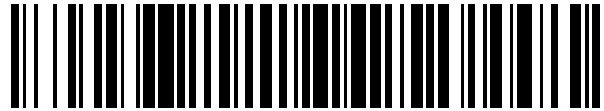


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 429 904**

51 Int. Cl.:

**H04L 1/06** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.06.2007 E 07290745 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.09.2013 EP 2003808**

54 Título: **Aparato para codificación espacio-temporal usando símbolos de entrenamiento para proporcionar extensión de rango de transmisión**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**18.11.2013**

73 Titular/es:

**MOTOROLA MOBILITY LLC (100.0%)  
600 North US Highway 45  
Libertyville, IL 60048, US**

72 Inventor/es:

**ROUQUETTE-LEVEIL, STEPHANIE;  
DE COURVILLE, MARC BERNARD y  
LABBE, PATRICK**

74 Agente/Representante:

**UNGRÍA LÓPEZ, Javier**

**ES 2 429 904 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

Aparato para codificación espacio-temporal usando símbolos de entrenamiento para proporcionar extensión de rango de transmisión

5

**Campo de la invención**

La invención se refiere en general a una operación de mapeado espacial para PPDUs de sondeo en un sistema de comunicaciones IEEE 802.11n.

10

**Antecedentes de la invención**

En los últimos años, la comunicación inalámbrica de datos en entornos domésticos y empresariales ha llegado a ser cada vez más un lugar común, y se ha diseñado y desplegado un número creciente de sistemas de comunicaciones inalámbricas. En particular, el uso de redes inalámbricas se ha convertido en prevalente y los estándares de las redes inalámbricas, tales como IEEE 801.11a e IEEE 801.11g, se han convertido en un lugar común.

15

El requisito para incrementar las tasas de datos, la capacidad de comunicación y la calidad de los servicios ha conducido a la búsqueda continuada y se han desarrollado nuevas técnicas y estándares para redes inalámbricas. Uno de dichos estándares es el estándar IEEE 801.11n que está actualmente en desarrollo. Se espera que IEEE 801.11n opere en el espectro de frecuencia de 2.4 GHz o 5 GHz y promete tasas de datos de alrededor de 100 Mbps y por encima de la capa MAC. IEEE 801.11n usará muchas técnicas que son similares a los estándares IEEE 801.11a e IEEE 801.11g previamente desarrollados. El estándar es compatible en gran medida con muchas de las características de los estándares anteriores, permitiendo por ello la reutilización de técnicas y circuitería desarrolladas para estos. Por ejemplo, como en los estándares IEEE 801.11a e IEEE 801.11g anteriores, IEEE 801.11n usará modulación de multiplexión por división de frecuencia ortogonal (OFDM) para transmisión por la interfaz de aire.

20

25

Los formatos de trama o paquete empleados por los estándares IEEE 801.11 a/g/n se pueden entender con referencia al modelo de interconexión de sistemas abiertos (OSI), que define la aplicación, la presentación, la sesión, el transporte, la red, el enlace de datos y las capas físicas. La capa de enlace de datos incluye una capa de control de enlace lógico (LLC) y una capa de control de acceso al medio. La capa MAC controla cómo acceder a la red, y la capa LLC controla la sincronización de trama, el control de flujo y la verificación de errores. La capa física (PHY) transmite señales por la red. La figura 1 representa las capas LLC, MAC y PHY junto con las tramas IEEE 801.11 a/g/n con las que están asociadas. Como se representa, a cada unidad de datos de servicio MAC (MSDU) o trama 11, recibida de una capa de control de enlace lógico (LLC) 10, se le anexa una cabecera MAC y un trailer de secuencia de verificación de trama (FCS), en la capa MAC 20, para formar una unidad de datos de protocolo de capa MAC (MPDU) o trama 21. En la capa física, la MPDU es recibida como una unidad de datos de servicio de capa física (PSDU) o trama 22. En la capa física 30, una cabecera de procedimiento de convergencia de capa física (PLCP), un preámbulo PLCP, y bits de cola y relleno se unen a la trama PSDU 22 para formar una unidad de datos de protocolo de capa física (PPDU) o trama 31 para transmisión en el canal.

30

35

40

Con el fin de mejorar la eficiencia y de lograr las altas tasas de datos, IEEE 801.11n se ha planeado para introducir varias técnicas avanzadas. Por ejemplo, se espera que la comunicación de IEEE 801.11n se base típicamente en una pluralidad de antenas de transmisión y recepción. Además, más bien que proporcionar simplemente diversidad a partir de antenas de transmisión espacialmente separadas, IEEE 801.11n utilizará transmisores que tengan circuitería de transmisión al menos parcialmente separada para cada antena para poder transmitir así señales secundarias diferentes desde cada una de las antenas. Los receptores pueden recibir señales de una pluralidad de antenas de recepción y pueden realizar una detección conjunta teniendo en cuenta el número y las características individuales asociadas con cada una de la pluralidad de antenas de transmisión y antenas de recepción. Específicamente, IEEE 801.11n ha visto la introducción de un Concepto de antena de recepción múltiple-transmisión múltiple (MTMR) que explota las Propiedades de canal de entrada múltiple-salida múltiple (MIMO) para mejorar las prestaciones y la producción. El procesado MIMO opera en unión con información situada en trama o paquete PPDU.

45

50

55

Una clase de técnicas MTMR especificada en IEEE 802.11n es el mapeado espacial. Las técnicas de mapeado espacial incluyen mapeado directo, diversidad de desplazamiento cíclico, formación de haz y técnicas de expansión espacial. En expansión espacial, se transmiten símbolos espaciales expandidos desde antenas espacialmente separadas. La expansión espacial proporciona flujos separados para cada una de las antenas espacialmente separadas. Más específicamente, la expansión o codificación espacial incluye codificar un flujo de símbolos para proporcionar flujos codificados separados para antenas separadas. Cada flujo codificado es distinto. Por ejemplo, se puede imponer retardos diferenciales sobre flujos diferentes imponiendo diferentes rotaciones de fase en las muestras de cada uno de los flujos.

60

65

Las técnicas de mapeado espacial pueden ser usadas para proporcionar extensión de rango, es decir, para lograr una relación de señal a ruido más alta en el receptor, permitiendo así que los datos sean descodificados

adecuadamente a mayor distancia del transmisor. Una forma de proporcionar extensión de rango usa procesado de bucle abierto, en el que el transmisor no tiene ningún conocimiento con relación al estado del canal por el que se transmite la señal. La expansión espacial es una técnica de mapeado espacial que emplea procesado de bucle abierto. Alternativamente, se puede emplear procesado de bucle cerrado, en el que el receptor proporciona al transmisor información de estado de canal que puede ser usada para aumentar más la relación de señal a ruido de la señal recibida. Un ejemplo de una técnica de mapeado espacial que emplea procesado de bucle cerrado es la formación de haz.

Un problema que surge cuando se aplican técnicas de mapeado espacial a tramas PPDU IEEE 801.11n es que no se puede aplicar técnicas de expansión espacial de rango largo a PPDUs de sondeo, limitando así el rango de las futuras transmisiones usando formación de haz. Este problema surge porque las PPDUs de sondeo no cumplen los requisitos del estándar IEEE 801.11n, que especifica que la matriz de mapeado espacial deberá estar formada por columnas ortogonales con la misma norma.

WO 2006/029050 describe un método de ensanchamiento espacial con esquemas de diversidad de transmisión de espacio-tiempo y espacio-frecuencia para un sistema de comunicaciones inalámbricas.

### Breve descripción de los dibujos

La figura 1 representa las capas LLC, MAC y PHY del modelo OSI, junto con las tramas IEEE 801.11 a/g/n con las que están asociadas.

La figura 2 representa el preámbulo de capa física convencional según los estándares IEEE 802.11a/g.

La figura 3 representa un preámbulo de capa física de modo mezclado en el que coexisten dispositivos 802.11a/g y 802.11n.

La figura 4 representa un preámbulo de capa física de campo verde en el que solamente pueden operar dispositivos 802.11n.

La figura 5 representa un ejemplo de un transmisor MIMO.

La figura 6 representa las porciones pertinentes del transmisor MIMO ilustrado en la figura 5 que generan los DLTFs y ELTFs así como la porción de datos del paquete PPDU.

La figura 7 muestra un número de esquemas de expansión espacial ilustrativos para uso con PPDUs de sondeo de rango largo.

La figura 8 es un diagrama de flujo que representa un ejemplo de los pasos pertinentes realizados por un transmisor y receptor MIMO al usar PPDUs de sondeo tal como se representa en la figura 7.

### Descripción detallada

Como se detalla más adelante, se facilitan técnicas concretas de antena múltiple para incrementar el rango en un sistema de comunicación IEEE 802.11 n. Este aumento se logra adquiriendo información relativa a las características del canal que se esté usando. Las técnicas de antena múltiple facilitan la adquisición de dicha información de canal.

Las técnicas aquí descritas se pueden emplear en una variedad de diferentes métodos de comunicación y dispositivos que utilizan multiplexión por división de frecuencia ortogonal (OFDM). En general, OFDM es un esquema de modulación orientado a bloque que mapea un número de puntos de constelación de datos sobre un número de portadoras ortogonales separadas en frecuencia por  $BW/N$ , donde  $BW$  es la anchura de banda del símbolo OFDM y  $N$  es el número de tonos en el símbolo OFDM. OFDM es una técnica por la que se transmiten datos a una tasa alta modulando varias portadoras de tasa de bits baja en paralelo más bien que una sola portadora de tasa de bits alta. OFDM es especialmente útil en el contexto de red de área local inalámbrica (WLAN), emisión de vídeo digital (DVB), televisión de alta definición (HDTV) así como para sistemas de línea de abonado digital asimétrica (ADSL). OFDM también puede ser útil en sistemas de televisión por satélite, televisión por cable, vídeo a demanda, servicios interactivos, dispositivos de comunicaciones móviles, servicios de voz y servicios de Internet. Las técnicas se describirán en el contexto del proyecto del estándar IEEE 802.11n, que emplea OFDM. Estas técnicas se refieren en general a la arquitectura de capa PHY. La referencia siguiente presenta la capa MAC y PHY del proyecto del estándar IEEE 802.11n: "Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications-Enhancements for Higher Throughput" IEEE P802.11n<sup>TM</sup>/D1.10.

Con el fin de permitir o facilitar la recepción, los estándares de IEEE 802.11a/g así como el proyecto del estándar 802.11n prescriben que todos los paquetes de datos vayan precedidos por un preámbulo de capa física que incluya datos o símbolos de entrenamiento conocidos que faciliten el establecimiento de la ganancia del receptor, la sincronización y la estimación de canal. El preámbulo de capa física se describirá con más detalle con referencia a la

figura 2, que representa un formato de trama convencional 100 según los estándares IEEE 802.11a/g. El formato de trama 100 incluye un preámbulo de capa física 110 y un campo de datos 150. Como se ha indicado previamente, en el contexto del modelo de referencia de interconexión de sistemas abiertos (OSI), el preámbulo de capa física 110 es una parte del preámbulo PLCP que se incorpora a un paquete PPDU. Los paquetes PPDU se emplean en la parte de la capa física denominada la subcapa PLCP.

El preámbulo 110 incluye un campo de entrenamiento corto legado (L-STF) 120 que incluye diez símbolos de entrenamiento cortos legado (L-STS). Estos se usan para detectar la presencia de una señal entrante y para realizar estimaciones iniciales, por ejemplo, desplazamiento de frecuencia de portadora. A continuación, hay un campo de entrenamiento largo legado (L-LTF) 130 incluyendo dos símbolos de entrenamiento largos legado (L-LTS). Estos símbolos de entrenamiento OFDM se usan para realizar estimación de canal (es decir, una estimación de la función de transferencia de canal desde la antena transmisora a cada antena receptora). Se emplea estimación de canal para determinar los efectos que el entorno de transmisión tiene en las señales de datos transmitidas. El procedimiento de estimación de canal utiliza los símbolos de entrenamiento largos, que tienen una magnitud y fase conocidas, para compensar los cambios de señal debidos al entorno de transmisión. Los símbolos de entrenamiento largos pueden ser analizados para determinar los efectos del entorno en la señal transmitida y esta información se puede utilizar para regular apropiadamente las señales de datos. El preámbulo 110 también incluye un campo SEÑAL legado (L-SIG) 140. La información en el campo L-SIG 140 es necesaria para transmitir parámetros de formato de trama general, tal como la longitud de paquete y la tasa de datos y los detalles del formato de modulación que se usa. El preámbulo corto legado, el preámbulo largo y el campo Señal incluyen una cabecera legado 110. Los símbolos OFDM que transportan los datos de usuario están situados en el campo DATOS 150 que sigue al campo SEÑAL.

La figura 3 representa un formato de trama de modo mezclado en el que coexisten dispositivos 802.11a/g y 802.11n. Igualmente, la figura 4 representa un formato de trama de campo verde en el que solamente pueden operar dispositivos 802.11n. El formato de trama representado en la figura 3 incluye los campos STS, LTS y SIG legado. Además, se facilita un segundo campo SIG, denotado el campo SIG de alto rendimiento (HT-SIG) 145, así como un campo de entrenamiento corto de alto rendimiento (HT-STF) 147 y un campo de entrenamiento largo de alto rendimiento (HT-LTF) 149. El HT-STF 147 se usa para establecer el AGC y para tareas de adquisición al operar en un modo de campo verde. El HT-LTF 149, que se usa para proporcionar al receptor algún conocimiento del canal MIMO, incluye dos partes: LTFs de datos (DLTFs) que se usan para medir el canal experimentado por los datos y para descodificar la porción de datos de la PPDU; y LTFs de extensión (ELTFs) que se usan para sondear dimensiones espaciales adicionales del canal que no se utilizan en la porción de datos de la PPDU. El número de DLTFs se denota  $N_{DLTF}$  y el número de ELTFs se designa  $N_{ELTF}$ . El número total de HT-LTFs, denotado  $N_{LTF}$ , es

$$N_{LTF} = N_{DLTF} + N_{ELTF}$$

Dicho proyecto de la especificación 802.11n prescribe actualmente que  $N_{LTF}$  no deberá exceder de 5.

La figura 5 representa un ejemplo de un transmisor MIMO 200. El transmisor MIMO 200 incluye un bloque de embrollamiento 210 para embrollar los datos al nivel de bit para evitar cadenas largas de ceros o unos, un bloque de análisis de codificador 212 para desmultiplexar los bits embrollados entre  $N_{ES}$  codificadores FEC, y  $N_{ES}$  bloques de codificación FEC 214 para codificar los datos para permitir corrección de errores. Un bloque de análisis de flujo 216 recibe divide la salida de los bloques de codificación FEC 214 en bloques que serán enviados a diferentes dispositivos de intercalación y mapeado. Las secuencias de los bits enviados al intercalador se denominan flujos espaciales. El número de flujos espaciales se denomina NSS. Los bloques intercaladores 218 intercalan los bits de cada flujo espacial para evitar que entren secuencias largas de bits de ruido en el descodificador FEC. Bloques de mapeado QAM 220 mapean la secuencia de bits en cada flujo espacial a puntos de constelación. Un codificador de bloques espacio-temporales (STBC) 222 mapea los NSS flujos espaciales a diferentes cadenas de transmisión proporcionando  $N_{STS}$  flujos espacio-temporales. El número de cadenas de transmisión es denotado  $N_{TX}$ . Opcionalmente, un bloque de mapeado espacial 223 puede recibir los flujos espaciales del STBC 222. El bloque de mapeado espacial 223 puede realizar mapeado directo, expansión espacial (para transmitir los  $N_{STS}$  flujos sobre  $N_{TX}$  antenas usando una solución de bucle abierto), codificación de bloques espacio-temporales (STBC) y formación de haz (para transmitir los  $N_{STS}$  flujos espacio-temporales sobre  $N_{TX}$  antenas usando algún conocimiento del canal entre el transmisor y el receptor). El bloque de transformada de Fourier rápida inversa 224 convierte un bloque de puntos de constelación a un bloque de dominio de tiempo. Bloques de inserción de desplazamiento cíclico 226 insertan el desplazamiento cíclico en cada uno de los bloques de dominio de tiempo y bloques de inserción de intervalo de protección 228 insertan el intervalo protector en cada bloque de dominio de tiempo. Los bloques de inserción de intervalo de protección 228 pueden incluir multiventanaje para suavizar los bordes de cada símbolo para aumentar la decadencia espectral. Finalmente, los símbolos son enviados a un extremo delantero analógico 230 para modular los flujos espacio-temporales espacialmente expandidos sobre una portadora inalámbrica.

El bloque de mapeado espacial permite la transmisión de  $N_{STS}$  flujos espacio-temporales en  $N_{TX}$  antenas, siendo  $N_{TX}$  mayor o igual a  $N_{STS}$ . La operación de mapeado espacial se caracteriza por una matriz que puede variar de una subportadora a otra y que se compone de dos submatrices, caracterizando una el mapeado espacial aplicado a la

primera parte de los LTFs y a los datos, y caracterizando la segunda el mapeado espacial aplicado a la segunda parte de los LTFs en particular. El mapeado entre flujos espacio-temporales y cadenas de transmisión se define por las columnas de una matriz de mapa de antenas  $Q_k$  para la subportadora  $k$ . Las primeras  $N_{STS}$  columnas definen el mapeado espacial aplicado a los DLTFs y usado para transmisión de datos y las  $N_{ESS}$  columnas siguientes (hasta las columnas  $N_{TX} - N_{STS}$ ) definen el mapeado espacial aplicado a los ELTFs.

Así, al objeto de definir los HT-LTFs,  $Q_k$  es una matriz de dimensión  $N_{TX} \times (N_{STS} + N_{ESS})$ . Las columnas  $1 \dots N_{STS}$  de  $Q_k$  son excitadas por los DLTFs y las columnas  $N_{STS} + 1 \dots N_{STS} + N_{ESS}$  son excitadas por los ELTFs, donde  $N_{STS} + N_{ESS} \leq N_{TX}$  es el número total de flujos espaciales sondeados por los HT-LTFs.

Según el estándar IEEE 802.11n, como mínimo, el número de HT-LTFs que son transmitidos deberá ser igual al número de flujos espacio-temporales que son transmitidos. De esta forma, el cálculo de la igualación espacial se puede lograr en el receptor. Cuando el número de flujos espaciales  $N_{SS}$  es menor que el número de antenas de transmisión  $N_{TX}$ , no hay suficientes HT-LTFs para que el receptor pueda recuperar una caracterización plena del canal MIMO, incluso aunque la medición de canal MIMO resultante sea suficiente para recibir los datos HT. Sin embargo, en algunos casos es deseable obtener una caracterización del canal lo más plena posible, requiriendo así la transmisión de un número suficiente de HT-LTFs para sondear (es decir, medir las características de canal usando símbolos de entrenamiento) la plena dimensionalidad del canal. La medición de canal MIMO realizada de esta manera se denomina sondeo de canal MIMO. La dimensión de canal disponible puede ser sondeada por una PDU de sondeo.

La combinación de los DLTFs y ELTFs solamente conduce a una plena caracterización del canal si la matriz de expansión espacial está formada por columnas ortogonales con la misma norma. Por desgracia, esto evita el uso de PPDUs de sondeo con un número de diferentes esquemas de expansión espacial que son importantes para asegurar el uso de extensión de rango de bucle abierto. Tales esquemas de expansión espacial incluyen, por ejemplo, la transmisión de codificación de bloques espacio-temporales por 3 o 4 antenas, con duplicación simple de 1 o 2 flujos espacio-temporales combinada con diversidad de desplazamiento cíclico. Otro ejemplo de dicho esquema de transmisión espacial incluye la transmisión de 2 o 3 flujos espacio-temporales usando SDM, de nuevo con duplicación simple de 1 o 2 flujos espacio-temporales combinada con diversidad de desplazamiento cíclico.

Como se detalla más adelante, se facilita un método y aparato para permitir que PPDUs de sondeo logren extensión de rango de bucle abierto cuando la matriz general de mapeado espacial no esté formada por columnas ortogonales con la misma norma. Para llevarlo a cabo, se aplica un esquema de expansión espacial de rango largo a los datos, combinado con la aplicación de un esquema de extensión apropiado a los ELTFs con el fin de sondear dimensiones adicionales del canal. El diseño de ambos esquemas se realiza conjuntamente para permitir una caracterización de baja complejidad del canal completo después de la estimación de los canales secundarios experimentada por los DLTFs y los ELTFs. Estos esquemas se caracterizan por la matriz de expansión espacial  $Q_D$  que se aplica a los datos y a los DLTFs. También se caracterizan por la matriz de extensión  $Q_E$  que se aplica a los ELTFs. Estas matrices, que deben ser conocidas en el receptor, pueden incluir diversidad de desplazamiento cíclico y pueden diferir de una subportadora a otra. La matriz general formada a partir de la matriz de expansión espacial y la matriz de extensión no está formada por columnas ortogonales que tienen la misma norma.

La figura 6 representa las porciones pertinentes de un transmisor MIMO que genera los DLTFs y ELTFs así como la porción de datos de la PDU según las técnicas aquí descritas. El bloque de generación de preámbulo 310 genera  $N_{DLTF}$  DLTFs y los incorpora a cada uno de los  $N_{STS}$  flujos espacio-temporales. El bloque de mapeado espacial 320 (por ejemplo, el bloque de mapeado espacial 223 en la figura 5) recibe los  $N_{STS}$  flujos temporales y genera las  $N_{TX}$  cadenas de transmisión usando la matriz de expansión espacial  $Q_D$ . Igualmente, el bloque de generación de preámbulo 330 genera  $N_{ESS}$  ELTFs para cada una de las  $N_{ESS}$  dimensiones extra a sondear. El bloque de mapeado espacial 340 recibe los  $N_{ESS}$  flujos espaciales y, usando la matriz de expansión espacial  $Q_E$ , los incorpora a las  $N_{TX}$  cadenas de transmisión. También se representa en la figura 5 el bloque de generación de datos 350, que genera los datos que serán incorporados a cada uno de los  $N_{STS}$  flujos espacio-temporales. El bloque de mapeado espacial 320 recibe los  $N_{STS}$  flujos temporales de datos y de nuevo los incorpora a las  $N_{TX}$  cadenas de transmisión usando la matriz de expansión espacial  $Q_D$ .

El número  $N_{DLTF}$  de LTFs de datos y el número  $N_{ELTF}$  de LTFs de extensión son determinados respectivamente por el número  $N_{STS}$  de flujos espacio-temporales y el número  $N_{ESS}$  de dimensiones espaciales extra que han de ser sondeadas. Es decir, como se representa en la tabla siguiente para el caso donde  $N_{LTF}$  no excede de 5, el número de datos y LTFs de extensión son una función del número de flujos espacio-temporales  $N_{STS}$  o el número de flujos espaciales de extensión  $N_{ESS}$ .

$N_{STS}$	$N_{ESS}$	$N_{DLTF}$	$N_{ELTF}$
1		1	1
2		2	2
3		4	4
4		4	4

Los LTFs están diseñados para permitir el uso de estimadores de canal de baja complejidad usando un solo símbolo que se replica con diferentes pesos y retardos. Este símbolo LTF es transmitido con los pesos y retardos apropiados durante  $N_{LTF}=N_{DLTF}+N_{ELTF}$  tiempos de símbolo sobre las  $N_{STS}+N_{ESS}$  dimensiones que se han de sondear. Los pesos apropiados para la estimación de canal de las  $N_{STS}$  (respectivamente  $N_{ESS}$ ) dimensiones usando  $N_{DLTF}$  (respectivamente  $N_{ELTF}$ ) símbolos son determinados por la  $N_{STS} \times N_{DLTF}$  (respectivamente  $N_{ESS} \times N_{ELTF}$ ) submatriz superior izquierda  $\bar{P}_{N_{STS}}$  extraída de la matriz de mapeado HT-LTF  $P_{HTLTF}$ :

$$P_{HTLTF} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

En todos los campos HT-SIG, HT-STF y HT-LTF, se aplica desplazamiento cíclico para evitar la formación de haz cuando se transmiten señales similares en diferentes flujos espaciales. También se aplica el mismo desplazamiento cíclico a estos flujos durante la transmisión de la porción de datos de la PPDU. Los valores de desplazamiento cíclico a usar durante estas porciones de alto rendimiento del paquete PPDU son especificados por el proyecto de la especificación IEEE 802.11n de la siguiente manera:

$N_{STS}$	Valor cíclico de desplazamiento para STS 1	Valor cíclico de desplazamiento para STS 2	Valor cíclico de desplazamiento para STS 3	Valor cíclico de desplazamiento para STS 4
1	0ns	-	-	-
2	0ns	-400ns	-	-
3	0ns	-400ns	-200ns	-
4	0ns	-400ns	-200ns	-600ns

En el receptor, la estimación de canal se realiza en la señal que es observada durante la transmisión de los DLTFs. La estimación de canal se lleva a cabo de la siguiente manera. Para cada antena receptora y cada subportadora, la señal recibida durante los  $N_{DLTF}$  tiempos de símbolo para estimar los  $N_{STS}$  flujos se puede escribir como:

$$Y = HCP\tilde{s} + \text{ruido} \quad \text{o} \quad Y^T = s\tilde{P}^T CH^T + \text{ruido},$$

donde  $s$  es el símbolo BPSK en esta subportadora dada de la secuencia de entrenamiento conocida,  $\bar{P}_{N_{STS}}$  corresponde a los pesos aplicados a este símbolo,  $C$  ( $N_{STS} \times N_{STS}$ ) denota la matriz diagonal relacionada con los desplazamientos cíclicos aplicados a los DLTFs, y  $H$  ( $1 \times N_{STS}$ ) es el canal a estimar.

Forzar a cero la estimación de canal en el dominio de frecuencia se puede realizar entonces aplicando el estimador de canal

$$G_{N_{STS}} = (s\tilde{P}^T C)^* = s \cdot C \cdot (\tilde{P}\tilde{P}^T)^{-1} \tilde{P}$$

al vector recibido  $Y^T$  para obtener la estimación de canal:

$$\hat{H}^T = G_{N_{STS}} Y^T$$

Esta ecuación se puede reescribir como:

$$\hat{H} = YG_{N_{STS}}^T$$

$G_{N_{STS}}$  define una clase de estimadores genéricos para estimar 1, 2, 3 o 4 canales equivalentes. Estos canales equivalentes pueden corresponder a los canales exactos si no se aplica expansión espacial a los LTFs o a los canales experimentados por los LTFs de datos ( $H_{Q_D}$ ) o los LTFs de extensión ( $H_{Q_E}$ ) si se aplican LTFs segmentados.

En el receptor, el estimador de canal  $G_{N_{STS}}$  se aplica a la señal observada durante la transmisión de los DLTFs, que

proporciona una estimación de  $HQ_D$  que corresponde al canal experimentado por los datos y que se usará para la decodificación de los datos. Igualmente, el estimador de canal  $G_{NESS}$  se aplica a la señal observada durante la transmisión de los ELTFs, lo que da una estimación de  $HQ_E$ . Obsérvese que estas operaciones usan los estimadores que ya se implementan para estimación de 1, 2, 3 o 4 canales.

El canal exacto  $H$  puede ser recuperado entonces a partir de la concatenación de los canales estimados:  $[HQ_D HQ_E] = HQ$  con  $Q = [Q_D Q_E]$ , si se elige la matriz  $Q_E$  de tal manera que la matriz  $Q$  tenga columnas ortogonales. El receptor puede realimentar entonces al transmisor matrices CSI, matrices de dirección no comprimidas o matrices de dirección comprimidas, con el fin de realizar formación de haz durante la posterior transmisión de datos.

En la figura 7 se presentan varios esquemas de expansión espacial ilustrativos para PPDUs de sondeo de rango largo. Estos esquemas corresponden a la duplicación simple de uno o dos de STS, y se pueden aplicar a la transmisión de 2 STS SDM o STBC en 3 o 4 antenas de transmisión, o a la transmisión de 3 STS SDM en 4 antenas. En este caso las columnas de la matriz  $Q_D$  forman una base ortogonal, pero no tienen la misma norma. Las técnicas presentadas anteriormente permiten aplicar estos esquemas de expansión espacial de rango largo a PPDUs de sondeo. Para cada esquema de expansión espacial, los esquemas de expansión espacial ilustrativos se caracterizan por una matriz  $Q_E$  tal que la matriz general resultante  $Q = [Q_D Q_E]$  pueda ser invertida fácilmente para recuperar el canal exacto  $H$ . La inversa de esta matriz también se da para cada esquema en la figura 86.

La figura 8 es un diagrama de flujo que representa un ejemplo de los pasos pertinentes realizados por el transmisor y el receptor MIMO. En el paso 400, el transmisor genera los símbolos DLTF que están incorporados en la trama o paquete PDU. Igualmente, en los pasos 405 y 410, el transmisor genera los símbolos ELTF y los símbolos de datos, respectivamente, que también están incorporados en la trama o paquete PDU. En el paso 415, el transmisor (por ejemplo, el bloque de mapeado espacial 223 en el transmisor de la figura 5) aplica la matriz de expansión espacial  $Q_D$  a los símbolos DLTF. Igualmente, en el paso 420, el transmisor aplica la matriz de expansión espacial  $Q_D$  a los símbolos de datos. En el paso 425, sin embargo, el transmisor aplica la matriz de extensión  $Q_E$  a los símbolos ELTF. Una vez que el paquete se ha completado con la adición de las tramas de nivel más alto apropiadas (por ejemplo, tramas LLC y MAC), el paquete puede ser transmitido en el paso 430, por ejemplo, por el extremo delantero analógico 230 en el transmisor de la figura 5). En el receptor, el paquete experimenta procesamiento para estimar los valores para  $HQ_D$  y  $HQ_E$ . Específicamente, en el paso 435, el receptor usa los valores conocidos para  $Q_D$  y los símbolos DLTF conocidos para estimar el valor para  $HQ_D$ , a partir de lo que los datos pueden ser descodificados en el paso 450. Igualmente, en el paso 440, el receptor usa los valores conocidos para  $Q_E$  y los símbolos ELTF conocidos para estimar el valor de  $HQ_E$ . Finalmente, en el paso 445, el receptor usa el valor estimado de  $HQ_D$  y  $HQ_E$  para estimar la función de transferencia de canal  $H$  propiamente dicha. Como se ha mencionado previamente, la función de transferencia de canal  $H$  puede ser usada para calibrar el receptor y/o para proporcionar realimentación (por ejemplo, matrices CSI o matrices de dirección) al transmisor de modo que se pueda emplear formación de haz durante transmisiones posteriores entre el transmisor y el receptor.

Aunque se ha descrito una arquitectura específica en conexión con las figuras 5-6, incluyendo elementos funcionales y relaciones específicos, se contempla que los sistemas y métodos de la invención puedan ser implementados de varias formas. Por ejemplo, los elementos funcionales pueden estar empaquetados juntamente o individualmente, o pueden ser implementados por menos, más o diferentes dispositivos, y pueden estar integrados dentro de otros productos, o adaptados para operar con otros productos externamente. Cuando se indica que un elemento es sensible a otro elemento, los elementos pueden estar acoplados directa o indirectamente.

Los procesos descritos anteriormente, incluyendo el representado en la figura 8, pueden ser implementados en un procesador general, multiuso o de finalidad única. Tal procesador ejecutará instrucciones, en el montaje, compiladas o a nivel de máquina, para realizar dicho proceso. Dichas instrucciones pueden ser escritas por los expertos en la técnica siguiendo las descripciones de la presente memoria y almacenadas o transmitidas en un medio legible por ordenador. Las instrucciones también pueden ser creadas usando código fuente o cualquier otra herramienta conocida de diseño asistido por ordenador. Un medio legible por ordenador puede ser cualquier medio capaz de llevar dichas instrucciones e incluye un CD-ROM, DVD, disco magnético u otro disco óptico, cinta, memoria de silicio (por ejemplo, extraíble, no extraíble, volátil o no volátil), señales de transmisión por cable o inalámbricas paquetizadas o no paquetizadas.

También será evidente que se puede idear formas distintas y adicionales de la invención, y realizaciones distintas de las realizaciones específicas descritas anteriormente, sin apartarse del alcance de las reivindicaciones anexas, y, por lo tanto, se ha previsto que el alcance de esta invención solamente sea controlado por las reivindicaciones siguientes.

REIVINDICACIONES

1. Un transmisor inalámbrico (200), para transmitir señales OFDM incluyendo:

5 un analizador de flujo (216) para dividir a partir de una señal digital una pluralidad de flujos espaciales a transmitir desde antenas espacialmente separadas;

10 un codificador de bloques espacio-temporales (222), aquí denominado STBC, para generar un preámbulo para estimar una función de transferencia de canal y para mapear cada uno de los flujos espaciales a una pluralidad de flujos espacio-temporales cada uno de los cuales incluye datos y dicho preámbulo;

15 un mapeador espacial (223) para expandir espacialmente cada uno de los flujos espacio-temporales sobre NTx antenas aplicando una matriz de expansión espacial a datos y a campos de entrenamiento largos de datos usados en el preámbulo para sondear un canal experimentado por los datos para formar NTx cadenas de transmisión y aplicando una matriz de extensión a campos de entrenamiento largos de extensión usados en el preámbulo para sondear al menos una dimensión adicional del canal para permitir el uso de formación de haz para lograr extensión de rango, donde la matriz de expansión espacial y la matriz de extensión forman una matriz general que tiene al menos dos columnas ortogonales con normas diferentes; y

20 un extremo delantero analógico (230) para modular los flujos espacio-temporales espacialmente expandidos sobre un soporte inalámbrico.

25 2. El transmisor inalámbrico (200) de la reivindicación 1, donde el número de flujos espacio-temporales es igual a 2 y el número de cadenas de transmisión es igual a 3, y donde la matriz de expansión espacial  $Q_D$  y la matriz de extensión  $Q_E$  son las siguientes:

$$Q_D \qquad Q_E$$

$$D_{1,1,1,e^{j\theta_k}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \sqrt{\frac{2}{3}} \qquad D_{1,1,1,e^{j\theta_k}} \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}}$$

•  $D_{\alpha_1, \dots, \alpha_n} = \text{diag}(\alpha_1, \dots, \alpha_n)$  es una matriz diagonal

30 •  $\theta_k = -2\pi k \Delta_F \tau_{CS}$  donde  $\Delta_F$  es la espaciación de frecuencias de subportadora y  $\tau_{CS}$  está relacionado con un retardo aplicado a una cadena de transmisión.

35 3. El transmisor inalámbrico (200) de la reivindicación 1, donde el número de flujos espacio-temporales es igual a 3 y el número de cadenas de transmisión es igual a 4, y donde la matriz de expansión espacial  $Q_D$  y la matriz de extensión  $Q_E$  son las siguientes:

$$Q_D \qquad Q_E$$

$$D_{1,1,1,1,e^{j\theta_k}} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \frac{\sqrt{3}}{2} \qquad D_{1,1,1,1,e^{j\theta_k}} \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}}$$

•  $D_{\alpha_1, \dots, \alpha_n} = \text{diag}(\alpha_1, \dots, \alpha_n)$  es una matriz diagonal



·  $\theta_k = -2\pi k \Delta_F \tau_{CS}$  donde  $\Delta_F$  es la espaciación de frecuencias de subportadora y  $\tau_{CS}$  está relacionado con un retardo aplicado a una cadena de transmisión.

- 5 4. El transmisor inalámbrico (200) de la reivindicación 1, donde el STBC (222) está configurado además para aplicar desplazamientos cíclicos a cada cadena de transmisión.

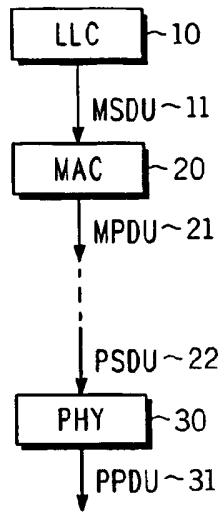
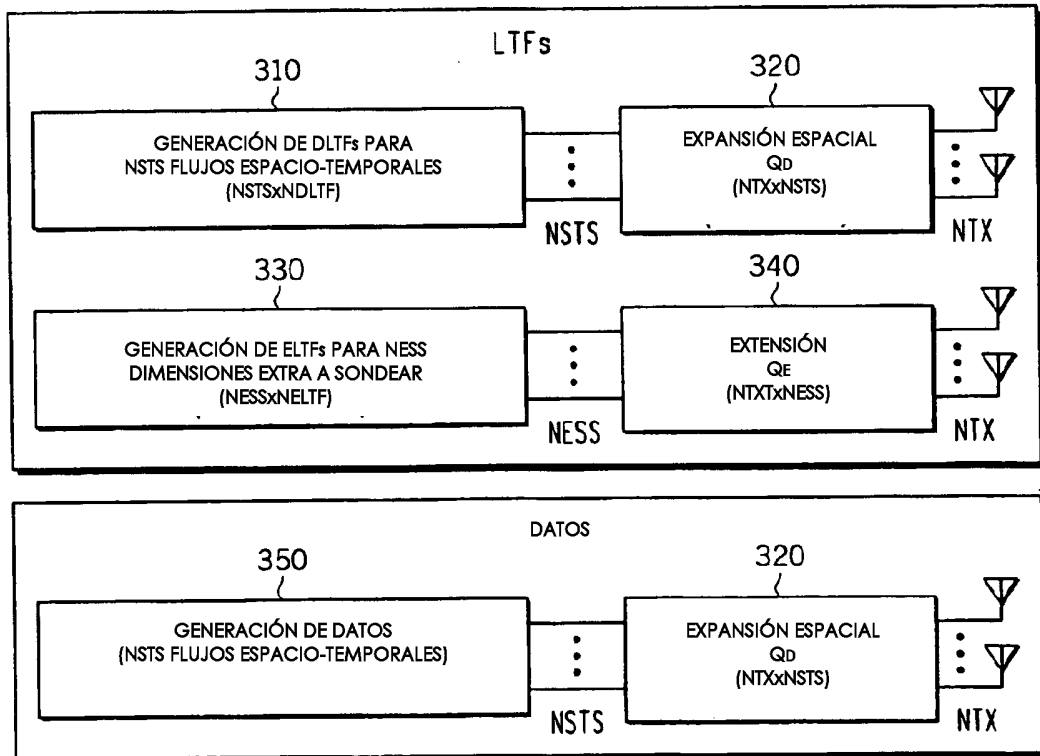
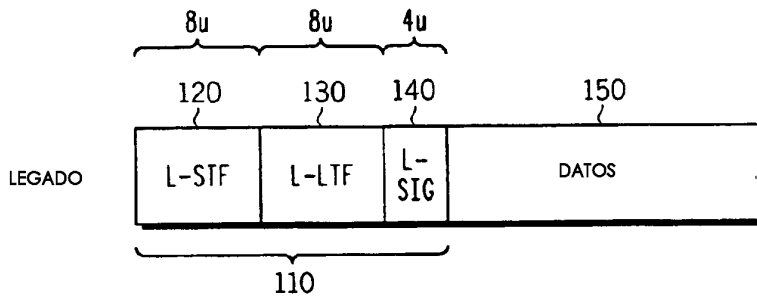


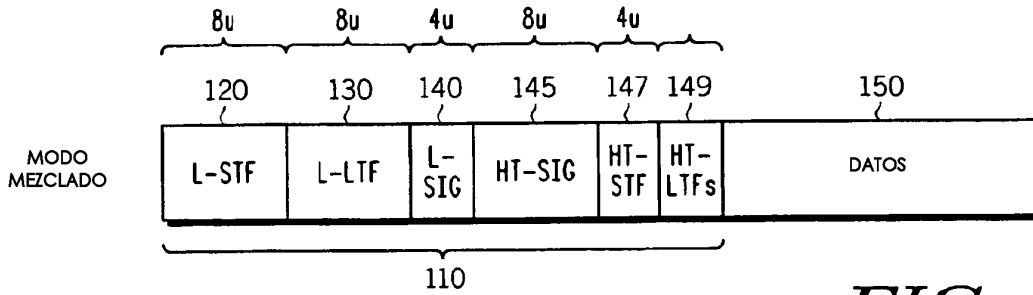
FIG. 1

FIG. 6

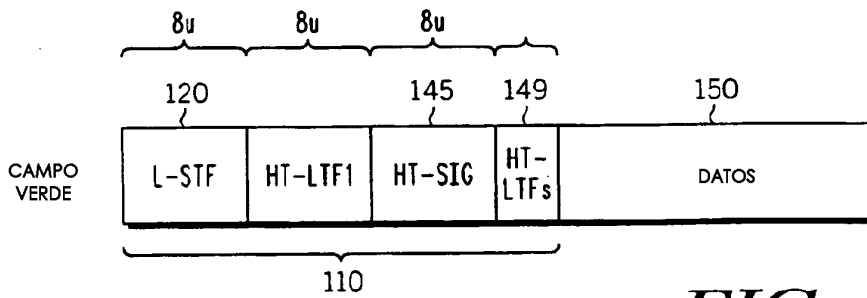




100 **FIG. 2**

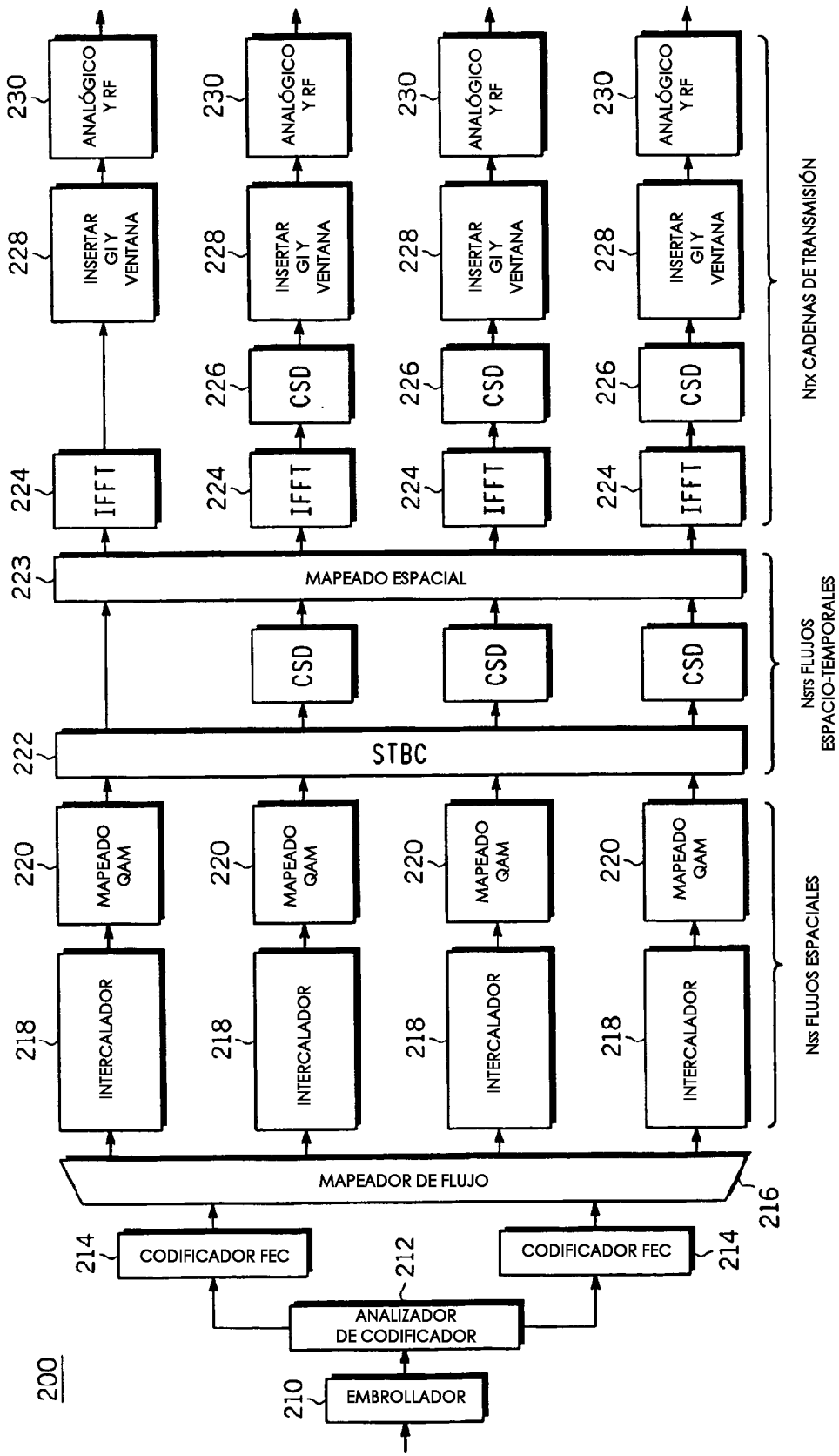


**FIG. 3**

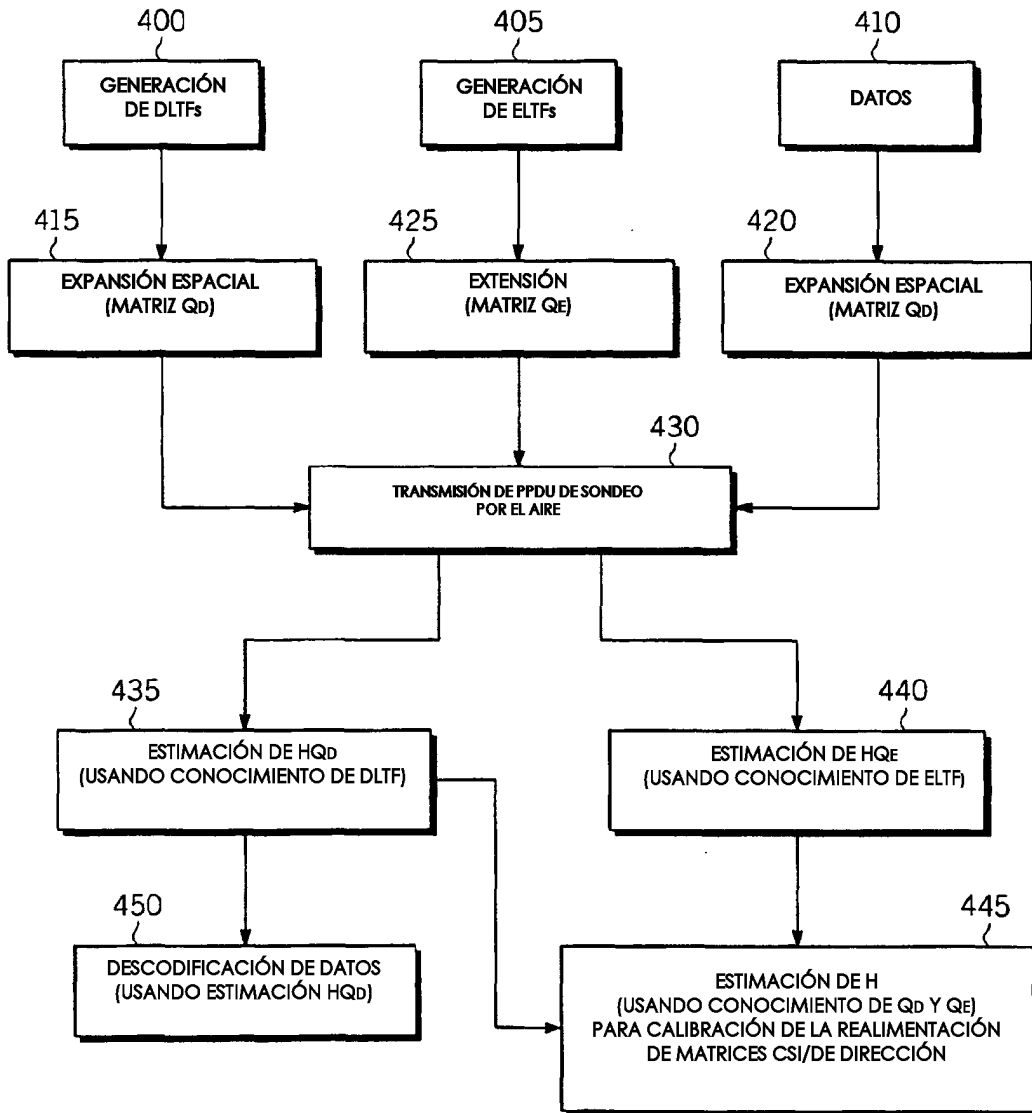


**FIG. 4**

FIG. 5







**FIG. 8**