

MANUAL DE USUARIO

LI-FINDOOR

HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN OPEN SOURCE

PARA SISTEMAS DE COMUNICACIONES ÓPTICOS INALÁMBRICOS



Universidad
del Cauca

DESARROLLADORES

Esteban Alberto Arteaga Benavides

Germán Homero Morán Figueroa

Director: MSc. Gustavo Gómez

Universidad del Cauca

Facultad de Ingeniería Electrónica Y Telecomunicaciones

Departamento de Telecomunicaciones

Grupo Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones - GNTT

Popayán, 2020

Contenido

Pág.

1. Introducción	3
2. Entradas al sistema	7
2.1 Ventana de inicio	7
2.2 Parámetros de entrada	8
2.3 Manejo de excepciones	11
3. Pruebas de Funcionamiento	12
3.1 Prueba a nivel de sistema	12
3.2 Prueba a nivel de red	23
3.3 Limitaciones	27
4. Conclusiones	28

1. Introducción

Li-Findoor, es una herramienta de simulación Open Source para sistemas de comunicaciones ópticos inalámbricos:

Li-Fi (*Light Fidelity*, Fidelidad de la Luz) es una tecnología de comunicación inalámbrica de bajo costo, diseñada recientemente para soportar servicios multimedia, grandes ancho de banda y altas velocidades de transmisión de datos, implementando arquitecturas capaces de prestar servicios de telecomunicaciones e iluminación de manera simultánea; lo que la ha hecho muy atractiva en el ámbito de la investigación y el desarrollo de grandes empresas a nivel mundial. De ahí que algunos investigadores se han interesado en ella, a fin de trabajar en torno a diferentes técnicas de modulación, clases de dispositivos terminales y fotodetectores, con el fin de hacer más robusta y eficiente la implementación de esta tecnología.

Es así como junto a los estudiantes del Departamento de Telecomunicaciones, Esteban Alberto Arteaga Benavides y Germán Homero Morán Figueroa, y desde el Grupo de Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones - GNTT, se propuso desarrollar una Interfaz Gráfica de Usuario (GUI) como una herramienta que permita analizar el desempeño de un sistema de telecomunicaciones óptico inalámbrico basado en la tecnología Li-Fi, a través de diversos escenarios de simulación mediante la medición de diferentes variables y características particulares del entorno.

El desarrollo de la herramienta, con respecto a la interfaz gráfica del entorno de simulación, se comparte como una **licencia GPL** (*General Public License*, Licencia Pública General) la cual es es una licencia de derecho de autor ampliamente usada en el mundo del software libre y código abierto, que garantiza a los usuarios finales la libertad de usar, estudiar, compartir, copiar y modificar el software con el propósito de que pueda ser, no sólo implementada por cualquier persona alrededor del mundo, sino que además pueda ser actualizada, adaptada y mejorada para diferentes escenarios y casos de estudio, propiciando con ello que sus capacidades vayan más allá de las diseñadas originalmente. Asimismo, y en coherencia con la perspectiva Open Source de este trabajo, la documentación respectiva se compartirá con una licencia Creative Commons **Atribución - No Comercial - Compartir Igual 4.0**. De esta manera se busca propiciar que cualquier usuario pueda asumir el rol de desarrollador, brindando un entorno de aprendizaje colaborativo en torno a esta tecnología.

Sobre el desarrollo de Li-Findoor:

Li-Findor es una herramienta que se encuentra en desarrollo desde hace más de un año, bajo el proyecto de investigación “Análisis del desempeño a nivel de simulación de una red Li-Fi para la transmisión de datos”, el cual fue presentado y

aprobado en sustentación pública a la Universidad del Cauca, el 17 de marzo del 2020.

Entre sus funcionalidades principales, la herramienta permite analizar, aprender, configurar y extraer información acerca del comportamiento de la tecnología Li-Fi, gracias a un diseño modular que facilita la comprensión de cada uno de los bloques que conforman el sistema de comunicaciones óptico inalámbrico. El objeto de aprendizaje de Li-Findor, es proporcionar un ambiente de simulación para analizar el comportamiento de un sistema óptico inalámbrico dentro de un escenario *indoor*, que se puede caracterizar según las dimensiones del cuarto, tipos de paredes, coeficientes de reflexión, entre otros factores. Del mismo modo, Li-Findor se diseñó como una herramienta para facilitar los procesos de aprendizaje y simulación, de todas las variables relacionadas a una arquitectura de comunicaciones óptica inalámbrica en el marco de una educación formal de nivel universitario, tanto de pregrado como de posgrado, siendo la primera vez que en la Universidad del Cauca se explora esta tecnología y se propone un Entorno Gráfico de Usuario de tipo Open Source que permite el acceso libre a la simulación y análisis de un sistema de telecomunicaciones basado en Li-Fi.

Del mismo modo, Li-Findoor no solo está pensada como una herramienta de software libre para el uso personalizado de docentes y estudiantes de cualquier lugar del mundo, sino también como una herramienta que permite ser aplicada dentro del pensum de diferentes cursos de los programas de pregrado y posgrado de la Facultad de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca. Esto dado que permite trabajar en torno a la actualización, desarrollo e investigación de los sistemas ópticos inalámbricos, temáticas que hasta el momento no han sido exploradas ampliamente dentro de nuestro ámbito universitario. Li-Findor está pensada para generar un impacto positivo en la academia y la investigación.

Para lograr que la herramienta ofrezca adecuados procesos de enseñanza/aprendizaje, es necesario definir una serie de Recursos Educativos Abiertos los cuales serán desarrollados sobre la plataforma eXeLearning V.2.5 la cuales un programa libre y abierto para crear contenidos educativos, en torno a los siguientes componentes:


- Manual de Usuario de la instalación de la herramienta
- Manual de Usuario del Manejo de la Herramienta
- Ejemplos prácticos para el análisis de la Tecnología Li-Fi

Li-Findoor en vínculo con el software de simulación MATLAB:

Finalmente, cabe aclarar que esta herramienta fue desarrollada en el software de simulación MATLAB debido a la modularidad y facilidad que este programa presenta para el desarrollo y estudio de sistemas de telecomunicaciones, lo que implica que para usar Li-Findoor los diferentes usuarios deberán tener acceso a dicho software. del mismo modo, se debe precisar que MATLAB no es de acceso libre, sino que es software de tipo propietario que para el caso de la Universidad del Cauca se cuenta con una licencia educativa que brinda completo acceso sin ningún tipo de restricciones, y trabaja en modo servidor, brindando soporte a cualquier computador conectado a la red institucional. Sin embargo, los códigos y el desarrollo de la interfaz gráfica Li-Findoor son, como se indicó anteriormente, de uso libre, y cualquier persona que tenga acceso a ellos puede hacer uso de la interfaz gráfica de usuario, permitiendo modificar y actualizar el software de simulación para entornos ópticos inalámbricos.

Plataformas & Licencias:

	Se utilizará para desarrollar el código fuente que genera la Interfaz Gráfica de Usuario de la herramienta de simulación Li-Findoor
Bajo esta licencia se presentará el entorno de simulación de la GUI de Li-Findoor	
	Bajo esta plataforma se realizarán los Recursos Educativos Abiertos que soportan la herramienta de simulación

<p>Bajo esta licencia se presentarán las guías interactivas de instalación y ejemplos prácticos de la herramienta Li-Findoor</p>	
	<p>Se utilizara como el repositorio virtual para alojar la herramienta de simulación Li-Findoor bajo la licencia GPL</p>

Estructura Básica del Recurso Educativo Abierto:

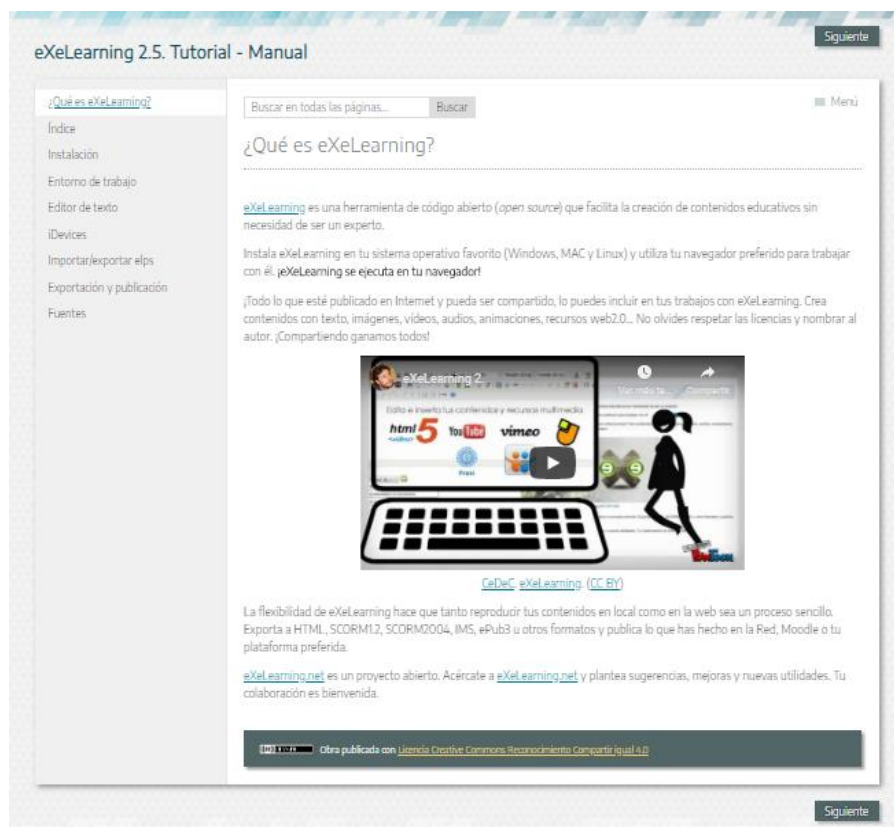


Figura 1. Guía de instalación y uso de la herramienta eXeLearning

2. Entradas al sistema

En esta sección se describen las principales interfaces de la herramienta, los parámetros de entrada y los botones de configuración.

2.1 Ventana de inicio

Para acceder a la herramienta el usuario debe ejecutar el script **inicio.md** donde se desplegará ventana que se muestra en la Figura 2.1. La herramienta cuenta con 2 opciones básicas:

- Análisis a nivel de sistema
- Análisis a nivel de red (Distribución de potencia)

Para el análisis a nivel de sistema es posible simular un sistema de comunicaciones Li-Fi utilizando las técnicas de modulación ACO-OFDM y DCO-OFDM, el usuario puede caracterizar escenario de simulación y definir las condiciones iniciales del sistema, es decir: tipo de LED, tipo de fotodetector, numero de subportadoras, entre otros. De igual manera es posible ubicar el transmisor en cualquier posición dentro de la habitación. El objetivo de este análisis es determinar la tasa de error de bit en un punto específico del plano de recepción teniendo en cuenta gran parte de características del escenario de simulación, dado que el desempeño de este tipo de sistemas está sujeto a estas condiciones.



Figura 2.1: Interfaz inicial Li-FiIndoor

2.2 Parámetros de entrada

La herramienta se divide en varias secciones con el fin proporcionar una interfaz, sencilla, intuitiva y fácil de manejar. A manera de ejemplo en la Figura 2.2 se muestra la interfaz gráfica para el sistema Li-Fi con modulación ACO-OFDM donde se enmarcan cada una de las secciones que la conforman.

- **Parámetros de simulación:** Hace referencia a todos los parámetros necesarios para que la herramienta funcione adecuadamente como: parámetros de escenario, transmisor, canal y receptor.
- **Ventana gráfica:** Permite la visualización de gráficas y resultados.
- **Botones generales:** Cumplen funciones principales dentro de la herramienta.
 - **Guardar datos:** Permite almacenar todos los parámetros del sistema para utilizarlos en cualquier configuración.
 - **Limpiar:** Establece a cero todos los parámetros de simulación de la herramienta.

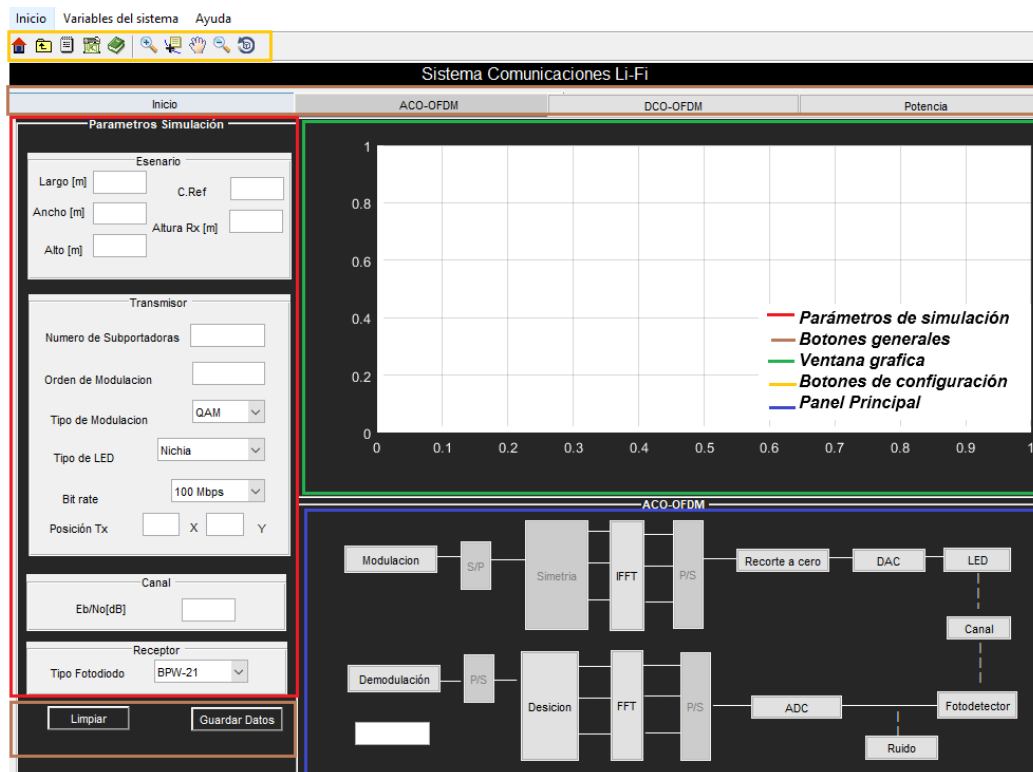


Figura 2.2: Interfaz de usuario sistema ACO-OFDM

- **Inicio:** Permite regresar a la interfaz inicial.
 - **ACO-OFDM:** Permite el despliegue de una nueva interfaz para analizar el comportamiento de un sistema Li-Fi con modulación ACO-OFDM
 - **DCO-OFDM:** Permite el despliegue de una nueva interfaz para analizar el comportamiento de un sistema Li-Fi con modulación DCO-OFDM
 - **Potencia:** Permite el despliegue de una nueva interfaz para analizar la distribución de potencia del sistema de comunicaciones Li-Fi.
- **Botones de configuración:** Estos botones cumplen funciones secundarias, es decir permiten agilizar el proceso de simulación y facilitan el análisis gráfico. En la Figura 2.3 se muestra algunos botones, entre los cuales se tiene borrar, zoom, rotación gráfica, inicio, etc.



Figura 2.3: Botones de configuración

- **Panel principal:** permite analizar el comportamiento del sistema de comunicaciones Li-Fi de manera secuencial, abordado cada uno los procesos que sufre la señal a medida que avanza por el sistema. En la Figura 2.2 se muestra el diagrama de bloques para el sistema ACO-OFDM. Es importante resaltar que cuando la aplicación se ejecuta por primera vez se debe realizar bloque a bloque ya que la lógica sigue una estructura en cascada donde cada bloque requiere parámetros de los bloques anteriores para su funcionamiento.

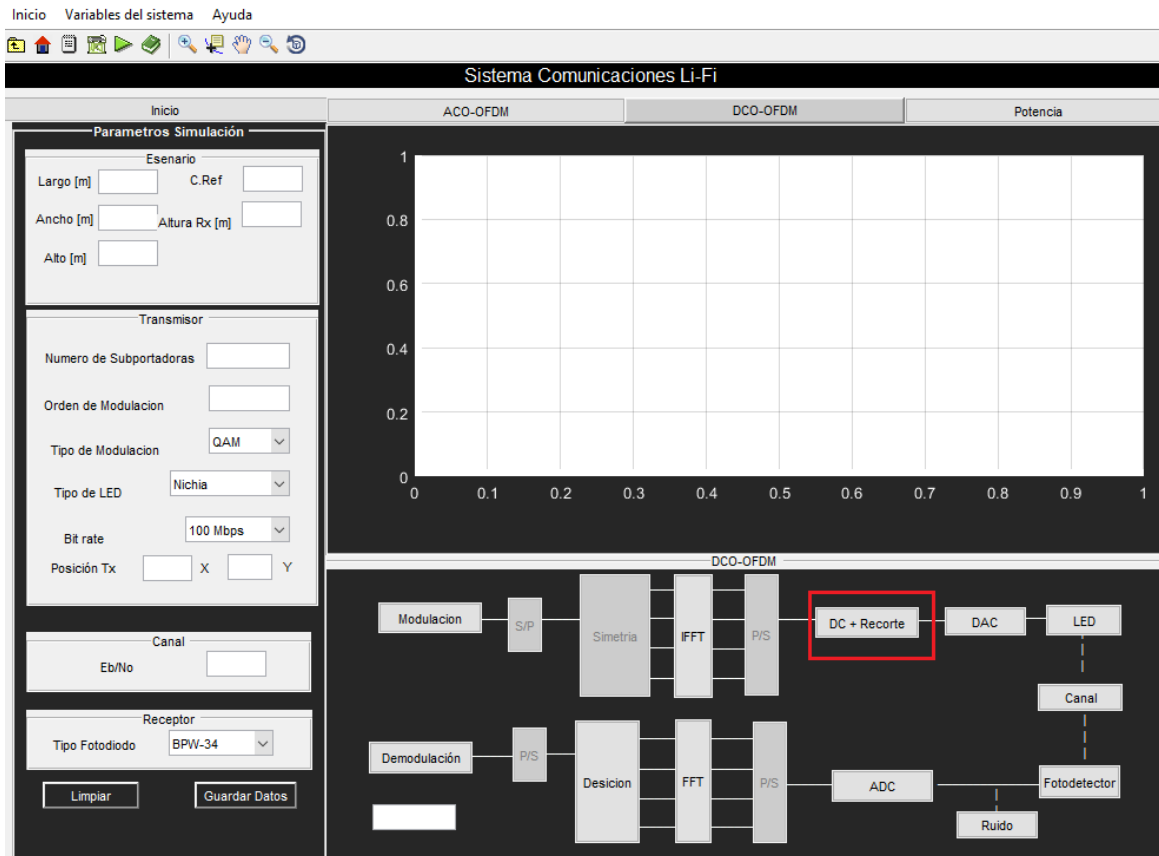


Figura 2.4: Interfaz de usuario sistema DCO-OFDM

De manera similar al sistema ACO-OFDM en la Figura 2.4 se muestra la interfaz gráfica para el sistema Li-Fi con modulación DCO-OFDM, donde se observa que se tiene las mismas secciones, la única diferencia se encuentra en el panel principal donde el bloquerecorte a cero tiene asignada otra función que corresponde a la adición de la componente DC.

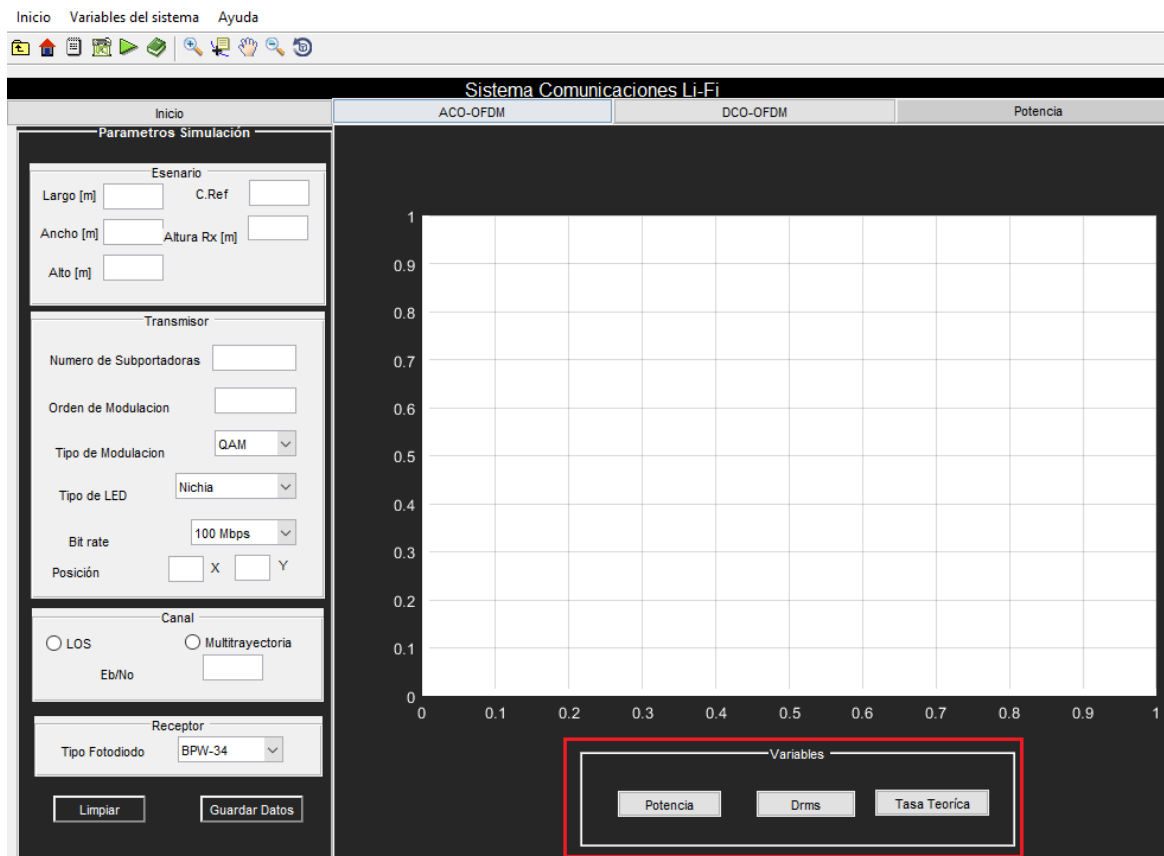


Figura 2.5: Interfaz de usuario distribución de potencia

Otra métrica de evaluación del sistema es la distribución de potencia. En la Figura 2.5 se muestra la interfaz gráfica que permite realizar este análisis. Se observa que se requieren los mismos parámetros de configuración previamente definidos, sin embargo, en los parámetros de canal se tiene en cuenta el modo de propagación de la señal cuando existe línea de vista y/o multitrayectoria. Las variables a analizar dentro de esta sección son: distribución de potencia, máxima dispersión del retardo (Drms) y la máxima tasa teórica alcanzable por la tecnología.

2.3 Manejo de excepciones

La herramienta funciona únicamente cuando el usuario a digitado todos los parámetros de simulación requeridos, de lo contrario se desplegará un mensaje de error como se muestra en la Figura 2.6. En este caso no se ha digitado el orden de modulación, por lo tanto, no es posible analizar el comportamiento del sistema, por otra parte, si el usuario digita caracteres especiales también aparecerá un mensaje de error dado que el tipo de entrada de los parámetros de simulación son únicamente numéricos.

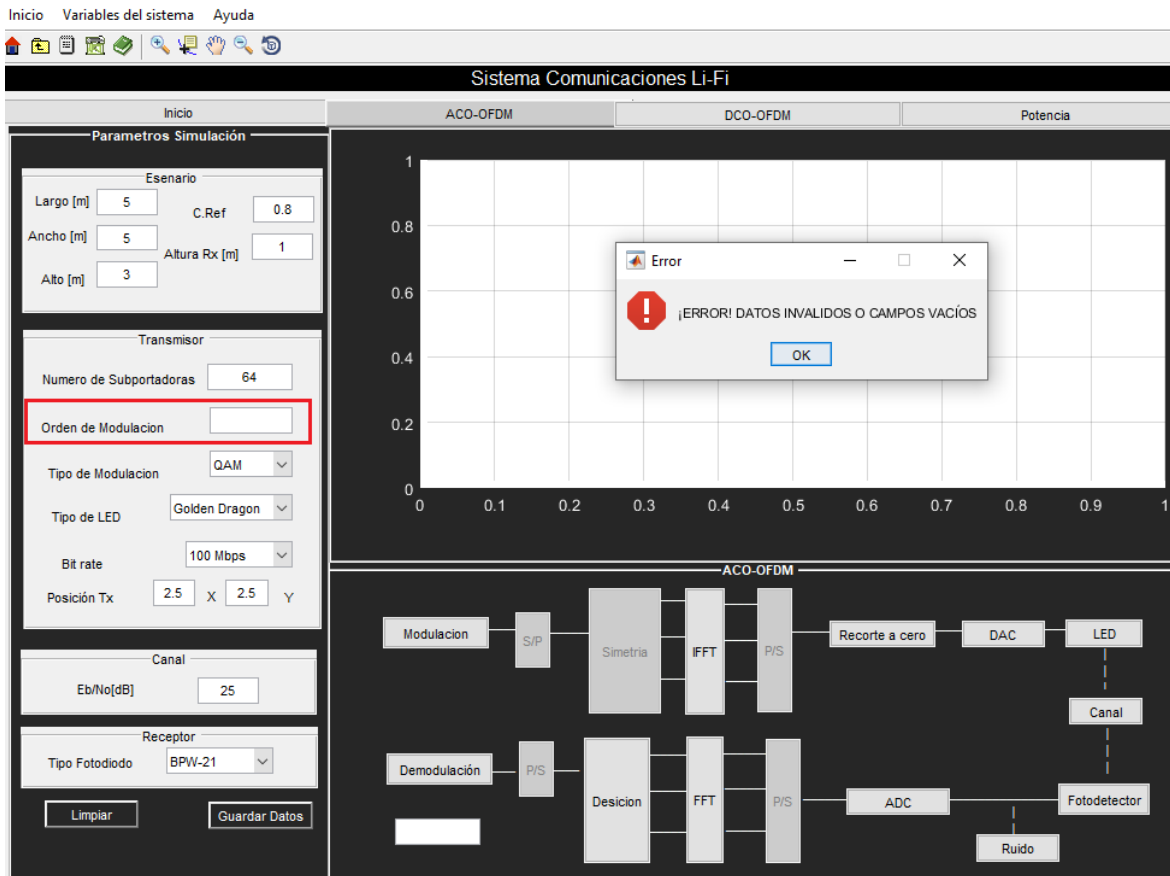


Figura 2.6: Mensaje de error parámetros simulación

3. Pruebas de Funcionamiento

En esta sección mediante un ejemplo se analizan todas las funcionalidades de la herramienta.

3.1 Prueba a nivel de sistema

Para el análisis a nivel de sistema, la herramienta Li-Findoor proporciona 3 opciones básicas:

- Modulación ACO-OFDM
- Modulación DCO-OFDM
- Distribución de Potencia

Las modulaciones DCO-OFDM y ACO-OFDM tiene una interfaz similar, sin embargo, existen algunas diferencias con algunos bloques debido a que realizan procesos diferentes. A continuación, se muestra un ejemplo de funcionamiento para un sistema Li-Fi que utiliza ACO-OFDM como técnica de modulación.

Inicialmente se definen los parámetros requeridos. En este caso se tiene un escenario de dimensiones **(6x,6y,3z)**, con un receptor a 1 mt del suelo y un coeficiente de reflexión de las paredes de 0.8, se consideran todas las paredes del mismo material. De igual manera se definen los respectivos parámetros para el transmisor, canal y receptor tal como se especifica de la Figura 3.1. Es importante resaltar que en la herramienta se puede configurar la posición del transmisor, para este ejemplo el LED se encuentra ubicado en el centro de la habitación en el punto P **(3x, 3y, 3z)**.

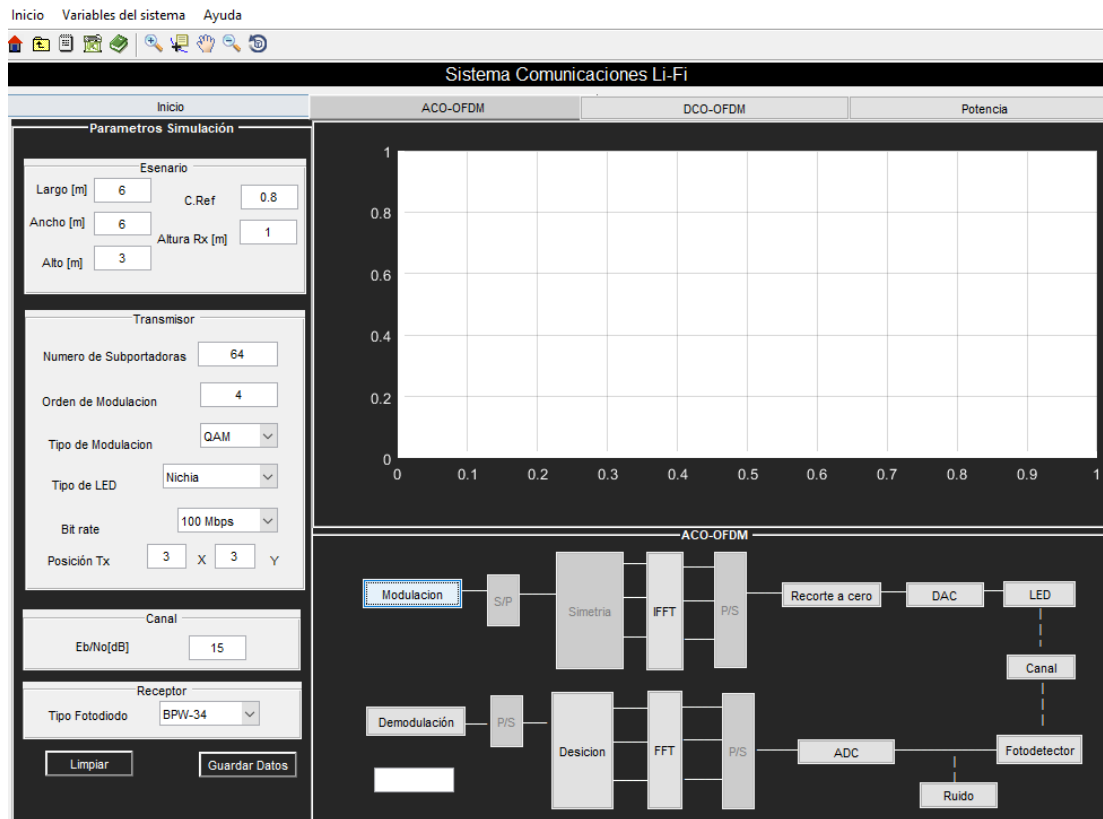


Figura 3.1: Parámetros de simulación interfaz ACO-OFDM

Una vez completados todos los campos requeridos se almacenan los datos en un **struct** con el fin de reutilizar variables en otras interfaces y evitar que el usuario ingrese de nuevo la misma información. Para analizar el comportamiento del sistema únicamente se debe dar Click sobre el bloque de interés, sin embargo, es importante mencionar que la primera vez que se ejecute la herramienta cada uno de los bloques deben ejecutarse de manera secuencial empezando desde **Modulación-IFFT-Recorte a cero-DAC-LED-Canal-Fotodetector-ruido-ADC-FFT-Decisión -Demodulación**. Debido a que cada bloque requiere parámetros de los bloques anteriores para su funcionamiento.

Al dar Click sobre el bloque de **Modulación** se obtiene la constelación de símbolos transmitidos como se muestra en la Figura 3.2.

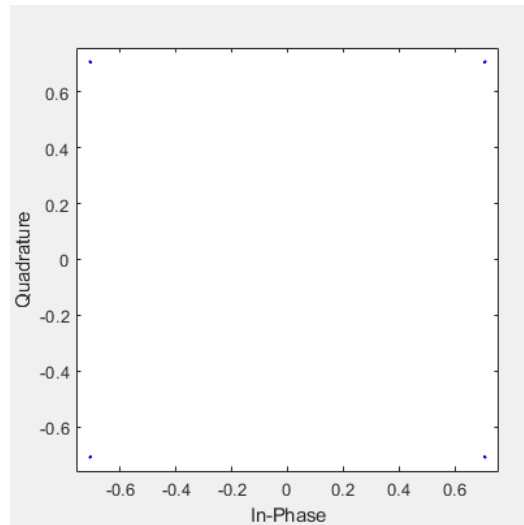


Figura 3.2: Diagrama constelación de símbolos transmitidos

Igualmente, al dar Click sobre el bloque **IFFT** se obtiene la señal ACO-OFDM como se muestra en la Figura 3.3 que cumple la condición de simetría hermitica es decir que todos los símbolos son reales, es importante resaltar que todas las gráficas solo muestran el primer símbolo OFDM para poder visualizar el comportamiento de la señal.

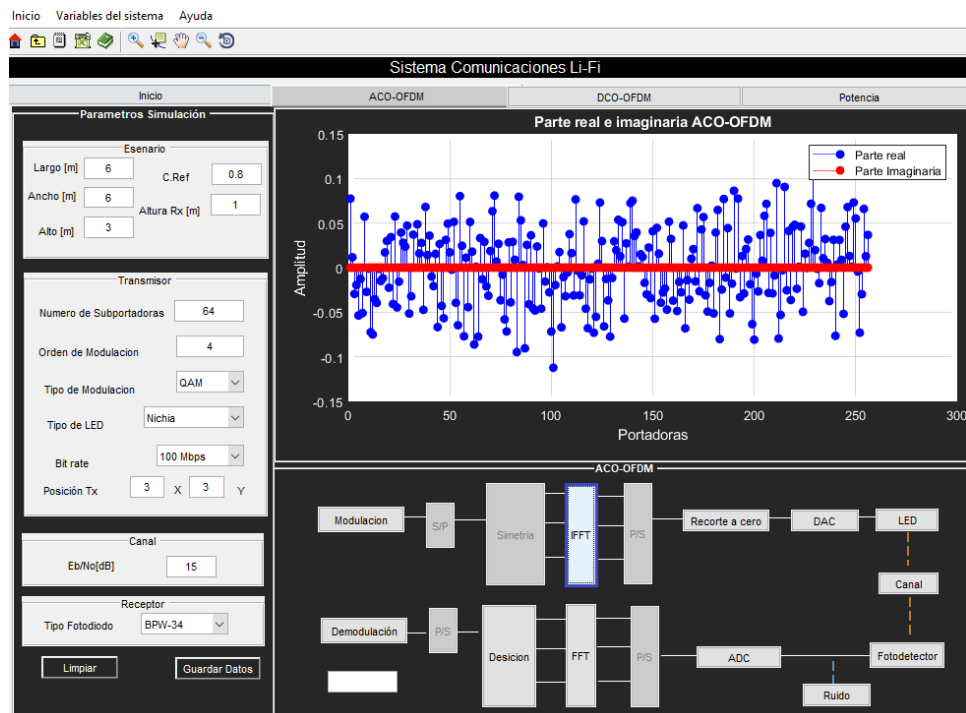


Figura 3.3: Funcionalidad bloque IFFT

Si se continua con el proceso y ahora se da Click sobre el bloque **Recorte a cero** se obtiene la señal ACO-OFDM recortada, donde se observa que no tiene ninguna componente negativa. Este proceso se muestra en la Figura 3.4.

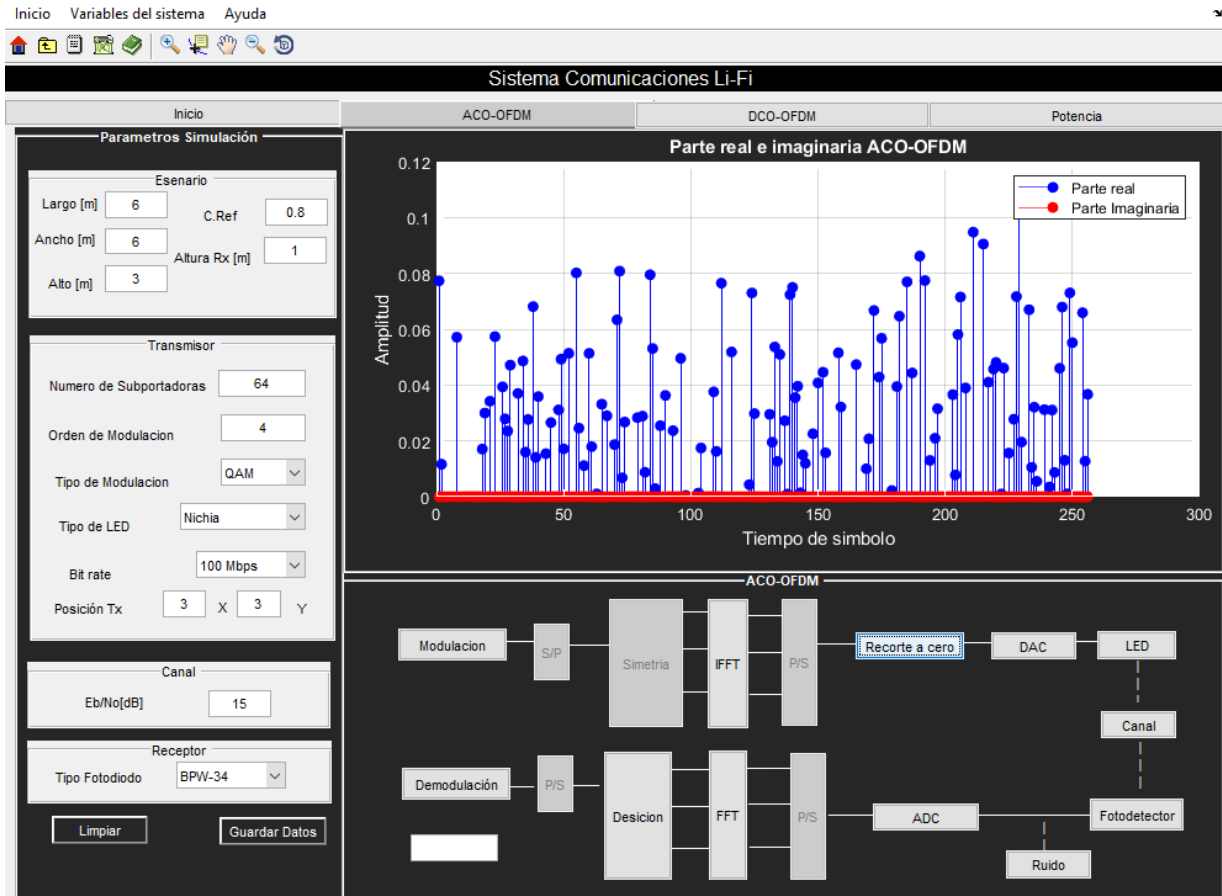


Figura 3.4: Recorte a cero de la señal ACO-OFDM

Cuando ya se tiene una señal completamente positiva se procede a realizar la conversión DAC para poder modular la intensidad del LED tal como se muestra en la Figura 3.5.

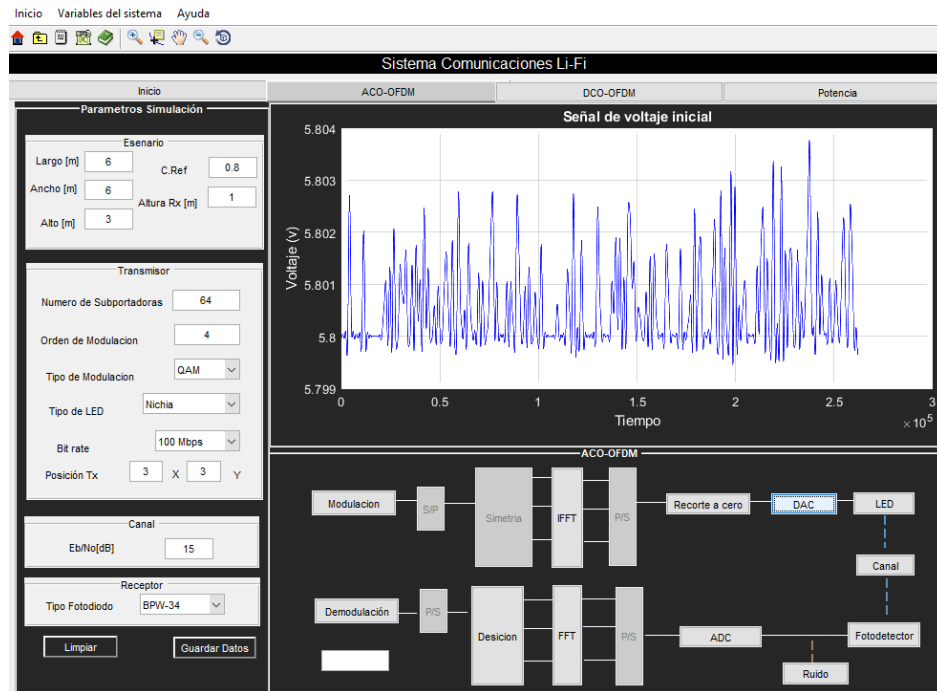


Figura 3.5: Bloque conversión Anlogica-Diguital

La Figura 3.6 muestra la señal óptica que se obtiene al dar Click sobre el **Bloque LED**, este bloque internamente permite convertir la corriente eléctrica a potencia óptica teniendo en cuenta las curvas características del transmisor LED.

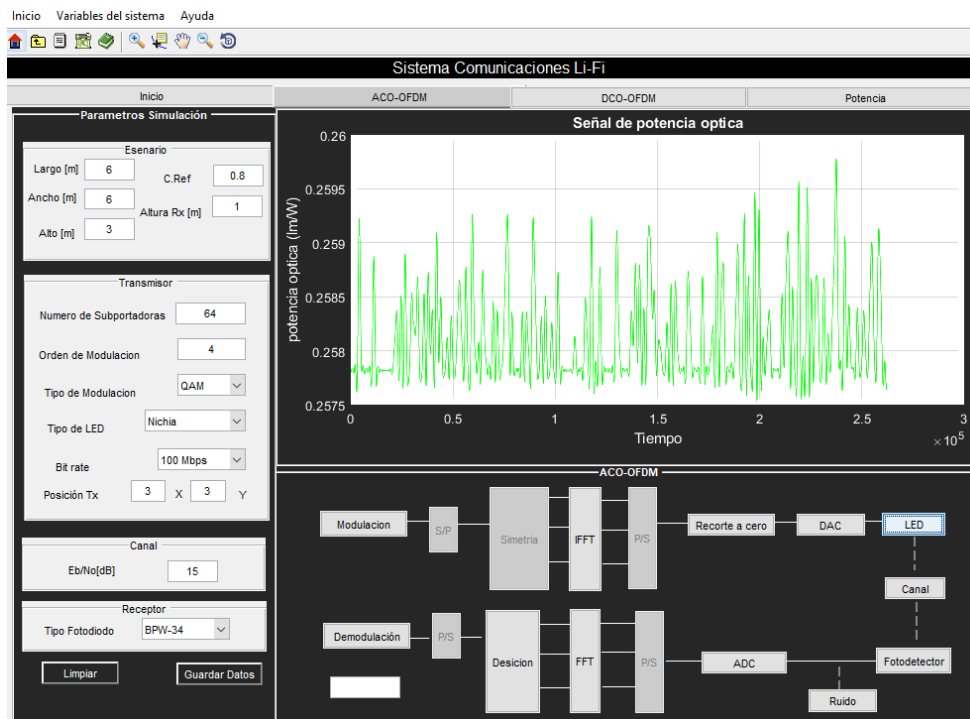


Figura 3.6: Potencia óptica a la salida del LED

Dentro de la herramienta el **Bloque canal** permite obtener el perfil de potencia-retardo del sistema de acuerdo a la ubicación del receptor. Cuando el usuario selecciona el **bloque canal** se desplegará la ventana de la Figura 3.7 donde se muestran las instrucciones que se deben seguir para calcular el perfil de potencia-retardo. Es importante mencionar que el usuario puede seleccionar varios puntos del plano de recepción, sin embargo, la herramienta solo tomara en cuenta el último punto seleccionado.

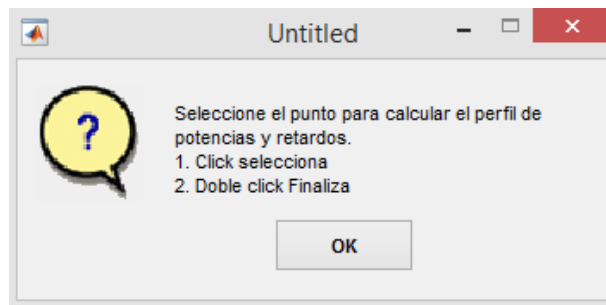


Figura 3.7: Mensaje para seleccionar un punto y calcular perfil del potencia-retardo.

En la Figura 3.8 se muestra el plano de recepción donde se puede elegir cualquier punto para ubicar receptor. En este caso el usuario ha seleccionado el punto $P(3x, 3y)$ identificado de color rojo. En la Figura 3.9 se muestra el perfil de potencia-retardo para este punto.

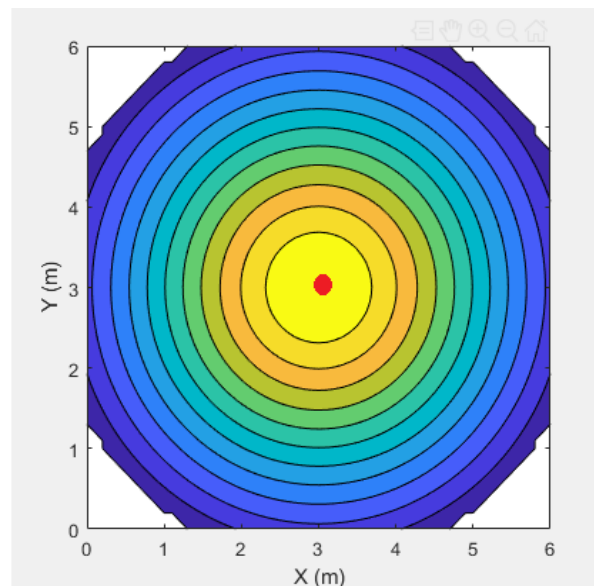


Figura 3.8: Selección del punto $P(3x, 3y)$

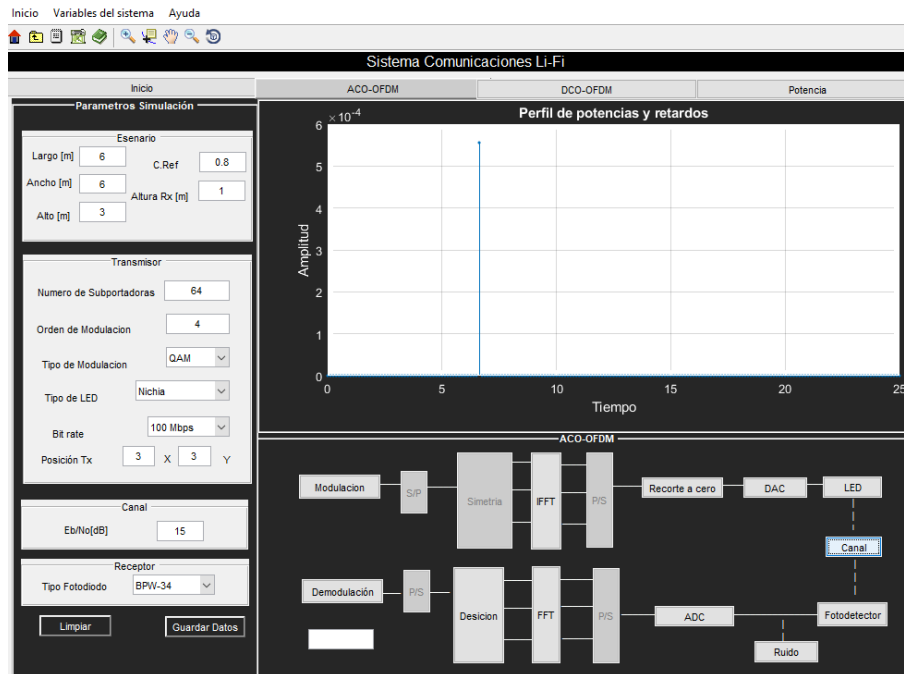


Figura 3.9: Perfil potencia-retardo $P(3x, 3y)$

En recepción, el bloque **Fotodetector** permite realizar la conversión óptico/eléctrica de la señal, en la Figura 3.10 se muestra este proceso.

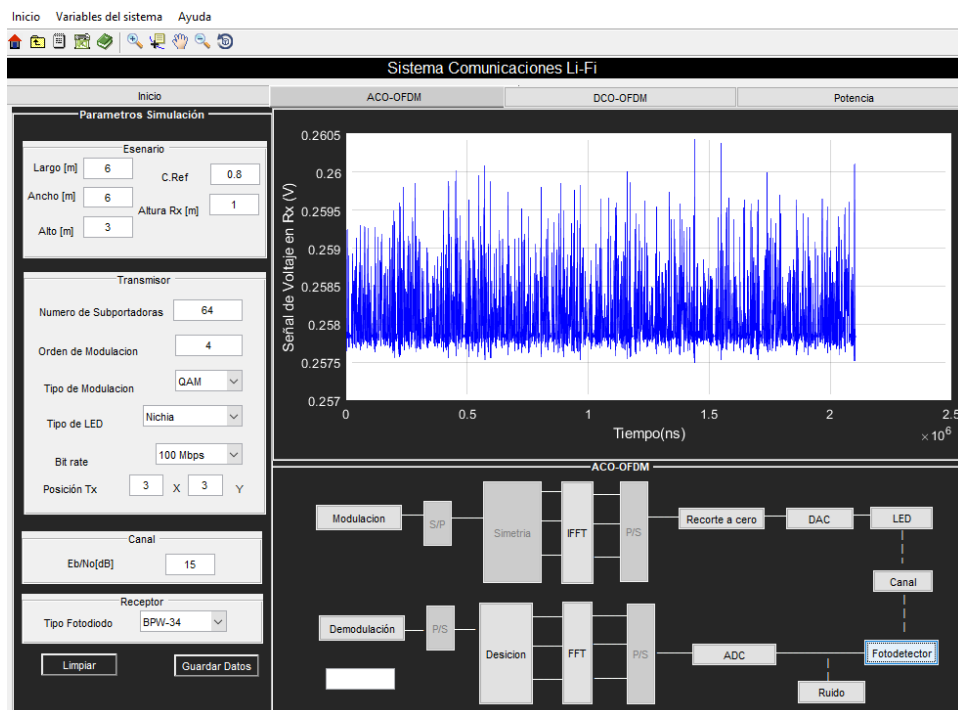


Figura 3.10: Señal eléctrica en el foto detector

La señal en recepción se puede ver afectada por el ruido eléctrico que se modela como AWGN, si se selecciona el **bloque ruido** se muestra la señal contaminada con ruido como se observa en la Figura 3.11

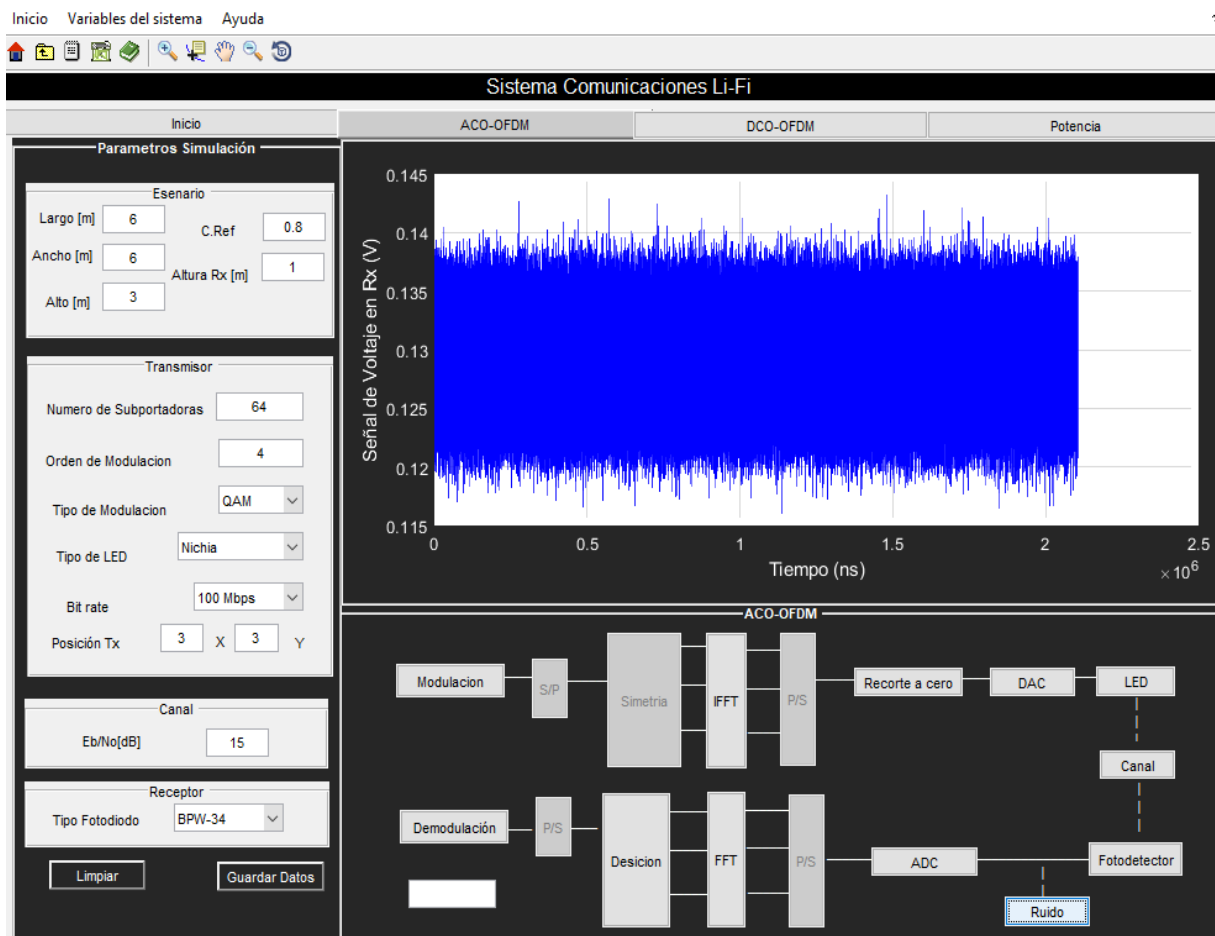


Figura 3.11: Señal Contaminada con ruido AWGN.

El siguiente proceso es realizar la conversión Análoga/Digital de la señal tal como se muestra en la Figura 3.12.

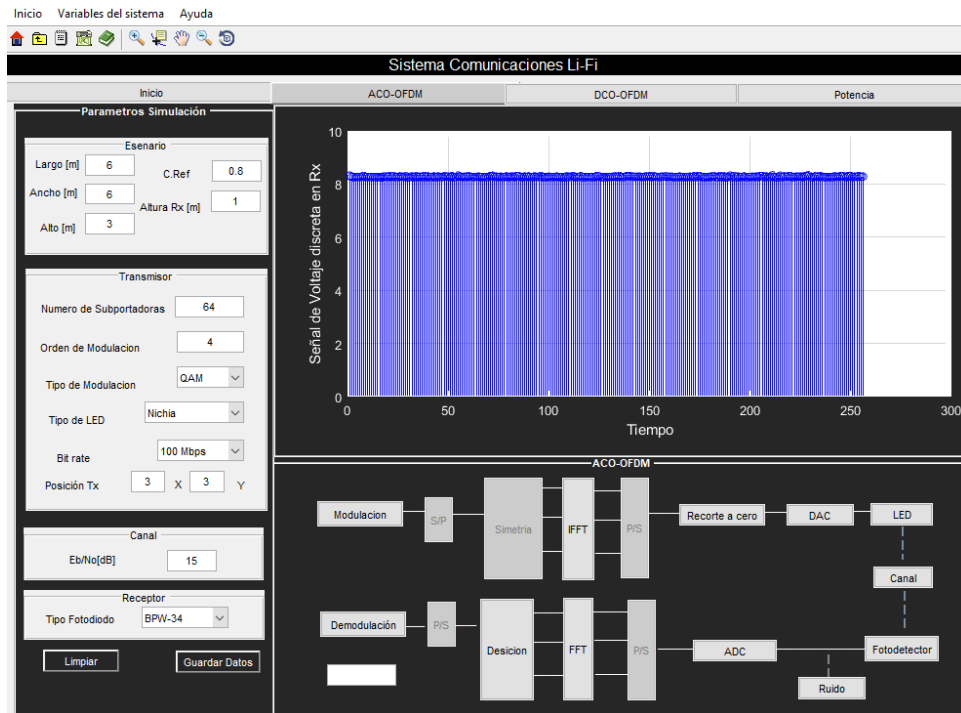


Figura 3.12: Conversión Análoga/Digital de la señal.

Finalmente, el **bloque FFT** permite transformar las señales del dominio del tiempo discreto a la frecuencia discreta, en este bloque también se extraen las subportadoras de información para la respectiva demodulación. En la Figura 3.13 se muestra la constelación de símbolos recibidos.

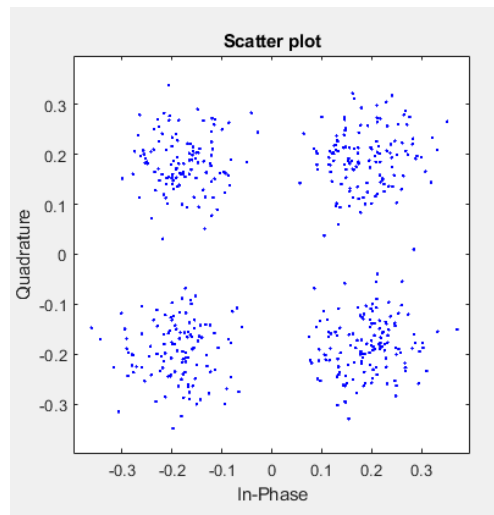


Figura 3.13: Constelación de símbolos recibidos

Por último, cuando el usuario selecciona el **bloque demodulación** de obtiene la tasa de error de bit para la ubicación del receptor previamente seleccionada. La tasa de error de bit puede cambiar al variar la posición del receptor como también

la tasa de transmisión debido a que para altas velocidades el efecto multirayectoria es considerable.

Otra funcionalidad de la herramienta es que permite calcular la distribución de potencia dentro de la habitación teniendo en cuenta el modo de propagación de la señal que puede ser Línea de Vista o multirayectoria. En la Figura 3.14 se muestra la interfaz gráfica y la configuración que permite calcular la distribución de potencia cuando existe LOS.

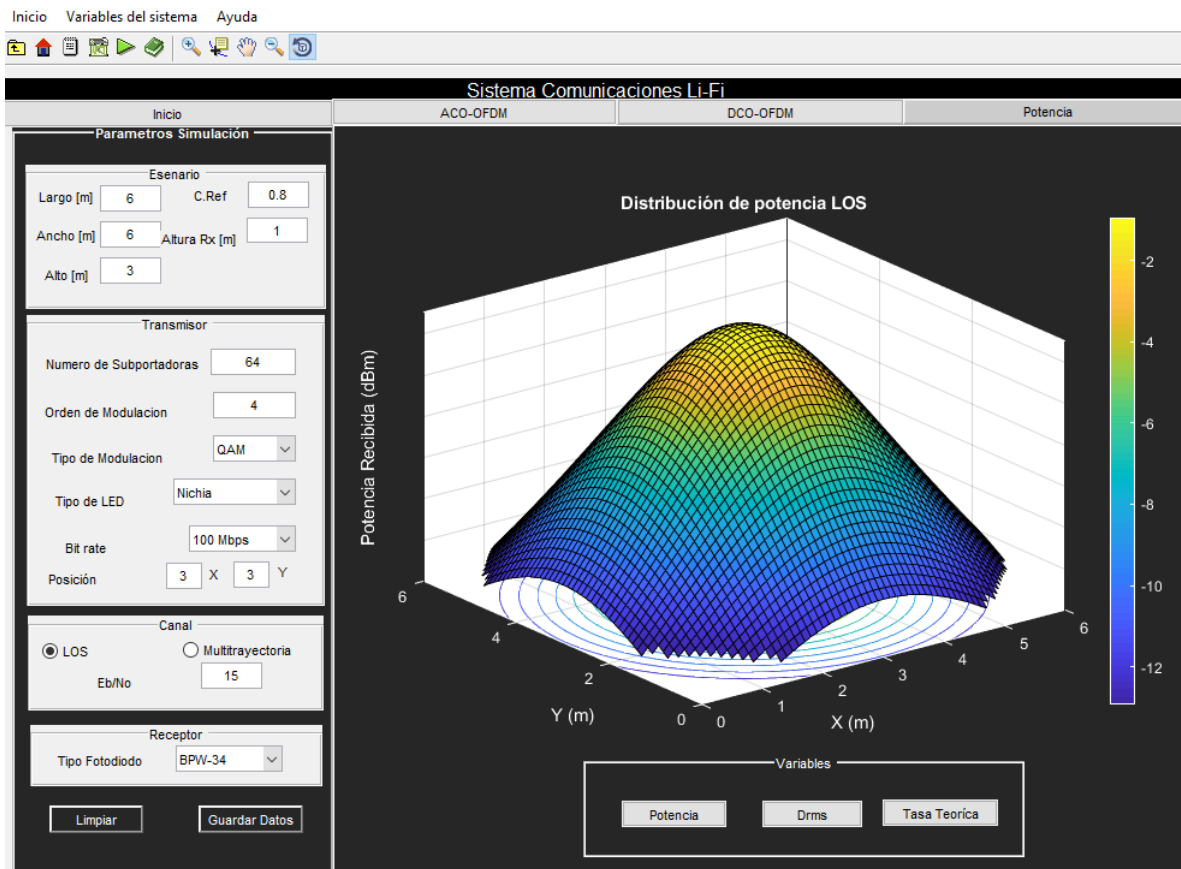


Figura 3.14: Interfaz de usuario que permite la distribución de potencia.

Si el usuario selecciona únicamente la opción multirayectoria la distribución de potencia se muestra en la Figura 3.15.

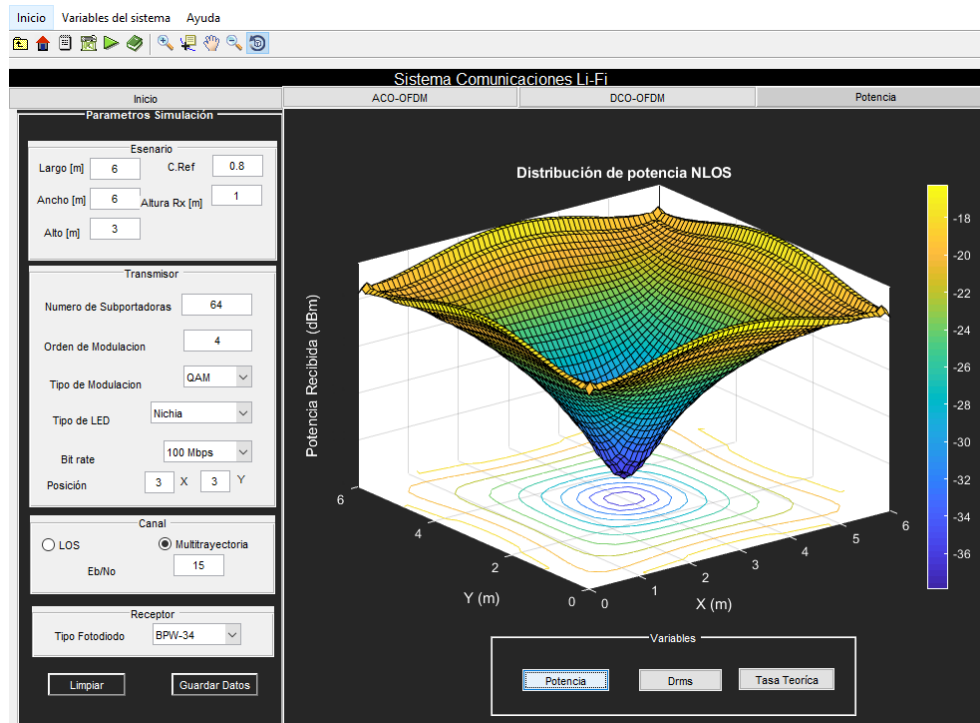


Figura 3.15: Interfaz de usuario que permite calcular distribución de potencia únicamente con multitrayectoria.

La interfaz también permite calcular la máxima dispersión del retardo mediante el **bloque DRMS** como se muestra en la Figura 3.16.

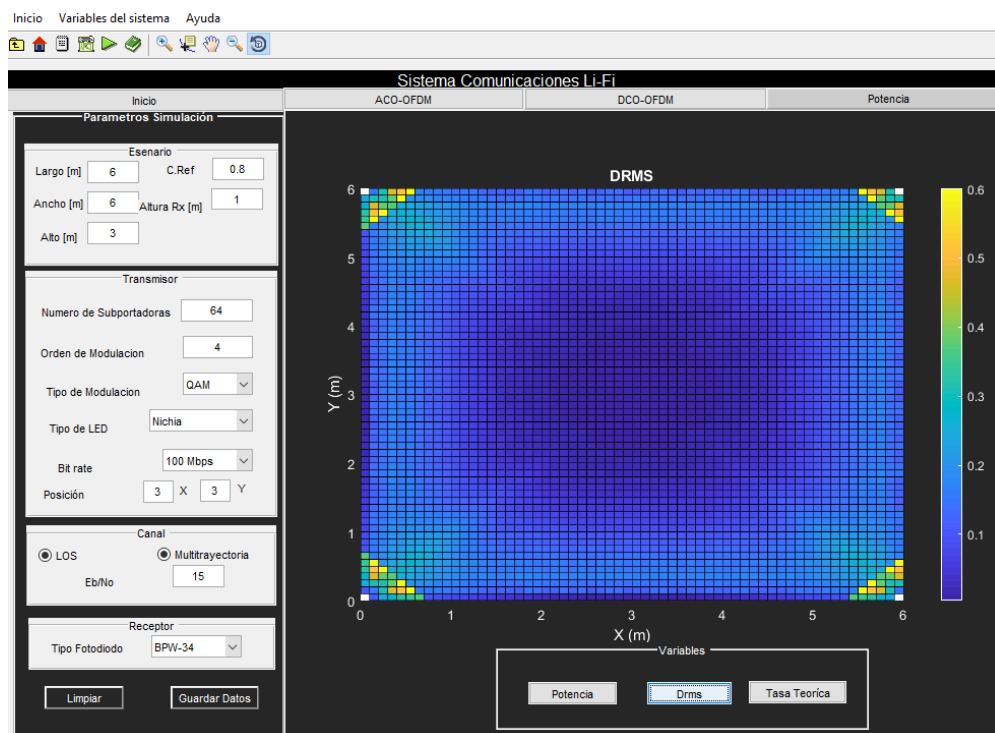


Figura 3.16: Interfaz de que permite calcular el DRMS

3.2 Prueba a nivel de red.

Para el análisis a nivel de red se dispone de la interfaz de la Figura 3.17 que permite caracterizar el escenario de simulación según las dimensiones reales de la habitación, el material de las paredes mediante el coeficiente de reflexión, el tipo de transmisor, tipo de receptor y la forma de propagación de la señal. La interfaz de usuario cuenta con 2 opciones Posición Tx y Cobertura.

En la pestaña **posición Tx** se define la posición de los 4 transmisores dentro de la habitación, mientras que en la pestaña **Cobertura** se muestra los mapas de potencia para cada uno de los transmisores.

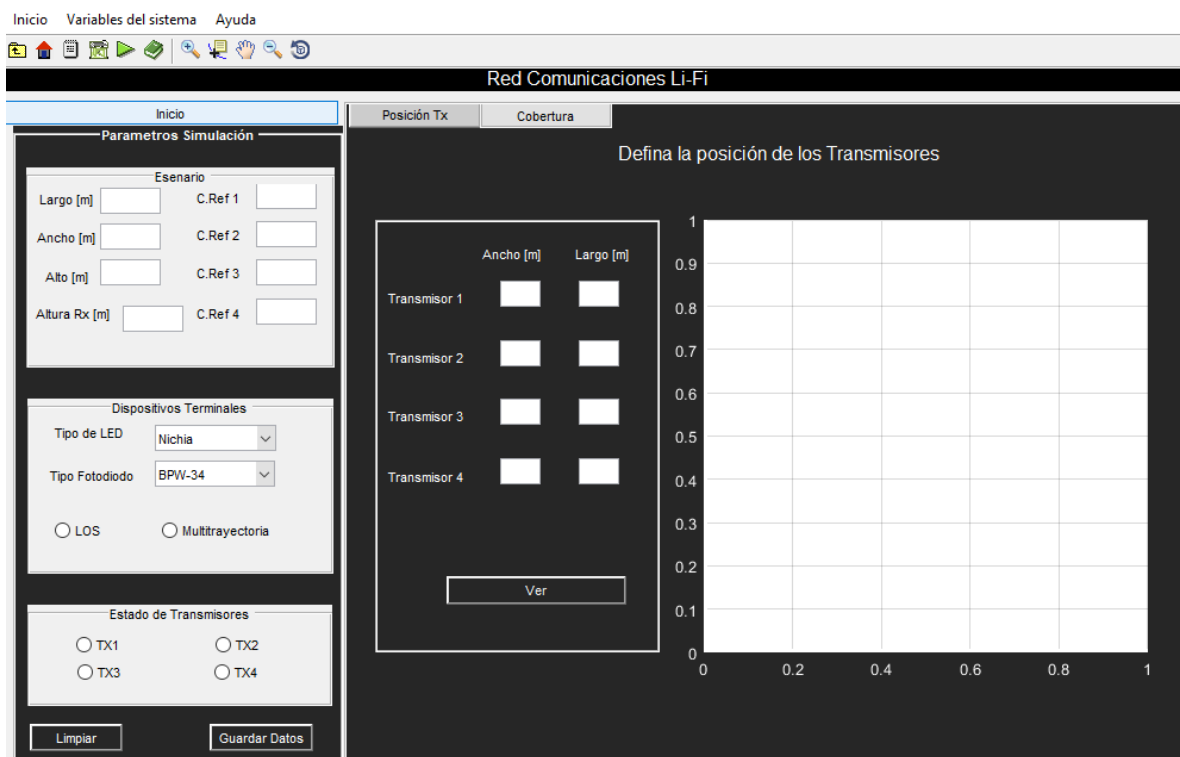



Figura 3.17: Interfaz gráfica red Li-Fi

Inicialmente se debe definir la ubicación de los transmisores, y mediante el botón **VER** se observa la disposición de estos en el plano cartesiano, tal como se muestra en la Figura 3.18. El usuario puede definir cualquier ubicación para los transmisores LED, sin embargo, se debe tener en cuenta que una mala ubicación generará interferencia entre fuentes adyacentes. La ubicación de los 4 transmisores está definida de tal manera que no exista interferencia, para obtener esta posición únicamente se selecciona la opción **Cargar datos**  y todos los parámetros iniciales del sistema se cargan automáticamente a la herramienta, si se desea hacer alguna modificación basta con presionar el botón **Guardar Datos**.

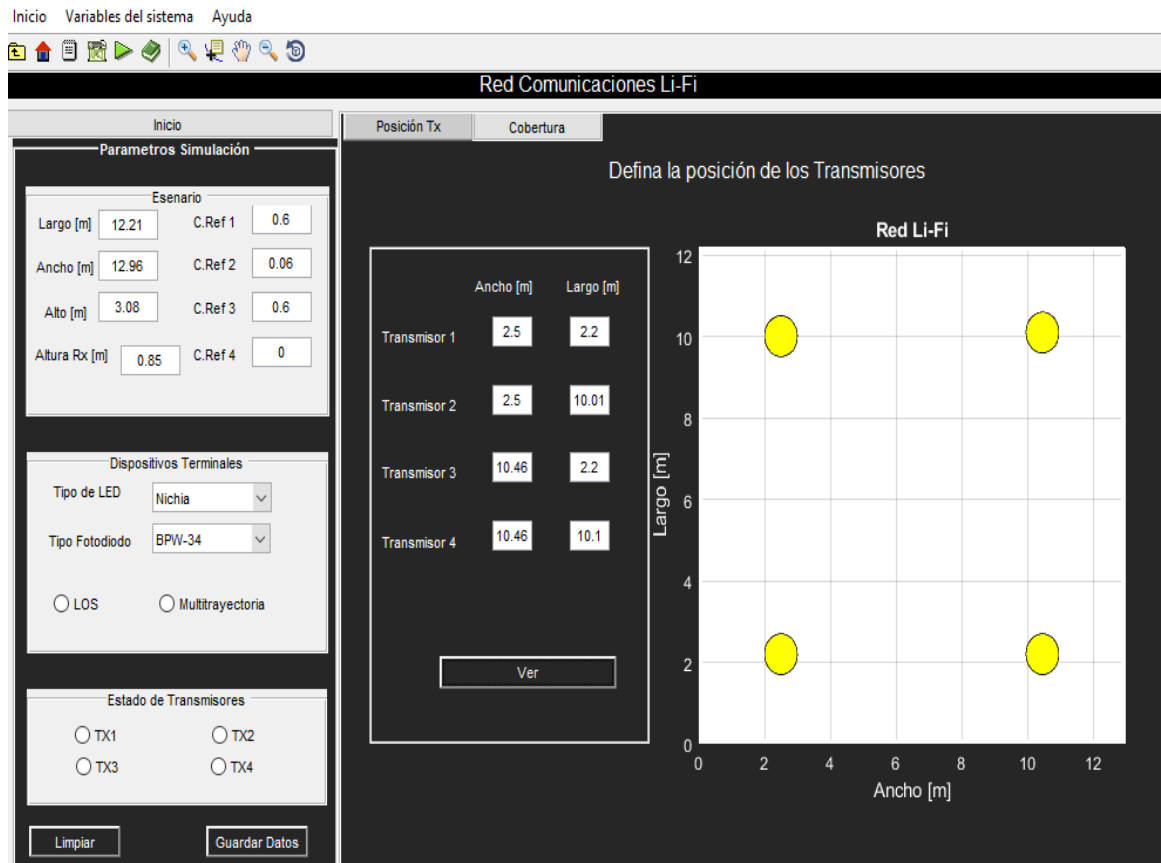


Figura 3.18: Disposición de los transmisores LED

Una vez se defina la posición de los 4 transmisores LED y todos los parámetros de configuración se procede a calcular la **Cobertura** de la red. La interfaz gráfica que permite calcular la Cobertura se muestra en la Figura 3.19 donde se observa que se puede controlar el estado de los LEDs (ON-OFF), en este caso se han encendido el transmisor 1 y 3 por lo que se brinda cobertura únicamente a la mitad de la habitación. Cuando se encienden los 4 transmisores LED la distribución de potencia se muestra en la Figura 3.20, donde se observa que gran parte del área de la habitación tiene cobertura, sin embargo existen zonas muertas donde no hay presencia de señal.

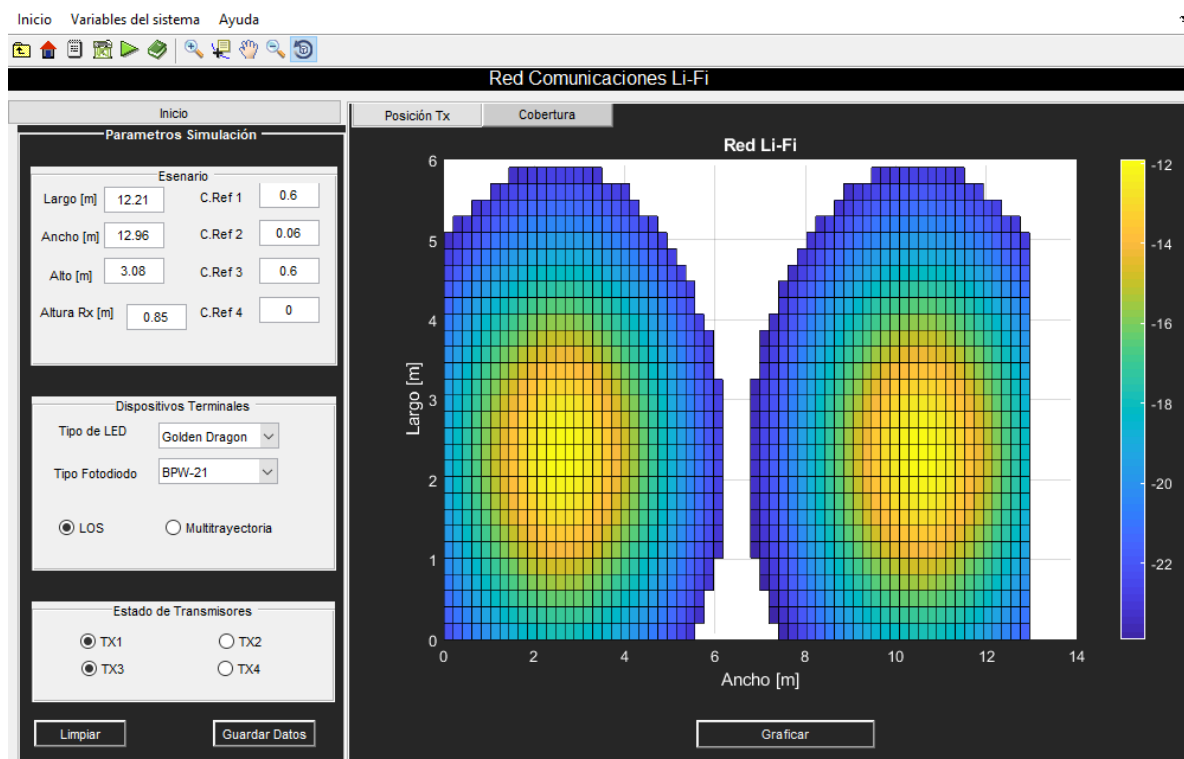


Figura 3.19: Interfaz gráfica para cobertura de la red Li-Fi con 2 transmisores

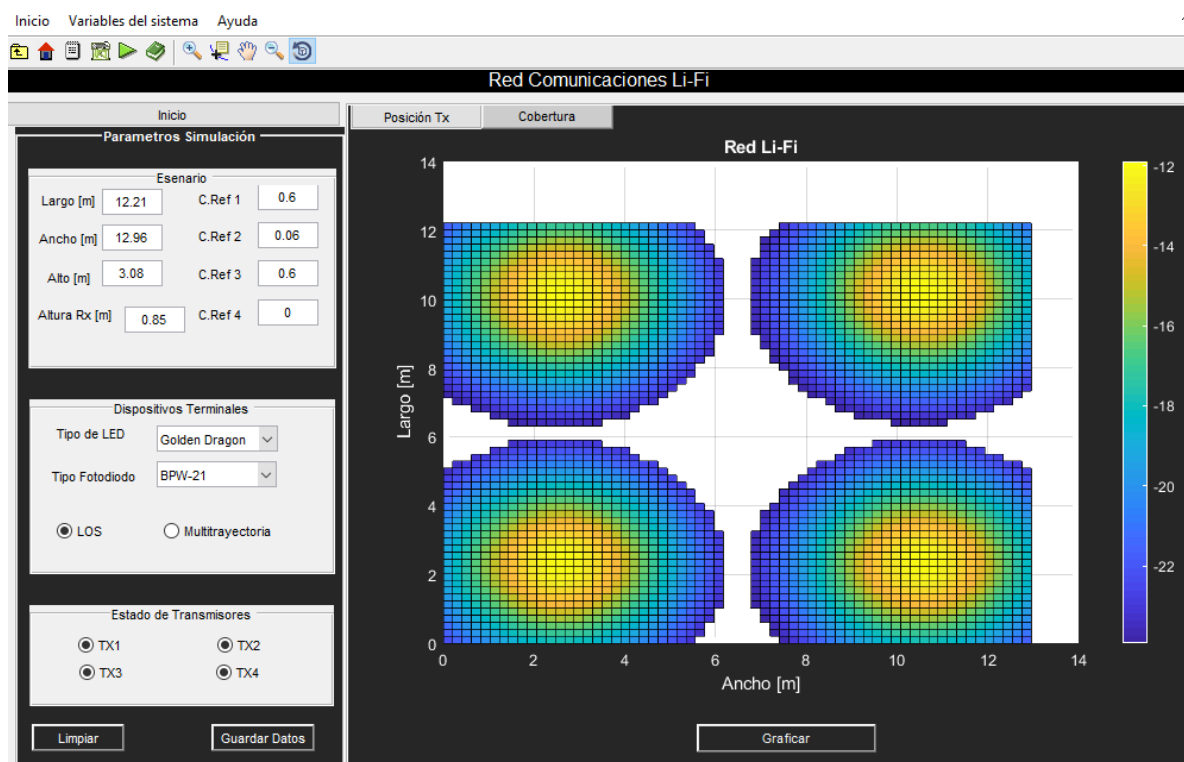


Figura 3.20: Interfaz gráfica cobertura red con 4 transmisores encendidos

En la Figura 3.21 muestra otro tipo de configuración, es decir se tiene multitrayectoria y los 4 transmisores LED se encuentran encendidos.

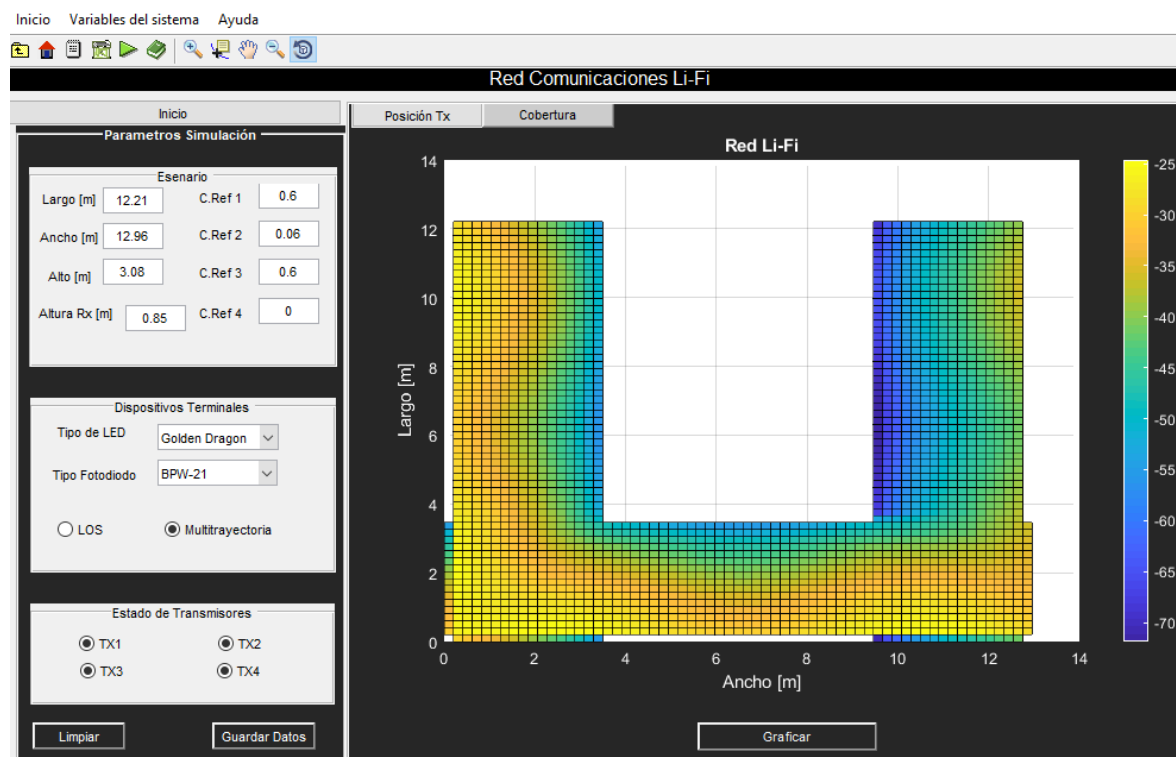


Figura 3.21: Interfaz gráfica cobertura de red cuando existe multitrayectoria

Finalmente, en la Figura 3.22 se muestra la distribución de potencia total dentro de la habitación cuando los 4 transmisores LED se encuentran encendidos, y se tiene en cuenta la propagación de la señal cuando existe Línea de Vista y multitrayectoria.

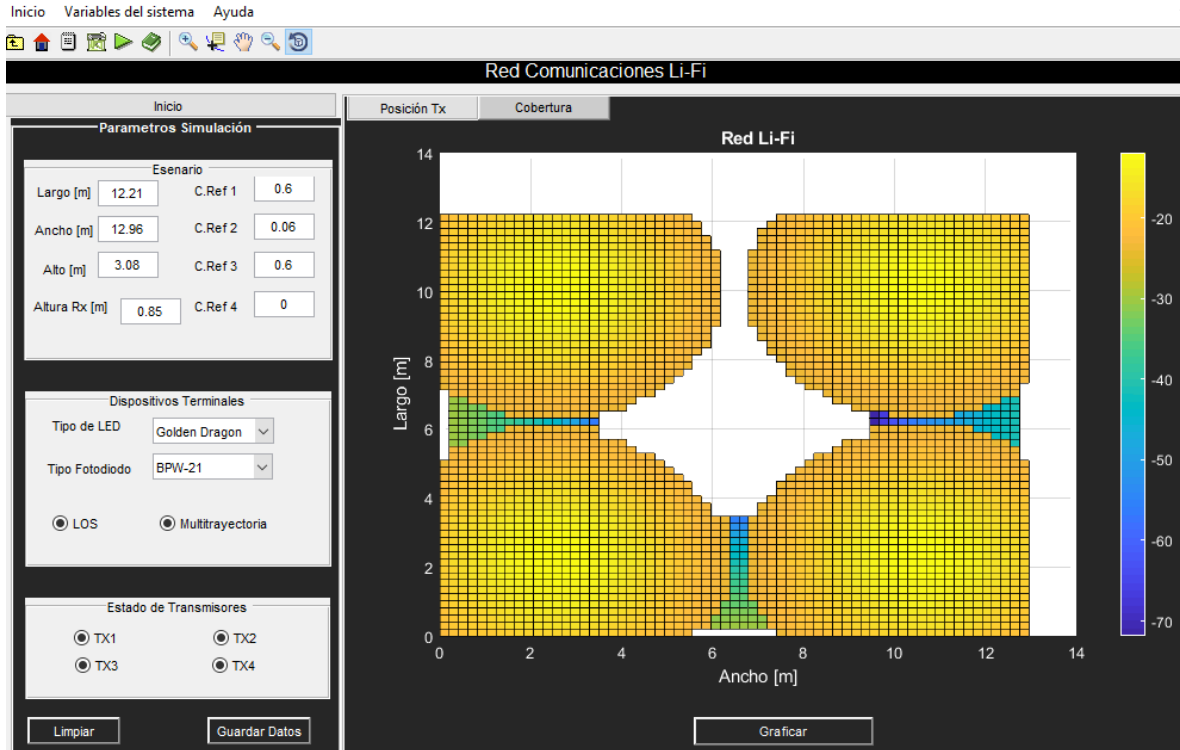


Figura 3.22: Distribución total de potencia red Li-Fi

3.3 Limitaciones

Esta herramienta es un primer acercamiento a la tecnología Li-Fi obviamente faltan muchas consideraciones a tener en cuenta como presencia de objetos dentro de la habitación, análisis de interferencia entre fuentes, interferencia generada por la luz ambiental, entre otros, para de esta manera obtener un modelo de herramienta completo. Sin embargo, el objetivo de esta primera versión es proporcionar una base de estudio y trabajo para futuros proyectos de investigación. El código generado se encuentra debidamente documentado y puede ser utilizado para futuros desarrollos o para mejorar de la herramienta de simulación.

El diseño de la red Li-Fi se basa en un escenario propio de la Universidad del Cauca que corresponde a las salas de lectura del primer piso de la biblioteca **José María Serrano** descrito en la tesis de pregrado titulada “**Análisis de desempeño a nivel de simulación de una red Li-Fi para la transmisión de datos**”. Por este motivo el análisis a nivel de red se encuentra sujeto a las características de ese entorno, es decir es posible considerar escenarios de longitudes máximas hasta **(13mts* 13mts)** debido a que siempre se cuenta con un máximo de 4 transmisores, si se aumenta las dimensiones del escenario por encima de 13 mts habrá que definir otro tipo de transmisores.

4. Conclusiones

- La herramienta Li-Findor facilita el análisis de la tecnología Li-Fi, debido a que es posible caracterizar cualquier escenario y definir las condiciones iniciales del sistema. La herramienta proporciona un diseño modular que permite analizar cada uno de los procesos que sufre la señal para poder propagarse por un canal óptico inalámbrico.
- MATLAB es una herramienta muy versátil que cuenta con una gran documentación lo que facilita el desarrollo de aplicaciones y códigos enfocados a las telecomunicaciones.
- Li-Fi se proyecta como una tecnología innovadora que ofrece altas velocidades de transmisión para las futuras comunicaciones, con Li-Fi hay mucho que trabajar y explorar dado que es una tecnología reciente que ha despertado el interés en grandes empresas y compañías de telecomunicaciones en el mundo.

BIBLIOGRAFIA

- [1] E. Ramadhani and G. P. Mahardika, "The Technology of LiFi: A Brief Introduction," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 325, no. 1, p. 1-10, 2018.
- [2] "Tecnología Li-Fi: Qué es y cómo puede revolucionar las comunicaciones móviles." [Online]. Available: <https://www.xatakamovil.com/futuro/tecnologia-li-fi-que-es-y-como-puede-revolucionar-las-comunicaciones-moviles>. [Accessed: 14-Dec-2019].

Esta es la versión 1.0 del documento: Recurso Educativo Abierto, Li-Findoor herramienta de simulación Open Source para sistemas de comunicaciones ópticos inalámbricos; elaborado dentro del contexto de la Especialización en TIC para la Innovación Educativa - Curso Recursos Educativos Abiertos año 2020. Esta documentación se comparte con una licencia