

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 534 092**

51 Int. Cl.:

H04L 27/26 (2006.01)

H04B 1/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.02.2013** **E 13155421 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.03.2015** **EP 2629474**

54 Título: **Mejoras relativas a la Mitigación Adaptativa del Ruido de Impulso**

30 Prioridad:

15.02.2012 GB 201202571

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

17.04.2015

73 Titular/es:

PACE PLC (100.0%)
Victoria Road
Saltaire, West Yorkshire, Bradford BD18 3LF, GB

72 Inventor/es:

MEHBOOB, ANSER;
ZHANG, LI y
KHANGHOSSTAR, JAVAD

74 Agente/Representante:

LAZCANO GAINZA, Jesús

ES 2 534 092 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

Mejoras relativas a la Mitigación Adaptativa del Ruido de Impulso

La invención a la que se refiere esta solicitud es para mitigar el ruido impulsivo (IN) en los sistemas de transmisión de datos y, en particular, aunque no necesariamente de forma exclusiva en los sistemas de Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales (OFDM) mediante el uso de un sistema adaptativo basado en la detección de compresión (CS).

El ruido impulsivo en sistemas de múltiples portadoras ha sido un problema en la obtención de comunicaciones de datos fiables sobre redes alámbricas e inalámbricas. Muchos sistemas y métodos conocidos se han propuesto para reducir los efectos del IN en el funcionamiento de los sistemas de comunicación basados en OFDM en los sistemas inalámbricos, de DSL (Línea de Suscriptor Digital) y de Comunicaciones por Línea Eléctrica (PLC).

Un grupo de métodos conocidos usa recorte y/o anulación, mientras que otro grupo usa métodos iterativos para estimar el IN en el dominio del tiempo o la frecuencia y luego anular sus efectos. Otra área de investigación se refiere a la detección de compresión para la mitigación del IN y en la que se han hecho intentos de reconstruir el IN en el dominio del tiempo desde sus medidas parciales en el dominio de la frecuencia. Las mediciones pueden tomarse en el receptor mediante la colocación de subportadoras silenciosas en una trama OFDM en un transmisor de datos antes que la Transformada Discreta de Fourier Inversa (IDFT) y cualquier señal esparcida en el dominio del tiempo $e(n)$ - con el número de muestras distintas de cero iguales a T - puede reconstruirse con alta precisión a partir de su Transformada Discreta de Fourier $\hat{e}(k)$ que se muestrea a solo M de N frecuencias (donde $M < N$) siempre y cuando $M \geq T C \mu \log(N)$. Aquí, μ es un parámetro de coherencia y se define como el producto interior máximo entre dos columnas de unidades normadas distintas de la matriz de medición tal como una matriz DFT normalizada. En este caso especial de las mediciones de IN en el dominio del tiempo y en el dominio de la frecuencia, el valor de μ es igual a uno con la constante de proporcionalidad C que restringe los límites y el número de mediciones de IN en el dominio de la frecuencia es equivalente al número de subportadoras cero desplegado en reconstruir el IN en el dominio del tiempo.

Sin embargo, en los trabajos conocidos sobre la mitigación de IN mediante el uso de CS el esparcimiento del IN se supone que es constante y de esta manera también se fija el número de pilotos para reconstruir IN. Sin embargo, en implementaciones prácticas donde los datos a transportar en el sistema de transmisión de datos específica, tal como la Comunicación por Línea Eléctrica (PLC) el esparcimiento del IN cambia significativamente en el tiempo y esto a su vez limita la aplicación de algoritmos CS tradicionales como en los sistemas prácticos el esparcimiento del IN cambia considerablemente con el tiempo de manera que, por ejemplo, hay más disturbios de IN en algunas horas del día que en otras. Por lo tanto basarse en el número fijo de subportadoras cero puede no adecuarse en todas las circunstancias en que si la relación de perturbación (número de impulsos) del IN es alta, las mediciones insuficientes en el dominio de la frecuencia (subportadoras cero) provocarán estimaciones inexactas y así llevará a la degradación de la BER. Por otra parte, si la relación de perturbación de IN es baja, pero el número de subportadoras cero es demasiado alto o más alto que el requerido, esto provocará el desperdicio de ancho de banda disponible y como resultado disminuye el rendimiento de los datos.

En el documento EP 2 144 414 A1 (DLR EV [DE] DEUTSCH ZENTR LUFT & RAUMFAHRT [DE]) del 13 de enero (2010-01-13) se presenta un método para la compensación de las pérdidas de información en una señal de comunicaciones multiportadora basada en OFDM que se provoca por la supresión de interferencias en forma de pulsos. Las señales de interferencia en forma de pulso se eliminan en el receptor por supresión de pulso en donde los pulsos de interferencia se detectan primero y luego la señal modulada en el dominio del tiempo se pone a cero en los puntos afectados por la interferencia en forma de pulso.

El objetivo de la presente invención es por lo tanto desarrollar un esquema de Detección de Compresión Multimodo (MMCS) que cambia de manera adaptativa el número de pilotos usados para reconstruir el IN en dependencia de la gravedad actual del IN para estabilizar la Tasa de Error de Bit (BER) y mejorar el rendimiento de los datos del sistema en general. Un objetivo adicional es proporcionar un sistema con un intervalo de mitigación de IN variable con el fin de permitir el control simultáneo de la BER y el rendimiento de los datos en un sistema de transmisión de datos.

En un primer aspecto de la invención, se proporciona un método para la mitigación de los efectos de Ruido Impulsivo IN en un sistema de comunicación de datos basado en Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal OFDM, dicho método incluye las etapas de transmitir una pluralidad de tramas OFDM a través de dicho sistema de comunicación como una señal a una o más ubicaciones de recepción, la identificación de un número de impulsos que se producen con respecto a la señal de datos en ese momento y/o en un momento predeterminado y caracterizado porque, si dicho número de impulsos excede

al menos un nivel predefinido, cambia el número requerido de subportadoras cero usadas en la señal de datos con el fin de reconstruir el IN para la siguiente transmisión de tramas de OFDM.

En una modalidad, la estimación del número de impulsos se realiza de forma continua y el método adaptado en respuesta a esta.

Típicamente, el método utiliza la detección de compresión para reconstruir el IN.

Típicamente, una vez que el IN se reconstruye, este se resta de la señal recibida en el dominio del tiempo.

Típicamente, el método se aplica a los sistemas de transmisión de datos en los que el esparcimiento cambia en forma variable en el tiempo, como, por ejemplo, en las Comunicaciones por Línea Eléctrica.

Típicamente, el método mejora el desempeño de la BER significativamente en comparación con el esquema de subportadoras cero $M_1 = 32$ y el rendimiento de más de 20% en comparación con el esquema de subportadoras cero $M_2 = 128$.

En un aspecto adicional de la invención, se proporciona un método de transmisión de datos que utiliza el método de mitigación de Ruido Impulsivo como se describe en la presente.

En un aspecto adicional de la invención, se proporciona un sistema de comunicación de datos para la transmisión de señales de datos desde al menos una ubicación a una pluralidad de ubicaciones de recepción, dicho sistema que incluye medios para transmitir señales de datos que incluyen una pluralidad de tramas de datos OFDM, la estimación del número de impulsos que se producen en las tramas de OFDM en ese momento y/o en un momento predeterminado y, caracterizado porque si dicho número de impulsos excede al menos un nivel predefinido, cambia el número requerido de subportadoras cero usadas para reconstruir el IN para la siguiente transmisión de tramas de OFDM.

En un aspecto adicional de la invención se proporciona un aparato de comunicación de datos en al menos una ubicación para la recepción de señales de datos transmitidas a este, dicho aparato que incluye medios para permitir el procesamiento de dichas señales de datos recibidas, medios de análisis de la señal de datos para permitir realizar la mitigación del Ruido Impulsivo IN, dicha señal de datos que incluye una pluralidad de tramas de datos OFDM, los medios de análisis que identifican un número de impulsos que se producen en la señal de datos en ese momento y/o en un momento predeterminado y, caracterizado porque si el número de impulsos excede al menos un nivel predefinido, cambia el número requerido de subportadoras cero utilizadas para reconstruir el IN para la siguiente transmisión de tramas de OFDM.

Las modalidades específicas de la invención se describen ahora con referencia a los diagramas adjuntos; en donde

La Fig. 1 representa un valor óptimo de γ para un algoritmo usado en la invención;

La Fig. 2 ilustra gráficamente el desempeño de la BER en función del No. de impulsos de varios conjuntos de pilotos;

La Fig. 3 desempeño de la BER en función de E_b/N_0 de varios conjuntos de pilotos;

La Fig. 4 ilustra de manera esquemática la MMCS en OFDM para la mitigación del IN;

La Fig. 5 ilustra la probabilidad de ocurrencia del IN;

La Fig. 6 ilustra gráficamente el desempeño de la BER de diferentes esquemas de MMC; y

La Fig. 7 ilustra los resultados de rendimiento para diferentes esquemas de MMCS

De acuerdo con la invención, se proporciona una manera mejorada para permitir la transmisión de señales de datos a partir de al menos una ubicación del emisor o transmisor a una o una serie de ubicaciones de recepción. Las ubicaciones de recepción pueden estar en ubicaciones separadas dentro de las mismas instalaciones o pueden proveerse en diferentes instalaciones. La ubicación de transmisión o emisión puede estar en las mismas instalaciones o puede estar en una instalación remota. En cualquier modalidad, el objetivo es reducir el impacto en las señales de datos en términos de los errores que pueden ocurrir en la misma y de esta manera proporcionar un sistema de transmisión de datos más fiable, y por lo tanto el servicio más fiable, a los usuarios del aparato en la ubicación de recepción. Los datos que se transmiten pueden, por ejemplo, proporcionarse con el fin de permitir el suministro de vídeo, audio y/o servicios auxiliares en las ubicaciones receptoras tales como, por ejemplo, el suministro de servicios de televisión, de radio y/o de Internet. Como tal, con el fin de que el servicio que se presta sea de una calidad suficiente existe la necesidad de que se mantengan al mínimo los errores o la Tasa de Error de Bit (BER) en los datos que se transmiten a las ubicaciones de recepción. Los errores pueden introducirse a causa de cualquiera de los problemas en el aparato de transmisión, problemas en el aparato de la ubicación

de recepción y/o problemas provocados por el medio de transmisión, ya sea por cable o inalámbrico o fibra óptica. La presente invención proporciona un sistema, aparato y un método adaptativos que permiten el monitoreo y la adaptación de la transmisión de las señales de datos con el fin de mitigar el efecto del Ruido Impulsivo en la transmisión de datos y los errores que esto pueda provocar.

Con el fin de ilustrar el método, el sistema y el aparato de la invención y probar la misma, se usó un modelo de Bernoulli-Gaussiana para modelar la invención mediante la generación de IN mediante la multiplicación de un ruido blanco de alta potencia con una secuencia de 'unos' y 'ceros' generada a partir del proceso de Bernoulli. El término de ruido general en la subportadora m^{th} , u_m , que incluye Ruido Blanco Gaussiano Aditivo (AWGN) y el IN fue

$$u_m = n_m + b_m g_m, \quad m = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (1)$$

Donde $m = 0, 1, 2, \dots, N-1$ es el índice de la subportadora, n_m es el ruido AWGN con varianza σ_n^2 . El término b_m representa una secuencia distribuida independiente e idénticamente de 'ceros' y 'unos' que sigue el proceso Bernoulli con $prob(b_m=1) = p$, y g_m es el ruido blanco Gaussiano con media cero y varianza σ_g^2 .

La Relación Señal a Ruido se define como:

$$SNR = \frac{S}{\sigma_n^2} = \frac{E_{sym} R_{sym}}{N_o W} = \frac{E_{sym}}{N_o} \quad (2)$$

Donde S , E_{sym} , R_{sym} , N_o y W definen la potencia del símbolo, la energía del símbolo, la velocidad del símbolo, la densidad espectral de potencia del ruido y el ancho de banda, respectivamente. En las simulaciones se usó modulación BPSK y así $E_{sym}/N_o = E_b/N_o$.

Del mismo modo, la relación Impulso a Ruido se define como:

$$INR = \sigma_g^2 / \sigma_n^2.$$

En sistemas PLC típicos, σ_g^2 es 10 dB a 50 dB mayor que σ_n^2 .

El ejemplo de un sistema OFDM que se usa utiliza un esquema de modulación por Desplazamiento de Fase Binaria (BPSK) con el número total de subportadoras de datos en una trama igual a $N-M_i$ (con $i=1, 2, \dots, L$ y $M_i < N$). Donde, L denota el número de modos usados en el sistema. La trama se rellena con M_i subportadoras cero para hacer una trama OFDM completa $\tilde{s}$ de dimensión $1 \times N$. La posición de los ceros se supone que se conoce en el aparato en la ubicación del receptor. El vector OFDM en el dominio del tiempo transmitido s puede obtenerse a partir del vector en el dominio de la frecuencia $\tilde{s}^T$ como

$$s = \frac{1}{\sqrt{N}} \mathbf{F}^H \tilde{s}^T \quad (3)$$

Aquí, $\mathbf{F}^H$ es una matriz $N \times N$ de la Transformada Discreta de Fourier Inversa (IDFT) con

$$\mathbf{F}_{k,n} = e^{-j \frac{2\pi k n}{N}} \quad (4)$$

Para $n = 0, 1, 2, \dots, N-1$ y $k = 0, 1, 2, \dots, N-1$

El vector $\mathbf{s}$ se adjunta con un Prefijo Cíclico (CP) al inicio con longitudes iguales al número de salidas del canal. La trama rellena de CP se pasa luego a través de la conversión Digital a Analógica (DAC), la amplificación y se transmite por un canal inalámbrico, DSL o de la línea eléctrica mediante el uso de circuitos apropiados. Durante la transmisión, la trama transmitida está sujeta a las atenuaciones del canal y las impurezas de ruido que incluyen el IN y el canal se representa mediante el uso de un modelo equivalente al de paso bajo de tiempo discreto. En el receptor, un vector $N \times 1$ $\mathbf{x}$ después de la demodulación, el Convertidor Analógico a Digital (ADC), el filtrado y la eliminación CP toma la forma

$$\mathbf{x} = \mathbf{H}\mathbf{s} + \mathbf{u} \quad (5)$$

donde $\mathbf{u} = \mathbf{e} + \mathbf{n}$

Aquí $\mathbf{H}$ es la matriz de canal circulante $N \times N$ mientras que los vectores $\mathbf{n}$ y $\mathbf{e}$ representan $N \times 1$ el AWGN y el IN respectivamente. Para estimar el vector de IN $\mathbf{e}$ en el vector recibido $\mathbf{x}$ se usa la Transformada Discreta de Fourier (DFT) de $\mathbf{x}$ y el vector en el dominio de la frecuencia es

$$\tilde{\mathbf{x}} = \mathbf{F}\mathbf{x} \quad (6)$$

Si no hay atenuación del canal y los efectos de ruido durante la transmisión entonces se obtendría $\tilde{\mathbf{x}} = \tilde{\mathbf{s}}^T$. Sin embargo, en la presencia de atenuación del canal y los efectos de ruido (IN más AWGN), mediante el muestreo de $\tilde{\mathbf{x}}$ en (6) en solo aquellas posiciones correspondientes a subportadoras cero

$$\tilde{\mathbf{u}}_{M_i} = \mathbf{F}_{M_i} \mathbf{u} \quad (7)$$

se obtiene donde $\tilde{\mathbf{u}}_{M_i}$ es el vector $M_i \times 1$ que representa la muestra en el dominio de la frecuencia M_i en las subportadoras cero. Dado que las subportadoras cero no llevan ningún dato - la única información obtenida en las subportadoras cero es la información parcial en el dominio de la frecuencia del IN y el AWGN añadidos durante la transmisión. $\mathbf{F}_{M_i}$ es una matriz DFT $M_i \times N$ y $\mathbf{u}$ es un vector $N \times 1$ que representa las N muestras de IN más AWGN en el dominio del tiempo. Si el ruido añadido fuera solo IN es decir no AWGN, entonces la ecuación (7) puede reescribirse como

$$\tilde{\mathbf{e}}_{M_i} = \mathbf{F}_{M_i} \mathbf{e} \quad (8)$$

El vector $\tilde{\mathbf{e}}_{M_i}$ ($M_i \times 1$) representa M_i muestras de IN tomadas en el dominio de la frecuencia mientras el vector $\mathbf{e}$ ($N \times 1$) denota la muestra N del IN en el dominio del tiempo. Claramente, la ecuación (8) es un sistema no determinado con las mismas dimensiones como en la ecuación (7) y tiene un número infinito de soluciones para $\mathbf{e}$. Aquí, la teoría de la detección de compresión de la ecuación [6] sugiere que cualquier problema en la forma de la ecuación (8), es decir, una señal suficientemente esparcida $\mathbf{e}$ en el dominio del tiempo puede recuperarse de su señal parcial en el dominio de la frecuencia $\tilde{\mathbf{e}}_{M_i}$ mediante el uso del método de optimización convexa como en la ecuación [7] y la solución óptima para $\mathbf{e}$ puede expresarse como

$$\mathbf{e}_{opt} = \min_{\mathbf{e}} \|\mathbf{e}\|_{l_1} \text{ s.t. } \tilde{\mathbf{e}}_{M_i} = \mathbf{F}_{M_i} \mathbf{e} \quad (9)$$

5 Sin embargo, con AWGN adicionalmente a IN como en (7), el problema es esencialmente la estimación de un vector esparcido óptimo $\mathbf{e}$ contaminado por $\mathbf{n}$ en la forma $\tilde{\mathbf{u}}_{M_i} = \mathbf{F}_{M_i} \mathbf{e} + \mathbf{F}_{M_i} \mathbf{n}$ que puede hacerse mediante la ecuación [9]

$$\mathbf{e}_{cs} = \min_{\mathbf{e}} \frac{1}{2} \|\tilde{\mathbf{u}}_{M_i} - \mathbf{F}_{M_i} \mathbf{e}\|_2^2 + \gamma \|\mathbf{e}\|_1 \quad (10)$$

10 Adicionalmente a la ecuación (10), también pueden encontrarse otros algoritmos para resolver la ecuación (7), pero en este caso el algoritmo (10) se usa para demostrar los resultados en los que γ es un parámetro de regularización que se usa para controlar el esparcimiento del IN estimado. El límite inferior para γ dado en [9] es

$$\|\mathbf{F}^H (\tilde{\mathbf{u}}_{M_i} - \hat{\tilde{\mathbf{u}}}_{M_i})\|_{\infty} \frac{1 - (T-1)\mu}{1 - (2T-1)\mu} \leq \gamma \quad (11)$$

15 requiere el conocimiento del esparcimiento, es decir T y la estimación de $\tilde{\mathbf{u}}_{M_i}$ que es l_2 norma, es decir

$$\hat{\tilde{\mathbf{u}}}_{M_i} = \mathbf{F}(\mathbf{F}^H \mathbf{F})^{-1} \mathbf{F}^H \tilde{\mathbf{u}}_{M_i} \quad [9].$$

20 Estos dos valores cambian con cada trama así no da valor estable de γ . Por lo tanto el valor óptimo de γ se obtiene mediante la resta de las estimaciones de IN de las tramas recibidas en distintos valores de γ y la evaluación de la BER resultante [14].

La Fig. 1 muestra la BER obtenida mediante el uso de (10) a diferentes valores de γ , $E_b/N_0 = 30\text{dB}$ y $\text{INR} = 17\text{ dB}$. Claramente, el valor de γ en el intervalo de 0.001 a 0.01 da la BER óptima de modo que se elige $\gamma = 0.001$.

25 Con el fin de reconstruir con precisión el IN a partir de sus mediciones parciales en el dominio de frecuencia, el número de mediciones (subportadoras cero M_i) debe ser mayor que o igual al número de elementos distintos de cero del IN (7) multiplicado por una constante como se muestra en la ecuación 12 más adelante en la que:

$$M_i \geq T \ C \mu \log(N), \quad i = 1 \dots L \quad (12)$$

30 Convencionalmente, M_i se fija a un valor constante como en las ecuaciones 7 y 11. Como se muestra en la ecuación 12 si T aumenta uno tendría que aumentar M_i para una reconstrucción precisa de IN y la consecuente estabilización de la BER. Por el contrario, si T disminuye a uno le gustaría reducir el número de mediciones para aumentar el rendimiento. Por lo tanto, de acuerdo con la invención un método Multimodo de Detección de Compresión (MMCS) se usa para reconstruir el IN de forma adaptativa y luego restarlo de la trama OFDM recibida. En la MMCS, se usan L conjuntos de pilotos con longitudes crecientes iguales a M_i (donde $i = 1, \dots, L$). En nuestra evaluación de rendimiento, se ilustran dos casos con $L = 4$ y $L = 2$ y esto permite la manipulación del límite calculado en la ecuación 12. Aumentar el número de mediciones M_i en la ecuación 12 significa un aumento en el número de impulsos del IN detectable. En consecuencia, es posible reconstruir y eliminar el IN con una relación de perturbación más alta (es decir, mayor número de impulsos). Esto se corrobora mediante la simulación de un sistema OFDM con $L = 4$ conjuntos diferentes de subportadoras cero de longitudes de 10, 32, 64 y 128 de 256 trama ODFM de subportadoras. Las posiciones de subportadoras cero son aleatorias en la trama OFDM pero conocidas para ambos, el transmisor y el receptor. La colocación aleatoria de las subportadoras cero es similar a seleccionar al azar las frecuencias de IN más AWGN que es esencialmente la recuperación de la señal dispersa en la literatura de CS.

El desempeño de la BER de diferentes conjuntos de subportadora cero contra el número de impulsos de IN por trama OFDM se muestran en la Fig. 2, donde se observa que con 5 impulsos de IN en una trama OFDM, la mitigación de IN mediante el uso de la ecuación 10 con 10 ceros da una BER de solo 10^{-1} mientras que con 128 ceros se logra la BER de casi 10^{-5} . Los resultados demuestran claramente que con un aumento en el número de subportadoras cero, también se incrementa el número de impulsos de IN identificables en una trama OFDM.

Del mismo modo, en la Fig. 3 se muestran las curvas de desempeño de la BER en función de E_b/N_0 de cuatro conjuntos de subportadoras cero. Esta vez, en lugar de usar el número de impulsos de IN, el IN se genera a través del modelo presentado en la ecuación 1 con $Prob(b_m=1)=0.1$. Estos rendimientos validan aún más la idea de que si se aumenta el número de subportadoras cero, el desempeño del algoritmo CS también mejora pero a costa de la eficiencia espectral (o rendimiento global). Sin embargo, mediante el uso del método de la invención en la que se hace un aumento o disminución del número de subportadoras cero en función de la relación de perturbación de IN actual, se mejoran ambos, la BER y el rendimiento.

En el escenario con un alto número de muestras de IN que ocurren en las tramas OFDM, puede hacerse un cambio a un mayor número de pilotos para mantener una transmisión fiable. Mientras que, en los casos con menos muestras de IN puede usarse un número reducido de pilotos para mejorar el rendimiento global. Con el fin de que este método funcione de manera eficiente se requiere un valor estimado de *soporte* es decir índices de elementos no nulos de IN en la trama de OFDM actual, denotado como $supp(e_{cs})=\hat{I}$. Un método que puede usarse para estimar $\hat{I}$ se expone a continuación.

A. Primera Etapa de Estimación de Soporte

1. Ordene los $\mathbf{e}_{cs}$ a partir de (10) en orden descendente.
2. Denote los índices originales de los más grandes $M/2$ elementos de $\mathbf{e}_{cs}$ como $I_{M/2}$.
3. Seleccione los mayores elementos $M/2$ de $\mathbf{e}_{cs}$ como

$$\hat{\mathbf{e}}_{cs}[n] = \begin{cases} e_{cs}[n], & n \in I_{M/2} \\ 0, & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (13)$$

4. Estime el $supp(e_{cs})=\hat{I}$ mediante

$$\hat{I} = \{n : \hat{e}_{cs}[n] \neq 0\} \\ n = 0, 1 \dots N-1 \quad (14)$$

Después de conseguir la estimación de *soporte*, se aplica el método de Mínimos Cuadrados (LS) para encontrar las amplitudes óptimas del IN reconstruido.

$$\hat{\mathbf{e}} = \begin{cases} (\mathbf{F}_{M_i}^H \mathbf{F}_{M_i})^{-1} \mathbf{F}_{M_i}^H \tilde{\mathbf{u}}_{M_i} & \text{on } \hat{I} \\ 0 & \text{en otra parte} \end{cases} \quad (15)$$

El $\text{supp}(\mathbf{e}_{cs}) = \hat{I}$ estimado en (14) se restringe a solo las muestras más grandes $M/2$ de $\mathbf{e}_{cs}$. En el procedimiento anterior, se asegura que solo se detecten las muestras mayores $M/2$ del IN o, en otras palabras $M_i \geq T \times 2$ (al suponer $C_\mu \log(N) \approx 2$) y al mantener así el límite de la ecuación 12 intacto en cierta medida. Sin embargo, esta restricción en el tamaño del soporte lo vuelve inusable para la actualización del número de subportadoras cero usadas en la MMCS porque se requiere que se conozca si se supera el número estimado de impulsos producidos $M/2$ o no, y la estimación $\text{desupp}(\mathbf{e}_{cs})$ en la ecuación 13 y la ecuación 14 no proporciona información suficiente. Por lo tanto, una segunda estimación de fase se realiza como

B. Segunda Etapa de Estimación de Soporte

1. Ordene el $\mathbf{e}_{cs}$ a partir de la ecuación (10) en orden descendente.
2. Denote los índices originales de los mayores elementos de los elementos M_i de $\mathbf{e}_{cs}$ como I_{M_i} .
3. Seleccione los mayores elementos M_i de $\mathbf{e}_{cs}$ como

$$\hat{e}_{cs1}[n] = \begin{cases} e_{cs}[n], & n \in I_{M_i} \\ 0, & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (16)$$

4. Estime el $\text{supp}(\mathbf{e}_{cs1}) = \hat{I}_1$ por

$$\begin{aligned} \hat{I}_1 &= \{n : \hat{e}_{cs1}[n] > \beta A_{avg}\} \\ n &= 0, 1 \dots N-1 \\ A_{avg} &= \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} |\hat{e}_{cs1}[n]| \end{aligned} \quad (17)$$

Esta estimación es decir $|\hat{I}_1|$ (donde $||$ denota la cardinalidad es decir, el número de elementos en $\hat{I}_1$) puede usarse luego para actualizar el conjunto actual de subportadoras cero para la mitigación del IN. La constante β usada en (17) es solo una variable de control de amplitud y es igual a 3 en todas las simulaciones. Solo se usan los impulsos cuyas amplitudes son tres veces mayor que la amplitud media del IN estimado en la segunda etapa. La estimación de soporte de dos etapas es esencial para que el sistema adaptativo funcione correctamente. Como la ecuación 10 da una estimación de IN relativamente cruda con casi todos los elementos de $\mathbf{e}_{cs}$ que tienen valores distintos de cero, el método se limita, en primer lugar, a las muestras mayores $M/2$ para asegurarse de que $M_i \geq T \times 2$. En la segunda etapa, el límite se relaja para identificar si hay más impulsos que son significativamente de alta amplitud. Si el número de impulsos encontrado es más que la capacidad actual del algoritmo, a continuación, se hace un cambio a más subportadoras cero o si el número de impulsos encontrado es relativamente bajo y típicamente por debajo de un nivel predefinido, a continuación, se hace un cambio a menos subportadoras cero.

En la Fig. 4 se muestra el método adaptativo de una modalidad de la invención. De acuerdo con la teoría de detección de compresión, para estimar con precisión los impulsos de IN, el número de subportadoras cero siempre debe ser mayor que o igual al número de impulsos multiplicado por una constante es decir $C_\mu \log(N) \approx 2$. En este caso, como se proporciona un valor estimado del número actual de impulsos (es decir, $|\hat{I}_1|$), entonces si hay más impulsos que ocurren que las subportadoras cero requeridas, el número de subportadoras cero puede aumentarse o viceversa. El IN estimado ($\hat{\mathbf{e}}$) se resta finalmente de la trama OFDM recibida ($\mathbf{x}$) como se muestra en la Fig. 4.

El sistema que se muestra en la Fig. 4 se simula con un número total de subportadoras $N = 256$ y conjuntos de subportadoras cero $L=2$ es decir $M_1=32$ ceros y $M_2=128$ ceros. El sistema cambia entre los dos modos M_1 y M_2 en un bloque de Actualización de Modo Piloto de la Fig. 4 de acuerdo con el valor estimado de soporte $|\hat{I}_1|$ es decir

$$M_i = \begin{cases} i=1, |\hat{I}_1| \leq 8 \\ i=2, \text{ en otro caso} \end{cases} \quad (18)$$

5 El IN se genera en diferentes niveles de esparcimiento al cambiar $Prob(b_m=1)=p$ en la ecuación 1. El ciclo de simulación global a un valor particular de E_b/N_o se divide en tres fases con p igual a 0.01, 0.2 y 0.01 respectivamente, como se muestra en la Fig. 5.

10 Al cambiar la probabilidad de ocurrencia del impulso de 0.01 a 0.2 y luego de vuelta a 0.01, la naturaleza variable del IN puede modelarse lo que se produce comúnmente en sistemas de comunicación prácticas, tal como la que se muestra en la Fig. 8, tales como los sistemas de comunicación por línea eléctrica (PLC). Así, cuando $Prob(b_m=1)$ aumenta, el sistema de MMCS de la invención también se adapta al cambio y aumenta el número de subportadoras cero y cuando el $Prob(b_m=1)$ vuelve a la normalidad, el sistema también disminuye el número de subportadoras cero.

15 En la evaluación del desempeño de la BER se usan escenarios con 'no IN' y 'IN sin mitigación' para representar las dos posibilidades extremas en términos de desempeño de la BER para fines de comparación. La Fig. 6 muestra los resultados del desempeño de la BER en función de E_b/N_o de la MMCS en comparación con los esquemas de pilotos fijos convencionales y en el que se ilustra el rendimiento general del sistema como el porcentaje de subportadoras usadas solo para la transmisión de datos. Se obtiene el caso más cercano de desempeño de la BER a 'No IN' mediante el uso de la MMCS de acuerdo con la invención cuando hay un conocimiento *a priori* de $supp(\mathbf{e})$ - como se muestra en la Fig. 6. Cuando un conocimiento *a priori* de $supp(\mathbf{e})$ no está disponible, se utilizan los valores estimados de *soportes* es decir $\hat{I}$ y $\hat{I}_1$. Es evidente a partir de la Fig. 6 que el uso del método de MMCS con *soportes* estimados da casi el mismo desempeño de la BER como uno obtendría con 128 pilotos. Sin embargo, la MMCS ofrece un rendimiento de 70.55%, lo que mejora en gran medida el rendimiento del 50% previsto por los 128 pilotos fijos (es decir, 128 de 256 subportadoras que no contengan información). Del mismo modo, si el desempeño de la BER de la MMCS se compara con el esquema que tiene fijo 32 ceros; se encuentra que aunque el rendimiento del esquema de 32 ceros es 87,5% el desempeño de la BER del esquema de 32 ceros no es comparable y por lo tanto no podría usarse prácticamente en este escenario. Tenga en cuenta que el rendimiento para la MMCS con el soporte estimado de acuerdo con la invención es ligeramente inferior al de la MMCS con el soporte conocido de acuerdo con la invención. Esto es porque con el soporte conocido la 'Actualización Modo Piloto' en la Fig. 4 es altamente precisa.

30 Además, los resultados mostrados en la Fig. 7 también confirman que la MMCS conserva el rendimiento general alrededor de 70%, mientras que se mantiene el desempeño de la BER casi igual a la del esquema de 128 ceros que solo proporciona un rendimiento igual a 50%. Esto da una mejora de más del 20% en el rendimiento global.

35 Por lo tanto, la presente invención proporciona un sistema flexible que permite el cambio autónomo del número de subportadoras cero de acuerdo con la relación de perturbación del IN en ese momento y por lo tanto es adaptativo y flexible en respuesta al esparcimiento del IN. Se proporciona un sistema de MMCS que cambia de forma adaptativa el número de subportadoras cero de acuerdo con el número de impulsos que se producen por trama OFDM y también diseña diferentes conjuntos de subportadoras cero de diferentes longitudes, mediante la estimación del número de impulsos que se producen por trama OFDM y la elección de manera apropiada de un conjunto piloto para la siguiente transmisión. Adicionalmente, el proceso de retroalimentación permite al sistema cambiar adaptativamente el número de subportadoras cero de acuerdo con la relación de perturbación del IN.

Reivindicaciones

- 5 1. Un método para la mitigación de los efectos de Ruido Impulsivo en un sistema de comunicación de datos basado en Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal OFDM, dicho método incluye las etapas de transmitir una pluralidad de tramas OFDM a través de dicho sistema de comunicación como una señal a una o más ubicaciones de recepción, la identificación de un número de impulsos que se producen con respecto a la señal de datos en ese momento y/o en un momento predeterminado y **caracterizado porque**, si dicho número de impulsos excede al menos un nivel predefinido, cambia el número requerido de subportadoras cero usadas en la señal de datos con el fin de reconstruir el IN para la siguiente transmisión de tramas de OFDM.
- 10 2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 en donde la estimación del número de impulsos se realiza de manera continua y el método adaptado en respuesta a esto.
- 15 3. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 en donde el método utiliza la detección de compresión para reconstruir el IN.
- 20 4. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde una vez que el IN se reconstruye, se resta de la señal en el dominio del tiempo.
- 25 5. Un método de acuerdo con la reivindicación 4 en donde el IN se resta de la trama OFDM recibida.
- 30 6. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 en donde el método se aplica al sistema de comunicación de datos en donde el esparcimiento cambia en forma variable en el tiempo.
- 35 7. Un método de acuerdo con la reivindicación 6 en donde el sistema de comunicación es un sistema de comunicación por línea eléctrica PLC.
- 40 8. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde un aumento o disminución del número de subportadoras cero se hace en función de la relación de perturbación del IN en ese momento.
- 45 9. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 en donde la estimación del número de impulsos se lleva a cabo como un proceso en dos etapas que incluye una primera etapa en la que el método se limita a las mayores muestras $M/2$ para asegurar que $M_i \geq T \times 2$ y una segunda etapa en que el límite se relaja.
- 50 10. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 en donde si el número de impulsos es mayor que un nivel predefinido se realiza un aumento en el número de subportadoras cero.
- 55 11. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 en donde si el número de impulsos está por debajo de un nivel predefinido se realiza una reducción en el número de subportadoras cero.
12. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 en donde la identificación del número de impulsos que se produce se representa por un valor estimado.
13. Un método de transmisión de datos que utiliza el método de mitigación del Ruido Impulsivo de acuerdo con la reivindicación 1.
14. Un sistema de comunicación de datos para la transmisión de señales de datos desde al menos una ubicación a una pluralidad de ubicaciones de recepción, dicho sistema que incluye medios para transmitir señales de datos que incluyen una pluralidad de tramas de datos OFDM, la estimación del número de impulsos que se producen en las tramas de OFDM en ese momento y/o en un momento predeterminado y, **caracterizado porque** si dicho número de impulsos excede al menos un nivel predefinido, cambia el número requerido de subportadoras cero usadas para reconstruir el IN para la siguiente transmisión de tramas de OFDM.
15. Un aparato de comunicación de datos al menos una ubicación para la recepción de señales de datos transmitidas a este, dicho aparato que incluye medios para permitir el procesamiento de dichas señales de datos recibidas, medios para el análisis de señales de datos para permitir realizar la mitigación del Ruido Impulsivo IN, dicha señal de datos que incluye una pluralidad de tramas de datos OFDM, los medios de análisis que identifican un número de impulsos

que se producen en la señal de datos en ese momento y/o en un momento predeterminado y, **caracterizado porque** si el número de impulsos excede al menos un nivel predefinido, cambia el número requerido de subportadoras cero usado para reconstruir el IN para la siguiente transmisión de tramas de OFDM.

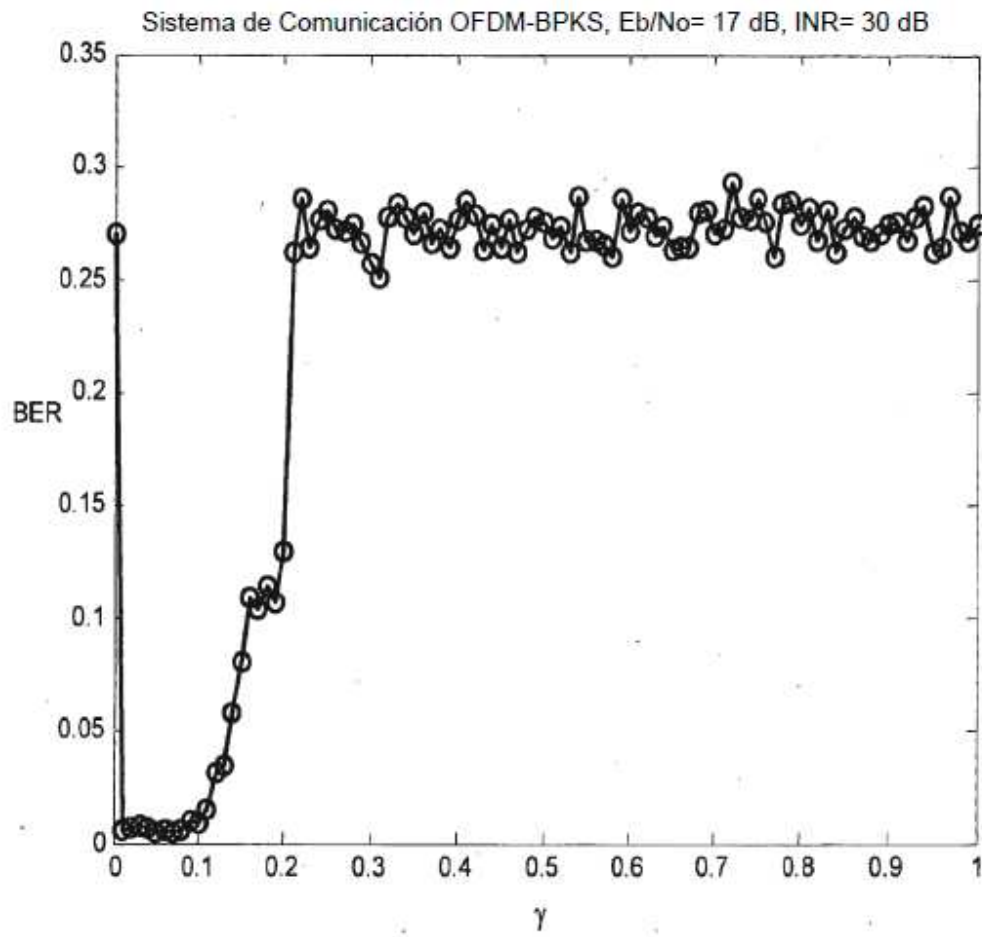


Fig. 1

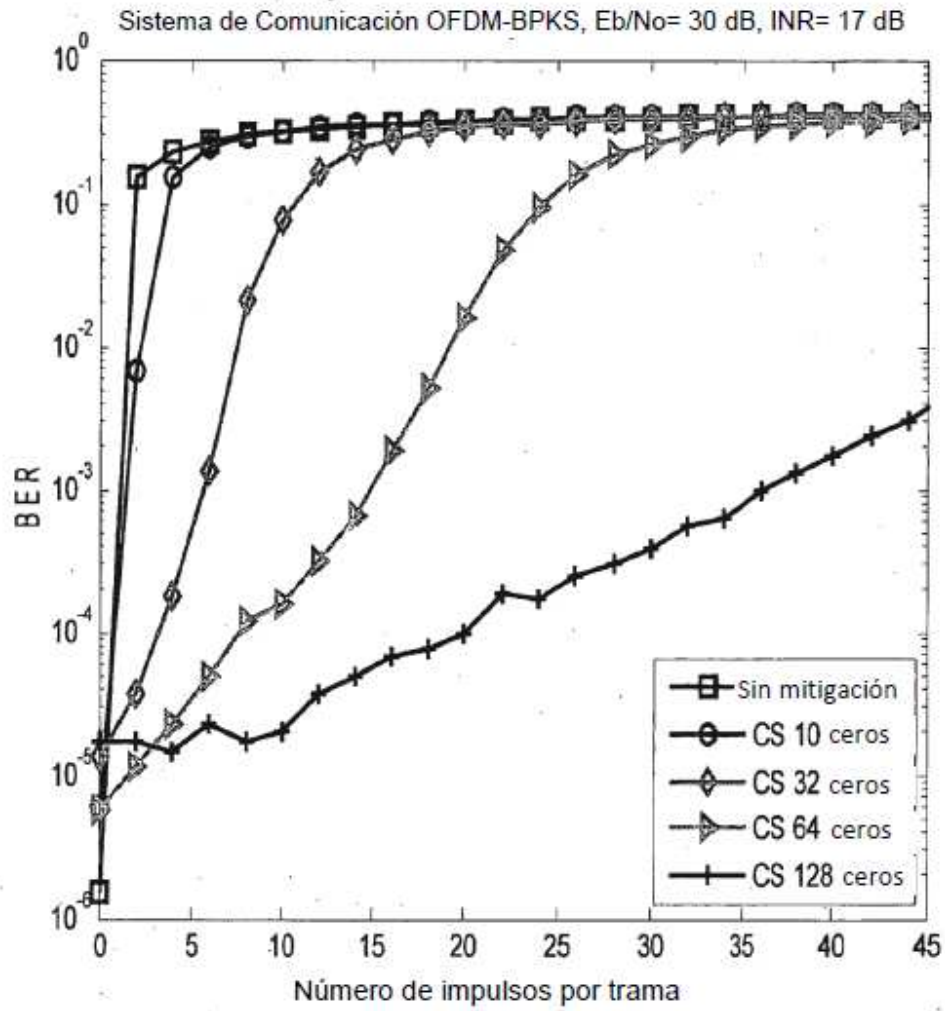


Fig. 2

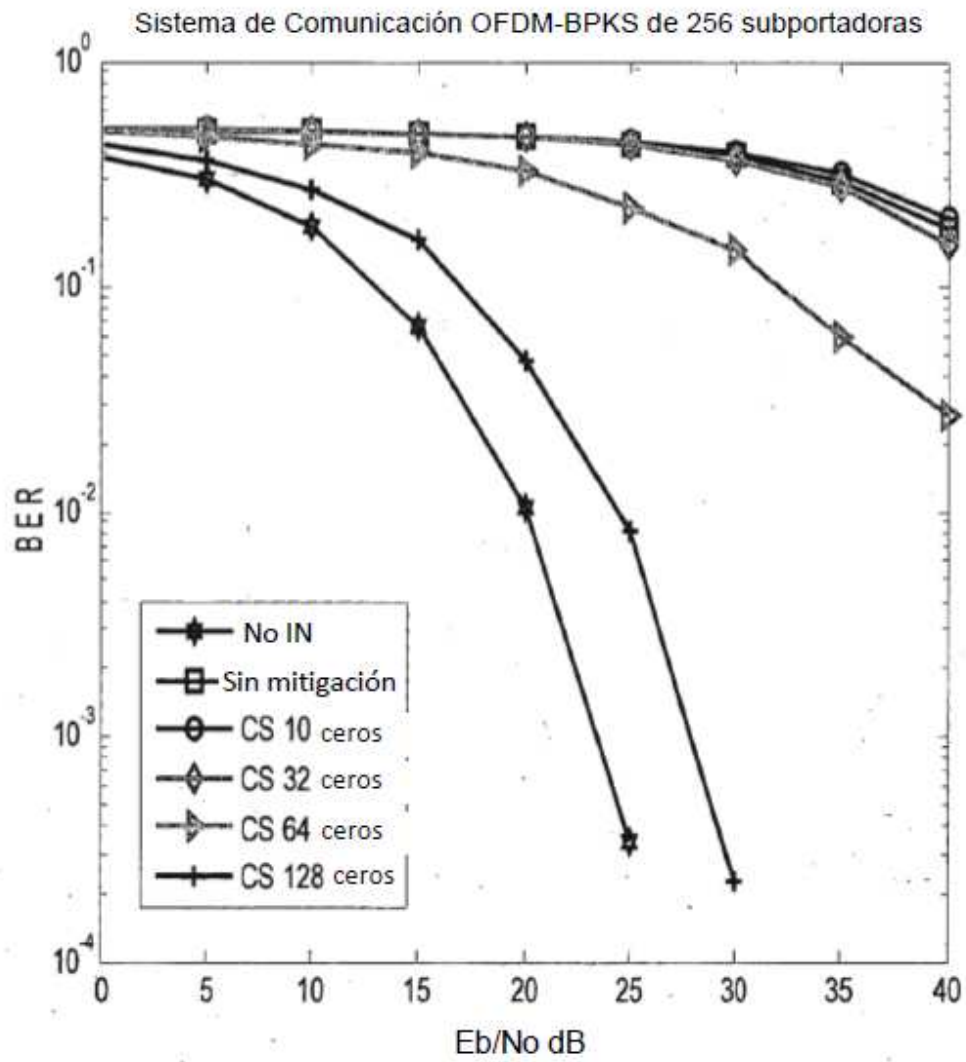


Fig. 3

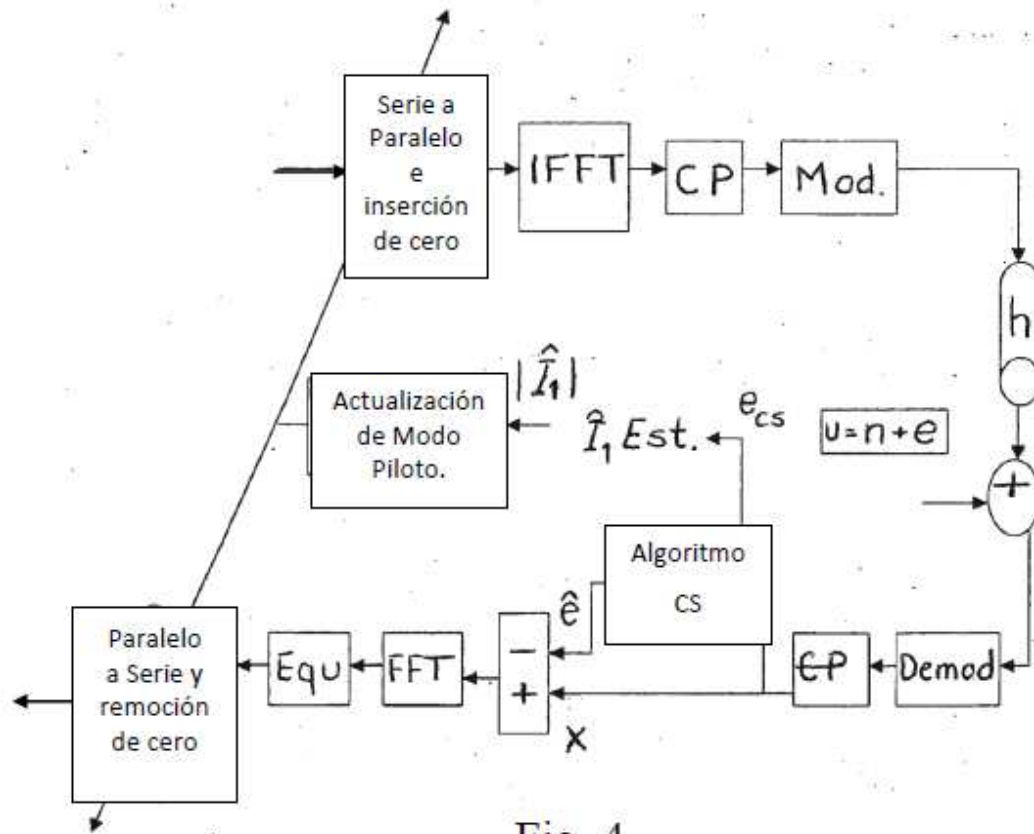


Fig. 4

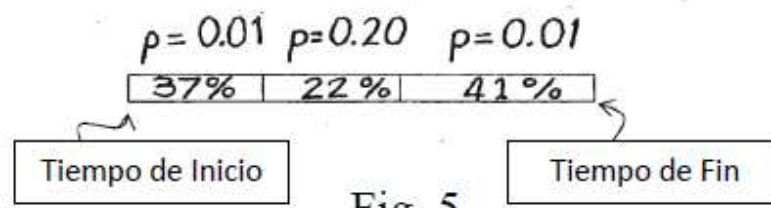


Fig. 5

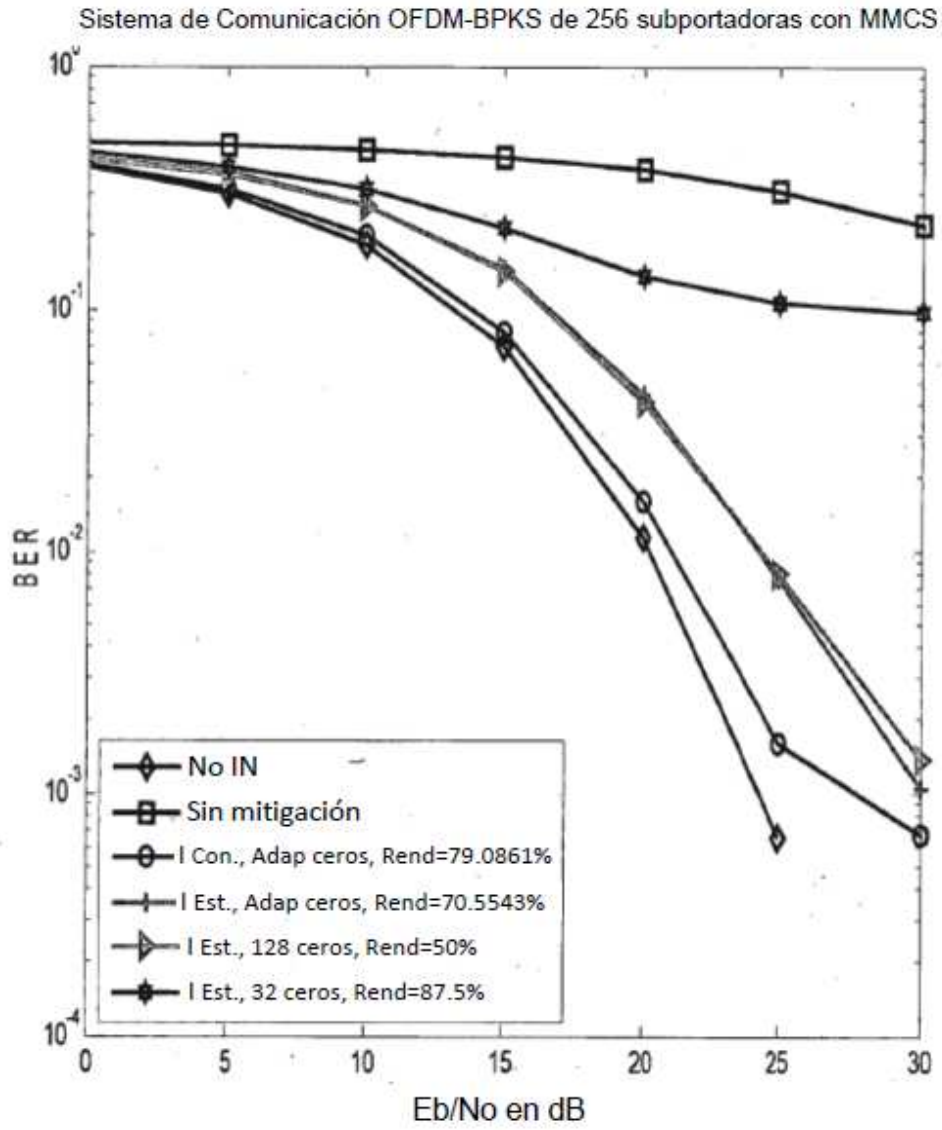


Fig. 6

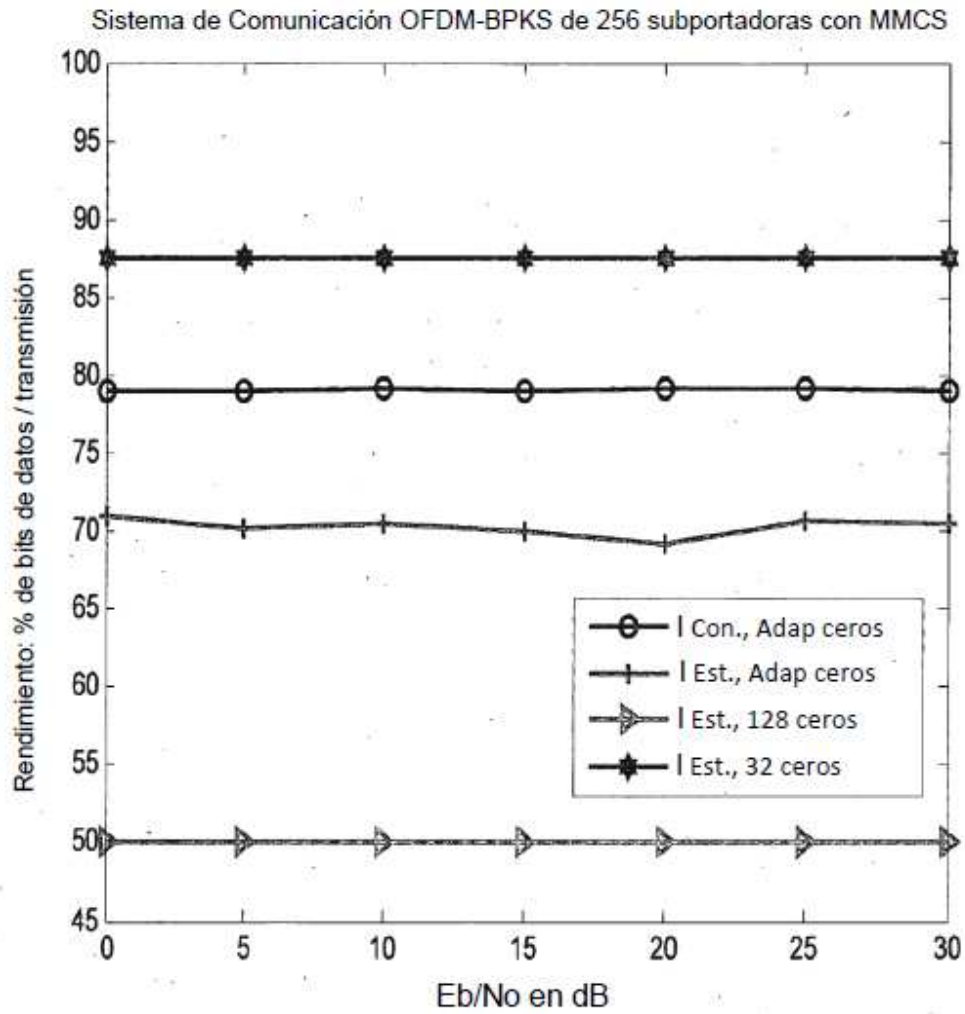


Fig. 7