frecuencia con la primera matriz de precodificador combinada y la segunda matriz de precodificador.

11. El método de cualquiera de las reivindicaciones 8-10, método que comprende además:

*recibir* (304) desde el UE (120) al menos un Indicador de Matriz de Precodificador, PMI, que indica al menos una matriz de precodificador seleccionada por el UE (120);

*generar* (305) la al menos una matriz de precodificador indicada en función del al menos un PMI; y

5 *utilizar* (306) la al menos una matriz de precodificador indicada para formar haces para la transmisión al UE (120).

12. Un equipo de usuario, UE, (120) para determinar un libro de códigos de precodificador en un sistema de comunicación inalámbrico, el UE (120) está configurado para:

10 *recibir* desde una estación base (110), los valores de los parámetros del precodificador que permiten al UE (120) determinar el libro de códigos del precodificador, donde los parámetros del precodificador están asociados con una pluralidad de puertos de antena de la estación base (110) y donde los parámetros del precodificador especifican varios puertos de antena en una primera dimensión y un factor de sobremuestreo en la primera dimensión y especifican varios puertos de antena en una segunda dimensión y un factor de sobremuestreo en la segunda dimensión, y

15 *determinar* el libro de códigos del precodificador en función de los valores recibidos de los parámetros del precodificador y un libro de códigos basado en parámetros, en el que un precodificador en el libro de códigos del precodificador comprende una primera matriz de precodificador asociada con la primera dimensión, una segunda matriz de precodificador asociada con la segunda dimensión y un precodificador selectivo en frecuencia.

20 13. El UE (120) de la reivindicación 12, UE (110) que además está configurado para realizar el método de cualquiera de las reivindicaciones 2-7.

14. Una estación base (110) para permitir que un Equipo de usuario, UE, determine un libro de códigos de precodificador en un sistema de comunicación inalámbrico, la estación base está configurada para:

25 *transmitir* al UE (120), valores de parámetros del precodificador que permiten al UE (120) determinar el libro de códigos del precodificador en función de un libro de códigos basado en parámetros donde los parámetros del precodificador están asociados con una pluralidad de puertos de antena de la estación base (110), y donde los parámetros del precodificador especifican varios puertos de antena en una primera dimensión y un factor de sobremuestreo en la primera dimensión y especifican varios puertos de antena en una segunda dimensión y un factor de sobremuestreo en la segunda dimensión;

30 donde un precodificador en el libro de códigos del precodificador comprende una primera matriz de precodificador asociada con la primera dimensión, una segunda matriz de precodificador asociada con la segunda dimensión y un precodificador selectivo en frecuencia.

15. La estación base (110) de la reivindicación 14, estación base (110) que está configurada además para realizar el método de cualquiera de las reivindicaciones 9-11.

35

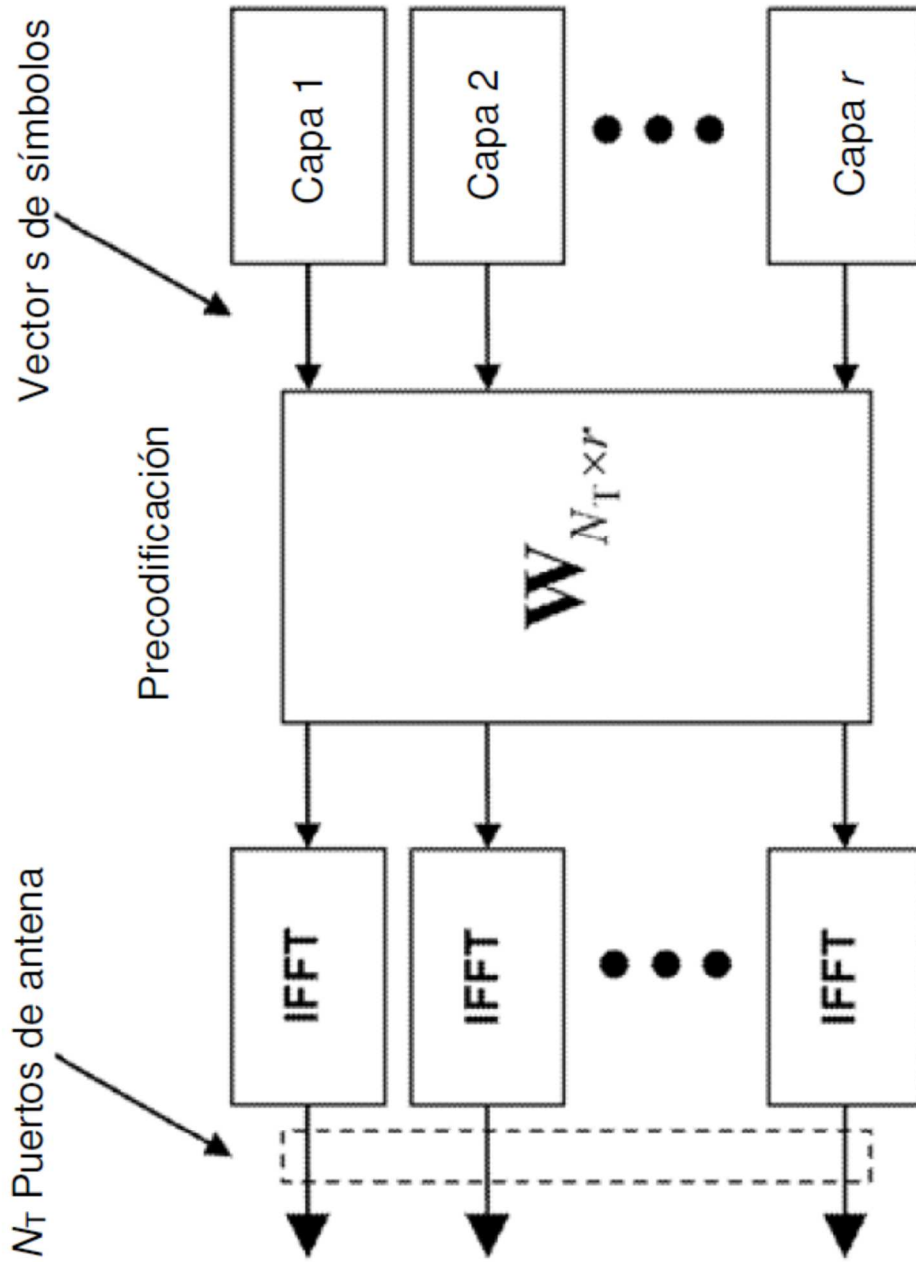


Fig. 1

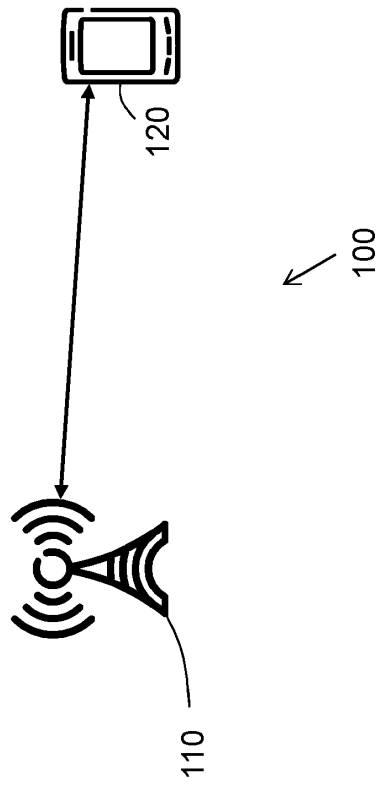


Fig. 2

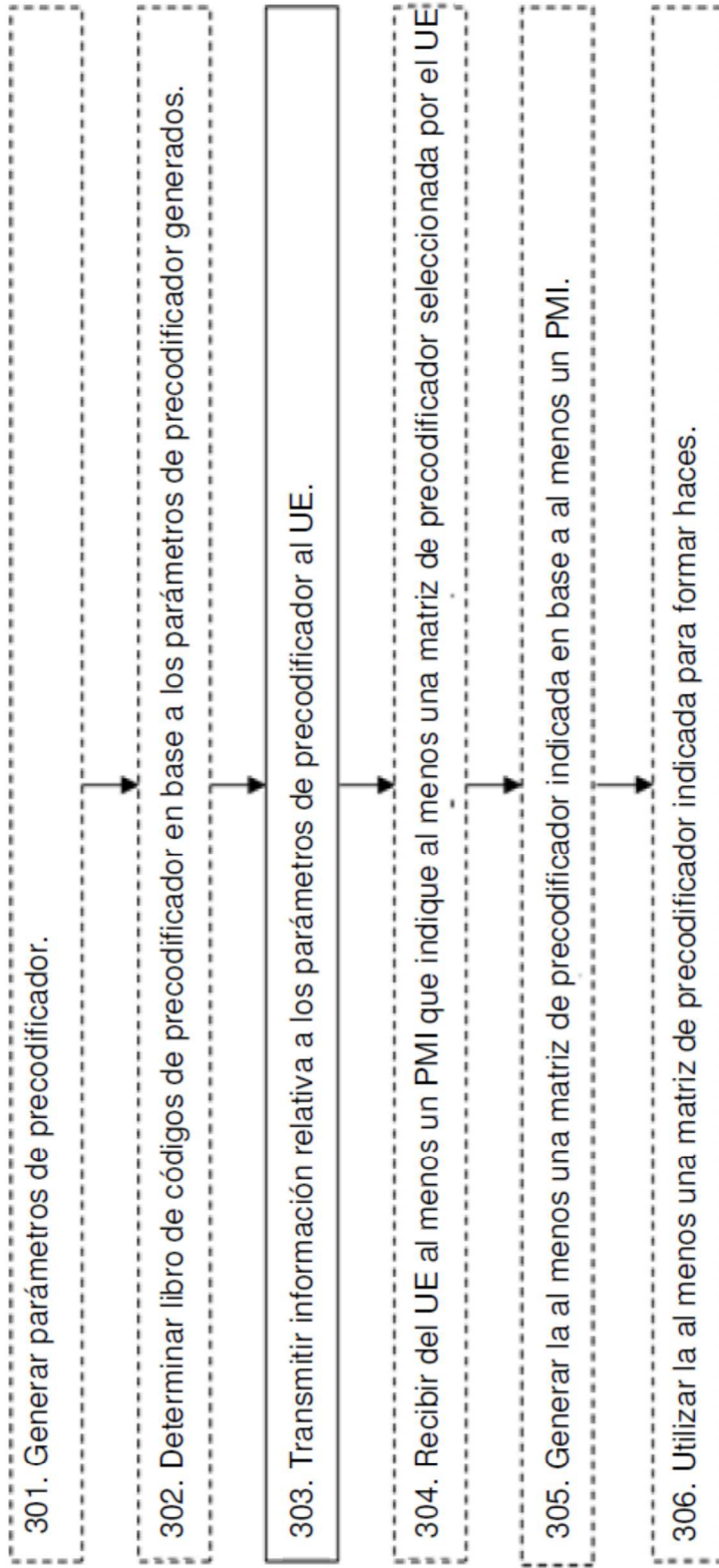


Fig. 3

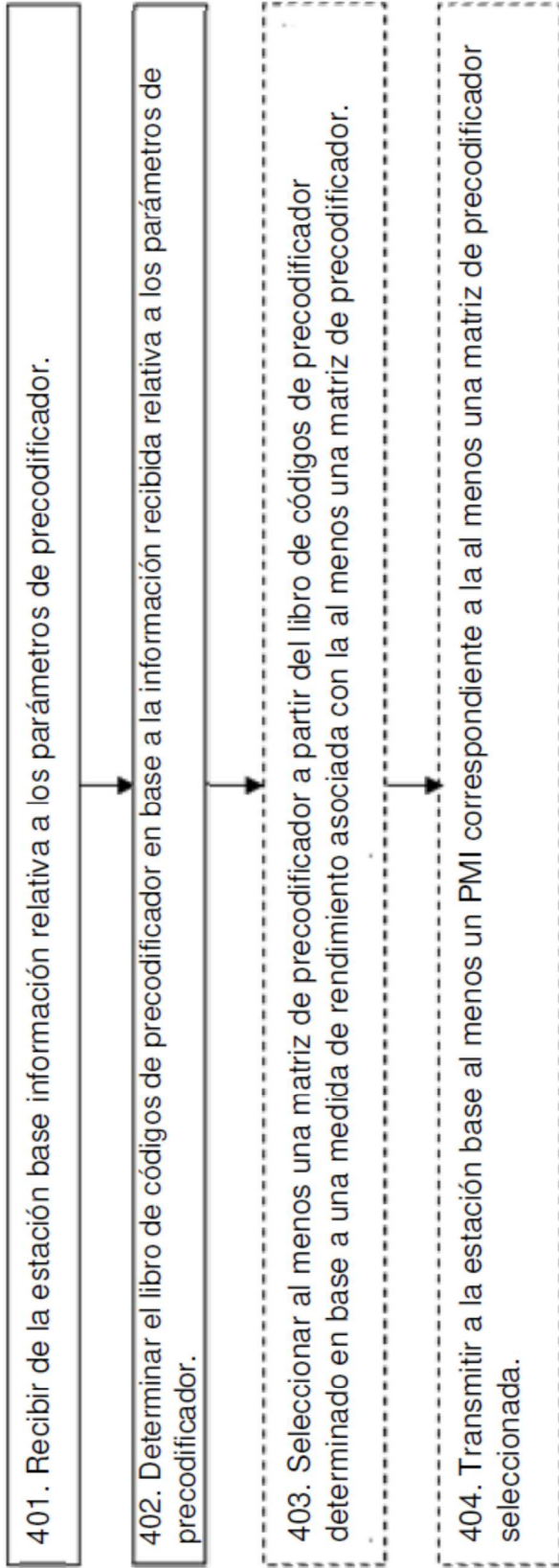


Fig. 4

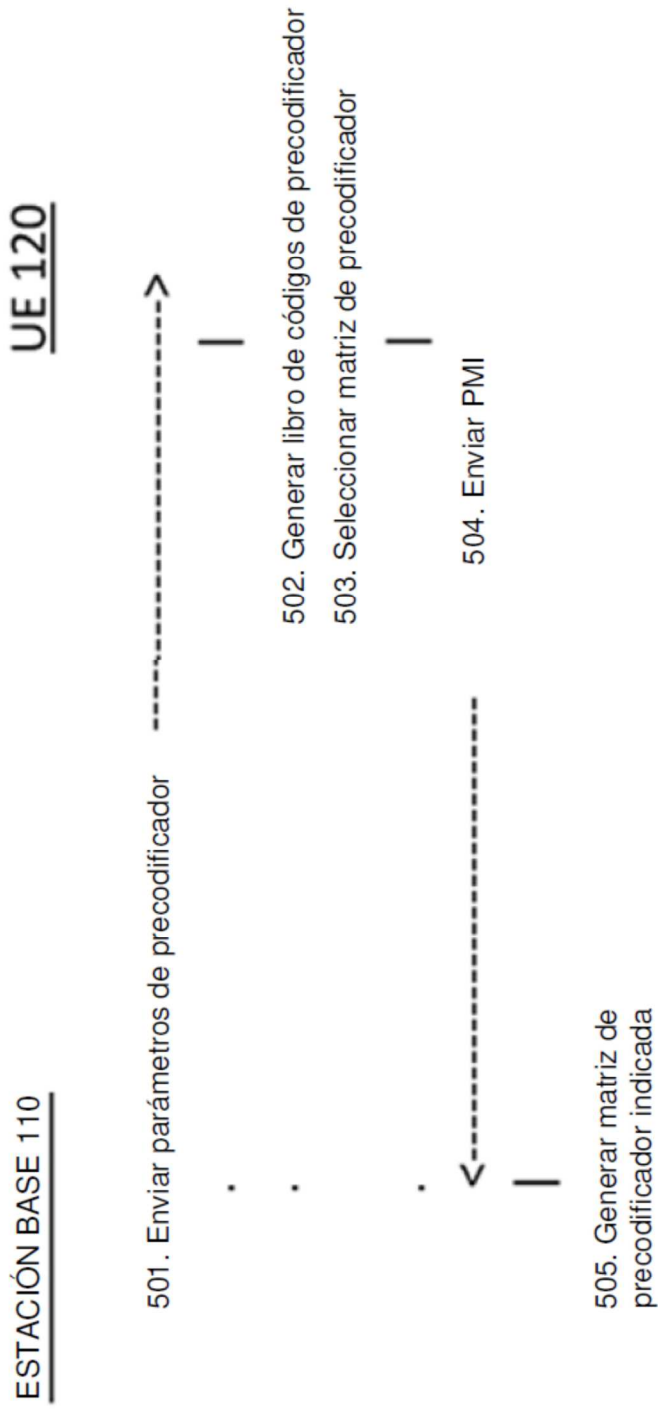


Fig. 5

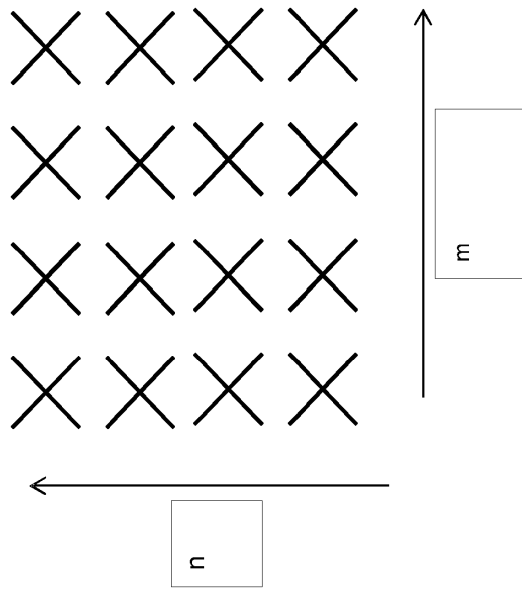


Fig. 6

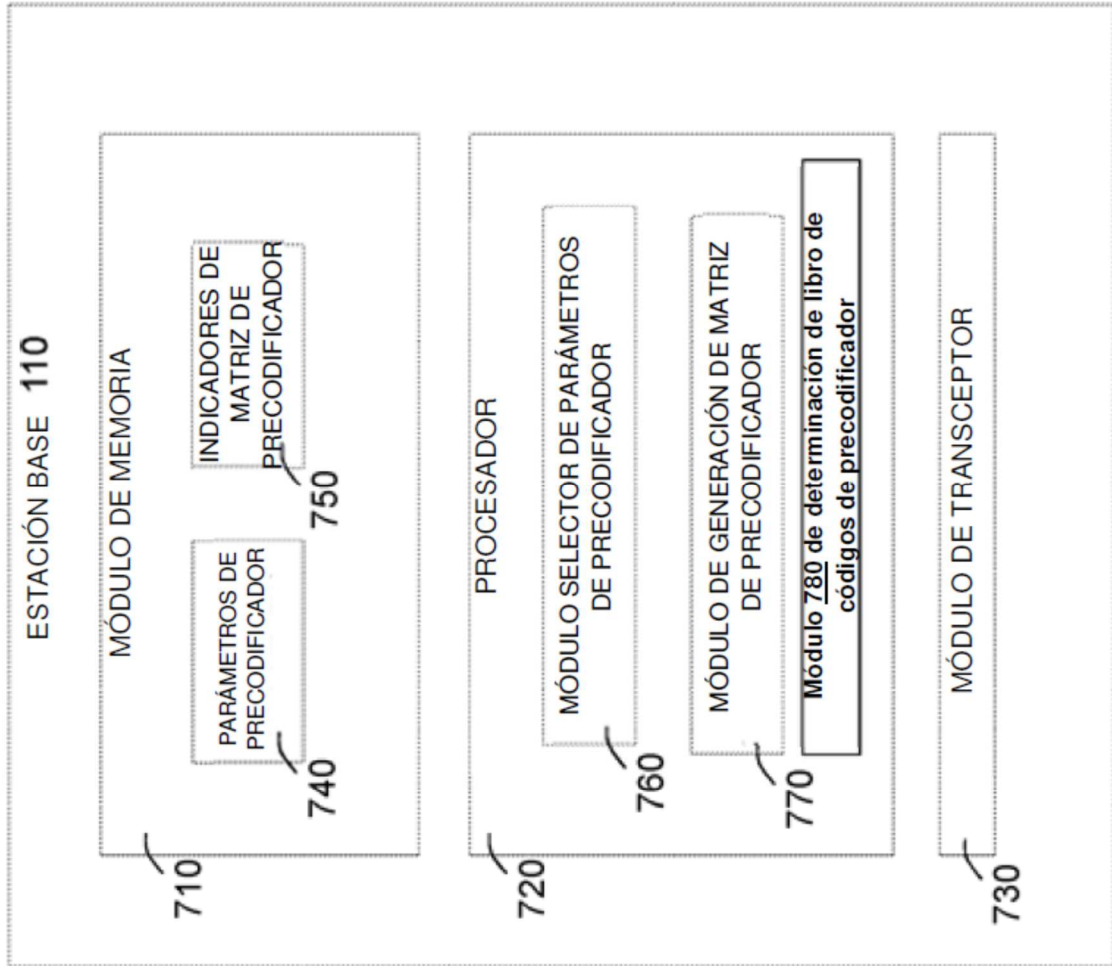


Fig. 7

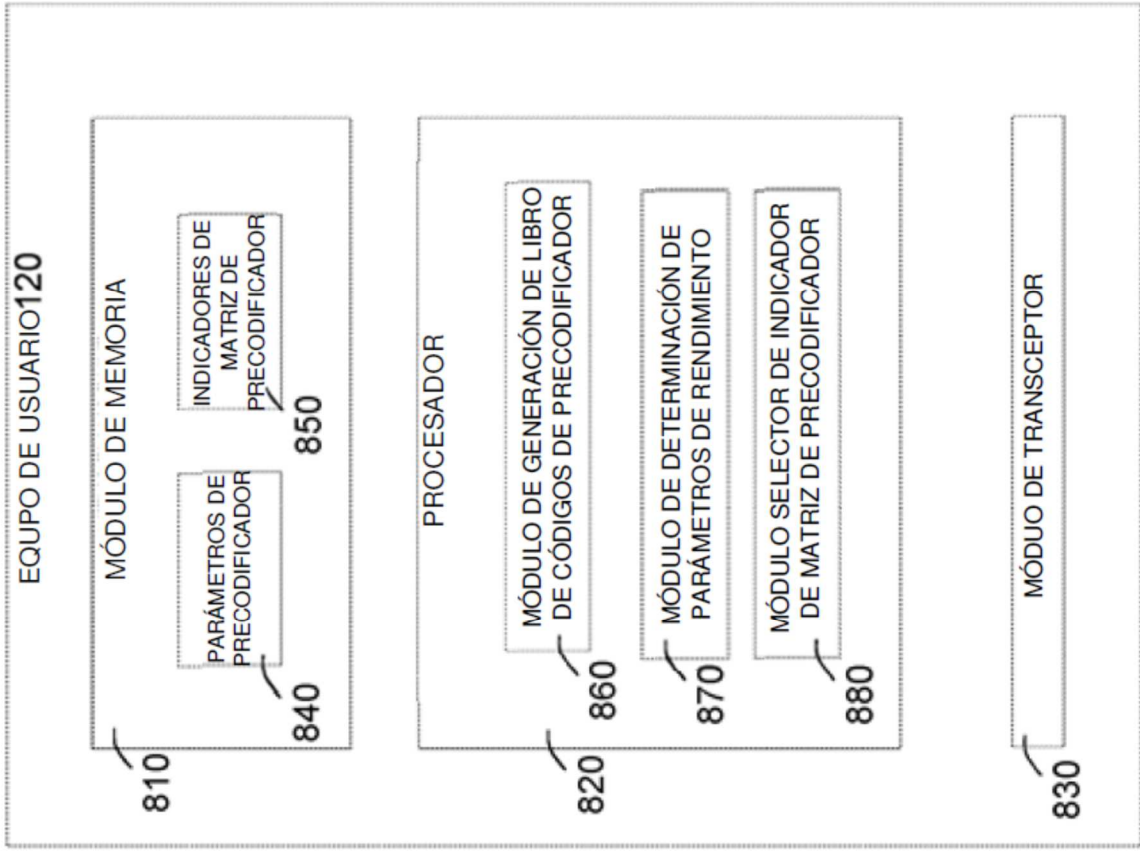


Fig. 8

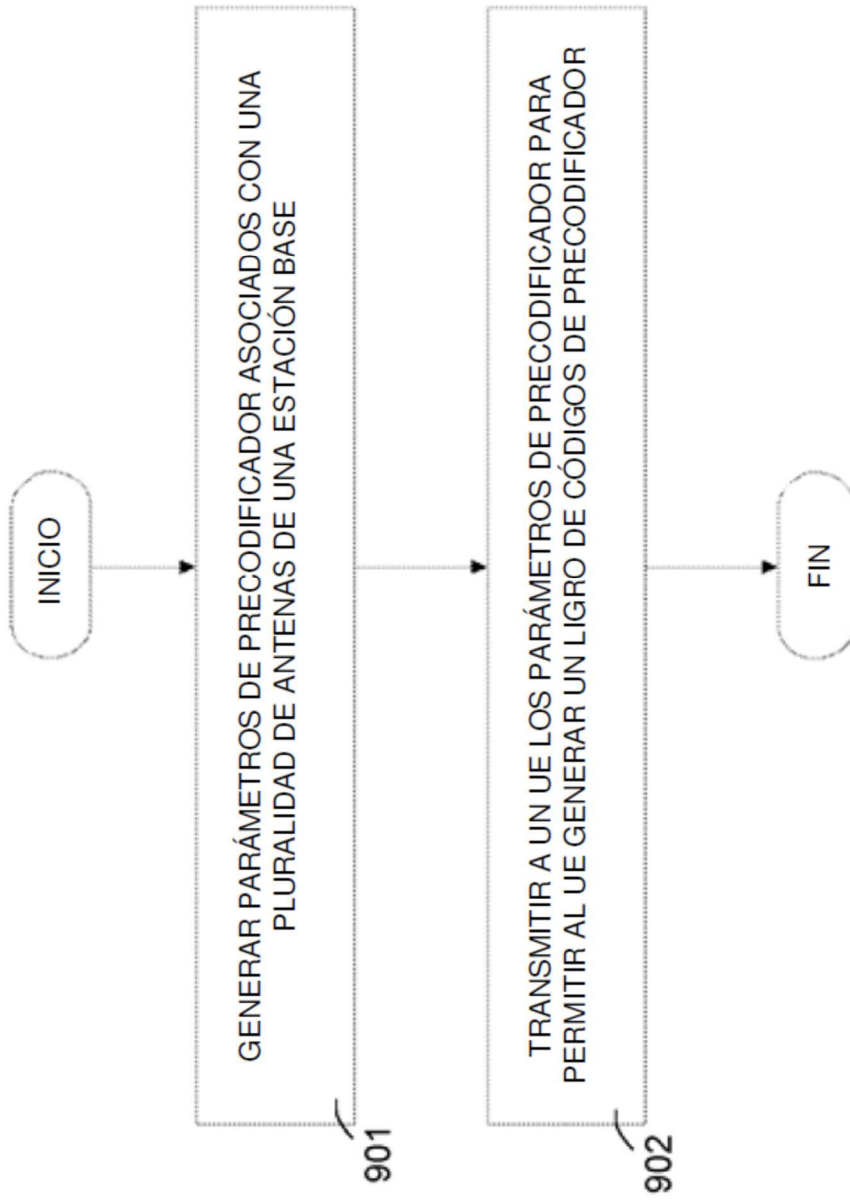


Fig. 9

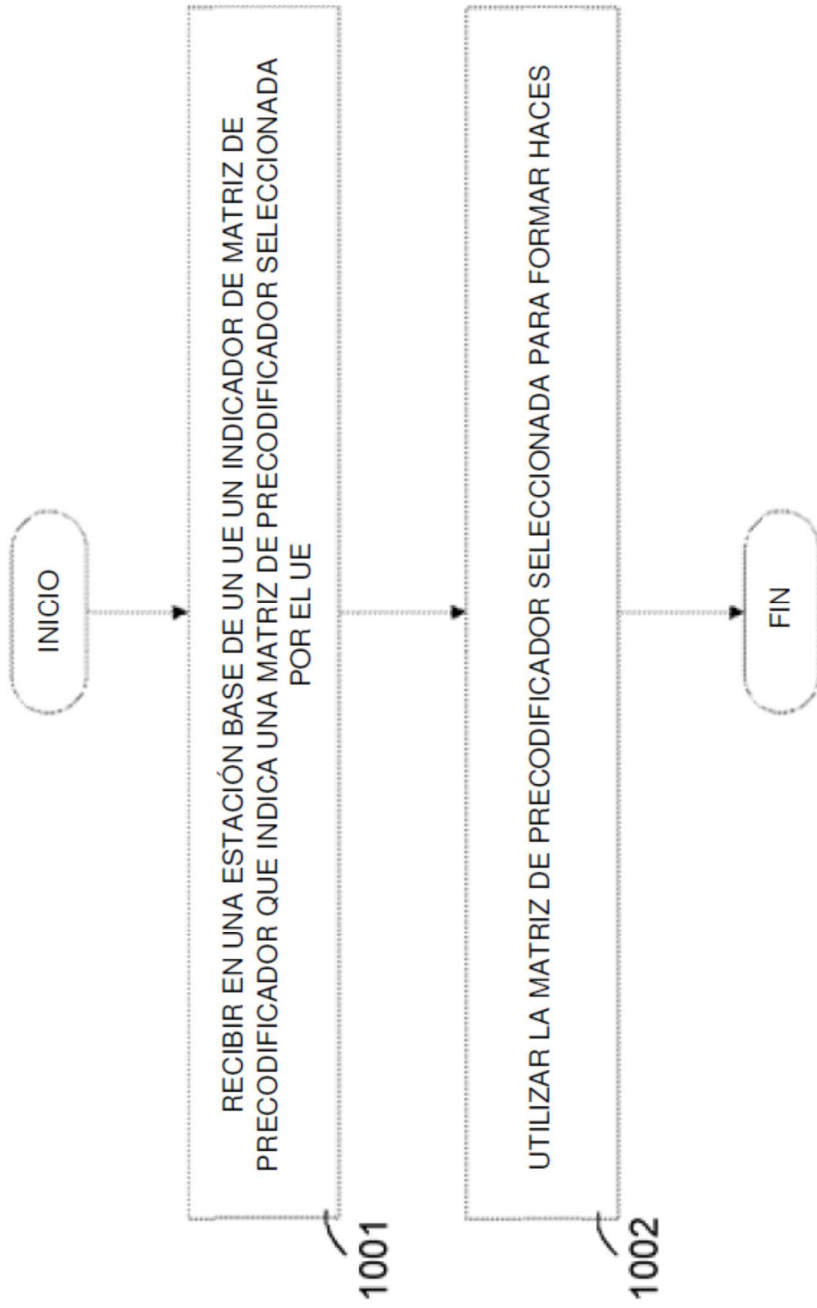


Fig. 10

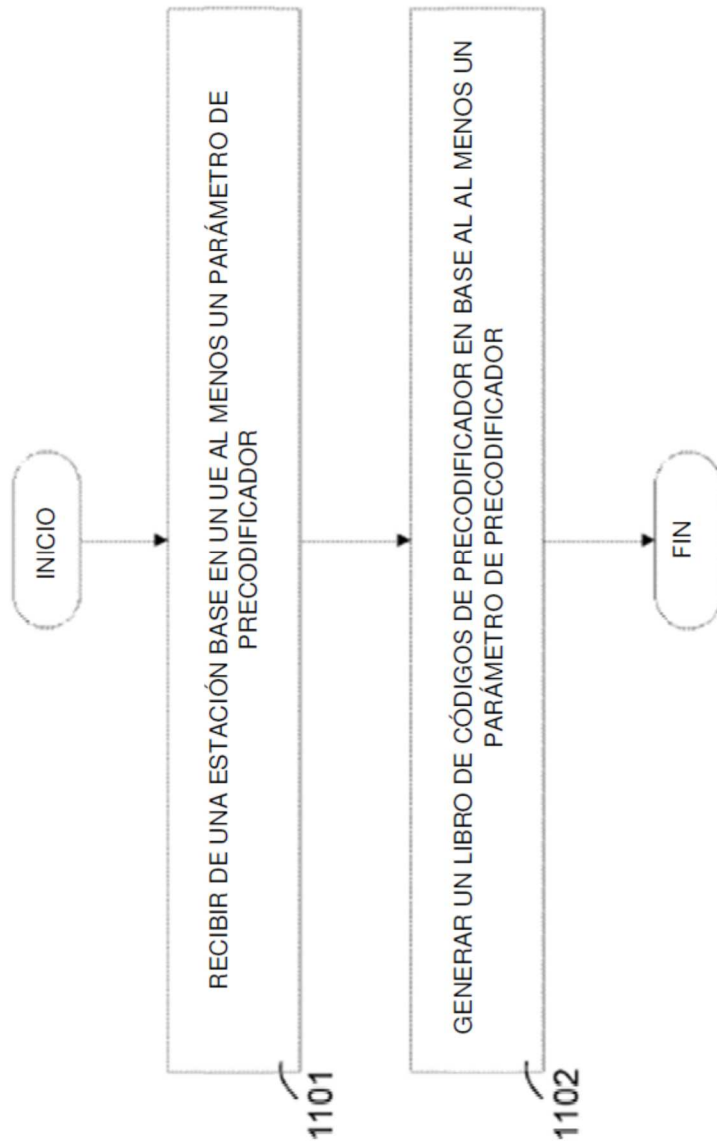


Fig. 11

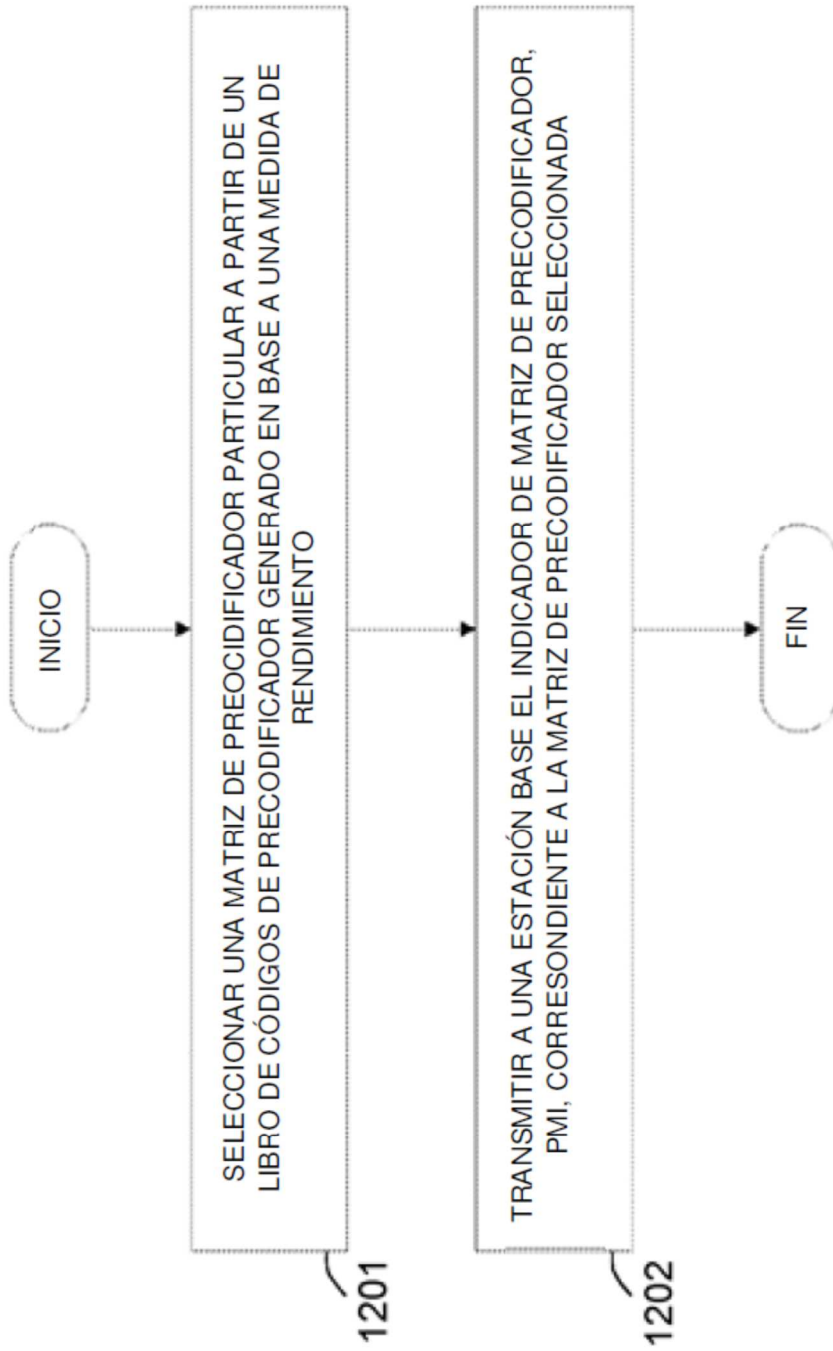


Fig. 12