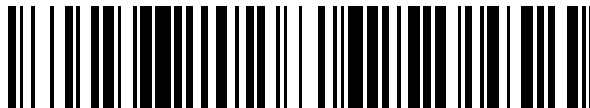


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 640 744**

51 Int. Cl.:

**H04L 27/26** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.01.2002 PCT/EP2002/00906**

87 Fecha y número de publicación internacional: **26.09.2002 WO02076056**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.01.2002 E 02716696 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.08.2017 EP 1368945**

54 Título: **Procedimiento para la sincronización en frecuencia y tiempo de un receptor OFDM**

30 Prioridad:

**16.03.2001 DE 10112773**

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

**06.11.2017**

73 Titular/es:

**ROHDE & SCHWARZ GMBH & CO. KG  
MÜHLDOFSTRASSE 15  
81671 MÜNCHEN, DE**

72 Inventor/es:

**BOTT, RAINER;  
WICKER, GÜNTER y  
KOROBKOV, DIMITRI**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

**ES 2 640 744 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 para la sincronización en frecuencia y tiempo de un receptor OFDM

- 5 La invención se refiere a un procedimiento para la sincronización en frecuencia y tiempo de un receptor para la recepción de señales OFDM, que son enviadas a una primera frecuencia portadora fija.

10 Para la transmisión de datos se utilizan en la moderna tecnología digital denominados sistemas de multiplexación por división de frecuencias ortogonales (OFDM, *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). Según este principio, el flujo de datos digitales es convertido, antes de su envío, mediante un denominado "mapeo" en símbolos de valor complejo y dividido en un gran número de señales parciales, de las cuales cada una es transmitida por separado sobre una portadora especial. En el denominado sistema DVB-T (difusión de vídeo digital, *Digital Video Broadcasting*) se utilizan, por ejemplo, 1.705 o 6.817 de tales portadoras individuales. En el receptor, estas informaciones parciales se reúnen de nuevo para formar una información global del flujo de datos digital en el lado del emisor. Este sistema OFDM es conocido y se describe más detalladamente, por ejemplo, en HERMANN ROHLING, THOMAS MAY, KARSTEN BRÜNINGHAUS y RAINER GRÜNHEID, Broad-Band OFDM Radio Transmission for Multimedia Applications, Proceedings of the IEEE, tomo 87, n.º 10, octubre de 1999, pág. 1778 y sigs.

20 En tales sistemas es importante que el receptor esté sincronizado exactamente con respecto a frecuencia y tiempo en los bloques de señal OFDM transmitidos. Debido a movimiento del emisor y/o el receptor o debido a diferencias en la frecuencia pueden aparecer desplazamientos Doppler y de frecuencia de las portadoras individuales. Además ha de tenerse cuidado de que el receptor también esté sincronizado con respecto al tiempo exactamente al comienzo del intervalo de ortogonalidad de los bloques de señal OFDM. Debido a diferencias de periodo, por ejemplo en función de la distancia entre emisor y receptor, los bloques de señal OFDM no siempre entran en el mismo momento teórico en el receptor.

30 Para la sincronización en frecuencia y tiempo de un receptor OFDM de este tipo se conoce averiguar en primer lugar, en una primera etapa de procedimiento, solo un valor aproximado de la frecuencia y del comienzo temporal y después, en una segunda etapa de procedimiento subsiguiente, un valor más preciso (HUNG-C-P et al. "JOINT FREQUENCY AND SYMBOL SYNCHRONIZATION SCHEMES FOR AN OFDM SYSTEM" WIRELESS PERSONAL COMMUNICATIONS, KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS, NL, tomo 10, n.º 3, agosto de 1999 (1999-08), páginas 309-317, XP000831348 ISSN: 0929-6212). A este respecto se conoce también ya efectuar una operación de búsqueda en frecuencia-tiempo bidimensional. En este procedimiento conocido se evalúa tanto en la primera como en la segunda etapa de procedimiento una secuencia de datos conocida de la señal recibida, lo que requiere que esta secuencia de datos sea conocida. La sincronización según este procedimiento conocido requiere relativamente bastante tiempo, ya que en cada caso debe esperarse a la repetición de la secuencia de datos que ha de evaluarse.

40 Este procedimiento de sincronización conocido aprovechando secuencias de datos conocidas de la señal se ha utilizado ya también para la mera sincronización en frecuencia sin sincronización en tiempo simultánea (WO 01/03347 A).

45 El objetivo de la invención es mostrar un procedimiento para la sincronización en frecuencia y tiempo, con el que pueda sincronizarse un receptor OFDM rápidamente y con la mayor precisión posible tanto con respecto a frecuencia como con respecto a tiempo en la señal OFDM recibida.

Este objetivo se consigue mediante un procedimiento según la reivindicación principal. Perfeccionamientos ventajosos se desprenden de las reivindicaciones dependientes.

50 En el procedimiento de acuerdo con la invención se evalúan en las dos etapas de procedimiento consecutivas en cada caso los tonos piloto transmitidos junto con las señales OFDM, que siempre están disponibles, no transmiten en sí mismos ningún dato y se transmiten siempre junto con las demás portadoras de la señal OFDM. Así puede sincronizarse de acuerdo con la invención esencialmente más rápido. Mediante la ecualización adicional de la señal OFDM, de acuerdo con un perfeccionamiento de la invención, antes de averiguar el criterio de calidad óptimo en la primera etapa de procedimiento, el procedimiento de acuerdo con la invención se vuelve además esencialmente más robusto, puede funcionar de manera práctica en canales en desvanecimiento selectivos.

60 La invención se explica más detalladamente a continuación en ejemplos de realización con ayuda de dibujos esquemáticos.

65 La figura 1 muestra el diagrama básico de un receptor de alta frecuencia para la recepción de señales OFDM, que se reciben a una primera frecuencia portadora fija en una parte de recepción E. La sincronización en frecuencia y tiempo tiene lugar en este ejemplo de realización, de acuerdo con la primera alternativa de la primera etapa de procedimiento, concretamente mediante una operación de búsqueda en frecuencia-tiempo bidimensional. La señal OFDM recibida se digitaliza tras la parte de recepción de alta frecuencia E analógica en un convertidor analógico/digital A/D y se almacena de manera intermedia en una memoria de almacenamiento intermedio S. Para

la sincronización está previsto un dispositivo de búsqueda en frecuencia y tiempo Z bidimensional, por medio del cual, durante una fase de búsqueda bidimensional, para cada valor de muestreo del convertidor A/D en un rango de frecuencias predeterminado  $f_1$  a  $f_2$ , en el que se encuentra el valor de frecuencia nominal  $f_0$  del receptor, se determina un criterio de calidad –relacionado con la frecuencia– del bloque OFDM recibido. La búsqueda bidimensional se muestra esquemáticamente en la figura 2. Entre  $f_1$  y  $f_2$  forma el rango de búsqueda en frecuencia una de las dimensiones de rango de búsqueda bidimensional, la otra dimensión la forma un rango de búsqueda en tiempo entre  $\tau_1$  y  $\tau_2$  con el comienzo temporal nominal  $\tau_0$  del bloque OFDM. En este rango de búsqueda en frecuencia-tiempo bidimensional,  $f_1$  a  $f_2$  así como  $\tau_1$  a  $\tau_2$ , se determina para cada punto en cada caso un criterio de calidad del bloque OFDM recibido. La anchura de paso, con la que se realiza la búsqueda en el rango en  $f_1$  a  $f_2$ , depende del tipo de señal OFDM y de la diferencia máxima que quepa esperar entre posición en frecuencia nominal  $f_0$  y posición en frecuencia real  $f_x$ . La anchura de paso en el eje de tiempo está definida por la tasa de muestreo del convertidor A/D, la anchura de paso puede ascender a un múltiplo de un valor de muestreo. En la figura 2 está representado rayado el rango de búsqueda total.

La señal OFDM recibida y almacenada de manera intermedia en la memoria de almacenamiento intermedio S en al menos dos bloques OFDM consecutivos se ecualiza en el canal de transmisión con mayor o menor intensidad. Estas ecualizaciones pueden repercutir en la búsqueda bidimensional, es decir, mediante una ecualización de este tipo puede desplazarse el óptimo del criterio de calidad. Es por tanto ventajoso ecualizar la señal antes de la evaluación de la búsqueda bidimensional y de averiguar el criterio de calidad. Para ello están previstos según la figura 1 en cada caso ecualizadores R que están dispuestos aguas arriba de la unidad computacional D para averiguar el criterio de calidad. Una posibilidad de la ecualización consiste en evaluar para ello los tonos piloto transmitidos con la señal OFDM, que se utilizan en general para la sincronización en fase para la demodulación coherente y pueden utilizarse en el prese caso, adicionalmente, para la ecualización. Debido a las posiciones de fase conocidas de estos tonos piloto entre sí, así como a las amplitudes conocidas, pueden averiguarse ecualizaciones de canal de manera conocida. Los ecualizadores R reciben así conocimiento acerca de la respuesta de fase y amplitud del canal de transmisión entre emisor y receptor a la frecuencia de emisión fija predefinida y pueden por tanto ecualizar la señal OFDM de manera correspondiente. Esto puede suceder, por ejemplo, multiplicando cada portadora OFDM por un valor complejo que corresponda a la respuesta de amplitud y fase del canal de transmisión. Cuando las portadoras OFDM solo están moduladas por medio de modulación en fase o frecuencia, basta en determinadas circunstancias con una multiplicación por un valor de fase que se obtenga como resultado de la estimación de la respuesta de fase del canal de transmisión. Si la portadora se multiplica no obstante en amplitud, entonces debe multiplicarse por la inversa de la respuesta de amplitud estimada (división). En caso de modulación en amplitud y fase combinada, como es el caso por ejemplo para modulaciones QAM de mayor calidad, la portadora en cuestión debe dividirse por el valor estimado complejo de la función de transmisión del canal de transmisión.

El criterio de calidad de la señal OFDM se averigua durante el transcurso de la búsqueda bidimensional para cada punto mediante comparación entre la señal de entrada (señal de salida de la memoria de almacenamiento intermedio S) y la señal de salida del ecualizador R en el ordenador D, es decir, se calcula la distancia con la que se desvía el valor de frecuencia momentáneo del valor teórico nominal. El criterio es en general la distancia euclídea, aunque también puede ser el valor absoluto de la distancia o el valor de la diferencia de fase de las portadoras individuales. A partir de los criterios de calidad averiguados así para cada punto en el rango del rango de búsqueda bidimensional para frecuencia y tiempo se averigua el punto en el rango con el criterio de calidad óptimo y el receptor puede así sincronizarse de manera aproximada, en una primera etapa de procedimiento, teniendo en cuenta la diferencia entre frecuencia nominal y el valor de frecuencia que corresponde al criterio de calidad óptimo y también puede demodularse la señal OFDM comenzando con el valor temporal que corresponde al criterio de calidad óptimo y, dado el caso, también decodificarse. Sin embargo, puesto que en esta primera etapa de procedimiento se alcanzan los verdaderos valores para frecuencia y tiempo solo de manera aproximada, en una segunda etapa de procedimiento subsiguiente, que utiliza los criterios de evaluación posteriores, se realiza la sincronización en frecuencia y tiempo precisa propiamente dicha.

En la segunda etapa de procedimiento que sigue se evalúan las posiciones de fase de los tonos piloto, que se transmiten y se reciben junto con los bloques de señal OFDM. En el demodulador del receptor se calculan, para cada bloque de señal OFDM, las fases de los tonos piloto transmitidos al mismo tiempo. A continuación se promedian adecuadamente las fases de los tonos piloto individuales de varios bloques OFDM consecutivos, es decir se filtran y se alisan. En una primera etapa, las fases de los tonos piloto averiguadas en un bloque OFDM se someten a *unwrapping* (*unwrapping* es una reproducción de las fases, que se calcularon con ayuda de la arcotangencia en el intervalo  $-\pi$  a  $+\pi$ , sobre el eje de fase continuo. A este respecto se tiene en cuenta que la fase entre bloques OFDM no cambia bruscamente). Cada una de estas fases así proyectadas puede filtrarse a continuación para elevar la precisión de medición por medio de un filtro de banda estrecha. Como filtro son adecuados una regresión lineal, el denominado filtro de estadísticos de orden tal como el filtro de mediana o estructuras PLL.

Los desarrollos de fase averiguados de los tonos piloto individuales son funciones del desfase de frecuencia, que se produce por el desfase de oscilador entre emisor y receptor así como por desplazamientos Doppler debido al movimiento de emisor y/o receptor, o por el desfase del reloj de muestreo entre emisor y receptor así como la posición relativa del tono piloto dentro del bloque OFDM. A partir de estos desarrollos de fase puede calcularse por

tanto el desfase de frecuencia y también el desfase de reloj. De esta manera puede determinarse por tanto, en la segunda etapa de procedimiento, mediante el promediado de las fases de los tonos piloto de varios bloques OFDM, la frecuencia nominal y el instante de inicio de los bloques OFDM esencialmente de manera más precisa. Con estos valores se sincroniza entonces el receptor definitivamente y también se regula posteriormente durante la totalidad del envío, es decir que durante el envío solo se utiliza todavía esta segunda etapa de procedimiento aprovechando la posición de fase de los tonos piloto para la sincronización.

Para que con el promediado de los valores de fase puedan no tenerse en cuenta, en la medida de lo posible, fuertes desviaciones que aparecen de manera aislada, se ponderan los valores de fase filtrados en función de un criterio de calidad, es decir que valores que se desvían en gran medida de los valores restantes se tienen en cuenta en menor medida en el promediado. Este criterio de calidad se relaciona multiplicativamente con los respectivos valores óptimos y se usa o bien para valorar el valor solo de forma reducida o bien para descartarlo del todo el promediado. Este criterio se deriva preferiblemente de la calidad de la decodificación del receptor OFDM. En tales receptores OFDM suele estar previsto un denominado decodificador de máxima probabilidad (ML, *Maximum Likelihood*) que tiene la propiedad de que proporciona como resultado de la decodificación también un criterio de calidad. Este criterio puede utilizarse directamente para la ponderación de los valores filtrados en el promediado. También los denominados decodificadores APP son apropiados para este fin, ya que también proporcionan un correspondiente criterio de calidad de las señales OFDM recibidas, la denominada probabilidad *a posteriori*. También el resultado de una denominada decodificación CRC es apropiado para ello como medida de calidad.

Antes de la verdadera demodulación y decodificación en el receptor OFDM A se filtran las señales de recepción aún en un filtro digital adaptativo F. Este filtro adaptativo se controla a través del demodulador del receptor A en sus valores de filtrado y se le alimentan también los valores de frecuencia y tiempo calculados en el receptor.

El punto de muestre óptimo averiguado y la frecuencia real no varían durante la transmisión, o solo muy lentamente. Una variación lenta es posible, por ejemplo, cuando emisor y receptor se alejan el uno del otro o se aproximan. Debido a la lenta variación, estos valores pueden seguirse. De este modo se siguen los valores de frecuencia y tiempo óptimos averiguados en el receptor OFDM A a través de un filtro adaptativo. Para ello es apropiado especialmente un filtro de Kalman.

En caso de funcionamiento en frecuencia fija del receptor, el filtro de entrada adaptativo F también puede actualizarse por medio de la denominada realimentación de decisión (DFE, *Decision Feedback*), demodulando y decodificando así, tras averiguar los valores de frecuencia y tiempo precisos, la señal OFDM y con ayuda de esta señal OFDM decodificada se realiza a continuación una estimación de canal y una ecualización adicionales. A través de esta DFE se sigue entonces el filtro de entrada adaptativo F.

Debido a diferencias de los osciladores en el emisor y el receptor, las fases de reloj pueden experimentar deriva. Como consecuencia de ello se genera, sin medidas adicionales en el receptor, ocasionalmente un punto de muestreo en exceso o uno de menos. Esto puede compensarse o bien regulando posteriormente el reloj de muestreo en el receptor de manera correspondiente, regulando por ejemplo el reloj para el convertidor A/D o el oscilador principal, del que se han derivado los relojes individuales. Otra posibilidad es regular posteriormente este cambio de posición en el filtro ecualizador mediante desplazamiento de fase hasta que se sobrepasen los límites de un punto de muestreo. En cuanto a estos límites se utiliza entonces simplemente la señal desplazada hacia delante o hacia atrás alrededor de un instante de muestreo.

En la primera etapa de procedimiento para averiguar de forma aproximada la frecuencia y el inicio de la señal OFDM puede utilizarse, en lugar de la operación de búsqueda bidimensional descrita, también la evaluación de una secuencia de sincronización emitida por el emisor al comienzo del envío o repetida cíclicamente o también acíclicamente, con lo cual se simplifica aún más la operación de sincronización. Como secuencia de sincronización es apropiada cualquier señal conocida, por ejemplo una denominada señal *chirp*, a través de la que puede averiguarse en el receptor directamente la frecuencia nominal aproximada y el instante de inicio nominal de la señal OFDM. Con estos valores se controla entonces de nuevo de manera correspondiente, tal como se representa en la figura 1, el filtro de entrada adaptativo F. La longitud de la respuesta de impulso de la función de transmisión global (canal + filtro de recepción) no ha de superar la longitud del intervalo de protección OFDM. La generación del filtro tiene lugar preferiblemente de modo que se genere un filtro de Viena óptimo. También en este caso puede adaptarse el filtro de entrada adaptativo mediante DFE a condiciones de dispersión variables. La segunda etapa de procedimiento subsiguiente tiene lugar de nuevo tal como se describió anteriormente.

## REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la sincronización en frecuencia y tiempo de un receptor para la recepción de señales OFDM a una primera frecuencia portadora fija, en el que se determina en el receptor, en una primera etapa de procedimiento, para los tonos piloto transmitidos junto con las señales OFDM, mediante una operación de búsqueda en frecuencia-tiempo bidimensional y averiguando el punto en el rango con el criterio de calidad óptimo de la señal OFDM, el valor nominal aproximado de la frecuencia y del comienzo temporal del bloque OFDM, en una segunda etapa de procedimiento subsiguiente, se determina en el receptor la fase de al menos uno de los tonos piloto transmitidos junto con la señal OFDM y se promedia entre varios bloques de señal OFDM y se determina partir de ello el valor nominal más preciso del comienzo temporal y de la frecuencia del bloque OFDM, y el receptor se sincroniza entonces a esta frecuencia así determinada y se demodula la señal OFDM comenzando con el valor de tiempo de inicio así averiguado.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado por que**, antes de averiguar el criterio de calidad óptimo en la primera etapa de procedimiento, se estima con ayuda de los tonos piloto transmitidos en la señal OFDM la función de transmisión del canal de transmisión para cada portadora de la señal OFDM y, en función de ello, se ecualiza la señal OFDM.
3. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que**, durante el tiempo de emisión que sigue a la sincronización en frecuencia y tiempo inicial, para la sincronización se repite continuamente, de manera periódica o aperiódica, solo la segunda etapa de procedimiento.
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que**, en la entrada del receptor OFDM está dispuesto un filtro adaptativo digital, que está controlado mediante las constantes de filtro calculadas en el receptor.
5. Procedimiento según la reivindicación 4, **caracterizado por que** el filtro adaptativo se adapta adicionalmente a condiciones de dispersión variables del canal de transmisión.
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que**, en la primera etapa de procedimiento, para cada punto de un rango de búsqueda en frecuencia-tiempo bidimensional, el cual está definido en una dimensión por un rango de búsqueda en frecuencia que incluye la frecuencia nominal de la señal OFDM y en la otra dimensión por un rango de búsqueda en tiempo que incluye el inicio nominal de la señal OFDM, se determina un criterio de calidad de la señal OFDM, a partir del mismo se averigua entonces el punto en el rango con el criterio de calidad óptimo de la señal OFDM, y, por último, teniendo en cuenta la diferencia entre frecuencia nominal y el valor de frecuencia correspondiente al criterio de calidad óptimo, se sincroniza el receptor a la frecuencia nominal y, comenzando con el valor de tiempo correspondiente al criterio de calidad óptimo, se demodula la señal OFDM.
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que**, como criterio de calidad se utiliza la desviación o la distancia entre la entrada y la salida de un ecualizador.
8. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que**, al comienzo de un envío o de manera periódica o aperiódica durante el envío, el emisor envía una secuencia de sincronización en forma de un patrón de bits especial y se averigua así el criterio de calidad óptimo.
9. Procedimiento según la reivindicación 7, **caracterizado por que** la ecualización tiene lugar mediante multiplicación de las portadoras OFDM individuales por un valor complejo, que corresponde a la respuesta de amplitud y fase del canal de transmisión.
10. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizado por que** el promediado de los valores de fase de los tonos piloto calculados en la segunda etapa de procedimiento tiene lugar mediante filtrado y alisado de varios bloques de señal OFDM.
11. Procedimiento según la reivindicación 10, **caracterizado por que** para el filtrado se utiliza una regresión lineal.
12. Procedimiento según la reivindicación 10, **caracterizado por que**

para el filtrado se utiliza un filtro de estadísticos de orden, en particular un filtro de mediana.

13. Procedimiento según la reivindicación 10,

**caracterizado por que**

5 para el filtrado se utiliza un bucle de regulación de fase.

14. Procedimiento según las reivindicaciones 11 a 13,

**caracterizado por que**

10 los valores de fase calculados se ponderan en función de un criterio de calidad de las señales OFDM y se tienen en cuenta en el promediado ponderados de manera correspondiente.

15. Procedimiento según la reivindicación 14,

**caracterizado por que**

15 como criterio de ponderación se utiliza la calidad del resultado de decodificación en el receptor.

16. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores,

**caracterizado por que**

20 en el demodulador del receptor está previsto un filtro adaptativo adicional, en particular un filtro de Kalman, mediante el cual se regulan variaciones lentas.

17. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores,

**caracterizado por que,**

25 tras averiguar los valores más precisos para frecuencia e inicio de las señales OFDM, estas se demodulan y decodifican y, con ayuda de esta señal OFDM decodificada, tiene lugar a continuación una estimación de canal y una ecualización adicionales de la señal OFDM.

18. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores,

**caracterizado por que**

30 el reloj de muestreo en el receptor se sincroniza con el reloj de muestreo en el lado del emisor mediante regulación del oscilador principal, del reloj de muestreo del convertidor A/D o mediante desplazamiento de fase en el filtro de recepción.

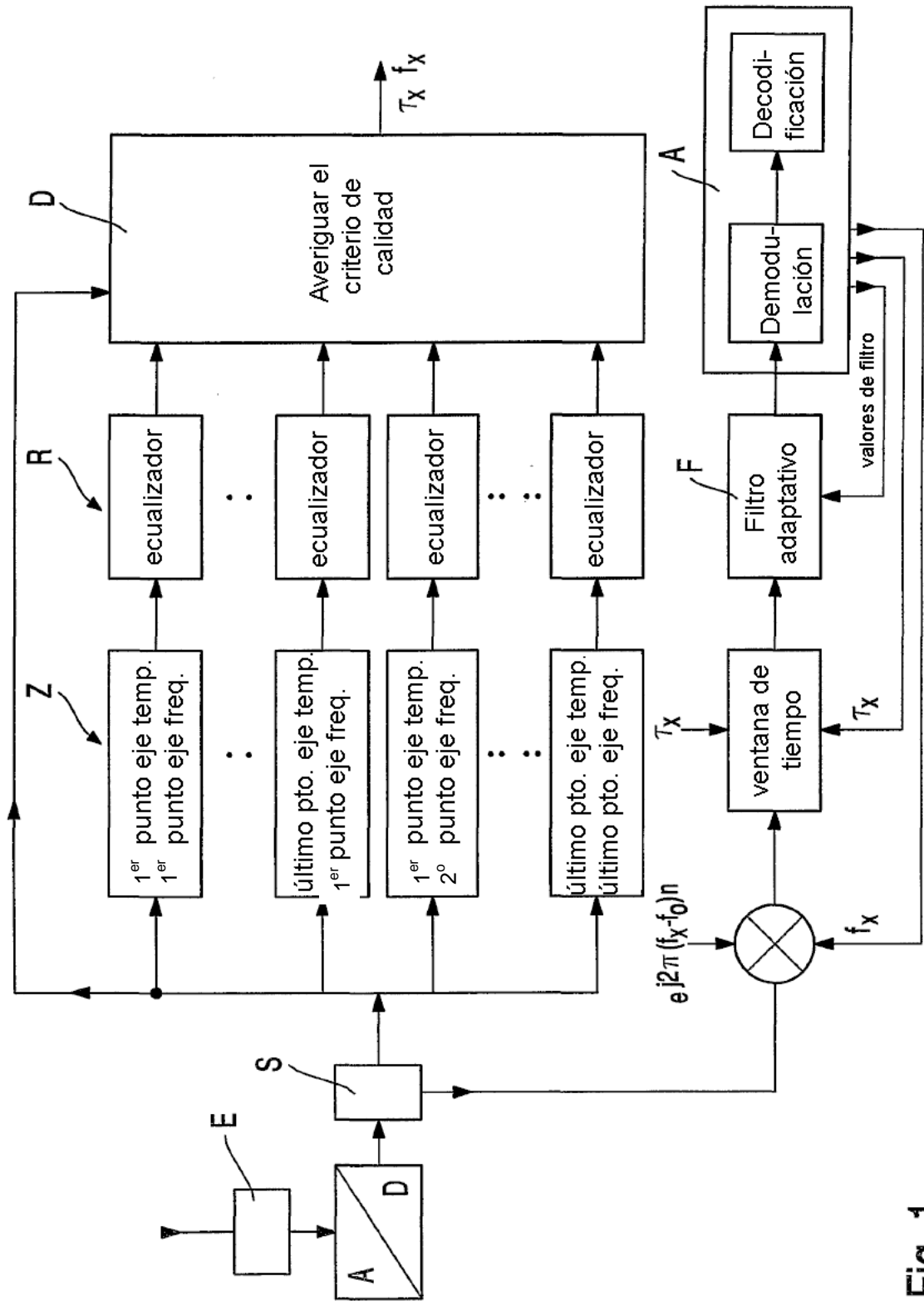


Fig. 1

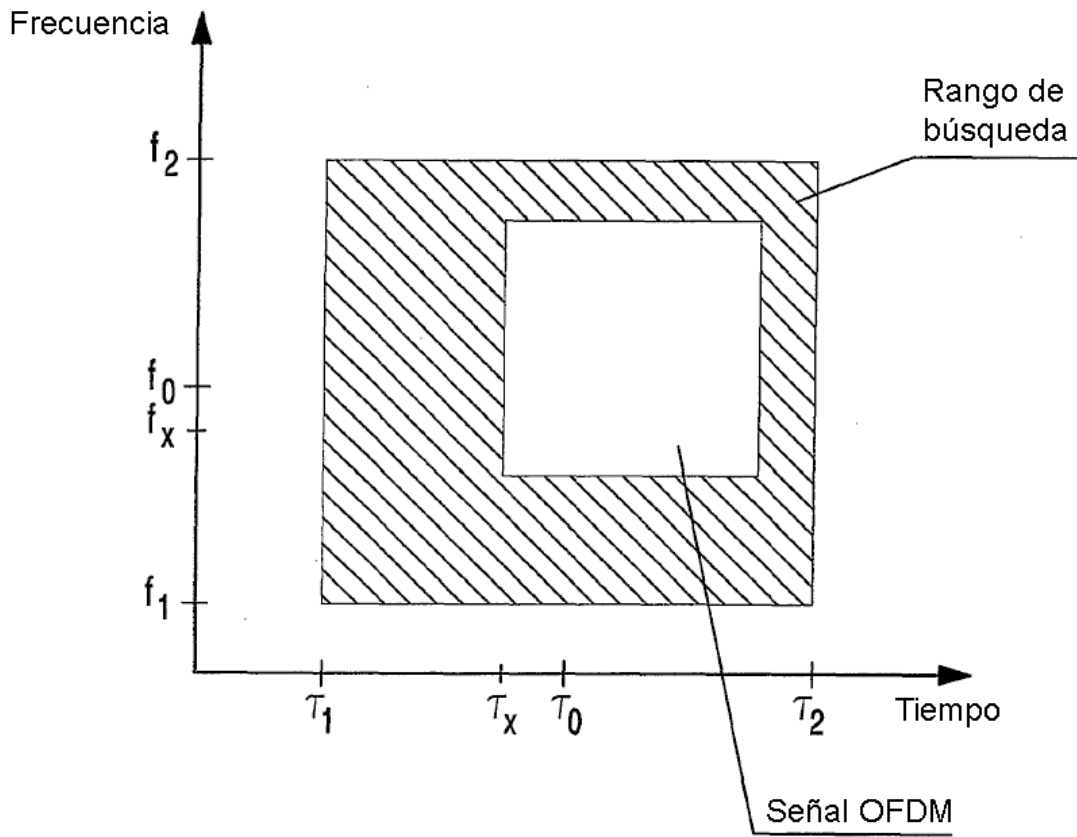


Fig. 2