

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 643 145**

51 Int. Cl.:

H04L 27/26 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.10.2014** **E 14382377 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.07.2017** **EP 3002920**

54 Título: **Procedimiento y sistema de reducción de sobrecarga de prefijo cíclico para habilitar la cancelación de interferencias entre símbolos y entre portadoras en redes de comunicación inalámbrica de OFDM**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
21.11.2017

73 Titular/es:

TELEFÓNICA S.A. (100.0%)
C/ Gran Vía 28
28013 Madrid, ES

72 Inventor/es:

LORCA HERNANDO, JAVIER

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 643 145 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y sistema de reducción de sobrecarga de prefijo cíclico para habilitar la cancelación de interferencias entre símbolos y entre portadoras en redes de comunicación inalámbrica de OFDM.

Campo de la invención

5 La presente invención tiene su aplicación dentro del sector de las telecomunicaciones y, especialmente, trata del campo de la cancelación de interferencias en sistemas de comunicación inalámbrica de Acceso Múltiple por División Ortogonal de Frecuencia (OFDMA).

Más específicamente, la presente invención propone un sistema y un procedimiento para cancelar la interferencia entre símbolos (ISI) y la interferencia entre portadoras (ICI) en redes de Multiplexado por División Ortogonal de Frecuencia (OFDM) (p. ej., en redes de Evolución a Largo Plazo, LTE), reduciendo a la vez la sobrecarga debida al prefijo cíclico (CP) del OFDM.

Antecedentes de la invención

15 El Acceso Múltiple por División Ortogonal de Frecuencia (OFDMA) es una técnica de acceso comprobada para el multiplexado eficaz de usuarios y datos en el dominio de la frecuencia. Un ejemplo de un sistema que emplea el Multiplexado por División Ortogonal de Frecuencia (OFDM) es la Evolución a Largo Plazo (LTE). LTE es la siguiente etapa en los sistemas celulares de Tercera Generación (3G), que representa básicamente una evolución de anteriores estándares de comunicaciones móviles, tales como el Sistema Universal de Telecomunicación Móvil (UMTS) y el Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM). Es un estándar del Proyecto de Colaboración de Tercera Generación (3GPP) que proporciona caudales de hasta 50 Mbps en el enlace ascendente y de hasta 100 Mbps en el enlace descendente. Usa un ancho de banda ajustable a escala, entre 1,4 y 20 MHz, a fin de adaptarse a las necesidades de operadores de redes que tienen distintas asignaciones de ancho de banda. También se espera que la LTE mejore la eficacia espectral en las redes, permitiendo a las portadoras proporcionar más servicios de datos y de voz sobre un ancho de banda dado. Otros estándares inalámbricos como WiFi (IEEE 802.11) o WiMAX (IEEE 802.16) también emplean el OFDM.

25 Los sistemas inalámbricos de OFDM transmiten una secuencia de símbolos de OFDM que comprenden un intervalo de transmisión temporal (TTI). Una ventaja del OFDM es la capacidad de realizar la equalización del dominio de la frecuencia de los símbolos, que puede ser realizada fácilmente en tiempo real con el uso de Transformadas Rápidas de Fourier (FFT). Sin embargo, una cuestión abierta en el OFDM es cómo tratar la interferencia entre símbolos (ISI) y la interferencia entre portadoras (ICI) de manera eficaz, sin afectar las capacidades de equalización del dominio de la frecuencia que lo hacen tan atractivo. La manera más común de tratar la ISI y la ICI es reservar un cierto número de muestras al comienzo de cada símbolo que contenga una repetición de la última parte del símbolo, a fin de preservar el carácter cíclico de la señal y absorber los ecos causados por el multitrayecto. El prefijo cíclico (CP) no contiene ninguna información útil y, por tanto, introduce una pérdida en la eficacia que se torna más importante cuando se reduce la longitud del símbolo.

35 Las tecnologías existentes añaden este prefijo cíclico al comienzo de cada símbolo de OFDM. El Prefijo Cíclico (CP) debe ser añadido a cada Símbolo de OFDM antes de la transmisión, para asimilar la propagación temporal de las sub-portadoras de OFDM, debida a la propagación de la fibra. El CP asegura que las sub-portadoras se mantienen periódicas dentro de la ventana de la Transformada de Fourier del receptor, para eliminar la Interferencia Entre Portadoras (ICI) causada por discontinuidades de fase dentro de una ventana. El CP añade una sobrecarga a la transmisión, requiriendo ancho adicional de banda óptica y reduciendo la sensibilidad del receptor.

45 El primer símbolo de OFDM en el TTI contiene usualmente información crítica de control para la descodificación exitosa del resto de los símbolos, tal como información de planificación, señales piloto para la estimación de canal y otros datos de control importantes. La descodificación fiable de este primer símbolo es, por lo tanto, crítica y un prefijo cíclico dedicado, adosado al comienzo de este primer símbolo, no debería ser evitado, a fin de absorber los ecos causados por el canal, hasta una máxima propagación dada del retardo, permitiendo por tanto la detección fácil.

La tendencia actual en las comunicaciones móviles inalámbricas es reducir las latencias de extremo a extremo, a fin de hacer que el sistema global sea más sensible, y esto implica, en general, una reducción en la duración de símbolos.

50 Las reducciones de latencia en el OFDM se traducen directamente en reducciones en las longitudes de símbolos de OFDM. El prefijo cíclico debe ser lo bastante ancho como para asimilar la más grande propagación del retardo hallado en el escenario, y esto pone un límite inferior para el tamaño del CP. Por tanto, si la longitud de símbolos se reduce significativamente, la sobrecarga causada por el CP podría ser inaceptable.

55 Hay alternativas al uso del prefijo cíclico (CP), basadas en la inserción de un cierto número de ceros al comienzo y al final de la información, a fin de absorber la ISI ("Señales de OFDM propagadas por OFT con cola de ceros", G. Berardinelli et al., Anales de 2013 de la Conferencia de Comunicaciones Globales del IEEE, 2013), pero son

aplicables solamente al OFDM propagado por DFT (DFT-s-OFDM).

5 Otras soluciones implican estimar la respuesta del impulso de canal e intentar cancelar la ISI con un procedimiento iterativo ("Supresión del Prefijo Cíclico en sistemas del tipo LTE de enlace descendente, para aumentar la capacidad", C. del Amo y M. Fernández-Getino, Anales de la Conferencia de 2013 de Tecnología Vehicular del IEEE, 2013), pero se apoyan en procedimientos complejos de estimación de canal que deben ser vinculados con los algoritmos efectivos de cancelación de interferencia de ISI.

10 Otra solución de la técnica anterior ("Cancelación residual de ISI para el OFDM con aplicaciones a la Difusión de Televisión de Alta Definición", D. Kim et al., Revista del IEEE de Áreas Seleccionadas en Comunicaciones, vol. 16 (8), 1998) cancela la ISI y la ICI mediante un proceso iterativo sobre todos los símbolos de OFDM, produciendo por lo tanto una alta complejidad y apoyándose también en secuencias de entrenamiento para la estimación de canal en el dominio del tiempo. Estas secuencias de entrenamiento no serían aplicables en sistemas como, p. ej., LTE, donde se usan en cambio las señales piloto para la estimación de canal en el dominio de la frecuencia.

15 Otro ejemplo de los enfoques existentes está descrito en el documento US7606138, que propone una disposición específica de símbolos de OFDM en una trama, insertando un único prefijo cíclico antes de la misma, aumentando por ello la eficacia espectral. Sin embargo, el procedimiento de descodificación implica múltiples Transformadas de Fourier, directas e inversas, para recuperar las muestras originales, así como complejos procedimientos de estimación de canal y de detección de desplazamiento de frecuencias. Tales procedimientos se apoyan en secuencias específicas de entrenamiento del dominio del tiempo, empotradas en la señal, y pueden no ser aplicables a sistemas como, p. ej., la LTE, donde las señales piloto del dominio de la frecuencia están dedicadas a la estimación de canal, o al menos implicar una mayor complejidad de cálculo en el receptor.

20 Por lo tanto, existe la necesidad en el estado de la técnica de maneras más eficaces de tratar la ISI y la ICI en el OFDM, que permitan significativas reducciones de símbolos en sistemas de comunicación inalámbrica, sin comprometer la eficacia global del sistema.

Sumario de la invención

25 La presente invención resuelve los problemas precitados y supera las limitaciones anteriormente explicadas del estado de la técnica, reduciendo la sobrecarga que es causada por la presencia del prefijo cíclico en las ondas de señales del dominio del tiempo, para las comunicaciones inalámbricas de OFDM. De tal modo, la presente invención permite la cancelación de interferencias entre símbolos y entre portadoras de una manera más sencilla, en comparación con la técnica anterior.

30 En el contexto de esta invención, un intervalo de transmisión temporal (TTI) es el mínimo intervalo temporal fundamental, donde la información hacia / desde un usuario dado ha de ser enviada / recibida en sistemas inalámbricos de OFDM y, en la práctica, el TTI corresponde a un intervalo temporal predefinido, específico para cada tecnología (p. ej., en la LTE el TTI corresponde a 1 ms).

35 La presente invención introduce un cambio en la forma en que es transmitida (y recibida) una secuencia de símbolos que comprenden un TTI en una red inalámbrica de OFDM. Más específicamente, esta invención propone eliminar el prefijo cíclico de los símbolos de OFDM, excepto el primero, en el TTI, aumentando así la eficacia en comparación con la técnica anterior.

En el sector transmisor, la presente invención genera una señal del dominio del tiempo, en donde:

40 - La primera parte del TTI comprende el primer símbolo de OFDM y su CP asociado. Las muestras del dominio del tiempo del primer símbolo (excluyendo el CP) son obtenidas, como en las técnicas de la tecnología anterior, por medio de una Transformada Rápida de Fourier (FFT) inversa de las sub-portadoras complejas que llevan la información, con una longitud igual a un símbolo de OFDM.

45 - Las muestras del dominio del tiempo de dicho primer símbolo de OFDM son concatenadas con una segunda parte del TTI. Las (restantes) muestras de la segunda parte son obtenidas por medio de una FFT inversa, más larga, de las sub-portadoras concatenadas en el dominio de la frecuencia, que comprenden los símbolos de OFDM originales en la técnica anterior, como si comprendieran un símbolo equivalente de OFDM más grande. Esta segunda parte del TTI no tiene ningún CP adosado, por lo que puede aumentarse la eficacia.

- La concatenación entera de las muestras del dominio del tiempo comprende el TTI en el dominio del tiempo.

El símbolo equivalente de OFDM, más grande, da como resultado una menor diversidad de frecuencias.

50 Por lo tanto, en una posible realización de la invención, también se propone un intercalador (interleaver, en inglés) adicional de los bits codificados, antes de la correlación con las sub-portadoras en el dominio de la frecuencia. Este intercalador mejora la diversidad de frecuencias, evitando que los bits adyacentes se sometan a respuestas de canal muy similares.

Las sub-portadoras en el dominio de la frecuencia de la segunda parte del TTI tienen un cierto número de símbolos piloto para la estimación de canal, que están dispuestos de una manera especial, en comparación con las técnicas de la tecnología anterior. Las sub-portadoras piloto cubren el ancho de banda entero del sistema, sobre el símbolo "ampliado" obtenido por la concatenación de las sub-portadoras en la segunda parte, teniendo también en cuenta el mínimo ancho de banda de coherencia de canal al que dan soporte. En una posible realización de la invención, también se proporcionan bandas de guarda adecuadas antes y después del conjunto de sub-portadoras moduladas no nulas para la segunda parte del TTI, impidiendo así la filtración de las señales de OFDM a bandas adyacentes.

La estructura propuesta del TTI tiene varias implicaciones. Por una parte, admite la debida detección del primer símbolo de OFDM, así como la estimación de canal en los dominios del tiempo y de la frecuencia, gracias al CP. Por otra parte, con la ayuda del primer símbolo descodificado es posible cancelar la interferencia entre símbolos (ISI) y la interferencia entre portadoras (ICI) para la parte restante del TTI, incluso en caso de ausencia del CP en esa parte. Adicionalmente, la detección y la cancelación de la ICI para esta segunda parte pueden ser realizadas más eficazmente para el bloque entero de muestras, en lugar de tener que operar símbolo por símbolo, como en las técnicas de la tecnología anterior, sin comprometer el máximo desplazamiento de frecuencia de portadora que dispone de soporte. La estructura modificada de transmisión para la segunda parte del TTI es una manera más cómoda de procesar información a fin de facilitar la detección y reducir la complejidad del algoritmo de cancelación de la ISI y la ICI, apoyándose solamente en la estimación de canal en el primer símbolo de OFDM, que se beneficia de una estimación idealmente perfecta, gracias al CP.

En el sector receptor, la presente invención puede cancelar la interferencia entre símbolos (ISI) y la interferencia entre portadoras (ICI) por medio del siguiente procedimiento:

a) la detección libre de ISI y libre de ICI del primer símbolo de OFDM lleva a la debida descodificación de información de control, así como a la estimación de canal y, por lo tanto, tanto la respuesta de frecuencia de canal como la respuesta de impulso de canal pueden ser estimadas en este símbolo.

b) A partir de la respuesta de impulso de canal, el receptor puede extraer los componentes significativos del multitrayecto del canal, identificando los máximos más significativos y detectando sus amplitudes, fases y retardos asociados.

c) El receptor realiza la ecualización de canal en el ancho de banda entero del sistema, y no solamente en las sub-portadoras planificadas para el usuario, a fin de recuperar la información contenida en todas las sub-portadoras del primer símbolo de OFDM. La posterior descodificación y Transformada inversa de Fourier permite la recuperación de las muestras originales transmitidas del dominio del tiempo, del primer símbolo de OFDM (excluyendo el prefijo cíclico).

d) Con la ayuda de los componentes de multitrayecto identificados en la respuesta de impulso de canal, el receptor puede reconstruir las réplicas del primer símbolo de OFDM que ingresan en la segunda parte del TTI, en forma de ISI. El receptor puede luego restar estos componentes de las muestras del dominio del tiempo de la segunda parte, eliminando efectivamente la ISI.

e) la ICI también aparece en la segunda parte del TTI, debido a los efectos del multitrayecto y a la pérdida asociada del carácter cíclico. Se propone un algoritmo que reconstruye los ecos que habrían ingresado al comienzo de la segunda parte del TTI si se hubiera empleado un CP adecuado. A diferencia de técnicas de la tecnología anterior, el algoritmo propuesto considera las muestras restantes como un todo y restaura el carácter cíclico para la parte entera, en lugar de tratar la ICI para cada uno de los símbolos de OFDM en serie, reduciendo por ello la complejidad.

f) También se aplica una operación de des-intercalación o des-entrelazado (de-interleaving, en inglés) que restaura las muestras originales codificadas y compensa la pérdida en la diversidad de frecuencias, creada por la FFT ampliada en la segunda parte del TTI.

g) Después de la aplicación del procedimiento anterior, la información original contenida en el TTI puede ser recuperada después de la descodificación de la Corrección Anticipada de Errores (FEC).

De acuerdo a un primer aspecto de la presente invención, se revela un procedimiento de reducción de sobrecarga de prefijos cíclicos, para habilitar la cancelación de la interferencia entre símbolos (ISI) y la interferencia entre portadoras (ICI) en redes de OFDM, y que comprende las siguientes etapas para reducir la sobrecarga causada por la presencia del prefijo cíclico en redes inalámbricas de OFDM (comprendiendo la red inalámbrica de OFDM un transmisor de OFDM, un receptor de OFDM y un canal inalámbrico, dispuesto dicho transmisor de OFDM a enviar información a dicho receptor de OFDM en forma de un conjunto de muestras complejas del dominio del tiempo, indicado como un Intervalo de Transmisión Temporal, o TTI, comprendiendo dicho TTI un cierto número de símbolos de OFDM, indicado por N_{sim}):

* En el sector transmisor, generar una señal del dominio del tiempo, que comprende:

- una primera parte del TTI que comprende el primer símbolo de OFDM obtenido en el dominio del tiempo, mediante

una Transformada inversa de Fourier de los símbolos de información complejos, a ser transportados por un cierto número de sub-portadoras en el dominio de la frecuencia, teniendo dicha Transformada inversa de Fourier una longitud igual a dicho número de sub-portadoras, e indicada por N_{OFDM} , comprendiendo dichas sub-portadoras tanto sub-portadoras de datos como sub-portadoras piloto para la estimación de canal;

5 - un prefijo cíclico adosado al comienzo de dicho primer símbolo de OFDM, que contiene una réplica de las últimas muestras de dicho primer símbolo de OFDM, con una longitud dada por la mayor propagación de retardo esperada de dicho canal inalámbrico;

10 - una operación de codificación de Corrección Anticipada de Errores de los bits de información a transmitir, seguida por una operación de intercalación pseudo-aleatoria, antes de correlacionar los bits codificados con recursos de la frecuencia del tiempo, a fin de evitar que los bits adyacentes sean correlacionados con sub-portadoras adyacentes en el dominio de la frecuencia;

15 - un conjunto de $(N_{sim}-1) \cdot N_{OFDM}$ sub-portadoras complejas en el dominio de la frecuencia, que corresponden a la información a transmitir en una segunda parte del TTI, que comprende la concatenación de las sub-portadoras correspondientes a los restantes $(N_{sim}-1)$ símbolos de OFDM del TTI, comprendiendo dichas sub-portadoras tanto sub-portadoras de datos como sub-portadoras piloto para la estimación de canal;

- una Transformada inversa de Fourier con longitud $(N_{sim}-1) \cdot N_{OFDM}$ de dicho conjunto concatenado de sub-portadoras, que producen las $(N_{sim}-1) \cdot N_{OFDM}$ muestras complejas del dominio del tiempo a transmitir en la segunda parte del TTI, sin adosar ningún prefijo cíclico anterior a la misma; y

20 - una concatenación de las muestras del dominio del tiempo de dicho primer símbolo de OFDM y dicha segunda parte del TTI que comprenden el TTI en el dominio del tiempo.

Adicionalmente, el procedimiento comprende además las siguientes etapas en el sector del receptor:

* en el sector del receptor, recuperar la información contenida en el TTI por medio del siguiente procedimiento:

25 - separar una primera parte del TTI, que contiene el primer símbolo de OFDM, y excluir el prefijo cíclico adosado, de una segunda parte del TTI, que contiene los restantes símbolos de OFDM, siendo respectivamente indicadas dichas partes primera y segunda por $r_a^{TTI}[n]$ y $r_b^{TTI}[n]$;

- recuperar la información contenida en dicha primera parte del TTI, por medio del siguiente procedimiento:

- estimar el desplazamiento de frecuencia portadora, CFO, con ayuda de dicho primer símbolo de OFDM que incluye el CP, y compensar el efecto del CFO tanto en el primer símbolo de OFDM como en la segunda parte del TTI;

30 - realizar una Transformada de Fourier de dicho primer símbolo de OFDM después de corregir el CFO y de descartar el CP, a fin de estimar la respuesta de frecuencia de canal por medio de las sub-portadoras piloto;

- recuperar la información transmitida en dicho primer símbolo de OFDM, mediante la ecualización de canal y la decodificación de símbolos; y

35 - reconstruir la señal transmitida del dominio del tiempo, correspondiente a dicho primer símbolo de OFDM (excluyendo el prefijo cíclico), aplicando una FFT inversa de los símbolos decodificados con longitud N_{OFDM} , indicada por $S_a^{TTI}[n]$;

- eliminar, en el sector del receptor, la interferencia entre símbolos, o ISI, de la segunda parte del TTI, por medio del siguiente procedimiento:

- realizar una Transformada inversa de Fourier de la respuesta de frecuencia de canal estimada en el primer símbolo de OFDM, a fin de obtener la respuesta de impulso de canal, o CIR, indicada como $h[n]$;

40 - identificar los máximos, o tomas, más significativas, de la CIR, indicados como N_{tomas} , siendo por tanto dicha CIR escrita en la forma:

$$h[n] = \sum_{j=0}^{N_{tomas}-1} a_j \delta[n - \tau_j],$$

donde N_{tomas} indica dicho número de tomas más significativas, a_j es la amplitud compleja de la j-ésima toma, τ_j es el retardo discreto asociado a la j-ésima toma y $\delta(\cdot)$ representa la función delta discreta;

45 - eliminar la interferencia entre símbolos, o ISI, de $r_b^{TTI}[n]$ por medio de la siguiente ecuación:

$$r_{b,ISI}^{TTI}[n] = r_b^{TTI}[n] - \sum_{j=0}^{N_{tomos}-1} a_j \tilde{s}_a^{TTI}[n - \tau_j + N_{OFDM}],$$

donde $r_{b,ISI}^{TTI}[n]$ indica la señal de la segunda parte del TTI después de la eliminación de la ISI, n es el índice del tiempo, que puede tomar los valores $n = 0, \dots, (N_{sim} - 1) \cdot N_{OFDM} - 1$, y $\tilde{s}_a[n]$ es igual a $s_a[n]$ para

$0 \leq n < N_{OFDM}$ y cero en el resto:

$$\tilde{s}_a^{TTI}[n] \equiv \begin{cases} s_a^{TTI}[n], & 0 \leq n < N_{OFDM} ; \\ 0, & \text{en el resto} \end{cases}$$

- eliminar, en el sector del receptor, la interferencia entre portadoras, o ICI, de la segunda parte del TTI, por medio del algoritmo de cancelación de la ICI descrito por las siguientes etapas:

- tomar la señal recibida del primer símbolo de OFDM en el siguiente TTI, indicada como $r_a^{TTI+1}[n]$ y realizar una Transformada de Fourier de dicho primer símbolo de OFDM después de descartar el CP, a fin de estimar la respuesta de frecuencia de canal por medio de las sub-portadoras piloto;

- recuperar la información transmitida en dicho primer símbolo de OFDM del siguiente TTI, mediante la ecualización de canal y la descodificación de símbolos;

- reconstruir la señal transmitida del dominio del tiempo, correspondiente a dicho primer símbolo de OFDM en el siguiente TTI (excluyendo el prefijo cíclico), aplicando una FFT inversa de los símbolos descodificados con longitud

N_{OFDM} , indicada por $s_a^{TTI+1}[n]$;

- eliminar la ICI de la segunda parte del TTI actual, por medio de la siguiente ecuación:

$$r_{b,ISI,ICI}^{TTI}[n] = r_{b,ISI}^{TTI}[n] + r_a^{TTI+1}[n] - \sum_{j=0}^{N_{tomos}-1} a'_j \tilde{s}_a^{TTI+1}[N_{OFDM} - N_{CP} + n - \tau'_j]$$

donde $r_{b,ISI,ICI}^{TTI}[n]$ indica la segunda parte recibida del TTI actual, después de eliminar los componentes de ISI e ICI; N_{tomos} , a'_j y τ'_j se refieren a los componentes de tomas de canal estimados en el primer símbolo de OFDM del siguiente TTI;

$n = 0, \dots, (N_{sim} - 1) \cdot N_{OFDM} - 1$; y:

$$\tilde{s}_a^{TTI+1}[n] \equiv \begin{cases} s_a^{TTI+1}[n], & N_{OFDM} - N_{CP} \leq n < N_{OFDM} \\ 0, & \text{en el resto} \end{cases}$$

- realizar la estimación de canal en la segunda parte del TTI después de la eliminación de la ISI / ICI, y realizar la ecualización de canal y la descodificación de símbolos con la ayuda de la estimación de canal;

- realizar una operación de des-intercalación ("de-interleaving") de los símbolos complejos; y

- realizar la descodificación de FEC de los símbolos des-intercalados, a fin de obtener el bloque de información recibida.

En un segundo aspecto de la presente invención, se revela un sistema para reducir la sobrecarga causada por la presencia del prefijo cíclico al habilitar la cancelación de la ISI y la ICI en redes de comunicación inalámbrica de OFDM. El sistema comprende un transmisor de OFDM y al menos un receptor de OFDM conectado con el transmisor de OFDM mediante una interfaz inalámbrica (p. ej., en una red de LTE), comprendiendo el transmisor de OFDM y dicho al menos un receptor de OFDM medios para implementar el procedimiento respectivamente descrito anteriormente en el sector del transmisor y en el sector del receptor.

Otro aspecto de la presente invención se refiere a un transmisor de OFDM según lo descrito en el sistema definido anteriormente para implementar el procedimiento descrito en el sector del transmisor.

Otro aspecto de la presente invención se refiere a un receptor de OFDM según lo descrito en el sistema definido anteriormente para implementar el procedimiento descrito en el sector del receptor.

5 En un último aspecto de la presente invención, se revela un programa de ordenador, que comprende medios de código de programa de ordenador, adaptados para realizar las etapas del procedimiento descrito, cuando dicho programa es ejecutado en medios de procesamiento de una entidad de red (estación base o terminal de usuario) de una red de OFDMA, siendo dichos medios de procesamiento un ordenador, un procesador de señales digitales, una formación de compuertas programables en el terreno (FPGA), un circuito integrado específico de la aplicación (ASIC), un micro-procesador, un micro-controlador o cualquier otra forma de hardware programable.

10 El procedimiento de acuerdo a los aspectos descritos anteriormente de la invención tiene un cierto número de ventajas con respecto a la técnica anterior, que pueden ser resumidas de la siguiente manera:

* La estructura de TTI propuesta difiere de la propuesta en el documento US7606138. En la presente propuesta, el CP prefijado es una réplica de las últimas muestras del primer símbolo de OFDM que permanece sin cambios con respecto a técnicas de la tecnología anterior. En el documento US7606138, por el contrario, el CP es una réplica de las últimas muestras de la trama, conduciendo de tal modo a un único símbolo de OFDM ampliado y, por lo tanto, la ecualización y la estimación de canal deben ser realizadas sobre el bloque entero de muestras, complicando así el esquema de detección.

* La presente invención simplifica esta disposición de símbolos de OFDM asignando distintos papeles a los símbolos de OFDM, primero y subsiguientes: el primer símbolo proporciona capacidades sencillas de estimación de canal y de compensación de desplazamiento de frecuencia, mientras que la parte restante del TTI se beneficia de un sencillo procedimiento de cancelación de la ISI y la ICI (con la ayuda de la respuesta de impulso de canal estimada en el primer símbolo), mejorando a la vez la eficacia espectral.

* La invención propuesta admite una significativa reducción en la sobrecarga incurrida por el prefijo cíclico, reduciendo también a la vez la complejidad asociada al proceso de recepción. La asignación de un único CP al comienzo de un intervalo de transmisión permite al receptor disfrutar de los beneficios de una recepción libre de ISI del primer símbolo, permitiendo también la compensación sencilla del desplazamiento de frecuencia de portadora (CFO) y la estimación de canal. La parte restante del TTI también puede ser detectada mediante un procedimiento propuesto que elimina la interferencia entre símbolos y entre portadoras, explotando una nueva manera de empaquetar la información, así como las sub-portadoras piloto, al generar la señal de OFDM del dominio del tiempo. La presencia del CP en el primer símbolo de OFDM admite la compensación del desplazamiento de frecuencia de portadora (CFO) hasta la mitad del ancho de sub-portadora, como en las técnicas de la tecnología anterior, mientras que los símbolos restantes pueden disfrutar de una detección más sencilla mediante un proceso más largo de FFT / IFFT, sin comprometer el máximo CFO que dispone de soporte. La FFT / IFFT más larga asociada a la segunda parte del TTI no implica una reducción en el máximo CFO admitido. Por tanto, el CFO puede ser compensado para el TTI entero, independientemente del menor ancho de sub-portadora que resulta al considerar la segunda parte del TTI como un símbolo de OFDM "ampliado". La estimación de canal está desacoplada de la cancelación de ISI / ICI, mejorando así el proceso de detección, y la eliminación exitosa de la ISI y la ICI solamente se apoya en la debida estimación de canal de los primeros símbolos de OFDM, que puede ser idealmente realizada con la ayuda del CP preservado. Todas estas características permiten significativas reducciones en la longitud de símbolos, manteniendo a la vez la sobrecarga del prefijo cíclico significativamente menor que en las técnicas de la tecnología anterior, a un menor coste de cálculo.

* La presente invención solamente requiere que se adose un CP al comienzo del primer símbolo en un TTI, llevando así a un significativo aumento de eficacia, en comparación con el caso en que distintos CP deben ser adosados antes de cada símbolo de OFDM. Dejar el CP al comienzo del primer símbolo tiene la ventaja añadida de permitir a los receptores "dormir" en intervalos de acuerdo al procedimiento de recepción discontinua (DRX), porque el primer símbolo puede ser fácilmente detectado con técnicas estándar, aumentando por ello la vida de las baterías.

* La invención propuesta introduce una simplificación en comparación con las técnicas de la tecnología anterior, para la cancelación de la ISI y la ICI, donde, tradicionalmente, todos los símbolos de OFDM deben ser procesados en serie y los errores pueden ser propagados. En cambio, esta invención propone un procedimiento para eliminar la ISI y la ICI para la mayor parte del TTI, sin padecer impedimentos por propagación de errores, y a un coste de cálculo inferior.

Estas y otras ventajas serán evidentes a la luz de la descripción detallada de la invención.

Descripción de los dibujos

55 Con el fin de asistir en la comprensión de las características de la invención, de acuerdo a una realización práctica preferida de la misma, y a fin de complementar esta descripción, se anexan las siguientes figuras como parte integral de la misma, con un carácter ilustrativo y no limitador:

la Figura 1 muestra una estructura de trama de OFDM en un intervalo de transmisión temporal, según se conoce en la técnica anterior.

La Figura 2 muestra una estructura de trama de OFDM en un intervalo de transmisión temporal, de acuerdo a una realización preferida de la invención.

5 La Figura 3 muestra un proceso para generar las dos partes de un intervalo de transmisión temporal, de acuerdo a una posible realización de la invención.

La Figura 4 muestra un proceso para correlacionar los símbolos complejos con recursos de tiempo y frecuencia, para las dos partes del intervalo de transmisión temporal, de acuerdo a una posible realización de la invención.

10 La Figura 5 muestra un proceso para asignar sub-portadoras piloto de OFDM en la estructura de la trama, según se conoce en la técnica anterior.

La Figura 6 muestra un proceso para asignar sub-portadoras piloto de OFDM en la estructura de la trama, de acuerdo a una posible realización de la invención.

La Figura 7 muestra un diagrama esquemático de un escenario en red para un posible caso de aplicación de la invención en la realización de la cancelación de la interferencia entre símbolos y entre portadoras.

15 La Figura 8 muestra un diagrama de la respuesta de impulso de canal y su respuesta asociada de frecuencia de canal.

La Figura 9 muestra un diagrama de bloques de la arquitectura de un transmisor de OFDM, de acuerdo a una posible realización de la invención.

20 La Figura 10 muestra un diagrama de bloques de la arquitectura de un receptor de OFDM, de acuerdo a una posible realización de la invención.

La Figura 11 muestra un diagrama de bloques de la arquitectura de un sistema que comprende el transmisor de OFDM y el receptor de OFDM descritos en las Figuras 9 y 10, de acuerdo a una realización preferida de la invención.

Realización preferida de la invención

25 Las cuestiones definidas en esta descripción detallada se proporcionan para asistir en una comprensión exhaustiva de la invención. En consecuencia, los medianamente expertos en la técnica reconocerán que pueden hacerse variaciones, cambios y modificaciones de las realizaciones descritas en la presente memoria, sin apartarse del alcance y espíritu de la invención. Además, la descripción de funciones y elementos bien conocidos se omite para mayor claridad y concisión.

30 Por supuesto, las realizaciones de la invención pueden ser implementadas en una gran variedad de plataformas arquitectónicas, sistemas operativos y servidores, dispositivos, sistemas o aplicaciones. Cualquier diseño arquitectónico o implementación específica presentada en la presente memoria se proporciona con fines de ilustración y exhaustividad solamente, y no está concebido para limitar aspectos de la invención.

35 Es dentro de este contexto que se presentan ahora diversas realizaciones de la invención, con referencia a las FIGs. 1 a 11.

La Figura 1 muestra la estructura **100** de trama de una secuencia de símbolos estándar de OFDM, **SS₁, SS₂, ... SS_N**, en un intervalo de transmisión temporal, **TTI**. Cada símbolo de OFDM, **SS₁, SS₂, ... SS_N** comprende un prefijo cíclico, **CP**, al comienzo de cada símbolo en el TTI, que es seguido por una parte útil, **UP₁, UP₂, ... UP_N**, que contiene datos de control o datos de usuario.

40 La Figura 2 presenta la estructura **200** de trama de una secuencia de símbolos de OFDM, **S₀, S₁, S_{Nsím-1}**, de acuerdo a una realización preferida de la invención, en un intervalo de transmisión temporal, **TTI**. A fin de reducir la sobrecarga causada por el prefijo cíclico, **CP**, la estructura de trama **200** propuesta está construida de acuerdo a las siguientes características:

45 - Dejar solamente el primer **CP** al comienzo del primer símbolo **S₀** en cada **TTI**. De tal modo, la estructura de trama **200** lleva sobrecarga asociada a solamente un único **CP** situado al comienzo de la primera parte **201** del **TTI**. El prefijo cíclico **CP** contiene una réplica de las últimas muestras del primer símbolo **S₀** de OFDM.

50 - Introducir una operación adicional de intercalación después de la codificación de la Corrección Anticipada de Errores (FEC) y antes de correlacionar los recursos de tiempo y frecuencia para la parte restante **202** del **TTI**, a fin de aumentar la diversidad de frecuencias.

- Cambiar la distribución de las sub-portadoras piloto a lo largo del dominio de la frecuencia de la parte restante **202** del **TTI**, a fin de habilitar la estimación de canal.
- Cambiar la manera en que las muestras del dominio del tiempo para la parte restante **202** del **TTI** son generadas a partir de las correspondientes sub-portadoras en el dominio de la frecuencia, de modo que la cancelación de la ISI y de la ICI pueda ser realizada en el sector del receptor para el total de la parte restante **202** del **TTI** (y no símbolo a símbolo), sin comprometer el máximo desplazamiento de frecuencia de portadora (CFO) con soporte.

El prefijo cíclico **CP** introduce una pérdida en la eficacia que puede ser cuantificada por la expresión:

$$\eta = \frac{N_{CP}}{N_{CP} + N_{OFDM}},$$

donde η es la pérdida de eficacia, N_{CP} es la longitud del prefijo cíclico **CP** y N_{OFDM} es la longitud de la parte útil **UP₁** del primer símbolo **S₀**, es decir, la longitud del símbolo de OFDM, excluyendo la longitud del CP, (tanto N_{CP} como N_{OFDM} están dados como un número de muestras). Esta pérdida de eficacia se traduce directamente en una pérdida en el caudal, en comparación con la cota de Shannon.

- Los símbolos segundo y posteriores en la parte restante **202** del **TTI** no tienen ningún CP adosado, reduciendo por ello la pérdida en la eficacia a:

$$\eta' = \frac{N_{CP}}{N_{CP} + N_{sim} \cdot N_{OFDM}} < \eta,$$

donde η' es la pérdida de eficacia después de la aplicación de la invención propuesta y N_{sim} es el número de símbolos de OFDM en el **TTI**.

- La manera de transformar las sub-portadoras **30, 30'** de OFDM en el dominio de la frecuencia (**f**) en muestras del dominio del tiempo (**t**), a fin de obtener la estructura **300** de trama propuesta, está ilustrada en la Figura 3. Dos partes de un **TTI** pueden ser identificadas en la Figura 3: la primera parte **301** que comprende el primer símbolo de OFDM, incluyendo el CP, y la segunda parte (restante) **302** del **TTI** sin ningún CP. Los conjuntos de muestras del dominio del tiempo de la primera parte **301** y la parte restante **302** del **TTI** están indicados, respectivamente, como $r_a^{TTI}[n]$ y $r_b^{TTI}[n]$, donde $r_a^{TTI}[n]$ comprende la parte útil del primer símbolo **S₀** de OFDM después del **CP** y $r_b^{TTI}[n]$ comprende las muestras restantes del **TTI** (comenzando con índice cero).

La Figura 3 ilustra las operaciones de FFT Inversa, IFFT, requeridas para generar **310** los conjuntos de muestras del dominio del tiempo $r_a^{TTI}[n]$ y $r_b^{TTI}[n]$ de las propuestas primera parte **301** y segunda parte **302** del **TTI** en el dominio del tiempo, y la concatenación **320** de las muestras resultantes para obtener la señal recibida **r[n]** en el **TTI** dado.

El primer símbolo **S₀** contiene un **CP** normal con una longitud N_{CP} dada por la máxima propagación del retardo con soporte por parte del sistema de OFDM, evitando así la ISI y la ICI. La parte restante **302** del **TTI**, sin embargo, carece de todo CP, a fin de aumentar la eficacia, y los procedimientos de transmisión y recepción deben ser cambiados para esta parte restante **302**, a fin de superar las ISI e ICI resultantes.

- La Figura 4 ilustra el proceso de correlación de símbolos complejos de OFDM con recursos de tiempo y frecuencia. Las muestras del dominio del tiempo de cada símbolo son obtenidas de manera distinta para ambas partes del **TTI**. Para el primer símbolo de OFDM, las muestras se obtienen **400** usando técnicas estándar, mediante la aplicación de una FFT inversa de las sub-portadoras complejas que llevan la información, así como los símbolos piloto para la estimación de canal. Sin embargo, la parte restante **402** del **TTI** se obtiene a partir de una FFT inversa más larga del conjunto concatenado de sub-portadoras correspondientes a los $(N_{sim} - 1)$ símbolos originales restantes de OFDM. Como el ancho de banda **BW** del sistema no está cambiado, las sub-portadoras están más densamente "empaquetadas" en la segunda parte del **TTI**, en un factor de $(N_{sim} - 1)$, según se muestra en la Figura 4. De tal modo, todas las muestras están correlacionadas **410** con un símbolo de OFDM ampliado. La longitud de la segunda parte **402** en el dominio del tiempo también crece en el mismo factor, manteniendo por ello sin cambios la frecuencia de muestreo, y por tanto se incluye la misma cantidad de información por **TTI**. También deben ser respetadas las

bandas de guarda adecuadas, dejando un cierto número de sub-portadoras no moduladas antes y después del conjunto de sub-portadoras no nulas, antes de la operación de la IFFT. La longitud de la banda de guarda en el dominio de la frecuencia está aumentada en un factor $(N_{sim} - 1)$, en comparación con las técnicas de la tecnología anterior; sin embargo, la resolución de la frecuencia también está aumentada en el mismo factor, produciendo por lo tanto la misma sobrecarga de bandas de guarda que en las técnicas de la tecnología anterior.

Ha de observarse que esta forma de traducir información desde el dominio f de la frecuencia al dominio t del tiempo es completamente distinta a las de las técnicas de la tecnología anterior. La concatenación de las amplitudes de sub-portadoras en la segunda parte **402** del TTI lleva a una señal del dominio del tiempo que es completamente distinta a la obtenida usando técnicas estándar, donde una cascada de FFT inversas proporciona los símbolos en serie (después de la inclusión del CP). De hecho, el número original de sub-portadoras por cada símbolo de OFDM en las técnicas de la tecnología anterior es reemplazado ahora por un número proporcionalmente mayor de sub-portadoras para la parte restante del TTI. El ancho de banda **BW** ocupado no está cambiado, ya que comprende la misma información sobre el mismo intervalo temporal, pero las muestras son obtenidas a partir de una única IFFT de la concatenación de todas las sub-portadoras después del primer símbolo de OFDM, aumentando así la resolución de la frecuencia en un factor $(N_{sim} - 1)$, en comparación con la técnica anterior. La principal ventaja de esta disposición es una manera más eficaz de tratar la ISI y la ICI, sin afectar a la vez el máximo CFO con soporte que esté determinado por el primer símbolo de OFDM. Además, el algoritmo de cancelación de la ISI y la ICI solamente depende de una adecuada estimación de canal en el primer símbolo de OFDM, mejorando así la fiabilidad gracias al CP preservado.

A fin de realizar la estimación de canal sobre la segunda parte del TTI para una decodificación exitosa, las sub-portadoras piloto deben ser dispuestas a fin de cubrir el ancho de banda del sistema con una separación de frecuencias dada por el mínimo ancho de banda de coherencia de canal que dispondrá de soporte (véase la figura 5). Aunque la figura no refleja exactamente la resolución aumentada de frecuencias en la segunda parte del TTI, la separación entre las sub-portadoras piloto en el dominio de la frecuencia debería estar aumentada en un factor de $(N_{sim} - 1)$, en comparación con la del primer símbolo, habiendo un mayor número de sub-portadoras de datos entre cada par de sub-portadoras piloto. La precisión de la estimación de canal, sin embargo, no es afectada, ya que el ancho de banda de coherencia de canal también se extiende sobre $(N_{sim} - 1)$ veces las sub-portadoras implicadas en el primer símbolo de OFDM, llevando por tanto a las mismas capacidades de estimación de canal.

La Figura 5 muestra la asignación de las sub-portadoras piloto **PS** para la estimación de canal de acuerdo a las soluciones de la técnica anterior. La Figura 6 muestra la asignación de las sub-portadoras piloto **PS** para la estimación de canal de acuerdo a una realización propuesta de la invención.

Una diferencia fundamental de la estructura de trama propuesta con respecto a la técnica anterior descansa sobre las capacidades de compensación del CFO. Podría argumentarse que la estructura propuesta es esencialmente similar a tener un único símbolo de OFDM, más largo, con la duración de un TTI y un prefijo cíclico adosado al mismo, permitiendo por ello la detección de las muestras con una única FFT / IFFT. Sin embargo, con solamente un símbolo de OFDM en el TTI, el máximo CFO permitido sería reducido de la misma manera en que lo haría el ancho de las sub-portadoras, debido al símbolo de OFDM más largo. En la estructura de trama propuesta, el máximo CFO con soporte, sin embargo, queda sin cambios, según lo determinado por el primer símbolo de OFDM, mientras que la segunda parte del TTI puede recoger efectivamente las muestras de los restantes símbolos originales de OFDM para una eliminación más sencilla de la ISI / ICI, sin afectar al CFO máximo. La estructura propuesta también tiene ventajas en términos de un proceso de decodificación más sencillo de las señales de control en el primer símbolo de OFDM, que es un aspecto clave a fin de reducir el consumo de baterías en el dispositivo del usuario, proporcionar una robusta señalización de control y permitir la recepción discontinua (DRX). La disposición propuesta de sub-portadoras en el dominio de la frecuencia de la segunda parte del TTI, según se muestra en la Figura 6, también tiene implicaciones en cuanto a la forma en que los usuarios son planificados por una estación base. Los sistemas de OFDM de la técnica anterior (tales como, p. ej., la LTE) asignan partes del espectro a los usuarios sobre un cierto número de símbolos de OFDM, mientras que en esta invención los usuarios son capaces de contener un mayor número de sub-portadoras sobre un único símbolo "ampliado" que incluye la parte restante del TTI. En la práctica, el planificador de la estación base tiene que tratar con un cierto número de sub-portadoras que podrían, en general, experimentar distintas respuestas de frecuencia, mientras que en las técnicas de la tecnología anterior, las sub-portadoras correspondientes a distintos símbolos de OFDM se someten a condiciones de canal aproximadamente similares (al menos para velocidades moderadas del UE). La consecuencia de esta característica es una mayor granularidad en el dominio de la frecuencia, admitiendo así una asignación más precisa de recursos. Sin embargo, la mayor resolución de frecuencias da como resultado una menor diversidad de frecuencias para las muestras complejas, porque las sub-portadoras adyacentes podrían experimentar menores variaciones de canal en el dominio de la frecuencia que en la técnica anterior, perjudicando de tal modo el proceso de decodificación de FEC. Para compensar este efecto indeseado, un intercalador adicional, anterior a la correlación de sub-portadoras, puede aumentar efectivamente la diversidad de frecuencias y mejorar así el proceso de decodificación de FEC.

La Figura 7 muestra un escenario muy simplificado para la aplicación de la estructura de trama propuesta, en una posible realización de la invención, que proporciona un sistema para la reducción de la sobrecarga causada por la presencia del prefijo cíclico, habilitando a la vez la cancelación de la interferencia entre símbolos (ISI) y la interferencia entre portadoras (ICI). El sistema comprende un transmisor **701** de OFDM y al menos un receptor **702**

de OFDM, estando tanto el transmisor **701** de OFDM como cada receptor **702** de OFDM conectados a través de un canal **700** de radio inalámbrico que introduce un cierto número de impedimentos **710**, principalmente ruido (en forma de ruido Gaussiano y otros tipos de interferencia) y multitrayecto. Este último introduce unas significativas interferencias entre símbolos (ISI) e interferencias entre portadoras (ICI), que deben ser canceladas en el sector receptor antes de la decodificación exitosa de los símbolos, que contienen información **740** que padece de ISI e ICI, recibida por el receptor **702** de OFDM. El transmisor **701** de OFDM envía los bloques **730** de información a transmitir en el TTI de acuerdo a la estructura de trama propuesta.

Indiquemos con $r^{TTI}[n]$ la señal recibida en un TTI dado, recibido por el receptor **702** de OFDM, y las dos partes del TTI recibido son indicadas como $r_a^{TTI}[n]$ y $r_b^{TTI}[n]$, respectivamente, donde $r_a^{TTI}[n]$ se refiere al primer símbolo de OFDM (excluyendo el CP) y $r_b^{TTI}[n]$ se refiere a los restantes $(N_{sim} - 1)$ símbolos de OFDM originales. Para facilitar la notación, los índices del tiempo avanzan desde el cero en ambas partes, así:

$$r_a^{TTI}[n] = r^{TTI}[n + N_{CP}], n = 0, \dots, N_{OFDM} - 1$$

$$r_b^{TTI}[n] = r^{TTI}[n + N_{CP} + N_{OFDM}], n = 0, \dots, (N_{sim} - 1) \cdot N_{OFDM} - 1.$$

$r_a^{TTI}[n]$ comprende la parte útil del primer símbolo de OFDM después del CP, y $r_b^{TTI}[n]$ comprende las muestras restantes del TTI (comenzando con índice cero). De la primera parte $r_a^{TTI}[n]$ es posible detectar la información transmitida mediante técnicas estándar de detección de OFDM, incluyendo la estimación de la respuesta de frecuencia de canal $H[f]$, mostrada en la Figura 8, con la ayuda de sub-portadoras **PS** piloto adecuadas o señales de entrenamiento. La señal transmitida del dominio del tiempo, correspondiente al primer símbolo de OFDM (excluyendo el prefijo cíclico), indicado aquí por $s_a^{TTI}[n]$, puede ser reconstruida mediante la ecualización, demodulación y aplicación adecuadas de una FFT inversa. Ha de observarse que la ecualización y la detección no están limitadas a las sub-portadoras planificadas para el usuario, sino que son realizadas sobre todo el ancho de banda del sistema, incluyendo a otros usuarios y canales de control. Esto se requiere a fin de poder reconstruir el primer símbolo completo de OFDM del dominio del tiempo que produce interferencia entre símbolos hacia los siguientes símbolos. El usuario podría detectar toda la información de control incluida en el primer símbolo (realizando la decodificación de FEC de toda la información de control), pero esto puede implicar una señalización adicional desde la red a fin de ayudar en el proceso de decodificación. En cambio, el usuario puede realizar una decodificación más sencilla, de decisión dura, de los símbolos modulados complejos, estimando así los símbolos de constelación que estén más cercanos a los símbolos ecualizados para cada una de las sub-portadoras. Este procedimiento es adecuado para modulaciones de bajo orden (como QPSK), como las empleadas habitualmente para la información de control. La parte restante $r_b^{TTI}[n]$ de muestras en el TTI padece de ISI e ICI debido a la ausencia del prefijo cíclico. En el receptor **702** de OFDM, un objetivo es eliminar efectivamente la ISI y la ICI de acuerdo al procedimiento explicado más adelante.

La Figura 8 ilustra una respuesta de impulso de canal (CIR) ejemplar y su respuesta de frecuencia de canal asociada. La respuesta de impulso de canal (CIR) del dominio del tiempo en el primer símbolo de OFDM puede ser obtenida realizando una FFT inversa de la respuesta de frecuencia de canal estimada en el primer símbolo de OFDM, es decir, la CIR puede ser escrita con la expresión $h[n] = IFFT \{H[f]\}$. La CIR, en general, comprende un cierto número de funciones delta discretas retardadas, que representan los componentes de multitrayecto del canal de radio (comúnmente conocidas como tomas), teniendo cada una distintas amplitudes, fases y retardos asociados, según se muestra en la Figura 8). El receptor **702** puede luego extraer los componentes de multitrayecto más significativos de la CIR. La identificación de los máximos o tomas de la CIR y sus respectivos retardos $\tau_0, \tau_1, \dots, \tau_{N_{tomas}-1}$ (N_{tomas} indica el número de tomas significativas) puede basarse en un umbral adecuado para las amplitudes de la CIR, por debajo del cual la influencia de la toma puede ser considerada despreciable, pero cualquier otro procedimiento es también válido para el fin de la presente invención.

Después de la identificación de las tomas más significativas o más potentes, la CIR en el primer símbolo de OFDM puede ser escrita en la forma:

$$h[n] = \sum_{j=0}^{N_{tomas}-1} a_j \delta[n - \tau_j]$$

donde N_{tomas} es el número de tomas significativas, a_j es la amplitud compleja de la j -ésima toma, τ_j es el retardo asociado a la j -ésima toma y $\delta(\cdot)$ representa la función delta discreta.

El componente de ISI hacia la segunda parte (restante) $r_b^{TTI}[n]$ del TTI puede luego ser escrito en la forma:

$$ISI = \sum_{j=0}^{N_{tomas}-1} a_j \tilde{s}_a^{TTI}[n - \tau_j + N_{OFDM}] \quad 0 \leq n \leq \tau_{\max}$$

- 5 donde n es el índice del tiempo, τ_{\max} es el valor máximo de los retardos de canal y $\tilde{s}_a^{TTI}[n]$ es igual a $s_a^{TTI}[n]$ para $0 \leq n < N_{OFDM}$ y cero en el resto:

$$\tilde{s}_a^{TTI}[n] \equiv \begin{cases} s_a^{TTI}[n], & 0 \leq n < N_{OFDM} \\ 0, & \text{en el resto} \end{cases}$$

El componente de ISI puede ser restado de $r_b^{TTI}[n]$, produciendo así la señal $r_{b,ISI}^{TTI}[n]$ con ninguna ISI, idealmente, proveniente del primer símbolo de OFDM:

10
$$r_{b,ISI}^{TTI}[n] \equiv r_b^{TTI}[n] - ISI = r_b^{TTI}[n] - \sum_{j=0}^{N_{tomas}-1} a_j \tilde{s}_a^{TTI}[n - \tau_j + N_{OFDM}]$$

donde el índice n en esta ecuación puede tomar los valores $n=0, \dots, (N_{sim}-1) \cdot N_{OFDM}-1$. $r_{b,ISI}^{TTI}[n]$ será así una versión "limpia" de la segunda parte $r_b^{TTI}[n]$ del TTI después de la eliminación de la ISI.

- 15 Antes de realizar la equalización del dominio de la frecuencia, también es necesario restaurar el carácter cíclico de la señal de OFDM, es decir, cancelar la ICI. El carácter cíclico se pierde porque, como consecuencia de los componentes de multitrayecto, las réplicas retardadas de la señal no aparecen como desplazamientos cíclicos (como ocurriría con un CP adecuado). Las muestras de OFDM que se "pierden" a la derecha del TTI son luego introducidas por la izquierda como en un registro de desplazamiento circular, después de ser afectadas por las amplitudes complejas y los retardos de los componentes de multitrayecto.

- 20 Las muestras a reconstruir son, en principio, desconocidas, pero pueden ser halladas en forma de ISI hacia el primer símbolo de OFDM del próximo TTI. Este componente de ISI puede a su vez ser obtenido restando las réplicas retardadas del prefijo cíclico reconstruido al comienzo del primer símbolo en el próximo TTI. Indicando con $r_a^{TTI+1}[n]$ la señal recibida del primer símbolo en el próximo TTI, y con $s_a^{TTI+1}[n]$ las correspondientes muestras reconstruidas en el dominio del tiempo después de la equalización, la demodulación y la FFT inversa, tenemos:

$$ISI^{TTI+1}[n] = r_a^{TTI+1}[n] - \sum_{j=0}^{N'_{tomas}-1} a'_j \tilde{s}_a^{TTI+1}[N_{OFDM} - N_{CP} + n - \tau'_j] \quad 0 \leq n < N_{CP},$$

- 25 donde $ISI^{TTI+1}[n]$ representa el componente de ISI del TTI actual que se extiende hacia el primer símbolo del próximo TTI; N'_{tomas} , a'_j y τ'_j se refieren a los componentes de toma de canal estimados en el primer símbolo de OFDM del próximo TTI; y:

$$\tilde{s}_a^{TTI+1}[n] \equiv \begin{cases} s_a^{TTI+1}[n], & N_{OFDM} - N_{CP} \leq n < N_{OFDM} \\ 0, & \text{en el resto} \end{cases}$$

- 30 La ecuación explota el hecho de que el CP está presente al final del primer símbolo de OFDM reconstruido, que puede, por lo tanto, ser restado de la señal recibida a fin de obtener el término de ISI. Este componente es exactamente el mismo término que se añade al comienzo de la segunda parte $r_b^{TTI}[n]$ del TTI actual a fin de

eliminar la ICI. Indicando con $r_{b,ISI,ICI}^{TTI}[n]$ la segunda parte recibida del TTI después de eliminar los componentes de ISI e ICI, podemos escribir:

$$r_{b,ISI,ICI}^{TTI}[n] = r_{b,ISI}^{TTI}[n] + r_a^{TTI+1}[n] - \sum_{j=0}^{N'_{\text{tomas}}-1} a'_j \tilde{s}_a^{TTI+1} [N_{OFDM} - N_{CP} + n - \tau'_j]$$

para $n=0, \dots, (N_{sim}-1) \cdot N_{OFDM}-1$.

- 5 La señal resultante en la segunda parte $r_b^{TTI}[n]$ del TTI, idealmente, no tiene ninguna ISI ni ICI a partir de la ausencia del CP. El único requisito es que el receptor descodifique adicionalmente el primer símbolo de OFDM del TTI siguiente al que ha de ser detectado. Sin embargo, esto no es un problema grave, ya que los receptores normalmente tienen que descodificar ese primer símbolo, excepto en la modalidad de DRX, a fin de obtener importante información de control, tal como la planificación y la paginación.
- 10 A diferencia de técnicas de la tecnología anterior, el algoritmo no opera sobre cada uno de los símbolos de OFDM para la cancelación de la ICI, sino que, en cambio, cancela la ICI sobre la parte restante entera del TTI después del primer símbolo, llevando así a una complejidad significativamente inferior. Además, no se apoya en complejos procedimientos iterativos que puedan padecer de errores de estimación encadenados. El primer símbolo de OFDM puede ser estimado con una muy baja probabilidad de error, dado que es normalmente modulado por QPSK para una detección robusta, lo que mejora la fiabilidad del algoritmo de cancelación de la ISI y la ICI.
- 15

La estimación de canal en la segunda parte $r_b^{TTI}[n]$ del TTI actual puede luego ser realizada con la ayuda de las sub-portadoras piloto **PS**, dispuestas como en la Figura 6, después de la cancelación de la ISI y la ICI.

- Una ventaja añadida de la invención propuesta es que el algoritmo de cancelación de la ISI y la ICI se apoya solamente en una estimación precisa de canal en el primer símbolo de OFDM, tanto del TTI actual como del siguiente, lo que puede ser realizado casi idealmente con la ayuda del CP.
- 20

- Después de la cancelación de la ISI y la ICI, la segunda parte $r_b^{TTI}[n]$ del TTI puede ser detectada por medio de una FFT de longitud $(N_{sim}-1) \cdot N_{OFDM}$, seguida por la equalización estándar de canal y la demodulación, de acuerdo a las técnicas de la tecnología anterior. Se supone que la respuesta de frecuencia de canal permanece válida sobre toda la segunda parte $r_b^{TTI}[n]$ del TTI (ya que hay solamente un conjunto de sub-portadoras piloto **PS** para la estimación de canal), es decir, el tiempo de coherencia de canal es mayor que la duración de la segunda parte $r_b^{TTI}[n]$ del TTI.
- 25

- La principal diferencia fundamental de este procedimiento con respecto a las técnicas de la tecnología anterior es que puede ser aplicado sobre toda la segunda parte $r_b^{TTI}[n]$ del TTI después del primer símbolo de OFDM, en lugar de tener que cancelar la ISI y la ICI sucesivamente para cada uno de los símbolos. El procedimiento de cancelación de la ICI se beneficia especialmente de esto, ya que comprende un algoritmo iterativo relativamente complejo. Disponer la información después del primer símbolo con una FFT más larga admite una cancelación más sencilla de la ISI y la ICI, reteniendo al mismo tiempo las propiedades deseables de la robustez del CFO y de la estimación de canal, gracias a la presencia del primer símbolo de OFDM. Al mismo tiempo, el procedimiento propuesto de cancelación de la ISI y la ICI se apoya en la reconstrucción del primer símbolo de OFDM, tanto del TTI actual como del siguiente, que, por definición, están libres de ISI y de ICI.
- 30
- 35

El máximo CFO que dispone de soporte no cambia con respecto a las soluciones de la técnica anterior, ya que el primer símbolo admite la estimación del CFO hasta la mitad del ancho de sub-portadora. Esto puede ser explotado para la compensación del CFO en el TTI entero, a pesar de la mayor longitud de la FFT requerida para la segunda parte del TTI, lo que da auge a sub-portadoras más estrechas.

- La aplicabilidad de este algoritmo se apoya en la invariancia de la respuesta de impulso de canal a lo largo de la segunda parte $r_b^{TTI}[n]$ del TTI. El tiempo T_c de coherencia de canal debería ser mayor que la duración de la segunda parte $r_b^{TTI}[n]$ del TTI, de acuerdo a la fórmula:
- 40

$$T_c = \frac{0,423}{f_d} = \frac{0,423c}{vf_c},$$

donde f_d es la frecuencia de Doppler, c es la velocidad de la luz, v es la velocidad del usuario y f_c es la frecuencia portadora. La comparación de T_c con la duración de la segunda parte del TTI produciría un límite práctico máximo para la velocidad del usuario. Si la segunda parte $r_b^{TTI}[n]$ es lo bastante pequeña (a fin de mantener la latencia de extremo a extremo del sistema en un valor bajo), entonces esta hipótesis también es válida para una gama significativa de velocidades de usuario.

La Figura 9 ilustra en detalle las etapas del proceso de transmisión a seguir por parte del transmisor **701** de OFDM del sistema propuesto, para reducir la sobrecarga causada por el prefijo cíclico y facilitar la cancelación de la ISI y la ICI (los bloques con borde discontinuo representan etapas de procesamiento ya presentes en técnicas de la tecnología anterior, mientras que los bloques de borde continuo representan nuevos procedimientos, según lo descrito en esta invención):

a) En un primer trayecto para obtener la primera parte $r_a^{TTI}[n]$ del TTI, incluir la parte útil del primer símbolo S_0 de OFDM y el prefijo cíclico **CP**:

- Primero, generar **711** la necesaria información de control a correlacionar (siguiente etapa) con el primer símbolo S_0 de OFDM en el TTI.

- Correlacionar sub-portadoras **712** con recursos de tiempo y frecuencia en la primera parte $r_a^{TTI}[n]$ del TTI.

- Realizar una FFT inversa **713** para generar las correspondientes muestras del dominio del tiempo,

- Introducción del CP **714**.

b) En un segundo trayecto para obtener la parte restante $r_b^{TTI}[n]$ de muestras en el TTI:

- Codificación de FEC **715** del bloque de información **70**.

- Intercalación **716** de los bits codificados. El intercalador puede estar basado en una matriz intercaladora, un polinomio de permutación o cualquier otro procedimiento adecuado que evite que los bits adyacentes sean correlacionados con sub-portadoras adyacentes en el dominio de la frecuencia, aumentando por lo tanto la diversidad de la frecuencia.

- Correlación **717** con recursos de tiempo y frecuencia en la segunda parte $r_b^{TTI}[n]$ del TTI. Obsérvese que la intercalación **716** se realiza antes de esta correlación.

- Generación **718** de símbolos piloto adecuados, a correlacionar con recursos de tiempo y frecuencia para la estimación de canal en la segunda parte $r_b^{TTI}[n]$ del TTI.

- Realizar una FFT inversa "ampliada" **719** para generar las muestras del dominio del tiempo, correspondientes a la segunda parte $r_b^{TTI}[n]$ del TTI (sin el agregado del CP).

c) Finalmente, concatenación **720** de las dos partes de muestras, $r_a^{TTI}[n]$ y $r_b^{TTI}[n]$, que comprenden la señal completa $r[n]$ a transmitir en el TTI al nivel de la banda base.

La Figura 10 ilustra en detalle las etapas del proceso de recepción a seguir por parte del receptor de OFDM **702** del sistema propuesto para habilitar la cancelación de la ISI y la ICI (los bloques de borde discontinuo representan etapas de procesamiento ya presentes en técnicas de la tecnología anterior, mientras que los bloques de borde continuo representan nuevos procedimientos, según lo descrito en esta invención):

- El TTI actual, TTI i , es analizado primero a fin de estimar **811** el eventual desplazamiento de frecuencia portadora, **CFO**, con la ayuda del primer símbolo de OFDM y su prefijo cíclico asociado. El CFO es adicionalmente compensado **812** para el TTI entero, usando técnicas estándar.

- También la CIR es estimada **813** en el primer símbolo de OFDM del TTI actual, **TTI i** , a partir de la señal compensada en el CFO. La estimación **813** de la CIR implica obtener la respuesta de frecuencia de canal, así como identificar los componentes de multitrayecto más significativos de la misma.
 - La primera parte del TTI, es decir, el primer símbolo de OFDM, es detectada **814** mediante la adecuada ecualización de canal y la demodulación.
 - De los símbolos de OFDM que comprenden la segunda parte del TTI, se elimina **815** la ISI con la ayuda del primer símbolo de OFDM detectado en la etapa **814**, y su CIR estimada en la etapa **813**.
 - Para el próximo (subsiguiente) TTI, **TTI $i+1$** , la estimación **816** de la CIR es realizada para el primer símbolo de OFDM en dicho TTI subsiguiente, **TTI $i+1$** .
 - Usando la CIR estimada **816** en el TTI subsiguiente, **TTI $i+1$** , el receptor realiza la cancelación de la ICI **817**.
 - Una estimación adicional de la CIR **818** es luego realizada para la segunda parte del TTI actual, **TTI i** , que comprende el símbolo de OFDM “ampliado”.
 - La segunda parte del TTI, con la parte restante del símbolo de OFDM “ampliado”, es detectada **819**. El receptor realiza la ecualización y la detección de esta parte restante antes de la des-intercalación **820**.
 - Los bits de información recibidos son des-intercalados **820** antes de la decodificación de FEC, a fin de aumentar la diversidad de la frecuencia.
 - Finalmente, la decodificación de FEC **821** es realizada para permitir al receptor recuperar el bloque de información original **80**.
- La Figura 11 muestra una realización detallada ejemplar del transmisor de OFDM **701** y del receptor de OFDM **702** del sistema propuesto, de acuerdo a los procesos descritos anteriormente. Un transmisor de OFDM **701** está dispuesto para transmitir un bloque de información en forma de un conjunto de símbolos modulados complejos **91**, que son primero codificados con FEC e intercalados **911**, y luego correlacionados con sub-portadoras **912**. Simultáneamente, la información de control **91** se somete a una primera FFT inversa **913** (de un símbolo de OFDM de longitud), y se adosa **915** un prefijo cíclico para obtener la primera parte $r_a^{TTI}[n]$ del TTI. La segunda parte $r_b^{TTI}[n]$ del TTI se completa primero con un cierto número de sub-portadoras piloto en el bloque de inserción de piloto **914**. Una segunda FFT inversa **916** es realizada luego (con una longitud igual a la suma de las longitudes de los restantes símbolos de OFDM). Un sumador **917** suma entre sí las partes primera y segunda del TTI, $r_a^{TTI}[n]$ y $r_b^{TTI}[n]$, construyendo de tal modo la señal $r[n]$ a transmitir **900**. La señal $r[n]$ llega **900'** a un receptor de OFDM **702**, a través de la interfaz aérea **90**, después de padecer los impedimentos de la interfaz aérea **90**. En el receptor de OFDM **702**, el primer símbolo de OFDM es detectado **921** explotando la presencia del prefijo cíclico. El receptor de OFDM **702** realiza una FFT del primer símbolo OFDM después de corregir el CFO y descartar el CP, a fin de estimar la respuesta de frecuencia de canal por medio de las sub-portadoras piloto. La cancelación de la ISI es realizada **922** a partir de la parte restante del TTI, de acuerdo al proceso propuesto anteriormente. El receptor de OFDM **702** también elimina la ICI **923** a partir de la parte restante del TTI y, finalmente, las operaciones de des-intercalación y decodificación de FEC son realizadas **924** para suministrar los bits de información recuperados **93**.
- Las realizaciones propuestas pueden ser implementadas como una colección de elementos de software, elementos de hardware, elementos de firmware o cualquier combinación adecuada de ellos.
- Obsérvese que, en este texto, el término “comprende” y sus derivados (tales como “comprendiendo”, etc.) no deberían ser entendidos en un sentido excluyente, es decir, estos términos no deberían ser interpretados como excluyentes de la posibilidad de que lo que se describe y define pueda incluir elementos, etapas, etc., adicionales.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de reducción de la sobrecarga de prefijo cíclico, habilitando a la vez la cancelación de interferencias entre símbolos y entre portadoras en redes inalámbricas de Multiplexado por División Ortogonal de Frecuencia, OFDM, en el cual la información en un conjunto de muestras complejas del dominio del tiempo ha de ser enviada por un transmisor de OFDM (701) a un receptor de OFDM (702), a través de un canal inalámbrico (700) dentro de un Intervalo de Transmisión Temporal, TTI, comprendiendo el TTI un cierto número N_{sim} de símbolos de OFDM, estando el procedimiento **caracterizado por** comprender:
- una etapa de generación, por el transmisor de OFDM (701), de una señal del dominio del tiempo que comprende:
 - una primera parte (201, 301) del TTI para llevar muestras complejas del dominio del tiempo ($r_a^{TTI}[n]$) de un primer símbolo (S_0) de OFDM, siendo obtenido el primer símbolo (S_0) de OFDM en el dominio del tiempo mediante una Transformada de Fourier inversa de las muestras complejas a transportar por un cierto número de sub-portadoras (30) en el dominio de la frecuencia, teniendo la Transformada de Fourier inversa (713, 913) una longitud N_{OFDM} , igual al número de sub-portadoras (30), comprendiendo las sub-portadoras (30) tanto sub-portadoras de datos como sub-portadoras piloto para la estimación de canal;
 - un prefijo cíclico (CP) llevado en la primera parte (201, 301) del TTI y adosado (714, 915) al comienzo del primer símbolo (S_0) de OFDM, que contiene una réplica de las últimas muestras del primer símbolo (S_0) de OFDM, que tiene una longitud dada por la mayor propagación de retardo esperada del canal inalámbrico (700);
 - bits de información codificados con Corrección Anticipada de Errores (715) a transmitir, que son intercalados (716) pseudo-aleatoriamente antes de una correlación (717, 912) de los bits de información codificados con recursos de tiempo y frecuencia;
 - una segunda parte (202, 302) del TTI para llevar $(N_{sim} - 1) \cdot N_{OFDM}$ muestras complejas del dominio del tiempo ($r_b^{TTI}[n]$) que resultan de la correlación (717, 912) con recursos de tiempo y frecuencia de un conjunto de $(N_{sim} - 1) \cdot N_{OFDM}$ sub-portadoras complejas en el dominio de la frecuencia, correspondientes a la información a enviar en la segunda parte (202, 302) del TTI, sin adosar ningún prefijo cíclico, comprendiendo el conjunto de $(N_{sim} - 1) \cdot N_{OFDM}$ sub-portadoras complejas una concatenación de sub-portadoras (30') correspondientes a los restantes símbolos de OFDM ($S_1, \dots, S_{N_{sim}-1}$) del TTI, comprendiendo las sub-portadoras concatenadas (30') tanto sub-portadoras de datos como sub-portadoras piloto para la estimación de canal, y siendo obtenidos los restantes símbolos de OFDM ($S_1, \dots, S_{N_{sim}-1}$) en el dominio del tiempo por medio de una Transformada de Fourier inversa ampliada (719, 916) con longitud igual al número $(N_{sim} - 1) \cdot N_{OFDM}$ de las sub-portadoras concatenadas (30');
 - y
 - una etapa de concatenación (720) de las muestras complejas del dominio del tiempo ($r_a^{TTI}[n]$) de la primera parte (201, 301) del TTI y de las muestras complejas del dominio del tiempo ($r_b^{TTI}[n]$) de la segunda parte (202, 302) del TTI, a enviar por el transmisor de OFDM (701) al receptor de OFDM (702), que realiza la cancelación de las interferencias entre símbolos y entre portadoras usando las muestras complejas del dominio del tiempo ($r_a^{TTI}[n]$, $r_b^{TTI}[n]$) de la primera parte (201, 301) y de la segunda parte (202, 302) del TTI.
2. El procedimiento de acuerdo a la reivindicación 1, en el cual las sub-portadoras piloto en la segunda parte (202, 302) del TTI son insertadas (718, 914) y dispuestas en el dominio de la frecuencia para cubrir todo un ancho de banda (BW) con una separación de frecuencia entre sub-portadoras piloto igual a $(N_{sim} - 1)$ veces la separación de frecuencia entre las sub-portadoras piloto de las sub-portadoras (30) en la primera parte (201, 301) del TTI.
3. El procedimiento de acuerdo a cualquier reivindicación precedente, en el cual los bits de información codificados a transmitir son intercalados pseudo-aleatoriamente (716) escribiendo bits de información de entrada en elementos de una matriz rectangular por filas, y leyendo los bits de información de salida por columnas, después de reordenar las columnas de la matriz de acuerdo a un patrón pseudo-aleatorio.
4. El procedimiento de acuerdo a cualquier reivindicación precedente, que comprende adicionalmente la reserva de bandas de guarda en el dominio de la frecuencia antes y después de las sub-portadoras (30') correspondientes a la

información a transmitir en la segunda parte (202, 302) del TTI, comprendiendo las bandas de guarda un cierto número de sub-portadoras nulas, igual a $(N_{sim} - 1)$ veces el número de sub-portadoras de guarda reservadas en la primera parte (201, 301) del TTI.

5 El procedimiento de acuerdo a cualquier reivindicación precedente, que comprende adicionalmente recuperar información (80, 93) contenida en un TTI actual, por la realización, por parte del receptor de OFDM (702), de las siguientes etapas:

- detectar (814, 921) el primer símbolo (S_0) de OFDM, separando las muestras complejas del dominio del tiempo ($r_a^{TTI}[n]$) de la primera parte (201, 301) del TTI actual, del prefijo cíclico (CP) adosado y de las restantes muestras complejas del dominio del tiempo ($r_b^{TTI}[n]$) de la segunda parte (202, 302) del TTI actual;

10 - estimar (811) un desplazamiento de frecuencia portadora, CFO, usando el primer símbolo (S_0) de OFDM detectado y el prefijo cíclico (CP) adosado;

- compensar (812) el CFO tanto en la primera parte (201, 301) como en la segunda parte (202, 302) del TTI;

- estimar la respuesta de frecuencia de canal ($H[f]$) en el primer símbolo (S_0) de OFDM detectado;

15 - recuperar información en el primer símbolo (S_0) de OFDM detectado, mediante la ecualización de canal y la decodificación de símbolos;

- reconstruir una señal $s_a^{TTI}[n]$ transmitida del dominio del tiempo, correspondiente al primer símbolo (S_0) de OFDM detectado, aplicando una Transformada de Fourier inversa de la información recuperada, con longitud N_{OFDM} ;

20 - obtener (813) la respuesta de impulso de canal, CIR, realizando una Transformada de Fourier inversa de la respuesta de frecuencia de canal ($H[f]$) estimada en el primer símbolo de OFDM, e identificando un cierto número de tomas de CIR, estando representada la CIR por

$$h[n] = \sum_{j=0}^{N_{tomas}-1} a_j \delta[n - \tau_j]$$

donde $h[n]$ indica la CIR en el dominio del tiempo, N_{tomas} indica el número de tomas de CIR identificadas, a_j es una amplitud compleja de la j-ésima toma, τ_j es un retardo discreto asociado a la j-ésima toma, y $\delta(\cdot)$ representa la función delta discreta;

25 - eliminar la interferencia entre símbolos, ISI (815, 922) de las restantes muestras complejas del dominio del tiempo ($r_b^{TTI}[n]$) de la segunda parte (202, 302) del TTI actual, por medio de la siguiente ecuación:

$$r_{b,ISI}^{TTI}[n] = r_b^{TTI}[n] - \sum_{j=0}^{N_{tomas}-1} a_j \tilde{s}_a^{TTI}[n - \tau_j + N_{OFDM}],$$

donde $r_{b,ISI}^{TTI}[n]$ indica una señal de la segunda parte (202, 302) del TTI actual después de la eliminación de la ISI, n es un índice del tiempo que toma valores $n=0, \dots, (N_{sim} - 1) \cdot N_{OFDM} - 1$, y $\tilde{s}_a[n]$ es igual a $s_a[n]$ para $0 \leq n < N_{OFDM}$ y cero en el resto:

$$\tilde{s}_a^{TTI}[n] \equiv \begin{cases} s_a^{TTI}[n], & 0 \leq n < N_{OFDM} ; \\ 0, & \text{en el resto} \end{cases}$$

- eliminar la interferencia entre portadoras (817, 923) de las restantes muestras complejas del dominio del tiempo ($r_b^{TTI}[n]$) de la segunda parte (202, 302) del TTI actual, realizando las siguientes etapas:

- realizar una Transformada de Fourier de una señal recibida $r_a^{TTI+1}[n]$ en una primera parte de un TTI subsiguiente, que es el próximo al TTI actual y que comprende un primer símbolo de OFDM correspondiente a la señal recibida $r_a^{TTI+1}[n]$, y estimar una respuesta de frecuencia de canal (H[f]) después de descartar un CP adosado en la primera parte del TTI subsiguiente;

5 - recuperar información transmitida del primer símbolo de OFDM de la señal recibida $r_a^{TTI+1}[n]$ en el TTI subsiguiente, por ecualización de canal y decodificación de símbolos;

- reconstruir una subsiguiente señal transmitida del dominio del tiempo $s_a^{TTI+1}[n]$ correspondiente al primer símbolo de OFDM de la señal recibida $r_a^{TTI+1}[n]$ en el TTI subsiguiente, aplicando una Transformada de Fourier inversa de la información recuperada, con longitud N_{OFDM} ;

10 - eliminar la interferencia entre portadoras, ICI, de la segunda parte (202, 302) del TTI actual, por medio de la siguiente ecuación:

$$r_{b,ISI,ICI}^{TTI}[n] = r_{b,ISI}^{TTI}[n] + r_a^{TTI+1}[n] - \sum_{j=0}^{N_{tomas}^{TTI+1}-1} a'_j \tilde{s}_a^{TTI+1}[N_{OFDM} - N_{CP} + n - \tau'_j],$$

donde $r_{b,ISI,ICI}^{TTI}[n]$ indica una señal recibida en la segunda parte (202, 302) del TTI actual después de eliminar las interferencias entre portadoras y entre símbolos, $n=0, \dots, (N_{sim} - 1) \cdot N_{OFDM} - 1$, N_{tomas}^{TTI+1} indica el número de

15 tomas de CIR en el primer símbolo de OFDM del TTI subsiguiente, a'_j es una amplitud compleja de la j-ésima toma, τ'_j es un retardo discreto asociado a la j-ésima toma, y

$$\tilde{s}_a^{TTI+1}[n] \equiv \begin{cases} s_a^{TTI+1}[n], & N_{OFDM} - N_{CP} \leq n < N_{OFDM} \\ 0, & \text{en el resto} \end{cases}$$

- realizar estimación de canal, ecualización de canal y decodificación de símbolos en la segunda parte (202, 302) del TTI actual después de eliminar las interferencias entre portadoras y entre símbolos; y

20 - decodificar la FEC y des-intercalar (820, 821, 924) los símbolos complejos para obtener la información (80, 93) contenida en el TTI actual.

6. El procedimiento de acuerdo a la reivindicación 5, en el cual la identificación del número de tomas de CIR, N_{tomas} , en el TTI actual y el número de tomas de CIR, N_{tomas}^{TTI+1} , del TTI subsiguiente, por parte del receptor de OFDM (702), comprende una comparación de la amplitud de CIR absoluta, con un umbral para descartar componentes de canal de radio que estén por debajo del umbral.

7. El procedimiento de acuerdo a cualquier reivindicación precedente, en el cual la red inalámbrica de OFDM es una red inalámbrica de Evolución a Largo Plazo.

8. Un transmisor de OFDM (701) para reducir la sobrecarga de prefijo cíclico, habilitando a la vez la cancelación de interferencias entre símbolos y entre portadoras en un receptor de OFDM (702), al cual el transmisor de OFDM (701) envía información dentro de un TTI, en un conjunto de muestras complejas del dominio del tiempo, a través de un canal inalámbrico (700) de una red inalámbrica de OFDM, comprendiendo el TTI un número N_{sim} de símbolos de OFDM, estando el transmisor de OFDM (701) **caracterizado por** comprender:

- un generador de una señal del dominio del tiempo, para generar la señal del dominio del tiempo que comprende una primera parte (201, 301) del TTI para llevar muestras complejas del dominio del tiempo ($r_a^{TTI}[n]$) de un primer

35 símbolo (S_0) de OFDM, y una segunda parte (202, 302) del TTI para llevar $(N_{sim} - 1) \cdot N_{OFDM}$ muestras complejas del dominio del tiempo ($r_b^{TTI}[n]$);

- un realizador (713, 913) de Transformadas de Fourier inversas, aplicado a las muestras complejas a ser

transportadas por un cierto número de sub-portadoras (30) en el dominio de la frecuencia, para obtener el primer símbolo (S_0) de OFDM en el dominio del tiempo, teniendo la Transformada de Fourier inversa (713, 913) una longitud N_{OFDM} igual a dicho número de sub-portadoras (30), comprendiendo las sub-portadoras (30) tanto sub-portadoras de datos como sub-portadoras piloto para la estimación de canal;

- 5 - un sumador de prefijo cíclico (CP) para adosar (714, 915) el prefijo cíclico (CP) con una longitud dada por la mayor propagación de retardo esperada del canal inalámbrico (700), al comienzo del primer símbolo (S_0) de OFDM, a ser llevado en la primera parte (201, 301) del TTI que contiene una réplica de las últimas muestras de dicho primer símbolo (S_0) de OFDM;

- un codificador de Corrección Anticipada de Errores para codificar (715) bits de información a transmitir;

- 10 - un intercalador pseudo-aleatorio para intercalar (716) la información codificada antes de una correlación (717, 912) de los bits de información codificados con recursos de tiempo y frecuencia;

- medios para correlacionar (717, 912) la segunda parte (202, 302) del TTI con recursos de tiempo y frecuencia, para obtener un conjunto de $(N_{sim} - 1) \cdot N_{OFDM}$ sub-portadoras complejas en el dominio de la frecuencia, sin adosar

ningún prefijo cíclico, comprendiendo el conjunto de $(N_{sim} - 1) \cdot N_{OFDM}$ sub-portadoras complejas una

- 15 concatenación de sub-portadoras (30') correspondiente a los restantes símbolos ($S_1, \dots, S_{N_{sim}-1}$) de OFDM del TTI, comprendiendo las sub-portadoras concatenadas (30') tanto sub-portadoras de datos como sub-portadoras piloto para la estimación de canal;

- una Transformada de Fourier inversa ampliada (719, 916) con longitud igual al número $(N_{sim} - 1) \cdot N_{OFDM}$ de las sub-portadoras concatenadas (30'), para obtener los restantes símbolos ($S_1, \dots, S_{N_{sim}-1}$) de OFDM en el dominio del tiempo;

- 20

- un concatenador para concatenar (720) las muestras complejas del dominio del tiempo ($r_a^{TTI}[n]$) de la primera parte (201, 301) del TTI y las muestras complejas del dominio del tiempo ($r_b^{TTI}[n]$) de la segunda parte (202, 302) del TTI, a ser enviadas por el transmisor de OFDM (701) al receptor de OFDM (702), que realiza la cancelación de las interferencias entre símbolos y entre portadoras, usando dichas muestras complejas del dominio del tiempo (

25 $r_a^{TTI}[n], r_b^{TTI}[n]$).

9. El transmisor de OFDM (701) de acuerdo a la reivindicación 8, que comprende adicionalmente un medio de inserción de sub-portadoras piloto, para insertar (718, 914) sub-portadoras piloto en la segunda parte (202, 302) del TTI, que están dispuestas en el dominio de la frecuencia para cubrir todo un ancho de banda (BW) con una separación de frecuencia entre sub-portadoras piloto igual a $(N_{sim} - 1)$ veces la separación de frecuencia entre sub-portadoras piloto de las sub-portadoras (30) en la primera parte (201, 301) del TTI.

- 30

10. Un receptor de OFDM (702) para cancelar interferencias entre símbolos y entre portadoras en redes de OFDM, que recibe muestras complejas del dominio del tiempo ($r_a^{TTI}[n]$) en una primera parte (201, 301) de un TTI actual, y las restantes muestras complejas del dominio del tiempo ($r_b^{TTI}[n]$) en una segunda parte (202, 302) del TTI actual, **caracterizado por** comprender:

- 35 - un detector de símbolos para detectar (814, 921) un primer símbolo (S_0) de OFDM en la primera parte (201, 301) del TTI actual, separando muestras complejas del dominio del tiempo ($r_a^{TTI}[n]$) de la primera parte (201, 301) del TTI actual, de un prefijo cíclico (CP) adosado al comienzo de las muestras complejas del dominio del tiempo ($r_a^{TTI}[n]$) y de las restantes muestras complejas del dominio del tiempo ($r_b^{TTI}[n]$) de la segunda parte (202, 302) del TTI actual;

- 40 - un estimador de desplazamiento de frecuencia portadora, para estimar (811) el desplazamiento de frecuencia portadora, CFO, usando el primer símbolo (S_0) de OFDM detectado y el prefijo cíclico (CP) adosado;

- un corrector de desplazamiento de frecuencia portadora, para compensar (812) el CFO tanto en la primera parte (201, 301) como en la segunda parte (202, 302) del TTI;

- 45 - un estimador de respuesta de frecuencia de canal, para estimar la respuesta de frecuencia de canal ($H[f]$) en el primer símbolo (S_0) de OFDM detectado;

- un ecualizador de canal y un decodificador de símbolos para recuperar información en el primer símbolo (S_0) de OFDM detectado;

- una Transformada de Fourier inversa con longitud N_{OFDM} para reconstruir una señal transmitida $s_a^{TTI}[n]$ del dominio del tiempo, correspondiente al primer símbolo (S_0) de OFDM detectado;

- 5 - un estimador de respuesta de impulso de canal, para estimar (813) la respuesta de impulso de canal, CIR, realizando una Transformada de Fourier inversa de la respuesta de frecuencia de canal ($H[f]$) estimada en el primer símbolo de OFDM, e identificando un número de tomas de CIR, estando la CIR representada por

$$h[n] = \sum_{j=0}^{N_{tomas}-1} a_j \delta[n - \tau_j]$$

- 10 donde $h[n]$ indica la CIR en el dominio del tiempo, N_{tomas} indica el número de tomas de CIR identificadas, a_j es una amplitud compleja de la j-ésima toma, τ_j es un retardo discreto asociado a la j-ésima toma y $\delta(\cdot)$ representa la función delta discreta;

- medios de cancelación de interferencia entre símbolos, para eliminar la interferencia entre símbolos, ISI (815, 922) de las restantes muestras complejas del dominio del tiempo ($r_b^{TTI}[n]$) de la segunda parte (202, 302) del TTI actual, por medio de la siguiente ecuación:

15
$$r_{b,ISI}^{TTI}[n] = r_b^{TTI}[n] - \sum_{j=0}^{N_{tomas}-1} a_j \tilde{s}_a^{TTI}[n - \tau_j + N_{OFDM}],$$

donde $r_{b,ISI}^{TTI}[n]$ indica una señal de la segunda parte (202, 302) del TTI actual después de la eliminación de la ISI, n es un índice del tiempo que toma valores $n=0, \dots, (N_{sim}-1) \cdot N_{OFDM}-1$, y $\tilde{s}_a[n]$ es igual a $s_a[n]$ para $0 \leq n < N_{OFDM}$ y cero en el resto:

$$\tilde{s}_a^{TTI}[n] \equiv \begin{cases} s_a^{TTI}[n], & 0 \leq n < N_{OFDM} ; \\ 0, & \text{en el resto} \end{cases}$$

- 20 - medios de cancelación de interferencia entre portadoras, para eliminar la interferencia entre portadoras (817, 923) de las restantes muestras complejas del dominio del tiempo ($r_b^{TTI}[n]$) de la segunda parte (202, 302) del TTI actual, realizando las siguientes etapas:

- realizar una Transformada de Fourier de una señal recibida $r_a^{TTI+1}[n]$ en una primera parte de un TTI subsiguiente, que es el próximo al TTI actual y que comprende un primer símbolo de OFDM, correspondiente a la
25 señal recibida $r_a^{TTI+1}[n]$, y estimar una respuesta de frecuencia de canal ($H[f]$) después de descartar un CP adosado en la primera parte del TTI subsiguiente;

- recuperar información transmitida del primer símbolo de OFDM de la señal recibida $r_a^{TTI+1}[n]$ en el TTI subsiguiente, por la ecualización de canal y la decodificación de símbolos;

- reconstruir una subsiguiente señal transmitida $s_a^{TTI+1}[n]$ del dominio del tiempo, correspondiente al primer
30 símbolo de OFDM de la señal recibida $r_a^{TTI+1}[n]$ en el TTI subsiguiente, aplicando una Transformada de Fourier inversa de la información recuperada, con longitud N_{OFDM} ;

- eliminar la interferencia entre portadoras, ICI, de la segunda parte (202, 302) del TTI actual, por medio de la siguiente ecuación:

$$r_{b,ISI,ICI}^{TTI}[n] = r_{b,ISI}^{TTI}[n] + r_a^{TTI+1}[n] - \sum_{j=0}^{N_{tomas}^{TTI}-1} a'_j \tilde{s}_a^{TTI+1}[N_{OFDM} - N_{CP} + n - \tau'_j],$$

donde $r_{b,ISI,ICI}^{TTI}[n]$ indica una señal recibida en la segunda parte (202, 302) del TTI actual después de eliminar las interferencias entre portadoras y entre símbolos, $n=0, \dots, (N_{sim} - 1) \cdot N_{OFDM} - 1$,

N_{tomas}^{TTI} indica el número de tomas de CIR en el primer símbolo de OFDM del TTI subsiguiente, a'_j es una

5 amplitud compleja de la j-ésima toma, τ'_j es un retardo discreto asociado a la j-ésima toma, y

$$\tilde{s}_a^{TTI+1}[n] \equiv \begin{cases} s_a^{TTI+1}[n], & N_{OFDM} - N_{CP} \leq n < N_{OFDM} ; \\ 0, & \text{en el resto} \end{cases}$$

- un estimador de canal, un ecualizador de canal y un descodificador de símbolos para estimar y ecualizar un canal de radio y descodificar los símbolos en la segunda parte (202, 302) del TTI actual, después de eliminar las interferencias entre portadoras y entre símbolos; y

10 - un descodificador de FEC y un des-intercalador (820, 821, 924) de los símbolos complejos, para obtener un bloque de información (80, 93) contenido en el TTI actual.

11. Un sistema para cancelar interferencias entre símbolos y entre portadoras en redes de OFDM, que comprende un transmisor de OFDM (701) definido de acuerdo a las reivindicaciones 8 a 9 y al menos un receptor de OFDM (702) definido de acuerdo a la reivindicación 10, y conectado a través de un canal inalámbrico de OFDM (700) con el transmisor de OFDM (701).

15

12. El sistema de acuerdo a la reivindicación 11, que es una red inalámbrica de la Evolución a Largo Plazo.

13. Un producto de programa de ordenador que comprende medios de código de programa que, cuando son cargados en medios de procesamiento de una entidad de red en una red de OFDM, hacen que dichos medios de código de programa ejecuten el procedimiento de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7.

20

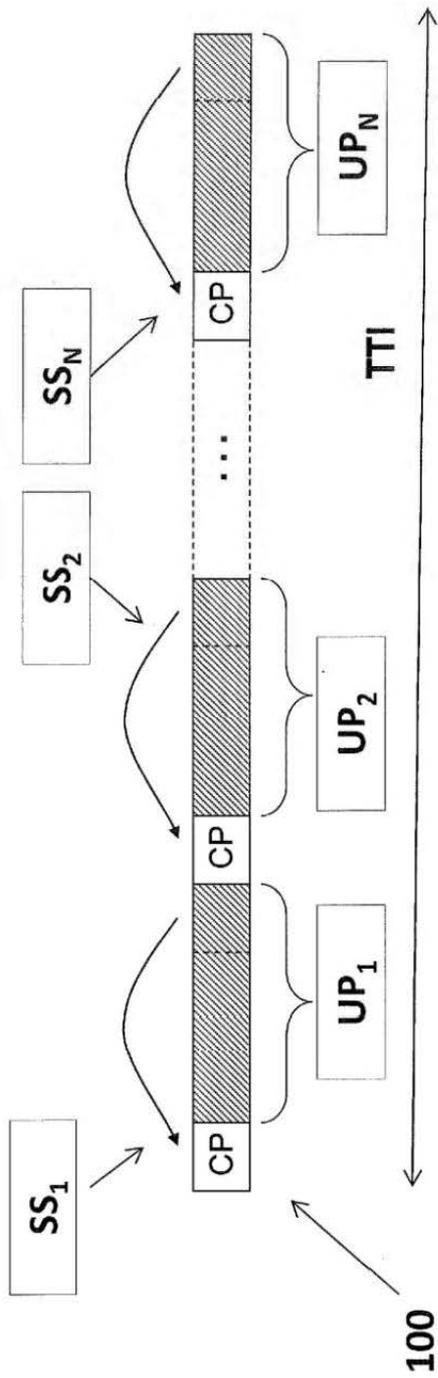


FIG. 1
(TÉCNICA ANTERIOR)

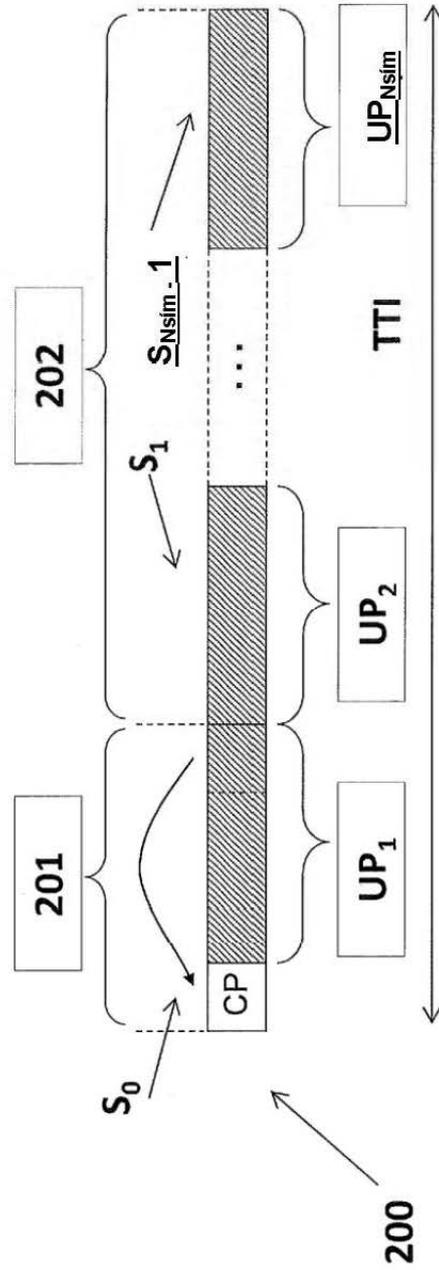
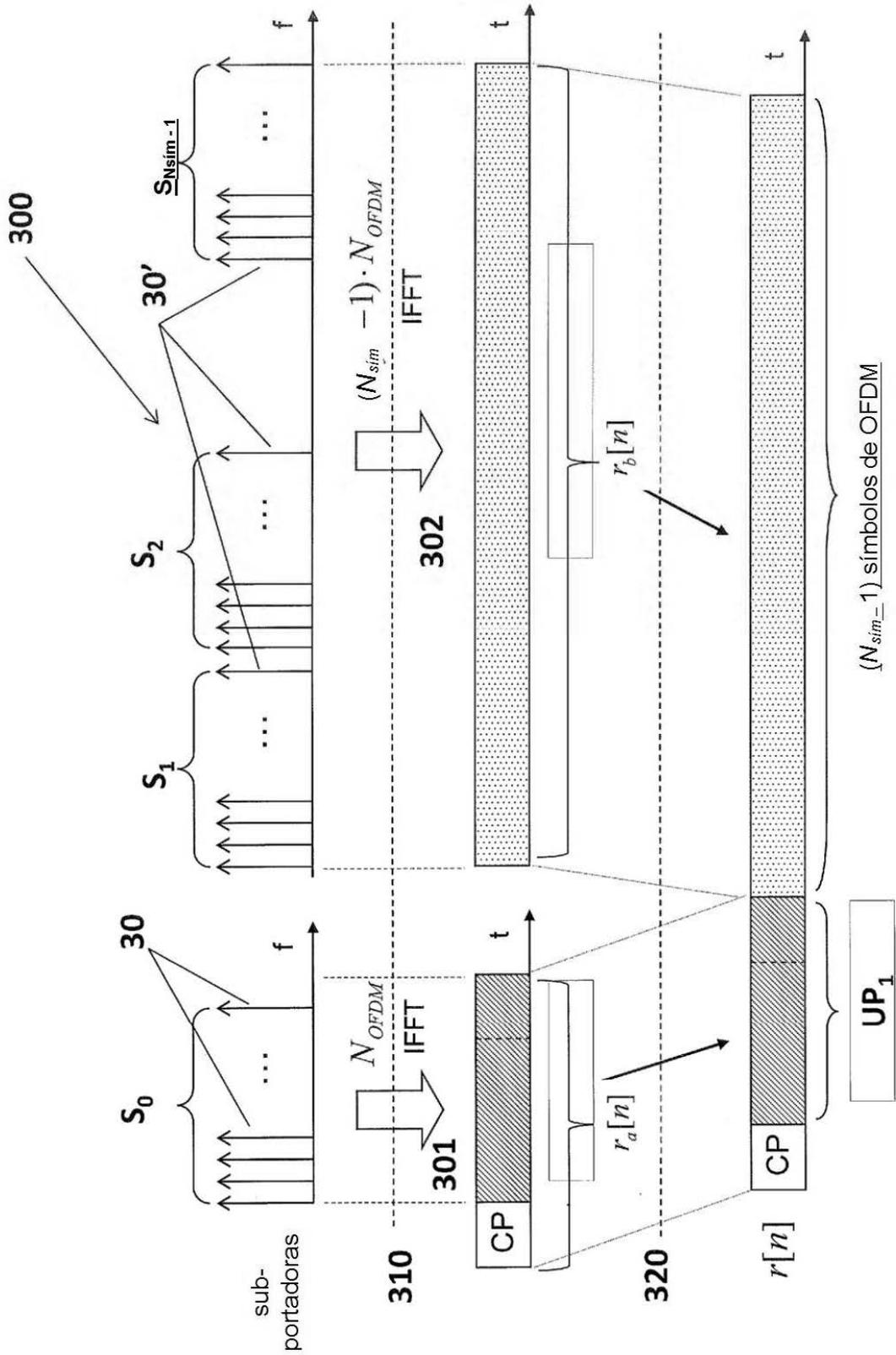


FIG. 2



$(N_{sim}-1)$ símbolos de OFDM

FIG. 3

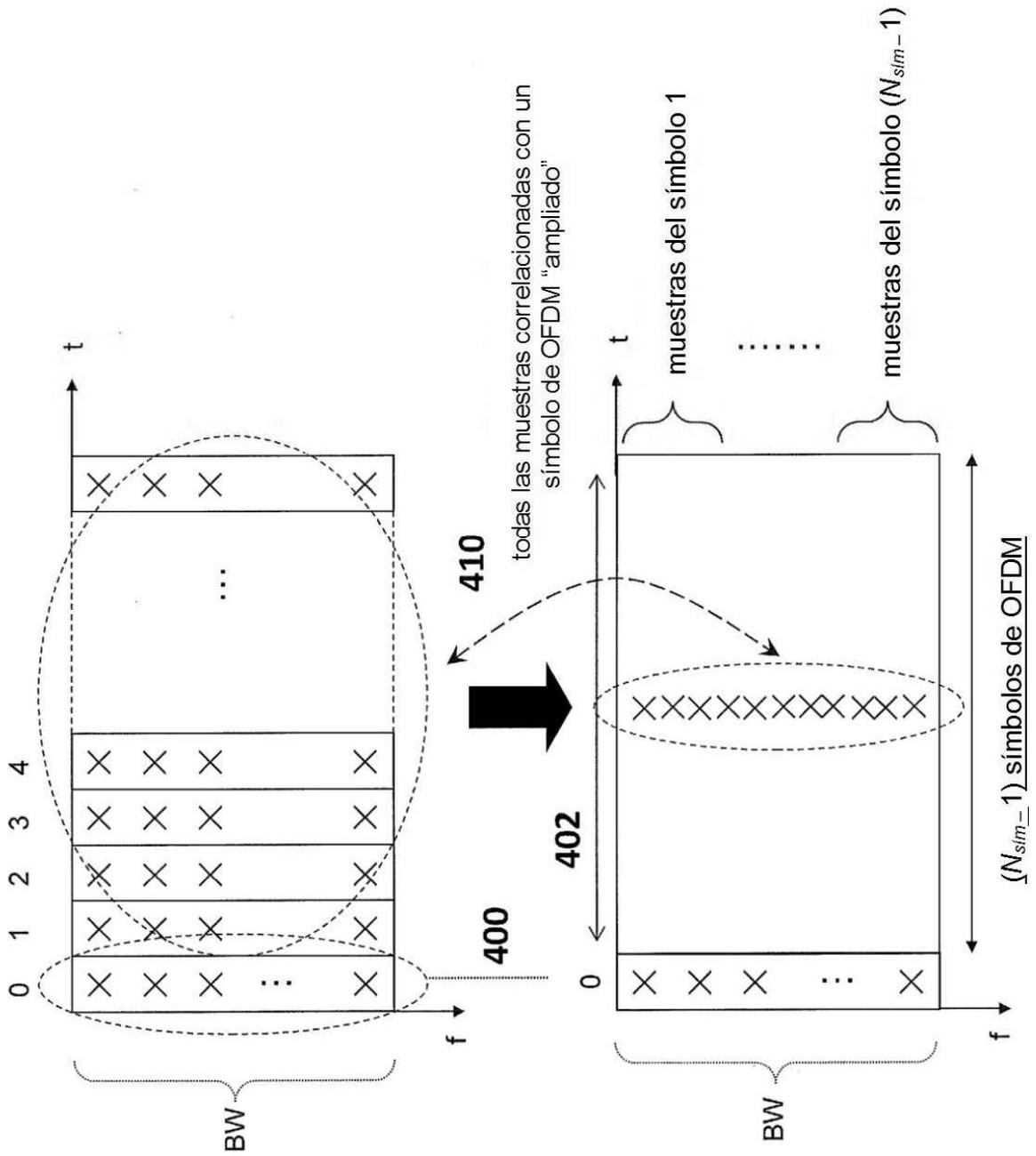


FIG. 4

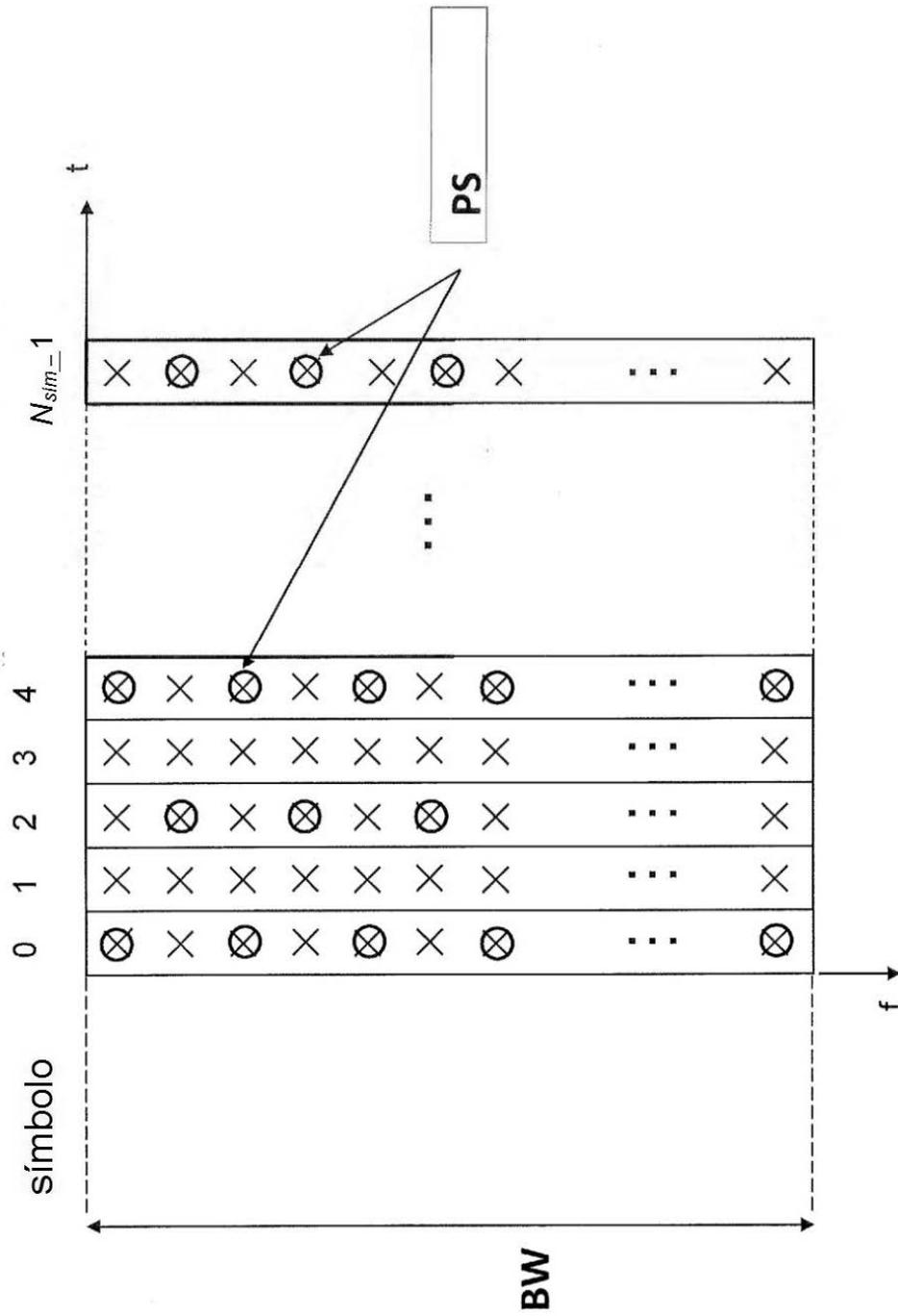


FIG. 5
(TÉCNICA ANTERIOR)

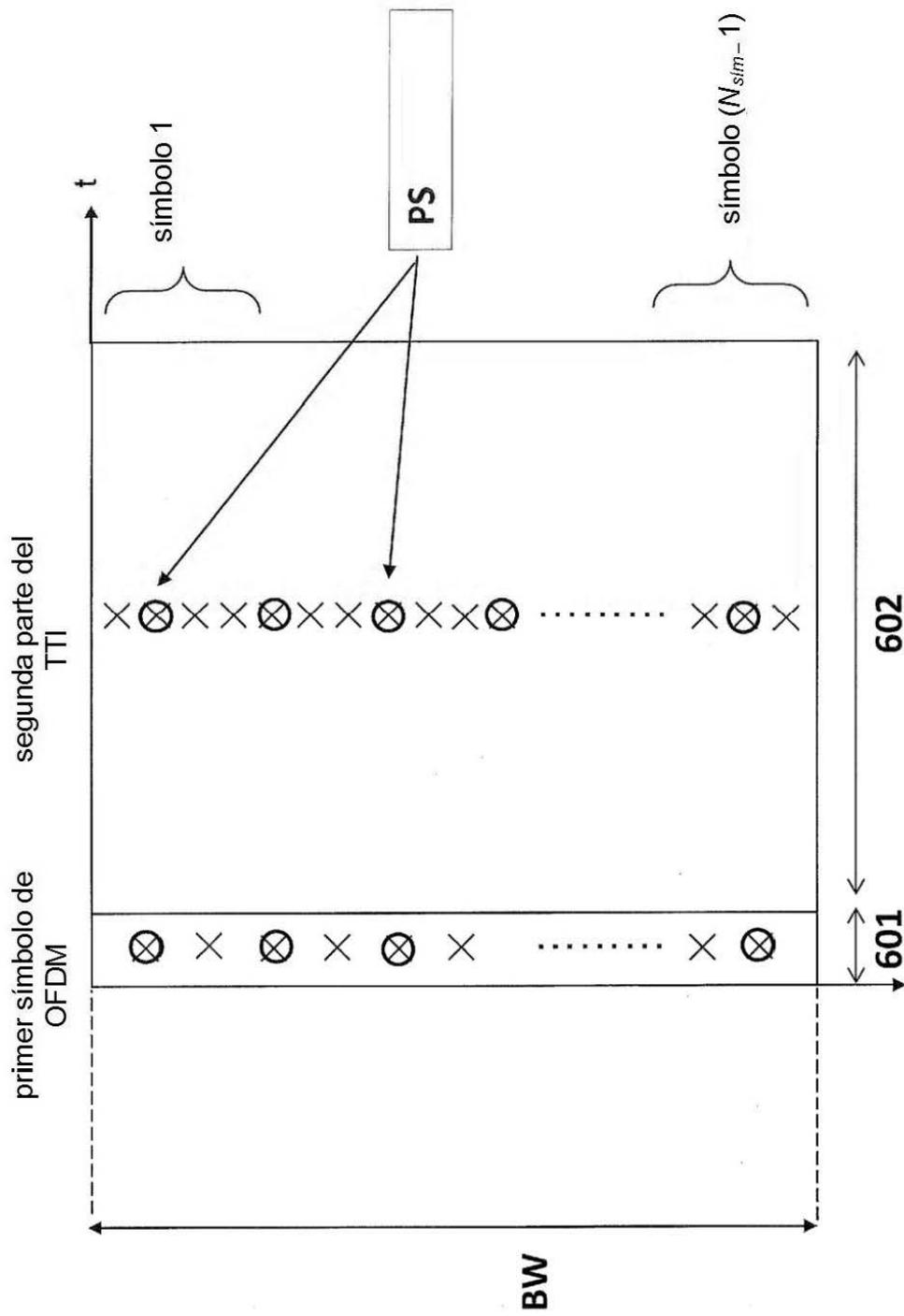


FIG. 6

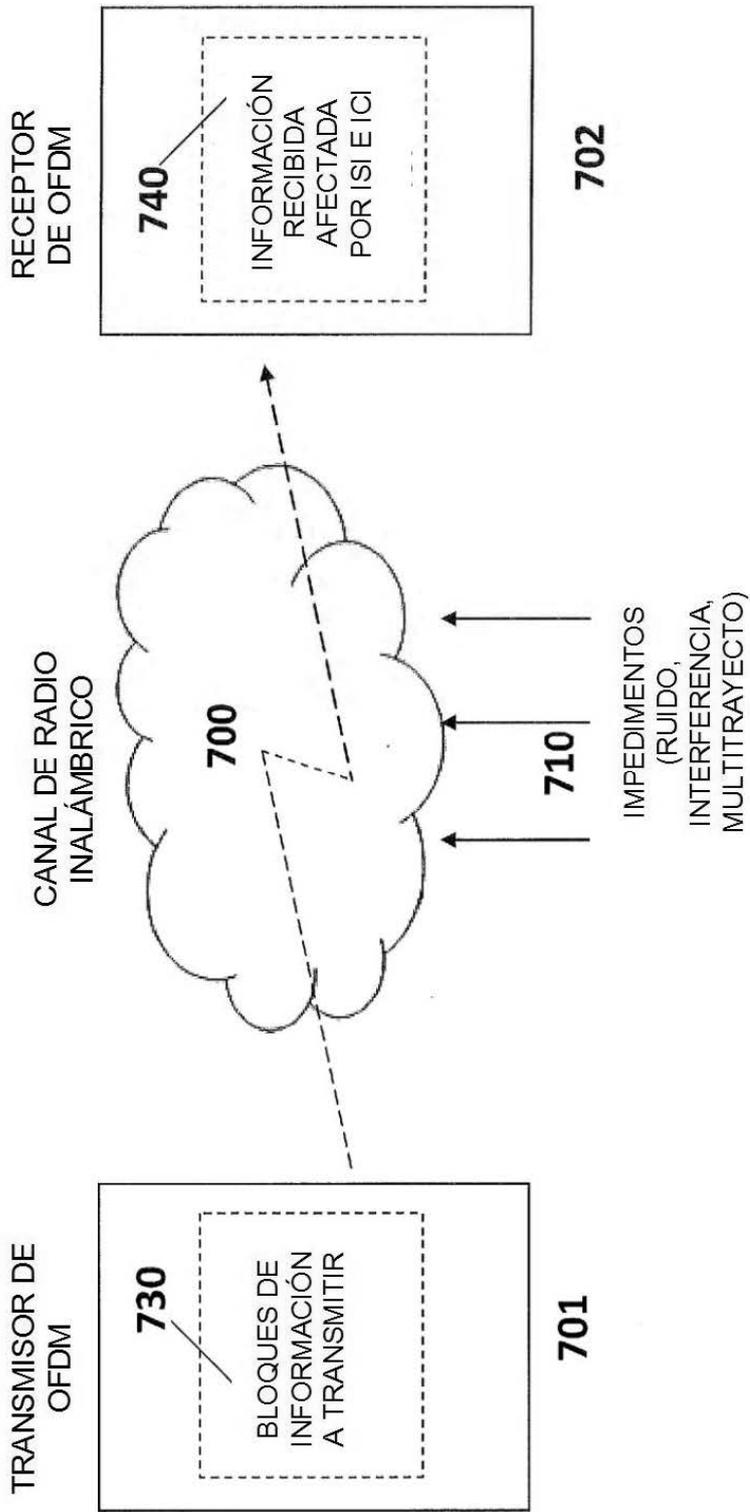


FIG. 7

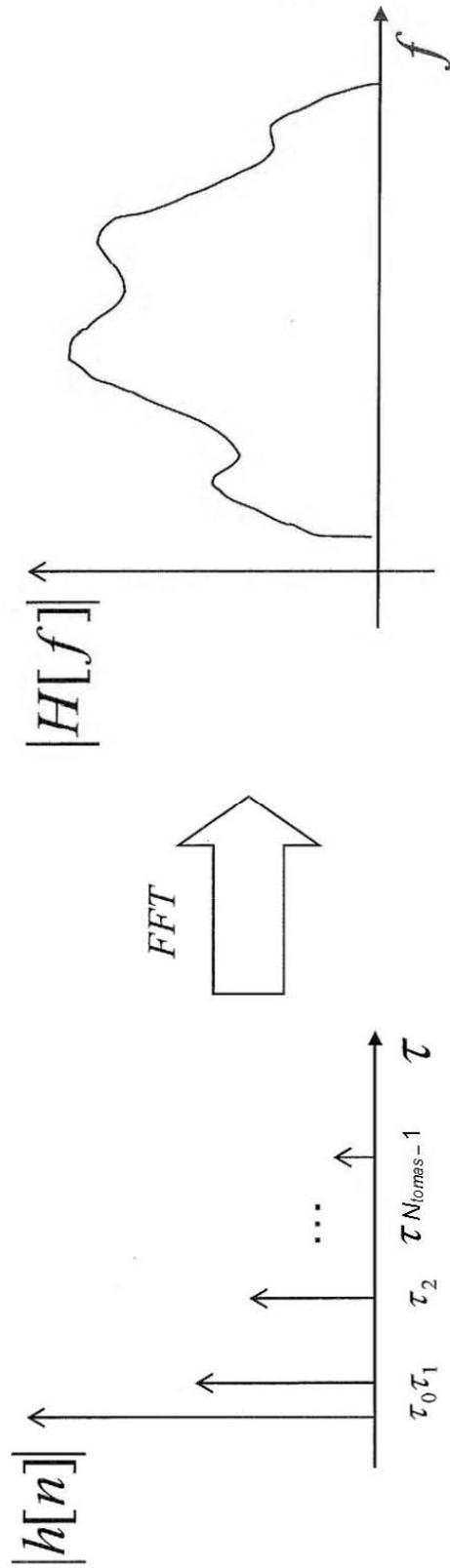


FIG. 8

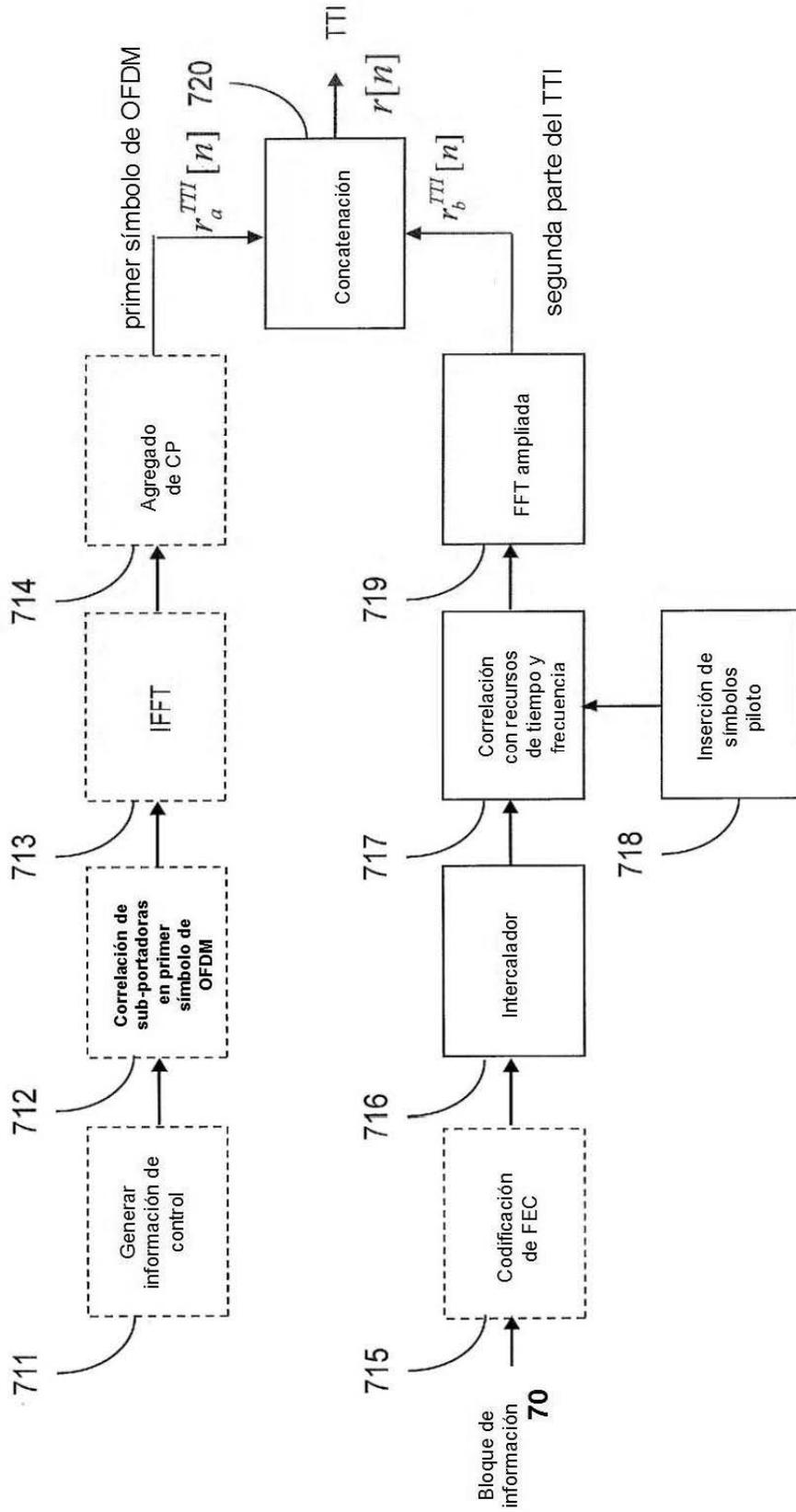


FIG. 9

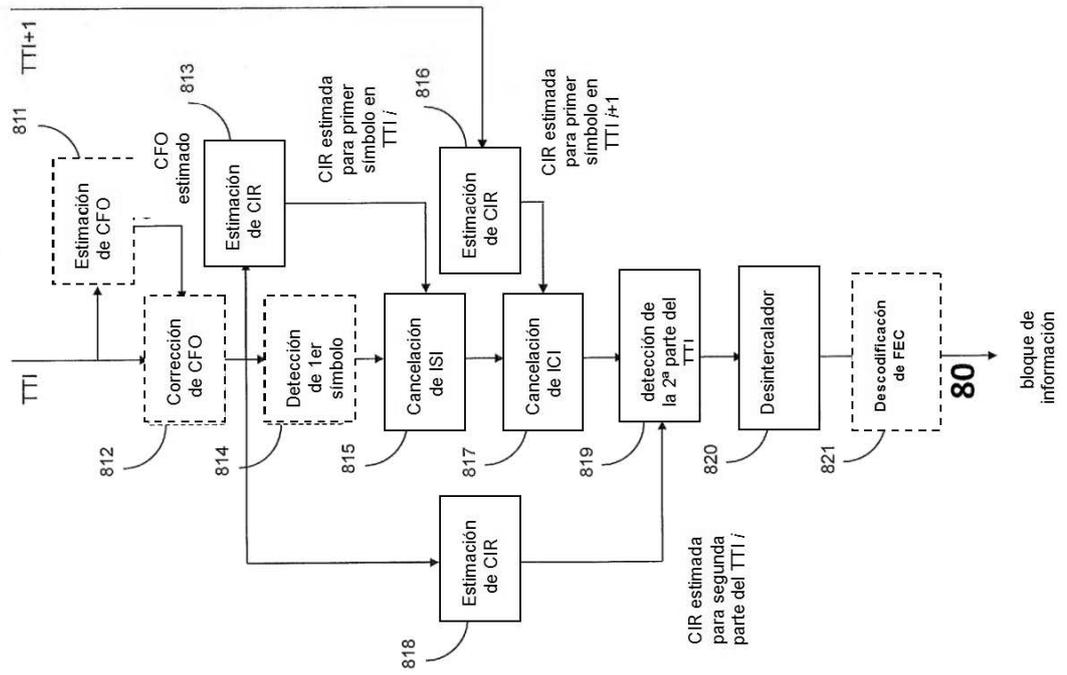


FIG. 10

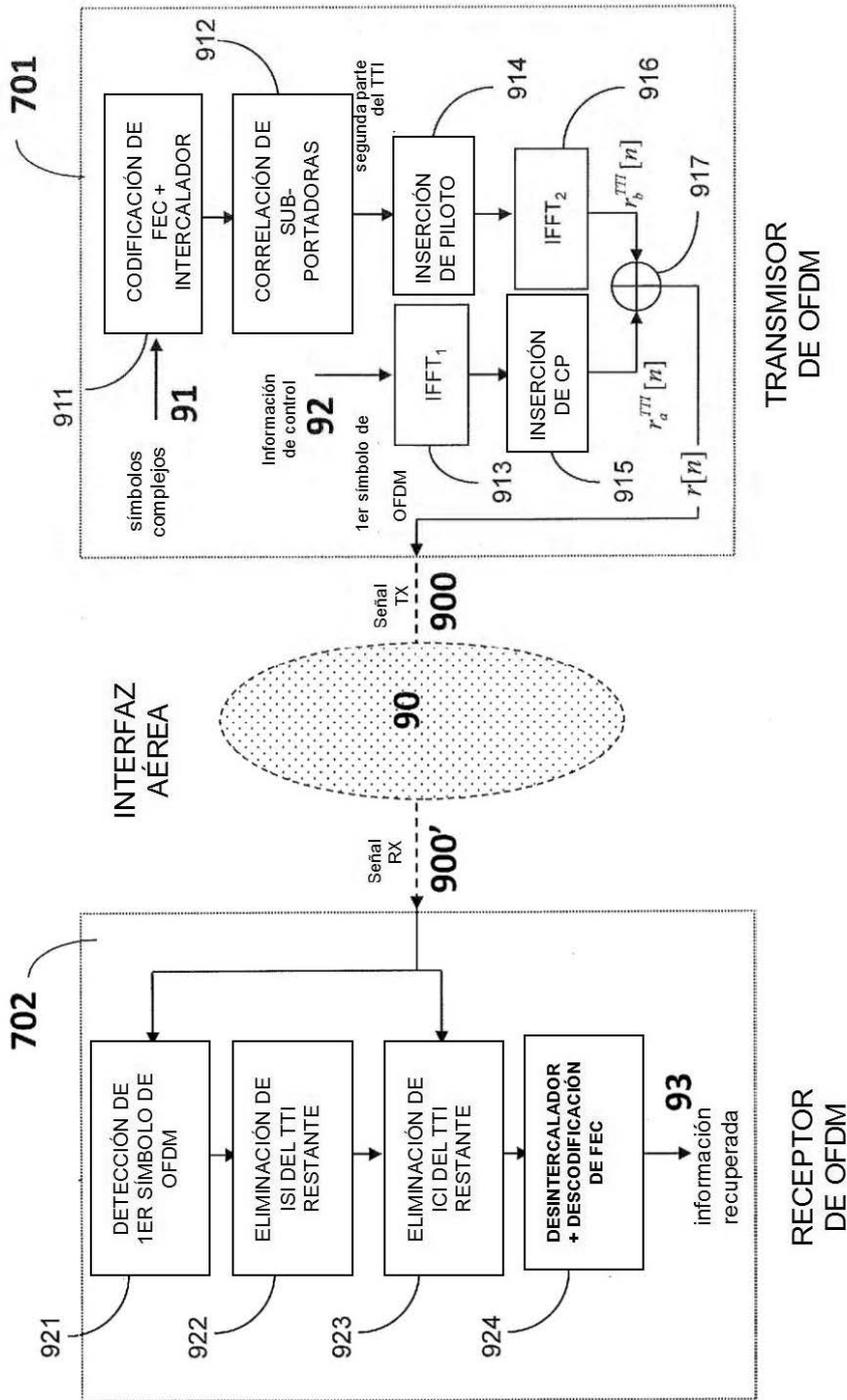


FIG. 11