

SIMULADOR INTERACTIVO DE REDES INALÁMBRICAS BASADAS EN IEEE802.11a

Antonio Cruz Cruz¹, Dayron Acosta Reyes², Arturo Infante Riello³

¹ ETECSA Santiago de Cuba, Cuba, antonio.cruz@etecsa.cu, Calle 1^{ra} Edif 18 apto 6 e/10 y 12 Reparto Versalles. Santiago de Cuba. Cuba. CP 90700

² Electromedicina Puerto Padre, Cuba, dayron6000@yahoo.com.

³ Departamento de Telecomunicaciones, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba, ainfante@fie.uo.edu.cu.

RESUMEN / ABSTRACT

Este artículo presenta los fundamentos y características básicas del diseño de un simulador de redes inalámbricas basadas en el estándar IEEE802.11a, mostrando aspectos de la capa física, canal de radio, programación e interfaz de usuario.

Palabras claves: Simulador, IEEE802.11a, redes inalámbricas, software, OFDM.

This article presents the means fundamentals and characteristics of a wireless networks simulator design based on IEEE802.11a standard, showing some aspects of the physical layer, radio channel, computer program and user graphic interfaces.

Key words: Simulator, IEEE802.11a, wireless networks, software, OFDM.

Título en inglés: Wireless network interactive simulator based on IEEE802.11a

INTRODUCCIÓN

Un simulador es un programa de computación (*software*) que imita, entre otras cosas, un sistema complejo en determinadas condiciones. Básicamente, reproduce las características esenciales de un proceso que ocurre en la vida real [1]. Asimismo, tiene gran importancia su uso, debido a que es relativamente barato, es de fácil manejo y distribución, se emplea para adiestrar al personal interesado en el tema, evitando correr riesgos la persona o el sistema en cuestión si se realiza en la realidad. Por lo cual, se pueden ahorrar diversos recursos si el sistema sufre una avería seria durante su funcionamiento. Debido a estos motivos, un simulador es ideal para la capacitación de personas e investigación en un sistema determinado antes, durante y después de enfrentarse a este en la práctica cotidiana.

Entre los estándares creados para las comunicaciones digitales de redes está la normativa 802 del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE – *Institute of Electric and Electronic Engineers*) que incluye en su serie las definiciones para redes de área personal (802.15), redes de área local (802.11), redes de área metropolitana (802.16) y redes de área amplia

(802.20). Entre las redes de computadora, las de área local son las más difundidas y están estandarizadas en su variante inalámbrica por el estándar IEEE802.11 e HIPERLAN [2].

La norma IEEE802.11a permite el establecimiento de redes de área local con velocidades de hasta 54 Mbps en la banda de los 5 GHz, y usa OFDM como base de la arquitectura [2]. Además, es una tecnología intermedia en la temática de redes inalámbricas, pues aunque es superior a la primera versión del estándar IEEE802.11, es menos compleja que el estándar IEEE802.11n

El **objetivo** de este trabajo es: desarrollar un sustento teórico y un análisis computacional que permita la creación de un programa de simulación y diseñar dicho programa usando el MatLab.

METODOLOGÍA

Según Shannon, “la simulación es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a término experiencias con él, con la finalidad de comprender el comportamiento del sistema o evaluar nuevas estrategias – dentro de los límites impuestos por un cierto criterio o un conjunto de ellos para el funcionamiento del sistema” [3].

Por tanto, un simulador es un programa de simulación, que realiza una experimentación con un modelo de una hipótesis o un conjunto de hipótesis de trabajo, imitando el funcionamiento de un sistema complejo que ocurre en la vida real.

Este es un proceso que consta de varias etapas:

- Definición del sistema.
- Formulación del modelo.
- Colección de datos.
- Implementación del modelo en la computadora.
- Validación.
- Experimentación.
- Interpretación.
- Documentación.

Es necesario hacer primeramente un análisis preliminar del sistema a simular, con el fin de determinar la interacción con otros sistemas, las restricciones del sistema, las variables que interactúan dentro del sistema y sus interrelaciones, las medidas de efectividad que se van a utilizar para definir y estudiar el sistema, y los resultados que se esperan obtener del estudio [4].

Luego, se define y construye el modelo con el cual se obtendrán los resultados deseados. En la formulación del modelo se necesita definir todas las variables que forman parte de él, sus relaciones lógicas y los diagramas de flujo que describan en forma completa el modelo [4].

Es importante que se definan con claridad y exactitud los datos que el modelo va a requerir para producir los resultados deseados [4].

MODELO MATEMÁTICO

El estándar IEEE802.11a es una evolución del IEEE802.11, el cual fue desarrollado para proporcionar conectividad multimedia inalámbrica a terminales portátiles, en ambientes de área local, llamados WLAN.

El estándar IEEE802.11a define 8 canales en la banda de 5.15 a 5.35 GHz, y 4 en la banda de 5.725 a 5.825 GHz. La tasa de 54 Mbps es suficiente para soportar las necesidades presentes y futuras de tráfico a nivel de WLAN, tal como transmisión de audio digital, telefonía con voz sobre IP (VoIP), acceso a Internet, televisión digital, transmisión de ráfagas de DVD y servicios de video por demanda (VoD) [5], además de ser un paso intermedio a nuevos estándares más veloces.

IEEE802.11a especifica una capa física de modulación de multiportadoras ortogonales (OFDM) subportadoras separadas para proporcionar transmisión de datos a una tasa de 6,

9, 12, 18, 24, 36, o 54 Mbps. Esta capa física (PHY) está dividida en las capas: Procedimiento de Convergencia de la Capa Física (PLCP - *physical layer convergent procedure*) y Subcapa Dependiente del Medio Físico (PMD - *physical medium dependent*) [6].

PARÁMETROS	VALORES
Tasa de transferencia	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 y 54 Mbps
Modulación	OFDM BPSK OFDM QPSK OFDM 16-QAM OFDM 64-QAM
Código de corrección de error	K = 7 (64 estados) código convolucional
Tasa de codificación	1/2, 2/3, 3/4
Número de subportadoras	52
Duración del símbolo OFDM	4.0 μ s
Intervalo de guarda	0.8 μ s
Ancho de banda ocupado	16.6 MHz

Tabla 1. Principales parámetros de la capa física (PHY)

Características generales de OFDM

OFDM es una forma especial de modulación multiportadora (MCM). Vale la pena mencionar que OFDM puede ser visto tanto como una técnica de modulación como de multiplexación. El principio básico de OFDM es dividir un flujo de datos de alta tasa de transferencia en un número de flujos de reducida tasa de transferencia, que son transmitidos simultáneamente sobre un número de subportadoras [7].

Debido a que aumenta la duración del símbolo para subportadoras paralelas de reducida tasa de transferencia, disminuye la relativa cantidad de dispersión en el tiempo, causado por las demoras de las multitrayectorias.

La interferencia intersímbolos se elimina casi completamente por la introducción de un intervalo de guarda en cada símbolo OFDM (Ver Fig. 1), donde las señales OFDM son cíclicamente extendidas para evitar interferencias inter-subportadoras [8].

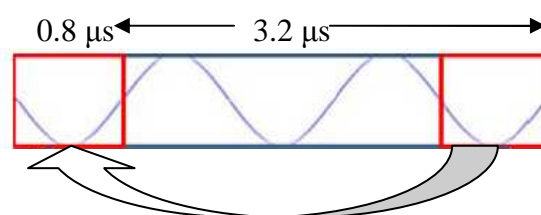


Fig. 1. Inserción del tiempo de guarda

Una de las principales razones para el uso de OFDM es aumentar la robustez contra el desvanecimiento selectivo de frecuencia o la interferencia de banda estrecha. En un sistema monoportador, un solo desvanecimiento o interferente puede causar que todo el enlace falle, pero en un sistema multiportadora, solo un pequeño porcentaje de subportadoras pueden ser afectadas, para corregir las pocas portadoras erróneas puede usarse una codificación de corrección de errores [9].

Dos señales son ortogonales si el producto punto a punto de ellas es cero. Es lo mismo que decir que si se tienen dos señales, se multiplican entre sí y se integran sobre un mismo intervalo, y el resultado es cero, entonces son ortogonales en ese intervalo [8].

Para OFDM, las subportadoras tienen espectro nulo a las frecuencias de otras subportadoras, lo que logra la ortogonalidad deseada (Ver Fig. 2).

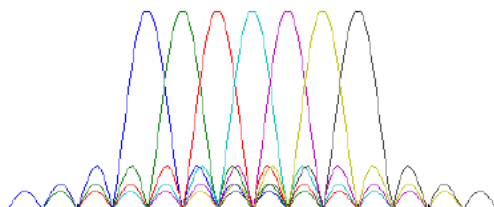


Fig. 2. Espectro de OFDM

Una de las características que hacen fácil de implementar a OFDM es el hecho de que cada subportadora se genera usando la IFFT y no como osciladores individuales. Partiendo, por ejemplo, de crear un símbolo con una sola portadora (Ver Fig. 3). La magnitud y la fase de la portadora son determinadas por la constelación a transmitir. El número complejo que se representa se pasa a un buffer FFT y se le calcula la IFFT. Esto produce muestras en el dominio del tiempo que serán transmitidas [8].

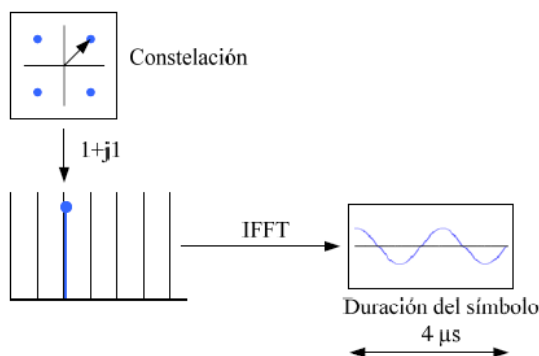


Fig. 3. Uso de la IFFT

Ventajas del uso de OFDM

Entre las ventajas del uso de OFDM tenemos:

- Alta eficiencia espectral debido a la cercanía del espectro de frecuencias rectangular para un número altos de portadoras.
- Realización digital simple por el uso de la operación de la Transformada Rápida de Fourier.
- Receptores de baja complejidad debido a que se evita ISI e ICI con un intervalo de guarda suficientemente largo.
- Puede realizarse una adaptación de espectro flexible.
- Diferentes esquemas de modulación en subportadoras individuales quienes son adaptadas a las condiciones de transmisión en cada subportadora.

Sistema definido por IEEE802.11a

El diseño del sistema se divide en tres partes:

- Transmisor
 - Formación del preámbulo.
 - Formación de la cabecera.
 - Determinación de los parámetros dependientes de la tasa de transferencia.
 - Formación del campo de datos.
 - Aleatorización de los datos.
 - Reemplazo de los últimos 6 bits.
 - Codificación convolucional.
 - Reordenamiento de los datos.
 - Modulación en banda base.
 - Formación de los símbolos OFDM.
 - Inserción de los tonos pilotos.
 - Conversión de cada portadora al dominio del tiempo usando la IFFT.
 - Concatenación de símbolos.
 - Transmisión.
- Recepción
 - Detección de sincronismo usando las secuencias largas y cortas del preámbulo.
 - Obtención de los datos de la cabecera.
 - Realización del proceso inverso de la transmisión con el uso de los datos obtenidos.

Canal de radio

Un elemento básico de un sistema digital de comunicaciones es el canal, pues es el medio físico que es usado para enviar una señal desde el transmisor hasta el receptor.

Así como el medio físico es usado para la transmisión de la información, la característica esencial es que la señal se corrompe mecanismos

tales como los ruidos térmico y de disparo (generados por dispositivos electrónicos), ruido provocado por el hombre (ruido de ignición de los vehículos), y ruido atmosférico (descargas eléctricas de las tormentas) por tanto, un problema común en la transmisión de la señal a través de cualquier canal es el ruido que con mucha frecuencia ocurre en forma aditiva [10].

Otros tipos de degradaciones que se pueden encontrar en la transmisión sobre un canal son la atenuación de la señal, distorsión de amplitud y fase, y distorsión debido a las multitrayectorias. Asimismo, otra limitación básica es el ancho de banda del canal.

Canal de ruido aditivo

Es el modelo más simple que existe. La afectación es fácilmente incorporada dentro del canal, cuando la señal experimenta atenuación en la transmisión a través del canal, la señal recibida es:

$$r(t) = \alpha x s(t) + n(t)$$

Donde $r(t)$ es la señal recibida, α es el factor de atenuación, $s(t)$ es la señal transmitida, y $n(t)$ es el ruido aditivo aleatorio [10].

Atenuación

La atenuación es la caída en la potencia de la señal cuando se transmite desde un punto a otro. Puede ser causada por la longitud del paso de la transmisión, obstrucciones en la trayectoria de la señal, y los efectos de la multitrayectoria. Algunos objetos, que obstruyen la línea de visión de la señal desde el transmisor hasta el receptor, pueden causar atenuación.

La formación de sombras en la señal (*shadowing*) es generalmente causada por edificios y elevaciones montañosas, y es el factor ambiental más importante de la atenuación [10].

Desvanecimiento de Rayleigh

En un enlace de radio, la señal RF transmitida puede ser reflejada por objetos como son elevaciones montañosas, edificios y vehículos. Esto proporciona un aumento de múltiples trayectorias de transmisión en el receptor.

La fase relativa de múltiples señales reflejadas puede causar una interferencia constructiva o destructiva en el receptor. Esto es experimentado sobre distancias muy cortas (típicamente a distancias de media longitud de onda), por lo tanto aparece el concepto de desvanecimiento rápido (*fast fading*). Estas variaciones pueden variar sobre 10 – 30 dB sobre las distancias cortas [10].

Desvanecimiento selectivo de frecuencias

En la transmisión de radio, la respuesta espectral del canal no es plana. Tiene inclinaciones o desvanecimientos en la respuesta debido a reflexiones, causando la cancelación de ciertas frecuencias en el receptor. Las reflexiones desde objetos cercanos (tierra, edificios, árboles, etc.) pueden ir al frente de las señales de multitrayectorias de potencia de la señal similar a la señal directa. Esto puede resultar en nulos profundos en la potencia de la señal recibida debido a la interferencia destructiva.

Para transmisiones de banda estrecha si el nulo en la respuesta de frecuencia ocurre a la frecuencia del transmisor, entonces la señal entera puede perderse [10].

Demoras en la propagación

La señal de radio recibida desde el transmisor consiste típicamente de una señal directa, más las reflexiones de objetos como son edificios, montañas, y otras estructuras. Las señales arriban un tiempo más tarde que la señal directa debido a la longitud extra de la trayectoria, dando subidas a un tiempo de arribo del pulso transmitido un poco diferentes por lo tanto ensanchando la energía recibida. La demora en la propagación es el tiempo de propagación entre el arribo de la primera y la última señal de multitrayectoria vista en el receptor [11].

SIMULADOR

A partir de las características ofrecidas por el modelo matemático explicado en el capítulo anterior se procedió a su implementación en el MATLAB haciendo uso de las interfaces gráficas de usuario (GUI – *Grafic User Interface*). La estructura básica del simulador (Ver Fig. 4) está dividida en dos capas: la capa de interfaz gráficas y la de procesamiento de datos. La primera capa permite la entrada de datos y la visualización de los resultados y la ayuda, la segunda es la implementación del modelo matemático la cual es transparente para el usuario.

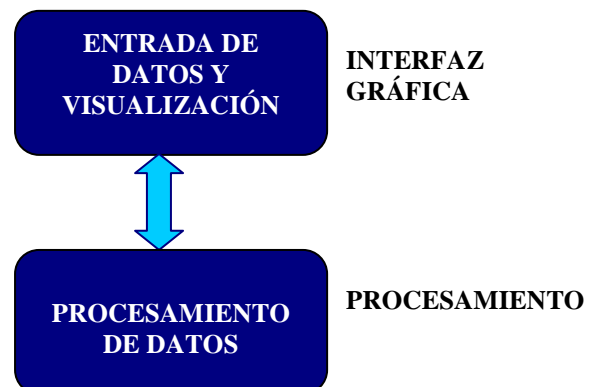


Fig. 4. Capas del simulador

Este simulador permite obtener las características de una señal (texto, secuencia aleatoria o imagen) después de transitar por un canal de radio dado, en el que se pueden incluir o no ruido, atenuación, desvanecimiento selectivo en tiempo y multitrayectorias.

Procesamiento de datos

El procesamiento de los datos está dividido en cinco bloques funcionales (Ver Fig. 5) los cuales son: el ajuste de los datos de entrada, la transmisión, los efectos canal de radio, la recepción y la adecuación de los datos de salida.

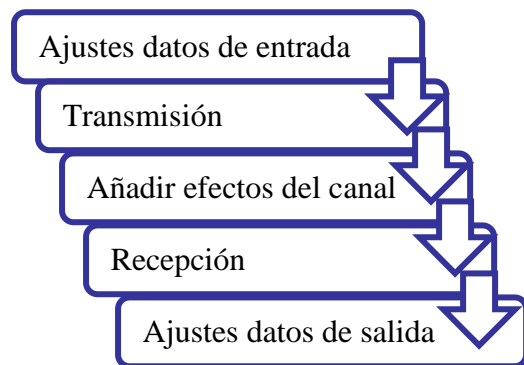


Fig. 5. Bloques funcionales del procesamiento de datos

Ajuste de los datos de entrada

Los datos que se obtienen de la capa superior son la tasa de transferencia, el tipo de dato a transmitir, la semilla de aleatorización y las características del canal de radio. En cada uno de los casos es necesario realizar un procesamiento para poder ser usados por el simulador.

Transmisión

Este bloque está estructurado según los pasos expuestos en el apartado 3.2 y obtiene a partir del vector binario de entrada una señal a transmitir. La programación del transmisor se dividió en la generación del preámbulo, el campo de señal y de los datos como se muestra en la Fig. 6.

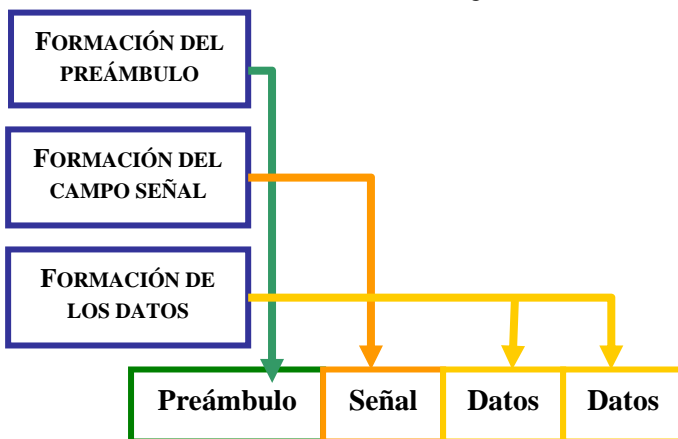


Fig. 6. Estructura del transmisor

Efectos del canal de radio

La señal obtenida en el transmisor es afectada por una serie de efectos como son el ruido, atenuación y efectos multitrayectorias seleccionados por el usuario.

Recepción

La recepción está constituida por un bloque de adaptación de la señal, uno de obtención del campo de señal y el bloque de obtención de datos. En la mayoría de los casos, los algoritmos y procedimientos realizados en el receptor son análogos a los del transmisor. El propósito de este simulador es analizar cómo actúa el sistema bajo diferentes condiciones por lo que no se incluirán canceladores de ruido u otras estructuras de recuperación excepto la amplificación.

Ajustes de datos de salida

Una vez obtenido el campo de datos, que es un vector binario, se toma el primer octeto, en el cual se encuentra la identificación del tipo de dato transmitido poder hacer la reconstrucción de la información realizando el proceso inverso al de la transmisión.

Interfaz gráfica

La interfaz gráfica fue desarrollada con el uso del GUIDE y está dividida en tres partes: la ventana de bienvenida (Fig. 7), la entrada de datos (Fig. 8) y la visualización de resultados (Fig. 9).



Fig. 7. Ventana de bienvenida

Sustento teórico y ayuda

El modelo matemático que se presenta en este trabajo se plasmó en una página web que puede ser accedida a través del simulador y tiene como objetivo explicar y reforzar los resultados del simulador. La información está distribuida en cuatro grandes bloques: características OFDM, transmisor, canal de radio y receptor. Así mismo se creó una página web de ayuda en la que se explica el funcionamiento de la interfaz gráfica del simulador.

Ejecutable y autorun

El MATLAB permite la creación de un ejecutable haciendo uso de su compilador, esto tiene la ventaja de que se puede usar el simulador en cualquier lugar sin necesidad de ejecutar el MATLAB. Tiene el inconveniente de que es necesario tener instalado una librería de componentes básicos que brinda el MATLAB con el nombre de MCRinstaler.exe. Esta librería se brinda junto con el simulador para su instalación.

Luego de la creación del ejecutable del simulador se le añaden las imágenes y ficheros de configuración, los cuales forman parte de un paquete de instalación creado con el WinRar y que copia los archivos a la carpeta Archivos de programas y crea íconos de acceso directo. Para su desinstalación basta con eliminar las carpetas y los accesos directos.

The screenshot shows the 'Simulador IEEE802.11a' window with the title 'ENTRADA DE DATOS Y CONFIGURACIONES'. The window is divided into several sections:

- Zona de selección del tipo de dato de entrada:** A red box highlights the 'Entrada de Datos' section, which contains a dropdown menu set to 'Transmitir secuencia pseudo-aleatoria'.
- Configuración de la transmisión:** A blue box highlights the 'Semilla aleatorización' (set to 93) and 'Tasa de transferencia' (set to 06 Mbits/s) fields.
- Datos dependientes de la tasa de transferencia:** A green box highlights a section showing modulation (BPSK), coding rate (1/2), and OFDM parameters (Nbpsc: 1, Ncbps: 48, Ndbps: 24).
- Canal de Radio:** An orange box highlights the radio channel settings, including 'Relación señal a ruido' (No ruido), 'Atenuación' (No atenuación), 'Zona de afección' (0), 'Desvanecimiento Rayleigh', 'Ruido Ricean', and 'Factor K' (1).
- Opciones:** A pink box highlights the 'SIMULAR' button, which is labeled 'Inicia la simulación'.

Other labels include 'Datos dependientes de la tasa de transferencia que se modifican en dependencia de la selección que se haga' (green) and 'Zona de selección de los parámetros del canal de radio' (orange).

Fig. 8. Ventana de entrada de datos

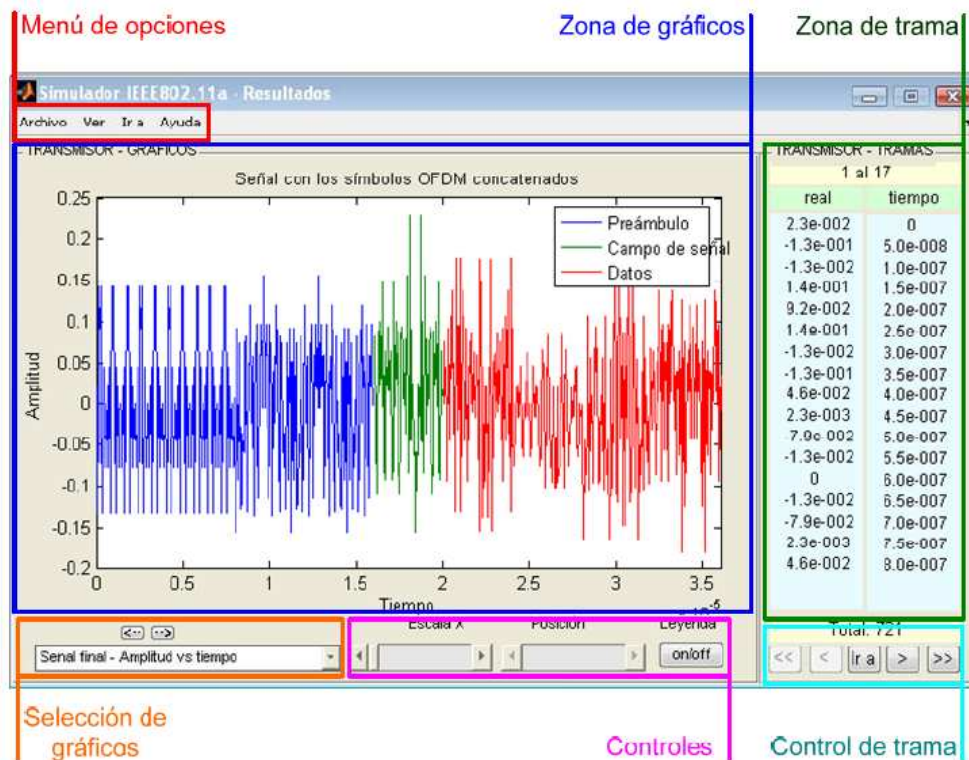


Fig. 8. Ventana de entrada de datos

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan dos resultados de simulación en el que se le añade ruido (relación señal a ruido $(S/N) = 1$) a la transmisión de una imagen. Estos resultados son la comparación de la señal original transmitida y el ruido (Fig. 10) y la

comparación de los datos de la cabecera con presencia de ruido, se puede observar que este ha degradado la información (Fig. 11). Todos estos resultados fueron cotejados con el estándar de la IEEE.

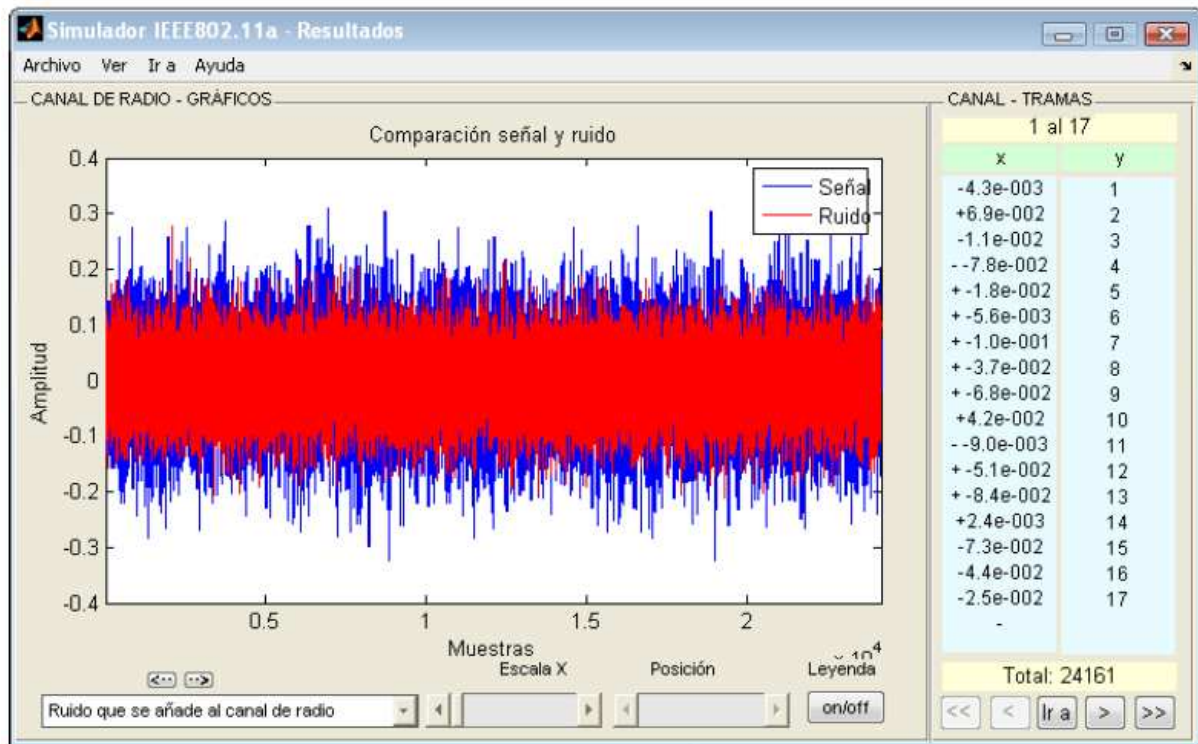


Fig. 10. Efecto de ruido en la señal

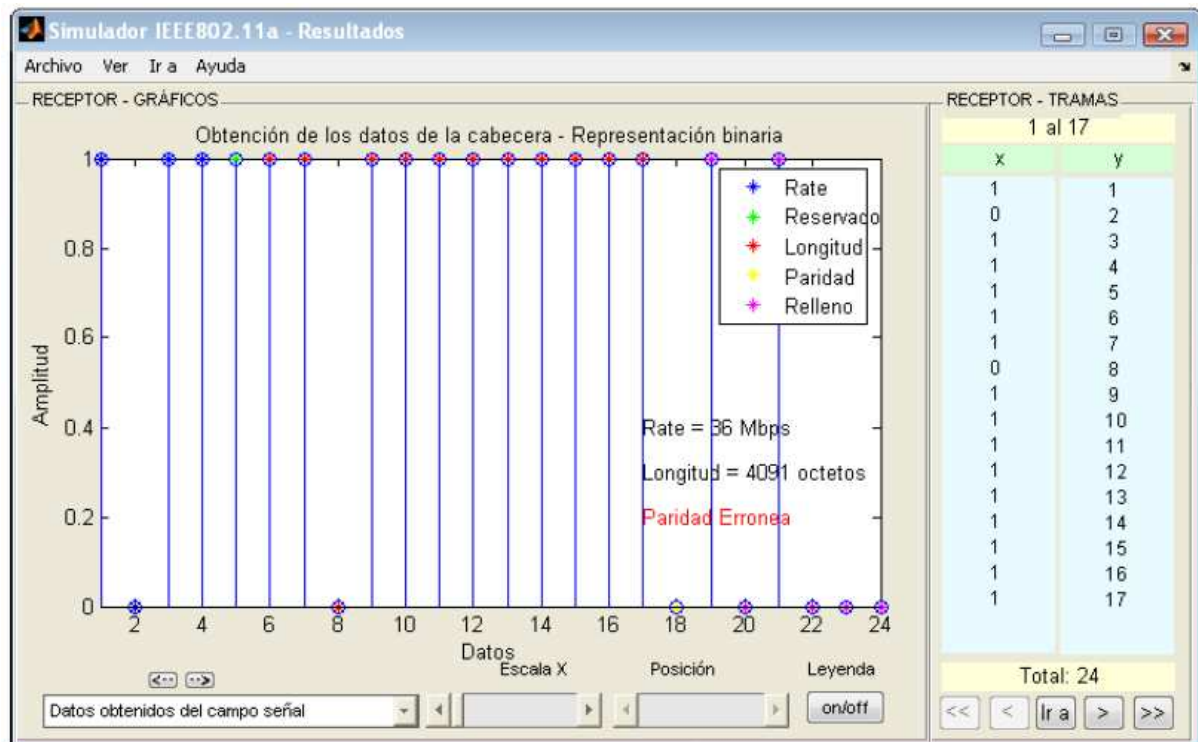


Fig. 11. Campo señal obtenida presentando errores

CONCLUSIONES

Como resultado de la investigación realizada en el campo de las redes de área local inalámbricas (WLAN), particularmente en el estándar IEEE802.11a, quien usa el método de modulación multiportadoras (OFDM), se logró interpretar y profundizar en los aspectos teóricos y computacionales de dicho estándar.

Este es capaz de contribuir a la implementación de un simulador interactivo, utilizando un lenguaje de simulación familiar a estudiantes de pre y post-grado, el cual posibilita la comprensión y puesta en práctica de los conocimientos teóricos y técnicos acerca de este particular sistema de comunicaciones.

Este simulador brinda en un ambiente interactivo al usuario el estudio de cada paso que ocurre en la simulación del sistema, tanto en la transmisión, canal de radio, como en la recepción de señales.

Se ha previsto posibles fallas del simulador por características determinadas del canal, en los cuales su uso es ineficiente. Los parámetros que se toman en cuenta, que producen perturbaciones, además del ruido son algunos que simulan la presencia de las multitrayectorias.

REFERENCIAS

- [1] Microsoft Corporation. *Enciclopedia Encarta*. E.U.A., E.U.A. : s.n., 2007.
- [2] IEEE. *Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications*. [PDF] E.U.A : IEEE, 1999.
- [3] Wikipedia, la enciclopedia libre. [En línea] [Citado el: 26 de Mayo de 2008.] <http://es.wikipedia.org/simulacion>.
- [4] SISBIB: sistemas de bibliotecas. [En línea] [Citado el: 26 de Mayo de 2008.] http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/indata/Vol2_n1/pdf/software.pdf.
- [5] Sánchez García, Jaime. [En línea] [Citado el: 26 de Mayo de 2008.] <http://www.depi.itchihuahua.edu.mx/electro/archivo/electro2001/mem2001/articulos/kom5.pdf>.
- [6] LAN/MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society. *IEEE Std 802.11a-1999 (Supplement to IEEE Std 802.11-1999)*. [pdf] E.U.A : s.n., 1999.
- [7] Hara, Shinsuke & Prasad, Ramjee. *Multicarrier Techniques for 4G Mobile Communications*. [pdf] E.U.A & Reino Unido : Artech House, 2003.
- [8] *Measurement Challenges for OFDM Systems*. [pdf] s.l. : Agilent Technologies.
- [9] Fazel, K. y Kaiser, S. *Multi-carrier and Spread spectrum systems*. E.U.A. : Editorial John Wiley & Sons Ltd, 2003.
- [10] Proakis, John G. *Digital Communications*. E.U.A : McGraw-Hill, 1995.
- [11] Intiti, Anibal Luis. *Orthogonal Frequency Division Multiplexing for Wireless Networks*. [pdf] E.U.A : s.n., 2000.

AUTORES

Antonio Cruz Cruz, Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica. Graduado en la Universidad de Oriente con título de oro. Actualmente trabaja en ETECSA Santiago de Cuba en el Centro de Gestión. Se desempeña en el diseño de sistemas y plataformas de gestión interactivas-

Dayron Acosta Reyes, Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica. Graduado en la Universidad de Oriente. Actualmente trabaja en Electromedicina en Puerto Padre, Las Tunas. Se desempeña en el uso y mantenimiento de equipos médicos.

Arturo Infante Riello, Ingeniero en Telecomunicaciones. Dr. en Ciencias graduado en Dusseldorf, Alemania. Profesor titular e investigador del Departamento de Telecomunicaciones y Electrónica de la Universidad de Oriente.