

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD Y
COMPUTACIÓN**

MODELAMIENTO Y CARACTERIZACIÓN DE UN CANAL
INALÁMBRICO EN LA BANDA DE 5 GHZ EN UN AMBIENTE
INDOOR EMPLEANDO IRS (*INTELLIGENT REFLECTING
SURFACE*)

INFORME DE MATERIA INTEGRADORA

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

PRESENTADO POR:

RONALD STALIN ALCIVAR QUIMICAS

JOSÉ ANTONIO COELLAR MACÍAS

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2021

DEDICATORIA

El presente trabajo va dirigido a mis padres, por todos los triunfos que me enseñaron a valorar y a su vez la superación a momentos complejos de la vida. Asimismo, dedico el proyecto a familiares, amigos, Team Fortnite (Don Rafa, Don Christopher, Don Jipo, Master), a mi amigo Dennys y a mi amiga de toda la etapa universitaria y de toda la vida, Natasha. De igual manera, el proyecto lo dedico a todas las personas que colaboraron en el trabajo investigativo como profesores, tutores y mi compañero de tesis, Ronald Alcívar.

José Antonio Coellar Macías

Este proyecto está dedicado a mis padres y a mi hermano Víctor, a todos mis compañeros de carrera y a mi Amigo y compañero de Tesis José Coellar

Ronald Stalin Alcívar Quimis

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres por la ayuda continua en todo mi proceso de aprendizaje y sobre todo el permitir culminar cada meta propuesta. A su vez, agradezco a los directivos, profesores y tutor de tesis, Ing. Francisco Novillo, Ing. Eduardo Chancay e Ing. Patricia Chávez, quienes sin ningún egoísmo aportaron con conocimientos y experiencias para la mejora de la enseñanza y desarrollo del presente proyecto. Además, agradezco a mis compañeros y amigos que compartieron sus conocimientos y se pudo permitir una apreciable experiencia universitaria.

José Antonio Coellar Macías

Agradezco mucho mis padres por apoyarme en toda mi carrera universitaria y por enseñarme los valores de la puntualidad y el trabajo duro, a los amigos que he conocido a lo largo de mi carrera y a todos los profesores con los que he tomado clase por compartir sus conocimientos, en especial gracias al Ing. Francisco Novillo y a la Ing. Patricia Chávez por ayudarnos a realizar este proyecto, y también a mi compañero de tesis y amigo José que a lo largo de mi carrera siempre me apoyó y siempre me daba su mano para todo lo que realizaba.

Ronald Stalin Alcívar Quimis

TRIBUNAL DE FIRMA

Ph.D Francisco Novillo Parales

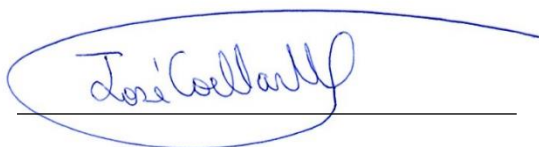
PROFESOR DE LA MATERIA

Ph.D Patricia Chávez Burbano

PROFESOR TUTOR

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *José Antonio Coellar Macías* y *Ronald Stalin Alcívar Quimis* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual.”



JOSÉ ANTONIO COELLAR MACÍAS

AUTOR



RONALD STALIN ALCÍVAR QUIMIS

AUTOR

RESUMEN

En el presente el internet de las cosas (IOT), un concepto nacido de la conectividad de las redes inalámbricas es el prometedor futuro en el que el mundo se está encaminando conjunto a las redes Wifi de banda 5GHz, cual presenta dificultades con respecto a la cantidad de dispositivos que comparten una misma red Wifi. En áreas urbanas como vecindarios, departamentos, lugares de múltiples redes, las redes que funcionan bajo la banda de 5GHz presentan problemas de interferencia por otras redes, y a su vez poca cobertura; del cual se debe recurrir a extensores o repetidores para poder dar solución en cierta medida.

En el presente proyecto se diseñó y simuló una comunicación inalámbrica basada en un modelado de un canal que se ejecute bajo la banda de frecuencia de 5 GHz, que se verá adaptado para tener un funcionamiento dentro de un área interna. Consecuentemente, el área se verá evaluado ante distintos materiales de construcción y bajo la tecnología IRS, a fin de generar una comparativa del funcionamiento del canal frente a distintos medios que pueden alterar el espectro de comunicación.

Bajo el software Matlab se obtuvo la simulación de la comunicación inalámbrica donde primero se presenta una representación de los rayos de las antenas, luego se mostró la potencia promedio de los canales de transmisión, continuamente se pasó a calcular el BER del escenario; para cada material se presentan los resultados anteriores con el fin de mostrar la eficiencia de la tecnología IRS ante el entorno, al final se muestra una gráfica de Distancia de propagación vs Path loss de los 3 materiales en un solo grafico resaltando la diferencia que tiene el material en la comunicación indoor.

Palabras clave: indoor, canal inalámbrico, IRS

ABSTRACT

In the today world, the Internet of Things (IOT), a concept born from the connectivity of wireless networks, is the promising future in which the world is jointly heading with 5GHz band Wi-Fi networks, which presents difficulties with respect to the amount of devices that share the same Wi-Fi network In urban areas such as neighborhoods, departments, places with multiple networks, networks that work under the 5GHz band present problems of interference by other networks, and in turn poor coverage; of which extenders or repeaters must be resorted to in order to provide a solution to a certain extent.

In the present project, a wireless communication based on a modeling of a channel that runs under the 5 GHz frequency band was designed and simulated, which will be adapted to operate within an internal area. Consequently, the area will be evaluated against different construction materials and under IRS technology, in order to generate a comparison of the operation of the channel against different media that can alter the communication spectrum.

Using the Matlab software, the simulation of wireless communication was obtained where first a representation of the antenna rays is presented, then the average power of the transmission channels is shown, the BER of the scenario is continuously calculated; for each material the previous results are presented in order to show the efficiency of the IRS technology in the environment, at the end a graph of Propagation Distance vs Path loss of the 3 materials is shown in a single graph highlighting the difference that the material in indoor communication.

Keywords: indoor, wireless channel, IRS

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1	1
1. Introducción	1
1.1 Definición del problema	1
1.2 Justificación del problema	2
1.3 Objetivos	4
1.5 Alcance	4
1.6 Metodología	4
CAPÍTULO 2	7
2.1 Estándares de la banda 5 GHz	7
2.2 Path Loss	8
2.3 Punto de acceso	8
2.4 Intelligent reflecting surface	9
2.5 Posicionamiento INDOOR	11
2.6 Interferencia	12
CAPÍTULO 3	15
3.1. Descripción del escenario de estudio	15
3.2 Modelo del sistema	17
3.2.1. Modelamiento de materiales	18
3.2.2. Métricas de desempeño	21
3.3 Implementación del escenario	26
CAPITULO 4	28
4. Resultados	28
4.1 Caso 1	28
4.2 Caso 2	34
CONCLUSIONES	41
RECOMENDACIONES	43
BIBLIOGRAFIA	44
ANEXOS	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Diagrama de flujo del proyecto	5
Figura 2.1 Reflexión de ondas electromagnéticas de una superficie metálica	10
Figura 2.2 Reflexión de ondas electromagnéticas de una IRS	10
Figura 3.1 Visualización del escenario	16
Figura 3.2 Diagrama de Flujo del modelamiento	16
Figura 3.3 Posicionamiento de las antenas transmisora (Color Rojo) y receptora (Color Azul).....	17
Figura 3.4 Comportamiento de la señal con madera	18
Figura 3.5 Comportamiento de la señal con ladrillo.....	18
Figura 3.6 Comportamiento de la señal con IRS.....	20
Figura 3.7 Visualización del escenario conjunto a la proyección de señales en forma de trazado de rayos.	25
Figura 3.8 Modelamiento de un entorno simétrico	26
Figura 4.2 Trazado de rayos de material ladrillo para caso 1	29
Figura 4.1 Trazado de rayos de material madera para caso 1.....	29
Figura 4.3 Trazado de rayos para el IRS para caso 1.....	29
Figura 4.4 Perfil de retardo de potencia de material madera para caso 1.....	30
Figura 4.5 Perfil de retardo de potencia de material ladrillo para caso 1	30
Figura 4.6 Perfil de retardo de potencia para el IRS para caso 1.....	30
Figura 4.8 Gráfica Error por Bit vs SNR por Bit de material ladrillo para caso 1.....	32
Figura 4.7 Gráfica Error por Bit vs SNR por Bit de material madera para caso 1	32
Figura 4.9 Gráfica Error por Bit vs SNR por Bit para el IRS para caso 1	32
Figura 4.10 Gráfica Pathloss vs Distancia de propagación del caso 1 en el escenario usando todos los materiales.	33
Figura 4.11 Trazado de rayos de material madera para caso 2.....	34
Figura 4.12 Trazado de rayos de material ladrillo para caso 2	34
Figura 4.13 Trazado de rayos para el IRS para caso 2.....	35
Figura 4.15 Perfil de retardo de potencia de material ladrillo para caso 2	36
Figura 4.14 Perfil de retardo de potencia de material madera para caso 2.....	36
Figura 4.16 Perfil de retardo de potencia para el IRS para caso 2.....	36
Figura 4.18 Gráfica Error por Bit vs SNR por Bit de material ladrillo para caso 2.....	38
Figura 4.17 Gráfica Error por Bit vs SNR por Bit de material madera para caso 2	38
Figura 4.19 Gráfica Error por Bit vs SNR por Bit para el IRS para caso 2	38
Figura 4.20 Gráfica Pathloss vs Distancia de propagación del caso 1 en el escenario usando todos los materiales.	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1 Parámetros de simulación para caso 1.	28
Tabla 4.2 Parámetros de simulación para caso 2.	34
Tabla Anexos 1 Valores BER vs SNR por bit del caso 1 para el escenario usando material de cobertura madera.	48
Tabla Anexos 2 Valores BER vs SNR por bit del caso 1 para el escenario usando material de cobertura ladrillo.	49
Tabla Anexos 4 Valores BER vs SNR por bit del caso 1 para el escenario usando material de cobertura IRS.	50
Tabla Anexos 5 Valores BER vs SNR por bit del caso 2 para el escenario usando material de cobertura madera.	51
Tabla Anexos 6 Valores BER vs SNR por bit del caso 2 para el escenario usando material de cobertura ladrillo.	52
Tabla Anexos 7 Valores BER vs SNR por bit del caso 2 para el escenario usando material de cobertura IRS.	53

CAPÍTULO 1

1. Introducción

El internet de las cosas (IOT) es el prometedor futuro en el que el mundo se está encaminando conjunto a las redes Wifi de banda 5GHz, cual presenta dificultades con respecto a la cantidad de dispositivos que comparten una misma red Wifi [1]. En áreas urbanas como vecindarios, departamentos, lugares de múltiples redes, las redes que funcionan bajo la banda de 5GHz presentan problemas de interferencia por otras redes, y a su vez poca cobertura; del cual se debe recurrir a extensores o repetidores para poder dar solución en cierta medida. [2]

El presente proyecto de titulación propone el diseño de una simulación dónde se exponga la eficacia de las bandas de 5 [GHz] en un área interna (INDOOR) de la manera en que funciona hasta la fecha y otra solución donde se presente la banda 5 [GHz] con la implementación de la tecnología Intelligent Reflective Surfaces (IRS) en una misma área interna. La finalidad de la propuesta es investigativa, de tal manera que a través del desarrollo simulado se pueda determinar el aumento de eficacia, características y considerar efectos RF que las bandas de 5GHz podría tener al funcionar junto a la tecnología IRS.

El desarrollo de la propuesta descrita, el proyecto de titulación se basará en cuatro capítulos. El primer capítulo tendrá la descripción del problema, objetivos, justificación y la propuesta que plantea la solución a lograr. Para el segundo capítulo se especificará todo el marco teórico del proyecto, abarcando conceptos, términos y menciones que tendrá el documento. Consecuentemente, el tercer capítulo se centrará en el diseño de la programación para la simulación. Finalmente, el cuarto capítulo explicara los resultados gráficos obtenidos de la simulación.

1.1 Definición del problema

Las bandas de 5GHz operan desde los 5180 MHz hasta los 5825 MHz y soportan hasta 25 canales de un ancho de 20 MHz llegando a tener velocidades de conexión superiores a las bandas de 2,4 GHz, dado a la frecuencia estas bandas no tienen una cobertura enorme y son terribles para poder pasar obstáculos como las paredes, pero el hecho de tener menor cobertura resuelve en cierta forma el problema de interferencia por sobresaturación del espectro ya que las redes Wifi-vecinas se atenúan evitando así interferencias [3].

Las bandas de 5 GHz por su cobertura no presentan sobresaturación aún, se puede aprovechar las bandas de 5GHz para poder solventar los problemas de sobresaturación y para obtener mejores resultados de conectividad dentro de un entorno cerrado indoor conjunto a las tecnologías IRS pueden ser la respuesta. Las tecnologías IRS son estructuras programables que permiten el acceso al control de propagación de ondas electromagnéticas [4], por lo que estas tecnologías son capaces de mejorar el rendimiento del sistema de transmisión de datos inalámbricos en presencia de baja cobertura, lamentablemente, no se tienen demasiados estudios de implementación dentro de áreas INDOOR en estas bandas 5 [GHz].

1.2 Justificación del problema

La banda 5 GHz se ve presentado por distintos estándares IEEE (802.11a, 802.11n y 802.11ac) que con el tiempo cada estándar fue un desarrollo de un previo a fin de tener una orientación directa al soporte de nuevas tecnologías que se usan de manera común hoy en día para cualquier implementación Wi-Fi dado a su libre uso sin requerir de licencia autorizada de por medio. Esta banda de frecuencia de 5 GHz ofrece mucho mayor velocidad a comparación de la banda 2.4 GHz, esto implica que los adquisidores de nuevas antenas Wi-Fi de una edificación logre enlazar comunicación neta dentro de la misma que a su vez es una solución a retardos o problemas de enlaces. Asimismo, otras ventajas que ofrece el 5GHz es cumplir con la necesidad de los consumidores tanto así que promete ofrecer un método de estabilidad de conexión para el contenido multimedia, teniendo enlaces directos sin interrupciones para dispositivos electrónicos y todo tipo. [5]

El uso de la banda de frecuencia de 5 GHz trae ventajas a las redes de ambientes internas que buscan la erradicación de interferencias de por medio en la estructura de área, entres estas se tiene que la frecuencia no se verá tan aglomerada por canales, esto es posible en implementación de mínimo uso de redes para aprovechar la disponibilidad del ancho de banda. No obstante, también se tiene el uso de emisión de datos por medio de simultaneidad en los distintos canales de la banda de frecuencia, teniendo como ventaja en la implementación de una mayor celeridad para la transmisión [6], respecto al uso de enrutadores, la banda de 5 GHz es la mejor opción en implementaciones por su alta rapidez en respuesta ante de la demanda solicitada de conectividad, esto facilita que el uso de banda ancha en instante que se mantenga un enlace en línea constante, para estos casos se tiene una ventaja frente al uso de contenido multimedia [7].

A pesar de la gran propuesta que sigue hasta la actualidad siendo la banda de 5 GHz para el uso Wi-fi, esta no es la excepción a fallas, principalmente por el alcance de cobertura. La implementación de la banda 5 GHz puede verse afectada en cualquier tipo de uso, ya sea en ambientes externos o internos. Los errores presentados no son totalmente por parte de necesidad de canales y su debilidad, sino las obstrucciones existentes en las zonas como alcance de antenas (Acces Point) han sido un atasco de la implementación deseada. Además, una principal desventaja se presenta ante el modelo de routers o dispositivos electrónicos antiguos que se vean asociados, esto se debe a la poca capacidad de alcance que tienen estos dispositivos de gama baja cuales no pueden operar bajo todos los canales que el 5 GHz les ofrece y viéndose obligados a utilizar la banda 2.4 GHz. [8]

Los Intelligent Reflective Surfaces son un concepto nuevo en las comunicaciones inalámbricas, se componen en su mayoría de superficies planas en las que se instalan numerosas antenas que funcionan como medio reflectivo, cada antena está conectada a un microprocesador que por medio de transmisión de carga permite ajustar la impedancia de las antenas permitiendo cambios de fase logrando controlar el coeficiente de reflexión de cada antena, lo que permitiría controlar la reflexión que tiene esta superficie con las ondas electromagnéticas, esta tecnología tiene la capacidad de mejorar la transmisión de datos de un ambiente reduciendo la pérdida de señal en el mismo.

Como se mencionó anteriormente una de las desventajas de la banda 5 GHz es poseer un rango bajo de cobertura y para poder distribuir esta tecnología se tendría que instalar una cantidad considerable de dispositivos repetidores, puntos de datos y demás para la adecuación infraestructura; sin embargo, el uso de la tecnología IRS (Intelligent Reflective Surfaces) podría beneficiar la implementación de esta banda Wi-Fi debido a que la misma permite aumentar el rango de cobertura de un sistema lo que en teoría podría reducir los problemas de infraestructura requerida para poder implementar una red inalámbrica que funcione bajo la banda de 5GHz.

Debida a la poca información respecto a la tecnología IRS (Intelligent Reflective Surfaces) se busca ofrecer un estudio donde se pueda discernir un arquetipo de solución para cobertura de red en área interna (INDOOR) a base de la tecnología IRS con banda de frecuencia de 5 GHz. Esto sería de ayuda a futuras implementaciones de sectores que se centren en áreas pequeñas e internas, asegurando el enlace de conectividad. La simulación dispone de generar un entorno INDOOR dónde se pueda otorgar una cobertura total del sector sin errores de transmisión bajo la tecnología IRS y se pruebe que esta tecnología es solución futura para desarrollos tecnologías próximos.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Modelar y caracterizar un canal inalámbrico en la banda de 5 [GHz] usando IRS en ambientes INDOOR.

1.3.2 Objetivos Específico

- Identificar y analizar las distintas variantes que resultan a partir de un canal inalámbrico ante las repercusiones de su entorno.
- Crear una simulación del modelamiento de canal inalámbrico cuando se usa IRS de ambientes INDOOR.
- Comparar los resultados de una banda de 5GHz en diferentes escenarios en donde se vea aplicando y a su vez no la tecnología IRS

1.5 Alcance

El siguiente proyecto busca obtener un estudio a detalle de los efectos de un IRS (Intelligent Reflective Surface) en la banda 5 [GHz] y sus posibles beneficios para la misma debido a que no existen demasiados estudios de implementación dentro de estas bandas 5 [GHz], debido a la creciente necesidad por mejorar la tecnología Wi-Fi que use esta banda de frecuencia en áreas internas que y por su altos costos de implementación y mantenimiento es necesario analizar distintas formas en las que esta tecnología pueda ser implementada.

Se plantea diseñar una simulación que integre las características IRS dentro de un entorno cerrado para la observación de alteraciones, comportamiento y características que se tienen al implementar Intelligent Reflective Surface “IRS” en un canal de alta velocidad inalámbrica como lo ofrece la banda de frecuencia 5 GHz.

1.6 Metodología

Como primer punto se investigó acerca de las características de la banda de frecuencia 5 GHz, su capacidad de transmisión en el medio, también se analizó su pérdida en el aire y como las obstrucciones reducen su rango de transmisión, a través de la investigación por medio de fuentes bibliográficas sobre la implementación Wi-Fi de la banda de frecuencia 5 GHz.

Después de obtener las características y parámetros de la banda 5 GHz, se procedió a diseñar un código que permita mostrar visualmente formas de ondas de frecuencia de 5 GHz transmitidas en el aire para poder observar la pérdida natural que la banda 5 GHz genera.

Posteriormente, se modifica la codificación en función de una representación de la tecnología IRS (Intelligent Reflecting Surface). Esto para poder discernir la característica de la red a simular y evaluar dentro de un espacio considerado apropiado para ser especificado por un área INDOOR.

Mediante los resultados obtenidos, se realiza una comparación del comportamiento RF en múltiples escenarios, de la cual constarán de dos casos aplicados en cada una; uno donde se muestre netamente la banda de 5 [GHz] y su característica habitual y otra dónde se pueda ver el cambio de nivel de cobertura al implementar el IRS bajo la misma banda en una misma área.

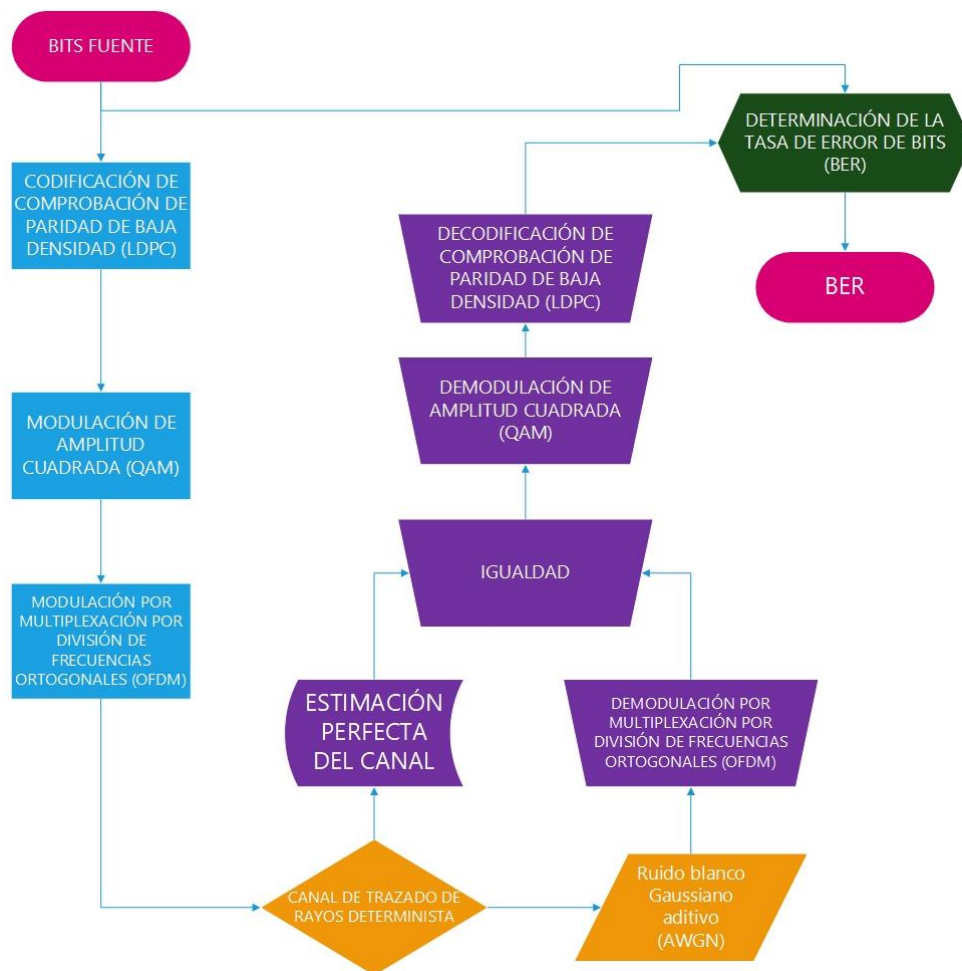


Figura 1.1 Diagrama de flujo del proyecto

A partir de la figura 1.1 se explica los métodos utilizados para el cumplimiento de los objetivos que se plantearon al modelar el entorno INDOOR que emplee la tecnología IRS conjunto a una banda de frecuencia 5GHz. A partir de esto, se representa por segmentaciones en un flujograma el funcionamiento de la codificación generada para el escenario que se propone a observar, esto incluye la configuración de banda 5 GHz, las antenas transmisoras y receptoras para obtener una gráfica de Tasa de Error Binario. Primero se introducirán los bits fuentes que pasaran bajo una codificación de comprobación de paridad de baja densidad de tal manera que se pueda modular bajo QAM y OFDM a partir del transmisor; a partir de dicho punto se filtrara mediante un canal de rayos deterministas para la estimación perfecta del canal y se añadirá un ruido blanco gaussiano aditivo para la demodulación en el receptor. Finalmente, los resultados partirán de mostrar gráficamente el trazado de rayos de antenas y ángulos que toman en dirección de los dispositivos, gráfica de Power Delay y BER.

CAPÍTULO 2

2.1 Estándares de la banda 5 GHz

La banda de 5 GHz posee la capacidad proporcionar más canales ante un bajo consumo, esto implica al uso sus distintos estándares IEEE como 802.11a, 802.11n, 802.11ac (A, N, AC). En generalidad, los router y Access Point cuales emplean la banda de 5 GHz son de configuración de doble bandas, esto con la sencillez de tener cambio de banda de ser requerido. La banda de frecuencia 5 GHz también ofrece mucho mayor velocidad de transmisión conjunto a numerosos protocolos de soporte. Asimismo, la banda de 5 GHz ofrece mucho mayor velocidad, pero una reducida cobertura debido al poco alcance que tiene disponible. La ventaja del 5 GHz parte ante el uso de 25 canales que no se superponen y mantiene una reducida interferencia, gran ancho de banda y la velocidad de enlace es mucho más rápida a pesar de poseer un rango de red corto. [9]

En generalidad, los dispositivos electrónicos emplean Wi-fi IEEE 802.11 como el portador para la ejecución de comunicación en una red inalámbrica local. Esto implica que su uso corresponde a espacios mucho más reducidos para otorgar la cobertura como en una red de área local; así mismo el espectro electromagnético varía según el estándar IEEE se use y a que frecuencia, teniendo así un alcance radioeléctrico extenso para la red inalámbrica de banda ancha para el reconocimiento de canales. [10]

2.1.1 802.11ac

El estándar IEEE 802.11ac fue desarrollado para mejorar las comunicaciones inalámbricas en una red de área local, la intención es ofrecer a la tecnología Wi-Fi una mayor celeridad de transmisión de datos que partan de un rango desde 1 Gbps hasta 6.93 Gbps. El modelo 802.11ac trabaja bajo una banda de frecuencia de 5 GHz de tipo 5,8 GHz y a su vez es ISM por lo que no requiere licencia para su implementación. Entre características destacada se nombra su ancho de banda para transmisión de valores 20, 40 y 80 [MHz] que serán capaces de ser modulados ante tipo de modulaciones como BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM y 256-QAM, siendo similar los tipos de modulaciones que usaba la versión 802.11a. El estándar 802.11ac es considerado una tecnología Gigabit dado su rapidez en la tasa de transferencia de datos por lo que su rendimiento es mayor a las previas versiones que trabajaban bajo la banda 5 GHz y tiene la capacidad de usar tecnologías como MIMO (Múltiple entrada – Múltiple salida) y MU-MIMO

(Multiusuario de Múltiple entrada – Múltiple salida), OFDM (Multiplexación por división de frecuencia ortogonal) y correcciones de erratas en la codificación. [11]

2.2 Path Loss

La pérdida de trayectoria o Path Loss es una función de orden exponencial al verse generado en un espacio libre, esto implica a que la intensidad que posee la señal tenga una reducción casi inmediata a los alrededores de los dispositivos emisores o transmisores. Sin embargo, el efecto de reducción de pérdida de trayectoria es mucho más pausado para los casos que no se vean cerca del transmisor. También se tiene en cuenta que las pérdidas del path loss es función cual radica específicamente para variables como distancias y frecuencias, fuera de esas variables no se ve condicionado. [12]

En escenarios dónde se generen implementaciones de antenas y se genere dar a conocer la ganancia que la misma posee como las pérdidas que se ven generada sobre el cableado, se tiene que tener en cuenta la determinación del presupuesto de enlace que permitirá detallar el path loss que se puede generar si es que se trata de un espacio libre. En aplicaciones habituales, las implementaciones se basan en las condiciones que se posee al generar una red inalámbrica, es decir, para el caso de uso de la banda de frecuencia de 5 GHz se tendrá muy mayor path loss a comparación a la de frecuencia de 2.4 GHz tomando en cuenta que se tiene un espacio libre; por lo que, por análisis matemático se tiene la condición a base de frecuencia, donde si esta se incrementa a su vez tendrá mucho mayores pérdidas en decibelios. En consecuencia, se tiene que para la banda de 5 GHz los dispositivos tendrán menor eficacia respecto al corto rango que esta frecuencia dispone frente otras bandas de frecuencias que alcanzan otros rangos al verse transmitidos. [12]

2.3 Punto de acceso

Un punto de acceso inalámbrico o por sus siglas en ingles WAP es un equipo electrónico que permite a dispositivos la capacidad de conectar de manera inalámbrica una red cableada, es más simple de instalar que conectar cada equipo de manera física con alambres o cables.

Un punto de acceso crea una red inalámbrica dentro de una red cableada, este dispositivo permite también convertirse en una extensión de señal que permita fortalecer y aumentar el rango de cobertura de una red inalámbrica esto en el aire libre, así como en edificios y oficinas en donde

que, debido a obstáculos, como árboles, edificios, en el caso del aire libre y dentro de los edificios debido a las paredes y la cantidad de pisos generan puntos muertos. [13]

Punto de acceso de raíz: En esta configuración, el dispositivo está conectado directamente a la red LAN para la conexión inalámbrica de la red, si más de un dispositivo de punto de acceso está conectado a la LAN, permitirá dispositivos moviéndose a diferentes áreas trabajen en la misma red sin perder conexión

Punto de acceso repetidor: El dispositivo que funciona como punto de acceso puede ser configurado como un repetidor que permita aumentar el rango de cobertura de una red o también para esquivar obstáculos que bloqueen las ondas de radio.

Puentes: El dispositivo Access Point puede ser configurado como un root bridge o un non root bridge con el fin de conectarse a múltiples redes. El punto de acceso en este caso establece una conexión inalámbrica con un punto de acceso non bridge para que así el tráfico de información pase de la red inalámbrica a la red física.

2.4 Intelligent reflecting surface

Las Intelligent Reflective Surfaces (IRS) son superficies 2D compuestas principalmente de una gran cantidad de micro dispositivos tipo antenas que tiene la función de reflejar ondas electromagnéticas, cada micro antena está conectada a un chip ajustable que permite realizar un cambio de impedancia e inducir un continuo cambio de fase de π , además agregando una resistencia variable es posible cambiar el coeficiente de reflexión de cada dispositivo reflectante en la superficie. [14]

En materiales de edificaciones comunes es muy reiterativo el conseguir reflexiones de ondas electromagnéticas en un índice de abertura que distorsiona la guía y potencia de la ondas, en la figura 2.1 se observa una lámina que emula a una superficie metálica dónde la onda reflejada posee una abertura entre la onda incidente conjunta al nuevo a direccionamiento en reflexión, a diferencia de cómo se observa en la figura 2.2 el Ángulo de reflexión puede ser controlado a medida que se modifica el cambio de fase en cada dispositivo de las IRS de una forma en que las ondas esparcidas sean dirigidas a una cierta dirección. [14]

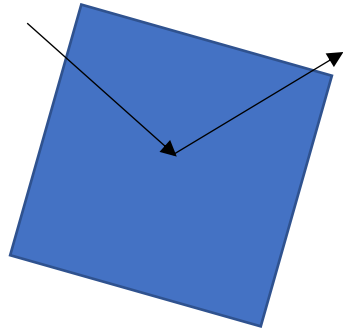


Figura 2.1 Reflexión de ondas electromagnéticas de una superficie metálica

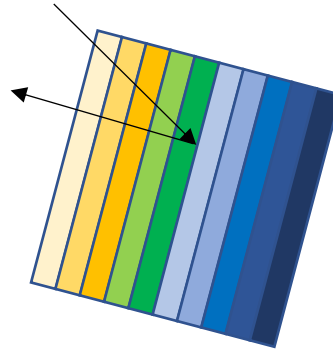


Figura 2.2 Reflexión de ondas electromagnéticas de una IRS

La existencia de ganancias por parte de una comunicación inalámbrica que se ve asistida por el IRS dependerá de la configuración de fases que se registren en todo dispositivo que esté funcionando conjunta a la tecnología IRS; esto implica a que se determine una consideración respecto a los requerimientos y exigencias del canal estudiado. La estimación de canales se divide por tres modos de conectividad, la primera corresponde a la estimación a partir del enlace existente entre Estación Base y el Usuario, la segunda corresponde a la apreciación de conectividad entre el Usuario al IRS, y la última forma de evaluación se toma al enlace entre la Estación Base e IRS. [14]

El IRS es un dispositivo de carácter pasivo del cual se ve limitado en alcances tales como para transmisión y recepción de datos, como el procesamiento de señales durante el proceso. Este efecto implica a que la estimación de enlace de un canal no puede ser sumamente fiable mediante el uso de IRS entre un proceso de conectividad de Estación Base y Usuario. No obstante, se tiene claro que la transmisión de señales no es posible de manera directa empleando IRS, por el cual no es tiene viabilidad el estudio de canal con dicha tecnología ante un escenario de enlace Usuario y Estación Base. [15]

La estimación de un canal de red inalámbrica se determina a partir de la Estación Base cual requiere de dos procesos o fases, el primer proceso constará en apagar la tecnología IRS y evaluar el CSI existente entre la Estación Base y Usuario ante el uso de enlaces elevados. El segundo proceso consta del accionar un único componente reflectante sobre el IRS y a su vez el resto de los componentes se vean desactivados, esto producirá una canal en serie entre la Estación Base por medio de la tecnología IRS. [16]

Se tiene en cuenta que las dimensiones de la tecnología IRS pueden exceder a lo que se suele a establecer en una implementación, pero a su vez esto generar que exista sobrecargas que afecten a la determinación del canal; por lo que, es preferible que la se mantenga informado

al IRS cualquier modificación en las fases con la que se ve ejecutando la Estación Base por medio del canal inalámbrico. [16]

2.5 Posicionamiento INDOOR

El posicionamiento en interiores radica en los IPS, que son tecnologías de soporte para la localización de personas u objetos que se encuentren en edificaciones de áreas internas; similar al funcionamiento que posee un GPS para entornos internos con la diferencia que el alcance satelital no tiene la misma confiabilidad al no poseer una relación visual conjunto al área encerrada. Planteando que un área interna (indoor) genera obstrucción sobre el alcance de conectividad satelital, se emplean las IPS como solución de seguimiento interno mediante transmisiones de datos que partirán de un software de aplicación a fin de generar el reconocimiento de localización del área interna; esto englobando a sistemas de ubicación real (RTLS), road localization (o localizaciones de camino), gestión de inventarios y sistemas de ubicación primarios. [17]

El reconocimiento de un área interna (indoor) se dan por distintas aplicaciones, tales como, la aplicación Wi-Fi o Bluetooth Low Energy (BLE), Ultra-WideBand o RFID pasivo. [17]

El diseño de una comunicación inalámbrica depende de la trayectoria en que se va a propagar, a fin de generar pérdidas promedias posibles dada a la obstrucción de línea de vista existente debido a la altura de las antes pierden comunicación. Esto incluye a los requisitos para designar un canal de comunicación que variará la velocidad entre los terminales. [17]

En un ambiente interior, las condiciones de existir o no línea de vista (LOS) conviven de manera independiente sin importar el poco alcance que tenga la señal. Este efecto se presencia ante las múltiples obstrucciones en un ambiente interior o INDOOR en toda su trayectoria que recorre la señal; por lo que se tienen pérdidas potenciales de la señal al instante en que se transmite. Las características de propagación indoor son singulares ante la gran cantidad de obstaculización, del cual se tendrán efectos internos de la edificación siendo específicamente de reflexión y difracción de onda de radio; considerando que los obstáculos en un ambiente interno (indoor) por lo general son paredes, techo, piso y amueblamiento de la habitación.

El detalle de una configuración de comunicaciones inalámbricas en ambientes internos radicará de la dimensión del lugar y la densidad de objetos que produzcan obstaculización dentro. [18]

2.6 Interferencia

La interferencia hace referencia a la acción de oposición o interferir en un escenario. En electromagnetismo, la interferencia de ondas de radio es resultante de la composición entre dos o más ondas electromagnéticas que en consecuencia generar una atenuación sobre el sistema en que se encuentran. Ante el efecto mencionado, la interferencia se ve sometida bajo un análisis de superposición lineal de ondas electromagnéticas y no desde una perspectiva de óptica geométrica como se ven realizados en efectos como reflexión, refracción y difracción; este análisis parte de un escenario donde un par o más ondas se vean invadiendo la misma posición en el espacio de manera síncrona.

El principio de superposición lineal instauro la intensidad neta del potencial eléctrico (voltaje) en una posición del espacio, que a su vez resulta ser la adición de todos los vectores de onda particulares o individuales. [19]

La banda de frecuencia de 5 GHz muchas veces se puede considerar que es la banda de frecuencia cual posee menos interferencias Non-Wifi debido a las topologías que se ven implementadas, esto involucra a los múltiples Access Point que se introducen como repetidores de la señal. Asimismo, se puede considerar que el rendimiento se verá mucho más eficiente frente a otras bandas al no verse afectada la señal y que está posea una constante normalización de flujo a un nivel mucho menor logrando prevalecer el periodo de ida y vuelta del enlace en toda red de área local para el respectivo espectro que se vea en fluctuación. [20]

El radio de interferencia de la banda 5 GHz se representa bajo un mínimo desplazamiento en comparación a otras que poseen mayor, lo que implica que según el alcance es la proporción de la interferencia que es mínima. Este impacto de la frecuencia 5 GHz no llega a ser tan impactante si es que no llega a ser la red principal; dado que, si en un sector no se evalúan mayores canales en extensión o se tiene pocos enlaces de dispositivos por compatibilidad, el error se ve menos implicado. [20]

En generalidad existen dos tipos de interferencias específicas para la banda de 5 GHz, siendo la interferencia Co-Canal e interferencia de canal adyacente. Dependiendo de la red que se diseñe, el tipo de interferencia se verá variado, para este caso se tendrá que analizar el uso de bajo modulaciones OFDM (Multiplexación por división de frecuencias ortogonales) o VHT-OFDM (Rendimiento muy alto - Multiplexación por división de frecuencias ortogonales). [21]

Los tipos de interferencia en la banda 5 GHz se desglosan como:

Interferencia Co-Canal: Este tipo de interferencia involucra que múltiples redes de red inalámbrica se ejecuten bajo un mismo canal, o a su vez, que otros dispositivos que no necesariamente pertenecen a una red inalámbrica se vean bajo una transmisión en la misma banda (a esto se puede mencionar dispositivos como electrodomésticos, telefonía móvil, receptores por Bluetooth, microondas, entre otros dispositivos de un mismo sector). Comúnmente, a este tipo de interferencia se la clasifica como una de mayor daño a la red, dado que al poseer múltiples cantidades de manifestaciones sobre la misma banda que no se tiene control alguno, causa un daño de eficiencia e incluso utilidad de uso sin importar el tipo de red que se vea adquirida. [22]

Interferencia de Canal Adyacente: Ante la existencia de superposición de canales esto genera una interferencia de manera fronteriza entre los mismos canales. A pesar de poseer múltiples estándares IEEE para la banda de 5 GHz, esta no logra cumplir la erradicación de canales contiguos, teniendo en muchas ocasiones una percusión sobre la banda de frecuencia. [22]

A pesar de no ser poseer mayores superposiciones de canales sobre la banda de frecuencia de 5 GHz, no obstante, este caso llega a darse válido si se ponen en ejecución más de tres canales que implique a que puedan tener mayor línea de vista entre antes; por otro lado, se tiene presente que la cobertura puede jugar la desventaja para el enlace al no existir una cantidad considerable de superposición de canales al ejecutarse. Este efecto conlleva específicamente a la banda de 5 GHz como una interferencia Co-Canal, presentando una mezcla entre los canales en un mismo tiempo cual afecta la calidad y el registro de la señal dado a las intromisiones electromagnéticas que se ven incrementando en cuantiosas proporciones. A pesar de tener esas desventajas presentes, se tiene en cuenta los beneficios que puede ofrecer la banda de frecuencia de 5 GHz, cual específicamente permite el multi uso de canales a base del estándar IEEE 802.11ac; esto permitirá una mayor seguridad de red ante la poca extensión de rango de cobertura que posee para ampliar la señal. [23]

Se tiene en cuenta que las implementaciones basadas en la frecuencia de 5 GHz suelen ser de mayor costo a comparación de otras bandas existentes, esto se debe a razones de extensión; en una edificación común o compleja se requerirá de mayor Access Point para poder

permitir cobertura a cierta zona deseada y la proporción de Tasa de bit máxima y banda ancha para el canal se ejecutarán según la construcción de la red. Es por esto que la banda de 5 GHz sigue siendo una frecuencia de banda limitada por el registro característico de avance tecnológico para poder ser ejecutado por dispositivos aptos de captación de señal. [23]

CAPÍTULO 3

3.1. Descripción del escenario de estudio

El escenario de estudio radica en generar una simulación donde se permita observar el comportamiento inalámbrico en un ambiente INDOOR en base a las propuestas dadas en el proyecto, siendo esta la integración de la tecnología IRS conjunta a una banda de frecuencia de 5 GHz. EL planteamiento del estudio será poner a prueba una red inalámbrica que funcione bajo la frecuencia de 5 GHz que a su vez logre extenderse con la mayor posibilidad en el entorno planteado.

La banda de frecuencia de 5 GHz es efectiva para enlaces de dispositivos, con la desventaja de tener un alcance sumamente reducido dónde no se podrá darle provecho a menos de tener la opción de colocar cierta cantidad de repetidores en el área; dado la consideración del rango limitado de alcance para la señal a partir de una banda de 5 GHz, se procede a interactuar dentro de la red la tecnología IRS para permitir un alcance mucho mayor. La tecnología Intelligent Reflecting Surface (IRS) basa en el aprovechamiento de una señal y extenderla sin generar mayor gasto o consumo de la misma, para esto, conceptualmente se plantea como una cubierta del entorno o área de estudio, dónde este material que posee el IRS se considerará como un material netamente reflectante por lo que permitirá tener una eficiencia en un sistema de transmisión inalámbrico.

En el diseño de la simulación, se tiene presente las características visuales de interacción de la red inalámbrica teniendo necesario la denotación gráfica de cada observación posible. Se empieza con un modelamiento del entorno, para este caso se usa un archivo “.stl” generado en AutoCAD, este entorno se visualizará por medio de la interacción y cobertura de alcance de la red inalámbrica dentro de un espacio simétrico que para este caso se ha designado la forma de un cubo de $8m^3$ cómo se observa en la figura 3.1; posteriormente, se designarán los AP (Access Point) para el posicionamiento de antenas transmisoras y receptoras en el lugar.

En la figura 3.2 se describe el proceso del modelamiento empezando por la introducción de bits fuentes que pasan bajo una codificación de comprobación de paridad de baja densidad, de tal manera que se modula bajo QAM y OFDM a partir del transmisor; después de dicho punto se filtra mediante un canal de rayos deterministas para la estimación perfecta del canal y se añade un ruido blanco gaussiano aditivo para la demodulación en el receptor. Finalmente, los

resultados partirán de mostrar gráficamente el trazado de rayos de antenas y ángulos que toman en dirección a los dispositivos, gráfica de Power Delay y BER.

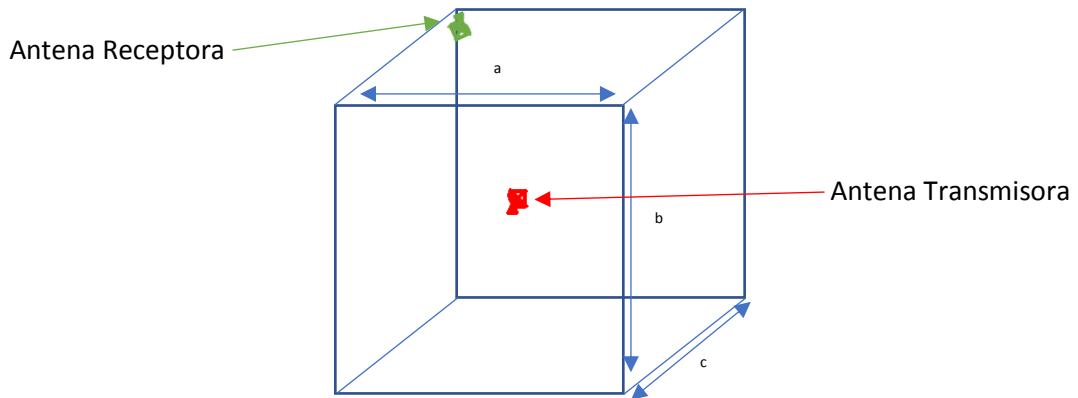


Figura 3.1 Visualización del escenario



Figura 3.2 Diagrama de Flujo del modelamiento

3.2 Modelo del sistema

El escenario como se plantea en la figura 3.1 se tiene una forma cúbica de $(2x2x2)m$ donde su contorno representa las paredes del área interior. La forma cúbica lleva el propósito de obtener un escenario donde toda el área del mismo sea simétrica que ante la aplicación del canal inalámbrico facilitará la interacción de cobertura bajo la banda de frecuencia empleada, de la cual en cada punto de toda el área interna el efecto será el mismo sin necesidad de producir un exceso de pruebas. Además, al poseer un cubo vacío no se tendrá en consideración obstáculos dentro de la red, por lo que se tendrá un caso mucho más eficiente para el comportamiento de la banda de frecuencia de 5 GHz.

Las antenas transmisoras y receptoras se colocarán a favor del estudio, para este caso se usan distintos escenarios de la cual destaquen posicionamientos de antenas; además, de permitir generar un alcance a toda el área modelado. Para este estudio antena transmisora se ubicara en las coordenadas (x_1, y_1, z_1) y la antena receptora ubicado en las coordenadas (x_2, y_2, z_2) estando ambas antenas diagonal una con otra, se observa en la figura 3,3 ; mediante la codificación se lograr generar una visualización de trazados de rayos que muestran tanto el direccionamiento de la señal entre antenas como el reporte de la señal en las superficies de la figura geométrica; cabe recalcar, que el estudio realizado radica en la comparación de distintas experimentaciones, por lo que se usarán distintos materiales de prueba para el entorno.

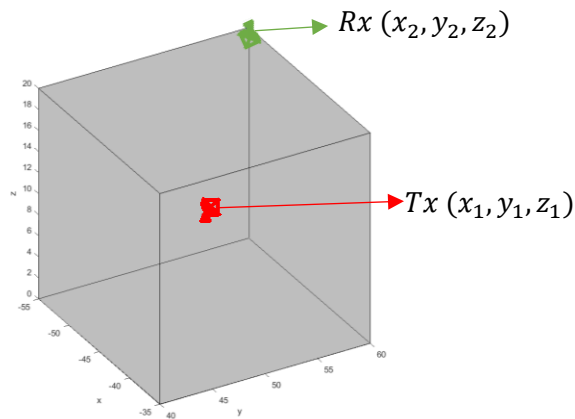


Figura 3.3 Posicionamiento de las antenas transmisoras (Color Rojo) y receptoras (Color Azul)

3.2.1. Modelamiento de materiales

Modelamiento de madera y ladrillo

En el desarrollo del modelado de madera y ladrillo se tiene en cuenta la propagación de una onda electromagnética que existirá por medio de un sólido con alta porosidad y condiciones de escape del espectro. Una condición clara respecto a la forma del material como se observa en la figura 3.4 al usar madera es el que su propiedad física cuenta de una estructura netamente heterogénea, por lo que el contorno no mantiene una propiedad llana y lisa, sino que cuenta con robusticidad y altas vías de escape para una señal que se condicionan al espacio libre existente para la onda electromagnética a partir de la transmisión entre las antenas. A diferencia como se observa en la figura 3.5, del uso de ladrillo cual a pesar de poseer segmentos no homogéneos en la estructura, tampoco posee una abundante propiedad porosa, por lo que el espectro se ve contenido en un mayor porcentaje.

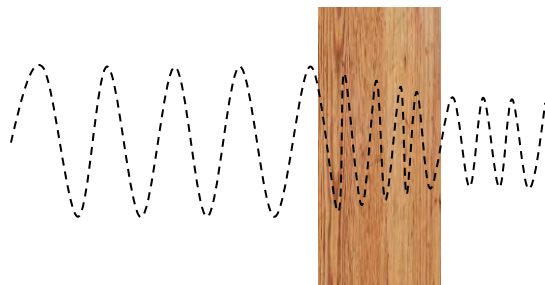


Figura 3.4 Comportamiento de la señal con madera

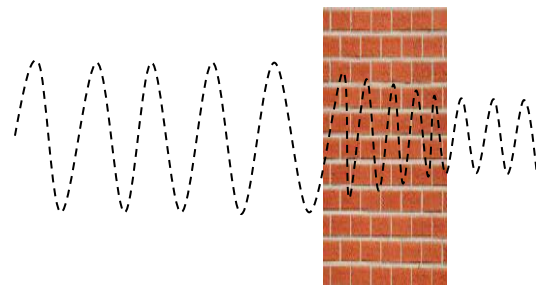


Figura 3.5 Comportamiento de la señal con ladrillo

Se tiene la importancia la consideración del trayecto del trazado de rayos del espectro al ser emitido, esto con la intención de tener directividades equitativas y pueda existir una propagación por un medio cuadrado de madera y ladrillo, dónde el grosor del mismo será igual en toda sección de uso. El modelado de uso del material de madera trae consigo únicamente las condiciones necesarias para una madera de tipo seco, y esta se vea cubierta en toda la estructura cúbica a presentar en implementación. Asimismo, el material de ladrillo se rige bajo superficies secas únicamente, sin tener en cuenta una humedad en el medio interno o externo del área.

El estudio teórico de las superficies de madera o ladrillo corresponderá al reconocimiento de las intensidades de campo eléctrico en su forma compleja, esto teniendo en cuenta un $E(z)$ como medición para el espectro electromagnético de onda. La madera tiene la condición de ser un medio de transferencias de espectro en emisión, del cual no existen reflejos en dirección de retorno de la señal, sino, que se generan una incidencia sobre la superficie en la que los rayos

se ven redirigidos; una de estas causas es el no poseer una estricta uniformidad en todo el espesor del sólido. De igual manera, el caso del ladrillo existe la condición de negar la transferencia total del espectro, por lo que la señal o bien se ve consumida al traspasar la superficie o al verse dirigida en menor intensidad por efecto de reflexión.

La composición del espectro del campo eléctrico de la onda en su estudio complejo se representa bajo la siguiente descripción en "(1)":

$$E(z) \cdot \vec{x} = E_i \cdot \exp(-\gamma \cdot (z - z_1)) \cdot \vec{x} \quad (1)$$

En la descripción del campo eléctrico complejo de "(1)" se tiene una restricción bajo el rango de $z_1 \leq z \leq z_2$, siendo estos los valores extremos en los que el espectro atraviesa entre las caras frontales y traseras del sólido. La expresión E_i corresponde a la extensión compleja, por lo que para la evaluación de los puntos de cruce del sólido se tendrá que $E(z_1)$ representará a la onda de incidencia por parte interna del sólido y $E(z_2)$ será la onda en transmisión del lado saliente del sólido. Las condiciones del campo son la atenuación (α), la fase del espectro (β) y la propagación en el entorno (γ); donde, $\gamma = \alpha + \beta j$. El vector \vec{x} cual es producto del campo, es un vector unitario y las condiciones complejas se rigen bajo la eje imaginario "j". Finalmente, la consideración del grosor ($\Delta = z_2 - z_1$) de la masa del sólido será correspondiente a la trayectoria del espectro.

Modelamiento de IRS

Las superficies reflectantes son una denotación a una meta-superficie del cual posee una matiz de sub-ondas cuales poseen una característica unitaria en su longitud de onda cual se ve reflexivo en toda la propagación radiada del espectro electromagnético de entrada sobre la superficie. El uso de una superficie netamente reflectante radica en el control del frente de onda ante el patrón de radiación y se extiende a una considerable trayectoria en el campo.

El comportamiento de una superficie reflectante como se observa en la figura 3.6 es emular a una onda referencial que al verse reflejada sobre la superficie, que por ende, se verá modulada dicha reflexión conjunta a una radiación que se abre a cierta apertura sobre la superficie en que se interactuó el espectro.

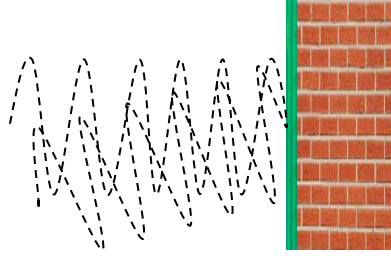


Figura 3.6 Comportamiento de la señal con IRS

En el medio espacial en que se genera la transmisión, la antena tiene una función sobre un patrón puntual de componentes que será una denotación del reparto energético sobre la superficie; dicha distribución energética se representa por $J(r')$. Por ende, la determinación del campo eléctrico en incidencia sobre la superficie reflectante se verá compuesta como se describe en “(2)”:

$$E(r) = \int_{r'} J(r') \cdot \frac{e^{-jk_0|r-r'|}}{4\pi \cdot |r-r'|} dr' \quad (2)$$

Las variables descritas en “(2)” se conceptualizan por, $J(r')$ que será la distribución energética sobre la antena secundaria a cierta coordenada de posicionamiento caracterizada por $r'(x', y', z')$, que a su vez se producirá una coordenada basada ante la reflexión sobre la superficie $r(x, y, z)$. A partir de todo lo descrito se obtiene el factor del arreglo del campo lejano descrita en “(3)”;

$$AF(\theta, \varphi) = e^{-jk_0[x_i \sin(\theta) \cdot \cos(\varphi) + y_i \sin(\theta) \cdot \cos(\varphi)]} \quad (3)$$

A partir de “(3)”, la variable k_0 se define como la cantidad de ondas existentes en espacio libre, por lo que, x_i y y_i cuales son arreglos unitarios que se desplazan por todo el x y y . El ángulo de guía se describe como θ , que será el direccionamiento periférico sobre la superficie con valor de $\theta = 0^\circ$ en el eje de las z . Por otra parte, φ es el ángulo sobre el plano transversal que se describe sobre el plano $x - y$ con una valoración $\varphi = 0^\circ$ en todo plano del eje “ x ”. El número de trazado de rayos a partir de la reflexión se dará por $N \times N$ composiciones, del cual $i = 1 \rightarrow N^2$. El perfil de fase neto sobre la superficie se genera sobre el plano $Z = 0$ que se muestra en “(4)”:

$$\xi(x_i, y_i) = \angle E(x_i, y_i) e^{-jk_0[x_i \sin(\theta) \cos(\varphi) + y_i \sin(\theta) \sin(\varphi)]} \quad (4)$$

Por medio de “(3)” y “(4)”, se genera la determinación de la producción de intromisiones que se pueden desarrollar para las coordenadas (θ, φ) que se incrementará de manera exponencial, que en consecuencia afecta al factor de arreglo respecto al ángulo de conveniencia.

Referente a la fase introductoria al arreglo unitario sobre la superficie se verá a partir de un conjugado complejo de la fase neta que se muestra en “(5)”:

$$\xi_{unit}(x_i, y_i) = \xi^*(x_i, y_i) \quad (5)$$

Finalmente, “(5)” es una equivalencia en que se aplica una conjugada al operador inicial, a fin de generar una guía referencial sobre la onda que parte sobre la incidencia del campo eléctrico en la superficie que se describió en “(2)”; este proceso implicará al reconocimiento de las intromisiones en la orientación del espectro en los ángulos de apertura (θ, φ) .

3.2.2. Métricas de desempeño

Retardo de potencia

El perfil de retardo es una media referencial respecto a la potencia de la transmisión en el medio, para el escenario planteado, el cubo posicionará las antenas de manera equidistantes de la cual pueda permitirse un efecto mucho más eficiente al ser un cubo vacío. Este proceso será considerado temporal, dado que por el registro de datos se podrán recolectar toda respuesta al impulso sucesiva en el tiempo de transmisión que se da en el espacio del área a considerar. La temporización que toma de referencia será el momento que las antenas se vean en transmisión y para lo cual los efectos y control de rayos emitidos será la referencia para la determinación del retardo.

En consideraciones matemáticas, la métrica principal del análisis radica en la obtención de la respuesta al impulso del canal presente que se basa ante un multitrayecto en todo el espacio de enlace, la ecuación a emplear será:

$$h(t; \zeta) = \sum_{i=1}^{N(t)} r_i(t; \zeta) \delta(\zeta - \zeta_i(t)) \quad (6)$$

Para este efecto $h(t; \zeta)$ puesta como “(6)” será la respuesta al impulso del canal y $N(t)$ serán las variables de número de señales captadas. Donde $r_i(t; \zeta)$ se define como $r_i(t; \zeta) = |r_i(t; \zeta)| e^{j\phi_i r_i(t; \zeta)}$ que representará un proceso de variable compleja aleatoria, y se la consideración del retardo de impulso definida como una dependencia da la potencia en que se ve captada en la antena receptora y consecuentemente, medirla bajo su retardo que se representa la consideración como $\bar{\zeta} = \frac{\sum_k \zeta_k \cdot \phi_h(0; \zeta_k)}{\sum_k \phi_h(0; \zeta_k)}$, de la cual $\phi_h(0; \zeta_k)$ es la potencia captada conjunta al retardo temporal; y dicho retardo puede ser interpretado como “(7)”:

$$\bar{\zeta} = \frac{\int \zeta \cdot \phi_h(0; \zeta) d\zeta}{\int \phi_h(0; \zeta) d\zeta} \quad (7)$$

Por último, se tomará en cuenta la dispersión espacial del retardo que existe en el medio del canal de enlace entre antenas, para este caso la evaluación de dispersión será una observación de la varianza temporal σ_ζ definida como “(8)”:

$$\sigma_\zeta = \sqrt{\bar{\zeta}^2 - (\bar{\zeta})^2} \quad (8)$$

De la cual $\bar{\zeta}^2$ se define como $\frac{\sum_k (\zeta_k)^2 \cdot \phi_h(0; \zeta_k)}{\sum_k \phi_h(0; \zeta_k)}$ que interpretando la sumatoria general se podría usar la simbología de integral como en “(9)”:

$$\bar{\zeta}^2 = \frac{\int \zeta^2 \cdot \phi_h(0; \zeta) d\zeta}{\int \phi_h(0; \zeta) d\zeta} \quad (9)$$

BER

En la transmisión de datos entre las antenas transmisoras y receptoras existe errores en el momento de la transmisión, la tasa de error de bit o BER permite medir el promedio de estos

errores al comparar los datos de entrada del transmisor junto con los datos de entrada del receptor que en forma simple esta denominada como “(10)”:

$$BER = \frac{\text{Numero de errores de transmision}}{\text{Numero de bits transmitidos}} \quad (10)$$

PathLoss

Entre las antenas dentro del área cúbica se tendrá un espaciado libre que considerará la pérdida de camino entre ambas antenas (transmisor y receptor), por lo cual en ese espaciado se evalúa la calidad de señal desde el punto de partida hasta el de llegada que en correspondencia se podrá reconocer posibles alteraciones dentro de la transmisión, se denota la pérdida de camino como $L_f = 20 \cdot \log\left(\frac{4\pi \cdot d}{\lambda}\right)$ siendo la pérdida de transmisión, d la distancia de propagación en unidades de [km], y c será la velocidad de la luz; que usando la definición de $\lambda = \frac{c}{f}$ se obtiene la simplificación plasmada en “(11)”:

$$L_f = 20 \cdot \log\left(\frac{4\pi \cdot d \cdot f}{c}\right) [dB] \quad (11)$$

Modelo matemático de antenas

Basado en el uso de un área simétrica para el escenario, se posicionan par de antenas de la cual una tenga la función de transmisor de señal y el otro receptor; el tipo de antena utilizado en la simulación de proyecto es la omnidireccional o isotrópico, con el propósito de poder generar una cobertura punto a punto dentro del cubo mostrado en la figura 3.1 y a su vez estas tenga la capacidad de alcance máximo en todo el espaciado existente entre ambas antenas, por lo que las condiciones para la determinación matemática se representan específicamente por la potencia de radiación para la cobertura de toda el área, la directividad que orientará a las antenas a darle la guía a la señal y finalmente, la perdida de camino para reconocer cuanta pérdida hay y la consideración a corroborar para la calidad de la señal.

Potencia de radiación

El modelo de radiación para la antena omnidireccional toma referencia a partir del direccionamiento de las antenas dentro del cubo por simetría de ejes, por lo que esta antena omnidireccional supone una radiación sin pérdidas en el camino que logre distribuirse la radiación

de manera uniforme en todo direccionamiento dentro del área. El modelo matemático para la potencia de radiación se describe como “(12)”:

$$P_r = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \rho(\theta, \varphi) \cdot r^2 \cdot \sin \theta \, d\theta d\varphi \quad (12)$$

Simplificando “(12)” se describe la potencia radiada como:

$$P_r = 4\pi \cdot r^2 \cdot \rho \quad (13)$$

Directividad

Las antenas se referencian por determinación matemática consiste en la relación densidad de potencia radiada en un único direccionamiento a partir de la transmisión de la señal dentro del cubo y la densidad de potencia que se debería radiar en la misma distancia en que la antena logra guiar a la señal, esto se considera a partir de la antena transmisora. La denotación matemática se representa por “(14)”:

$$D(\theta, \varphi) = \frac{\rho(\theta, \varphi)}{\frac{P_r}{4\pi \cdot r^2}} \quad (14)$$

Donde las variable P_r será la denotación de la potencia total en el espacio de transmisión y $\rho(\theta, \varphi)$ implicará la densidad de potencia que será radiada en todo el trayecto de direccionamiento de señal. Además, simplificando a “(14)” se obtiene que $D = \frac{\rho_{max}}{\frac{P_r}{4\pi r^2}}$, cual ρ_{max} será la densidad de potencia máxima existente en el multi-trayecto de transmisión. Por lo que “(14)” de directividad se reduciría a:

$$D = \frac{4\pi}{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \rho(\theta, \varphi) \cdot r^2 \cdot \sin \theta \, d\theta d\varphi} \quad (15)$$

Por otra parte, la radiación normalizada se detalla como $t(\theta, \varphi) = \frac{\rho(\theta, \varphi)}{\rho_{max}} = \frac{K(\theta, \varphi)}{K_{max}} = \frac{D(\theta, \varphi)}{D_{max}}$ que aplicándola en “(15)” esta se puede simplificar $\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \rho(\theta, \varphi) \cdot r^2 \cdot \sin \theta \, d\theta d\varphi$ a su denotación normalizada: $\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} t(\theta, \varphi) \, d\varphi$, por lo que D se detalla como en “(16)” :

$$D = \frac{4\pi}{\int_0^{2\pi} \int_0^\pi t(\theta, \varphi) d\varphi} \quad (16)$$

Finalmente se emplea la expresión " Ω_e " para dar referencia al Ángulo equivalente que sería $\int_0^{2\pi} \int_0^\pi t(\theta, \varphi) d\varphi$, lo que resulta en "(17)":

$$D = \frac{4\pi}{\Omega_e} \quad (17)$$

La proyección visual de los rayos en que se emiten los enlaces entre antenas o en que se propaga visualmente será dada por la función "raytrace", función cual permite integrar la respectiva ruta en que los rayos que se generan en el entorno se vean trazados dentro del mismo bajo una propiedad que se puede denominar mapeo y por definición de directividad que las antenas omnidireccionales poseen. Visualmente serán trazas direccionadas según el comportamiento de la red en el entorno cerrado

Esto a su vez permite que el modelo de propagación tome la cualidad necesaria para posteriormente bajo la información generada se pueda discernir el cálculo de tasa de error o las pérdidas existentes bajo el material de entorno seleccionado.

Finalmente, la directividad permitirá que información recolectada a partir de las ejecuciones pasadas se logren observar en un trazado de la señal interactuada entre las antenas que será esbozado dentro del escenario tridimensional como se muestra en la figura 3.7 que parametrizará el color bajo la condición del entorno y la matemática que se genera para denotar la eficacia.

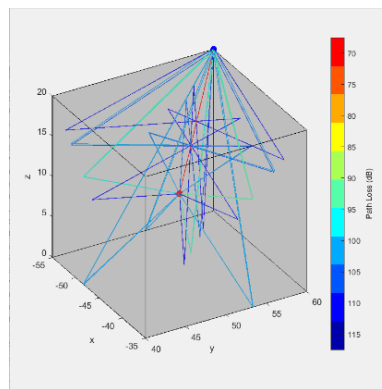


Figura 3.7 Visualización del escenario conjunto a la proyección de señales en forma de trazado de rayos.

3.3 Implementación del escenario

La ejecución del entorno partirá en base a un desarrollo de prototipo de un entorno cerrado, para esto se ha escogido como proyección base una figura cúbica que emule al diseño de un entorno simétrico neto.

El diseño es realizado en AutoCAD, dónde se obtendrá un ejecutable de archivo formato “STL” cuál será compatible para ejecución dentro del software matemático MATLAB debido a su capacidad para generar una transmisión de datos de lectura para proyectar una figura tridimensional con una extensión sólida en el contorno externo.

La lectura del archivo “.stl” se realiza mediante una definición de una variable al que se designe como modelo base y el software matemático automáticamente generará la lectura y transferencia de datos. Consecuentemente, para lograr generar una visualización del escenario proporcionado por el archivo “.stl”, se procede a implementar la función propia de MATLAB; que permite mostrar la proyección tridimensional de la figura como se observa en la figura 3.8 a la que se ha convocado y a su vez, analiza las características de comportamiento existente en el escenario como la múltiples entradas y salidas que pueden darse al transmitir dentro del ambiente.

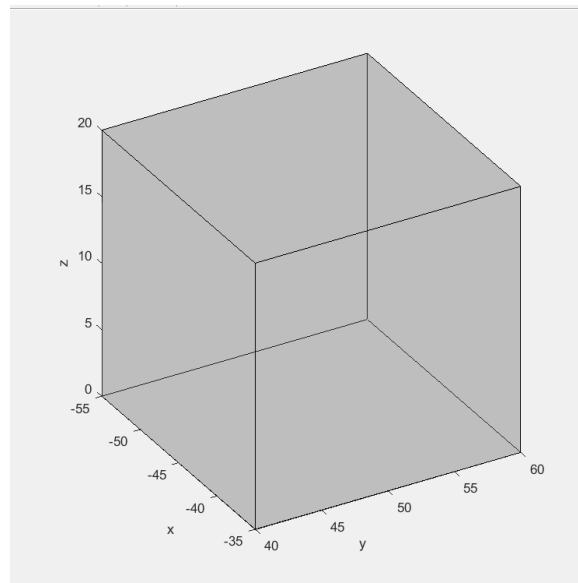


Figura 3.8 Modelamiento de un entorno simétrico

A continuación del desarrollo, mediante el software matemático MATLAB se emplearán demás funciones para la obtención de gráficas. A partir del entorno previo adjuntado a la codificación en función de abrir el archivo “.stl”, se continúa mostrando en el bosquejo los rayos de la señal como se ven emitidas, receptadas y reflectadas en el medio en que se ha colocado la red; asimismo, se denotará una proyección de las gráficas para la Tasa de error de bit, esto con la finalidad de demostrar que tan buena es la transmisión según el material del entorno. Continuo, se presentaría la proyección del comportamiento de Power Delay y los ángulos que toman cada antena para emisión o recepción de la señal según la posición cartesiana dada en el entorno de forma cúbica.

CAPITULO 4

4. Resultados

En el siguiente apartado se mostraran los resultados simulados a partir de los dos casos propuestos de prueba para el entrono indoor en base a tr3s distintos materiales de cobertura, estos resultados proyectaran tanto el trazado de rayos internos en el ambiente como el perfil de retardo de potencia que existe en el mismo, así mismo, el BER vs SNR y la comparación Path loss vs la distancia.

4.1 Caso 1

Tabla 4.1 Parámetros de simulación para caso 1.

PARAMETROS DE SIMULACION	
FRECUENCIA DE OPERACIÓN	5 GHz
DIMENSIÓN DEL ENTORNO	8 m ³
TIPO DE ANTENAS	ANTENA OMNIDIRECCIONAL
GANANCIA DE ANTENAS	40 dBm
COORDENADAS ANTENA TRANSMISORA	(10,10,10)
COORDENADA ANTENA RECEPTORA	(0,20,20)
MATERIAL DEL MODELO	MADERA, LADRILLO, IRS

Las figuras 4.1, 4.4 y 4.7 denotan un escenario en que se evalúan para cada material para la estructura indoor siendo respectivamente de madera, ladrillo e IRS. El escenario muestra dos puntos de enlace inalámbrico, esta se representa por par de antenas donde se posicionará, la antena transmisora en el centro del cubo y direccionada a una esquina dónde se encontrará la antena receptora.

TRAZADO DE RAYADOS

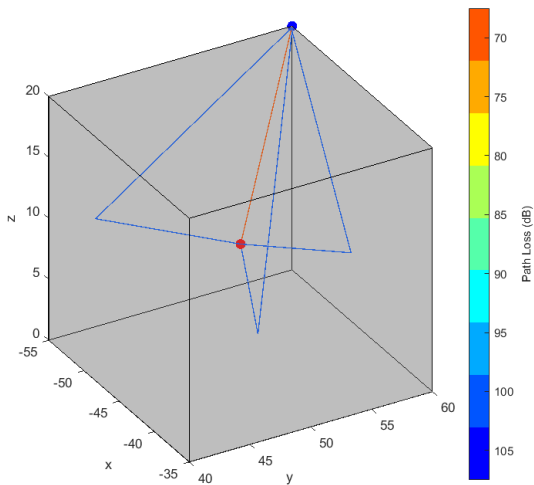


Figura 4.1 Trazado de rayos de material madera para caso 1

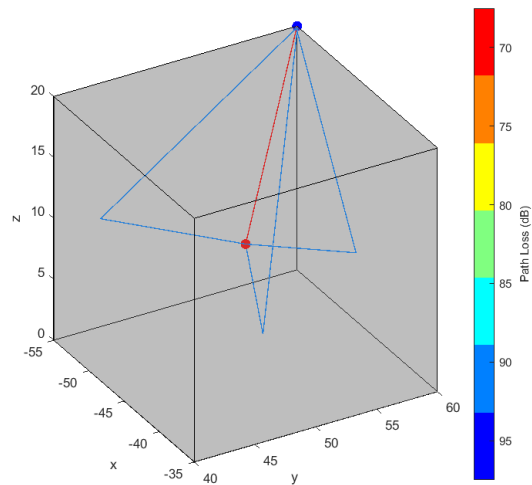


Figura 4.2 Trazado de rayos de material ladrillo para caso 1

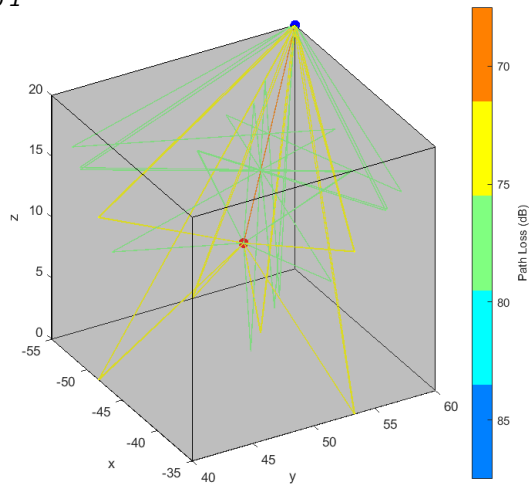


Figura 4.3 Trazado de rayos para el IRS para caso 1

Los resultados obtenidos para el nivel Path Loss (dB) ante el uso del material de madera en la figura 4.1, se puede observar que la pérdida de camino crítico se acerca a partir de los 70 a 105 [dB].

En la figura 4.2 se tiene la evaluación en un entorno de ladrillo, se logra observar que la pérdida de camino crítico figura entre 70 a un poco más de los 95 [dB] en el trazado rayos entre el direccionamiento de antenas para la emisión de la señal.

La figura 4.3 denota el área indoor usando de material al IRS (superficies reflectantes) como cobertura total del cubo. Para este efecto de posicionamiento diagonal entre antenas, está correspondiendo el punto central del cubo para la antena transmisora y en un punto de esquina en los lados cubo será el posicionamiento de la antena receptora; dónde se destaca una pérdida de camino entre un valor de 70 a casi aproximar a los 80 [dB]. Lo destacable del uso de este material es el incremento de rayos por reflexión en las paredes del cubo, a diferencia como se observan en la figura 4.1 y 4.2 (de material madera y ladrillo respectivamente) esto no se logra adquirir.

PERFIL DE RETARDO DE POTENCIA

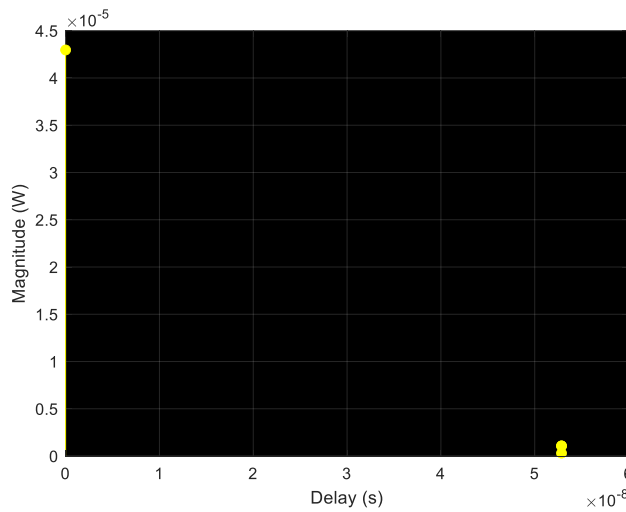


Figura 4.4 Perfil de retardo de potencia de material madera para caso 1

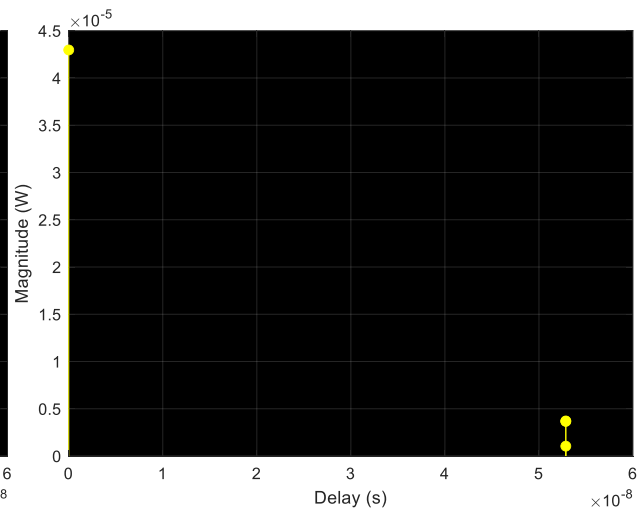


Figura 4.5 Perfil de retardo de potencia de material ladrillo para caso 1

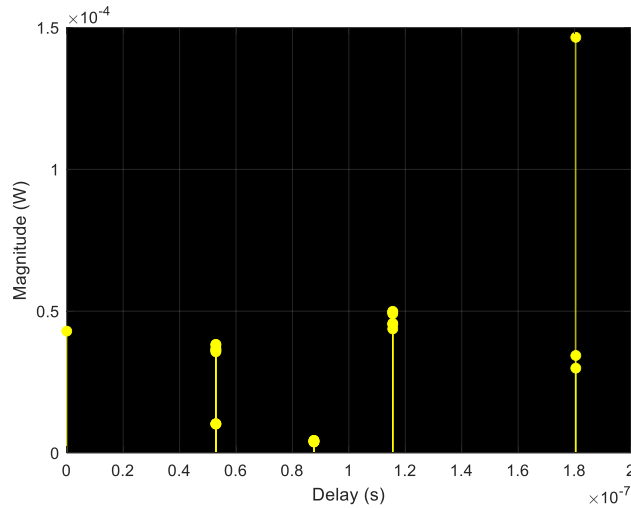


Figura 4.6 Perfil de retardo de potencia para el IRS para caso 1

La figura 4.4 es resultante gráfico respecto al perfil de retardo de potencia ante el uso de un material de madera para el escenario indoor cúbico. En esta figuras se puede observar principalmente la potencia de direccionamiento de cada señal en que se ve emitido a partir de una antena transmisora y a su vez en que sentido son captadas en la antena receptora. Lo destacable en es lograr discernir que tanto es el cambio en magnitud de potencia de la señal con respecto al tiempo de retardo; se puede observar que al posicionar en el centro la antena transmisora y la antena receptora en una esquina de todo el área solo tendrá un alcance de magnitud de aproximadamente 4.40×10^{-5} [dBm] en un retraso aproximado de 0 segundos, a su vez, también en un pequeño tramo de tiempo es notable que existe la pulsación continua a los 5×10^{-8} segundo con una magnitud de 0.10×10^{-5} [dBm].

La figura 4.5 destaca la evaluación de perfil de retardo de potencia puesta a prueba el material ladrillo para el área cúbica y manteniendo las resultantes a partir de los efectos RF de la figura 4.4. Las gráficas parten de los efectos del ángulo de partida y de llegada de señales para las antenas transmisoras y receptoras respectivamente. Como se observa en la figura 4.5 se logra obtener la visualización de la potencia en un margen tiempo, la magnitud primeriza en la transmisión es aproximadamente en los 4.40×10^{-5} [dBm] a un retardo temporal de cero segundos, asimismo, otro pulso continuo es visible a los 5.25×10^{-8} segundos con una potencia cercana a los 0.40×10^{-5} [dBm].

A partir de la figura 4.6 se obtiene el Perfil de Potencia de Retardo, nuevamente en interacción del IRS como material del escenario cual usa el mismo posicionamiento de antenas como se mencionó en la figura 4.3 que como para cada caso es el mismo esquema las figuras 4.1 y 4.2 (material madera y ladrillo respectivamente). Como es destacable la interacción consecutiva de respuestas al impulso promedio en cada caso es mucho más eficiente a comparación de los resultados a base del uso de madera y ladrillo como material de área. También se tiene en cuenta que los impulsos son mucho más destacables en la potencia de magnitud llegando a 1.5×10^{-4} [dBm] a un retardo temporal de 1.8×10^{-7} segundos en el máximo del corto rango presentado, también se pueden observar múltiples pulsaciones consecutivas en menores rangos de tiempos en los que materiales comunes (madera y ladrillo) logran generar.

ERROR POR BIT VS SNR

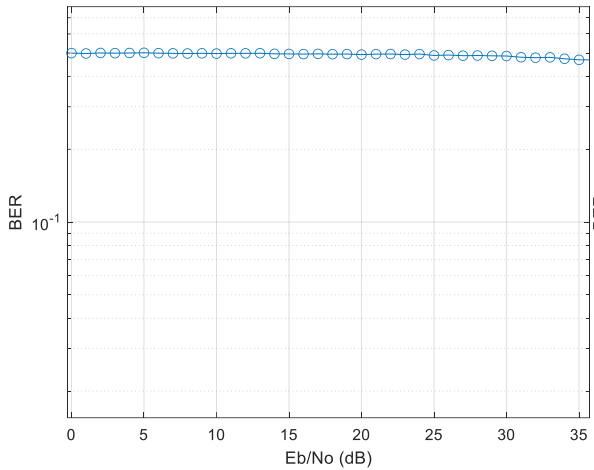


Figura 4.7 Gráfica Error por Bit vs SNR por Bit de material madera para caso 1

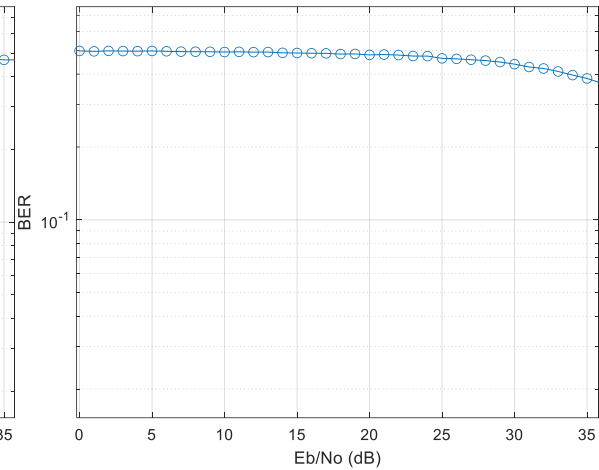


Figura 4.8 Gráfica Error por Bit vs SNR por Bit de material ladrillo para caso 1

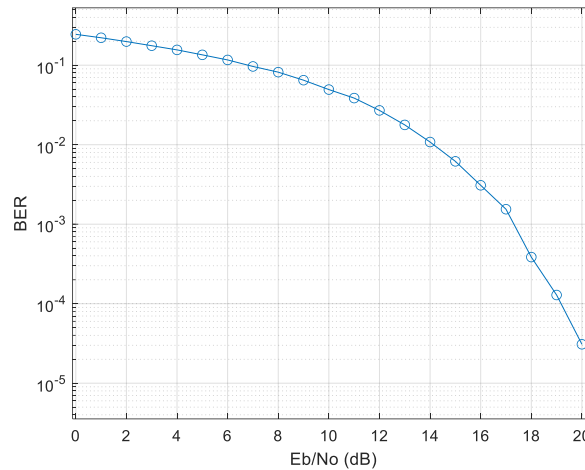


Figura 4.9 Gráfica Error por Bit vs SNR por Bit para el IRS para caso 1

La figura 4.7 denotara gráficamente las Error por Bit vs SNR por Bit ante el uso de madera como material principal. Se observa que la gráfica mediante la transmisión de bit se logra apreciar una drástica interferencia por la relación de ruido al emitir la información entre antenas, por lo que se puede observar una proyección de la cual no presenta uniformidad en la curva y se ve que la alteración es constante bajo cada registro de información de la señal.

Para la figura 4.8 se presenta la relación gráfica entre Error por Bit vs SNR por Bit bajo el material de ladrillo para el entorno, a comparación del uso de madera como se observa en la figura 4.3 los cambios casos para cada material posee una diferencia drástica de la tasa de transmisión de bits, dado que permite observar cual material genera mucho mayor intrusión sobre la comunicación inalámbrica teniendo un BER vs E_b/N_0 ; como se aprecia existen gráficas

sumamente distorsionado y variante en tasa de error bit. Por otra parte, la figura 4.8 (material ladrillo) destaca una mejor curva al ser un material que no causa tanta interferencia como la madera para generar una tasa de error bit mucho más aceptable a comparación; sin embargo, no posee una gráfica continua y presenta severos cambios consecutivamente, pero minúsculos. Esto es a partir del uso de antenas posicionadas diagonalmente en su vista.

En la figura 4.9 se representa la gráfica BER vs Eb/No para los casos evaluados en la figura 4.3. A partir de la imagen se puede observar que cada caso tiene un excelente comportamiento respecto a la transmisión de bits lo cual implica que el material IRS existirá una mejor transmisión y será algo excepto al ruido.

PATHLOSS VS DISTANCIA

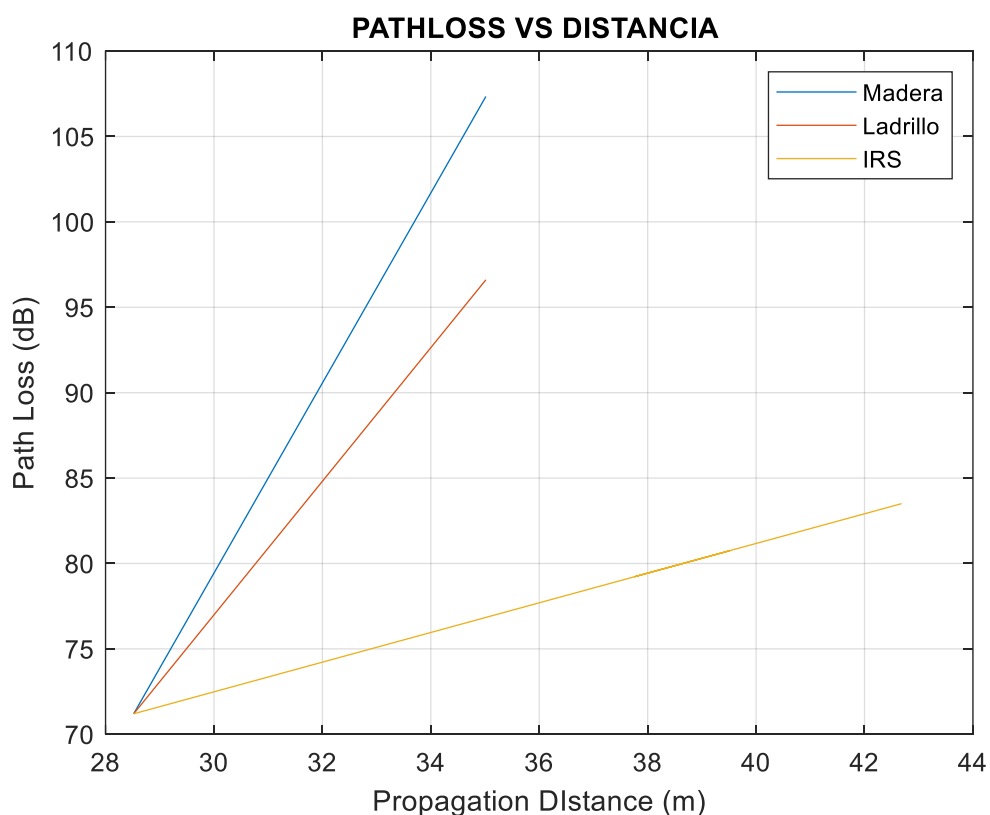


Figura 4.10 Gráfica Pathloss vs Distancia de propagación del caso 1 en el escenario usando todos los materiales.

Para la figura 4.10 se muestran los patrones gráficos referente a la Pérdida de camino vs la Distancia de propagación de cada materia, es observable que cada patrón gráfico toma una forma lineal en el crecimiento de valores comparativos. Como es destacable, la gráfica se basa

ante las condiciones del trazado de rayos en el entorno y su numeración de pérdida de camino van entre los 70 [dB] en adelante. La importancia comparativa entre los efectos de los tres materiales es el drástico notorio de como el material IRS mantiene una valoración inferior al consumo que generan materiales comunes como madera y ladrillo; asimismo, esta gráfica de crecimiento por parte del IRS en el Pathloss mostrará que no está existiendo una reducción de densidad en el espectro electromagnético en toda la espacialidad entre antenas, también como es implícito, la distancia de propagación para el material IRS es mucho mayor a la de los materiales comunes, por lo cual el IRS es un buen material para el incremento de cobertura de una señal.

4.2 Caso 2

Tabla 4.2 Parámetros de simulación para caso 2.

PARAMETROS DE SIMULACION	
FRECUENCIA DE OPERACIÓN	5 GHz
DIMENSIÓN DEL ENTORNO	8 m ³
TIPO DE ANTENAS	ANTENA OMNIDIRECCIONAL
GANANCIA DE ANTENAS	40 dBm
COORDENADAS ANTENA TRANSMISORA	(10,10,10)
COORDENADA ANTENA RECEPTORA	(10,20,10)
MATERIAL DEL MODELO	MADERA, LADRILLO, IRS

TRAZADO DE RAYADOS

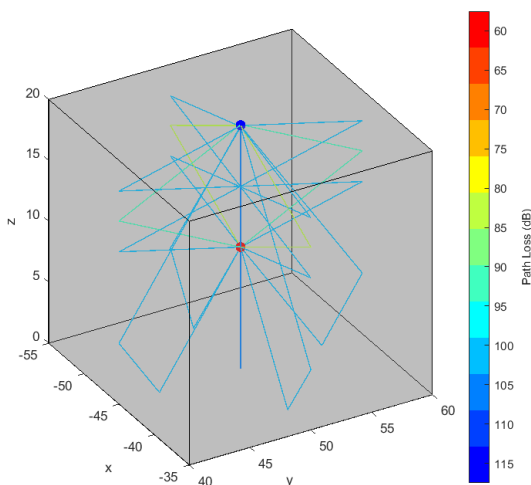


Figura 4.11 Trazado de rayos de material madera para caso 2

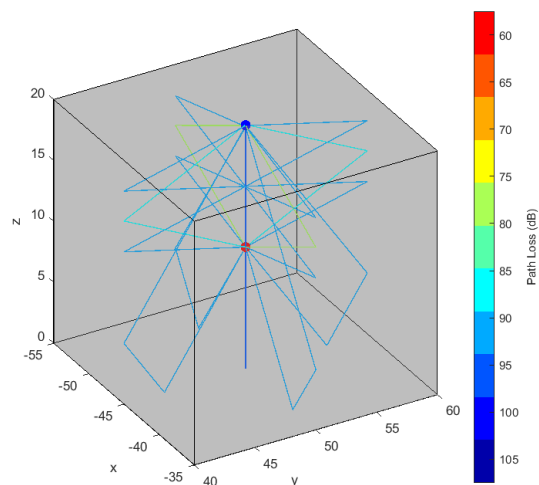


Figura 4.12 Trazado de rayos de material ladrillo para caso 2

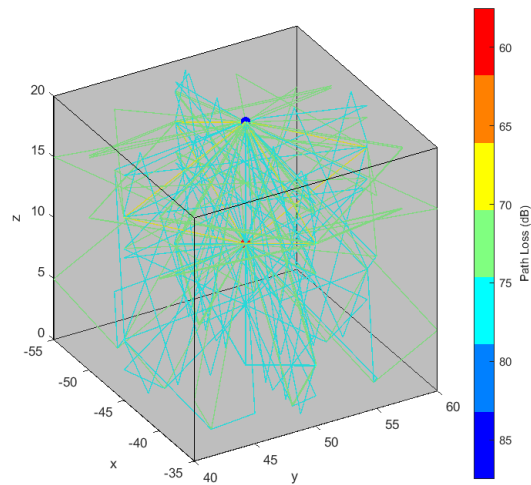


Figura 4.13 Trazado de rayos para el IRS para caso 2

En la figura 4.11 se observa el posicionamiento de antenas frontales para el área en que use como material de cobertura la madera, donde se obtienen que la pérdida de camino correspondería entre 75 a 100 [dB] aproximadamente.

La figura 4.12 muestra el área indoor respectivo bajo la cubierta del material de ladrillo con antenas equidistante que da como resultado un pérdida de camino crítico entre los 75 a 100 [dB] aproximadamente, una pequeña diferencia en comparativa al caso donde una de las antenas se encuentra en una esquina del bloque como se puede apreciar en la figura 4.2 y las obtenciones numéricas casi no reflejan cambios debido a la simetría del entorno.

La figura 4.13 es la representación del uso de antenas totalmente equidistantes ante un área de material totalmente reflectante, es notorio que el rango de la pérdida de camino parte entre los 70 a los 75 [dB]; que a diferencia del caso presentado en la figura 4.3 el rango se ve ligeramente minimizado sin cambios alguno, simplemente el condicionamiento para reflexión se ve acomodado a un direccionamiento de señal mucho más céntricas por el enlace frontal de antenas.

PERFIL DE RETARDO DE POTENCIA

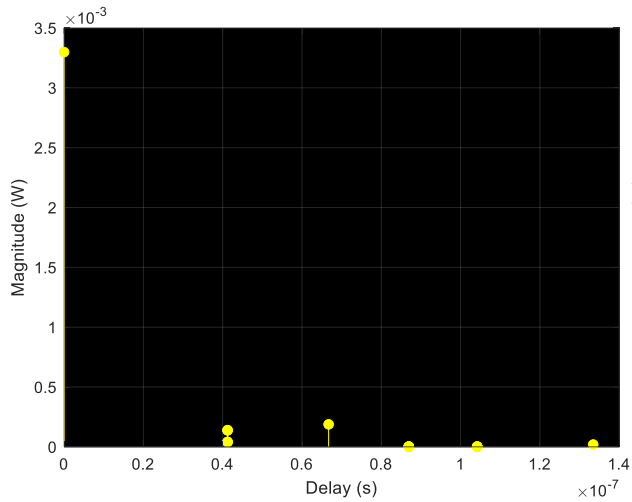


Figura 4.14 Perfil de retardo de potencia de material madera para caso 2

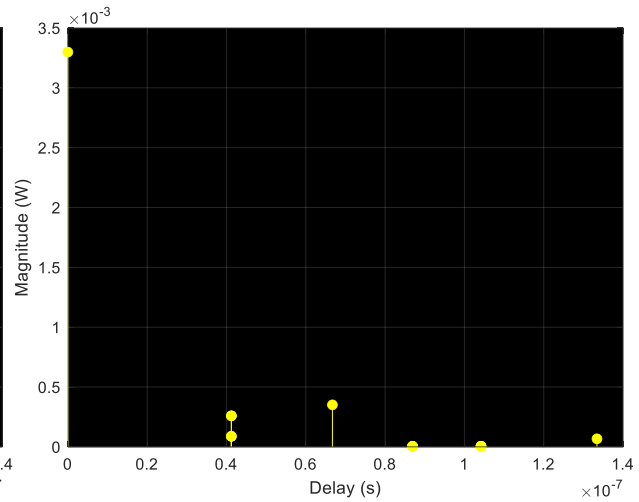


Figura 4.15 Perfil de retardo de potencia de material ladrillo para caso 2

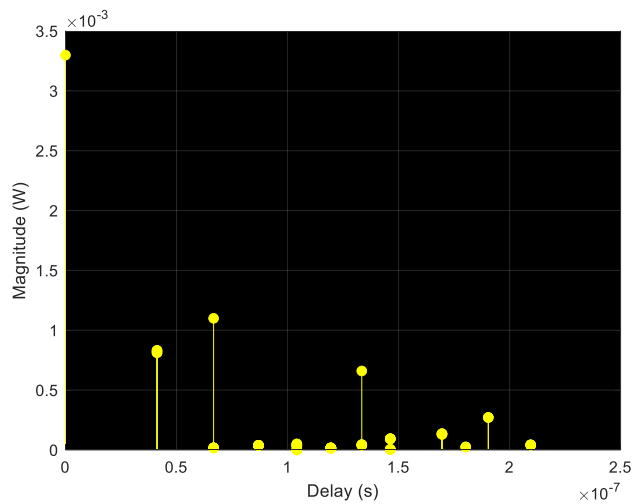


Figura 4.16 Perfil de retardo de potencia para el IRS para caso 2

La figura 4.14 para el caso 2 en que las antenas se encuentran frontales la magnitud que se alcanzará será variando según el tiempo. Se logran tener pulsos destacables y otros representándose como puntos de una pequeña interacción. El uso del material como madera en este caso ante un pequeño rango de tiempo de estudio de observa destables puntos de magnitud de potencia que alcanza de manera inicial los 3.5×10^{-3} [dBm] y consecutivamente se irá alternando las potencias según el pasar del tiempo. Una consideración de este caso frente al

primero en la figura 4.4 es el que se posea madera y genere una pérdida de potencia, al tener frontalidad entre las antenas se puede mejorar la continuidad más no un aumento en la magnitud de los impulsos de la señal.

A partir de la figura 4.15 se obtienen las magnitudes de potencia para el Perfil de Retardo de Potencia en una cobertura de ladrillo para una comunicación inalámbrica con antenas equidistantes céntricas, es destacable que para una nulidad de tiempo la pulsación toma una magnitud cerca a 3.40×10^{-3} [dBm]; asimismo, es destacable una secuencia de impulsos de potencia con el pasar de tiempo. Un punto a reconocer, es que los efectos son muy similares a los obtenidos en el proceso de evaluación para un contorno de madera como se mostró en la figura 4.11 y muestra que a pesar de tener no una mejora para el enlace, el resultado llega a ser prácticamente el mismo.

Para la figura 4.16, se obtiene el perfil de retardo de potencia para el área de cobertura cúbica de IRS en funcionamiento de una comunicación inalámbrica de la cual las antenas son equidistantes céntricas. Es destacable que los impulsos de potencia son mucho más frecuentes en bajos rangos de tiempo, de entradas se determina una magnitud mayor de 3.40×10^{-3} [dBm] a un retardo temporal nulo y así mismo se mantiene con mucha mayor cantidad de impulsos en todo el retardo temporal. Una clara comparación al caso mostrado en la figura 4.3 es al estar las antenas posicionadas frontalmente permite que la señal se vea mucho mejor considerada en su llegada, no obstante, no es una mejora tal cual, dado que al poseer una simetría en el espacio idéntica el resultado es el mismo, únicamente lo destacable es el posicionamiento de antenas que varían los efectos a mínimos rangos de tiempo.

Las diferencias en los casos obtenidos en la figura 4.3 se basan según el posicionamiento de antenas, aunque no se requiere un posicionamiento estricto como el caso 1 este llega a ser funcional, no obstante, el caso 2 donde las antenas tienen un direccionamiento de vista frontal para transmisión es un escenario mucho más favorable para la interacción de la comunicación inalámbrica pero no es requerida obligatoriamente dado que ambos casos llegan a tener una calidad semejante en ciertos aspectos y es ejecutado en mejoría del uso de la banda de frecuencia de 5 GHz.

Una acotación extra en base a la comparación de resultados de la figura 4.16, es el posicionamiento de antenas, dado que por los ángulos de partida y llegada para la señal de las antenas transmisoras y receptoras. Observando que el caso 2 es sumamente favorable para la

distribución mayor de la señal dado al rebote de la señal de manera equitativa en cada cara del área cúbica; sin embargo, no quita que el caso 1 sigue siendo un caso funcional para el uso de la banda 5 GHz cumpliendo con los propósitos del proyecto.

ERROR POR BIT VS SNR

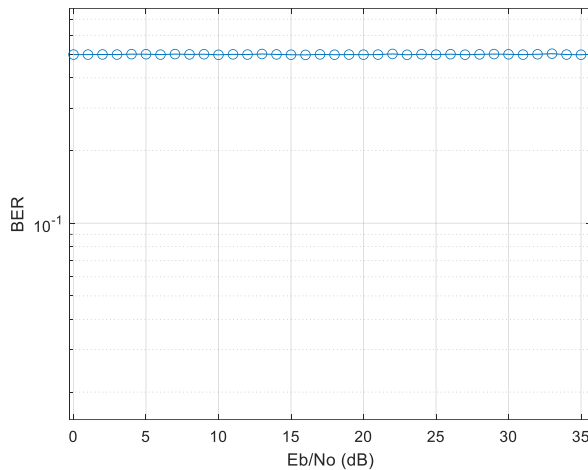


Figura 4.17 Gráfica Error por Bit vs SNR por Bit de material madera para caso 2

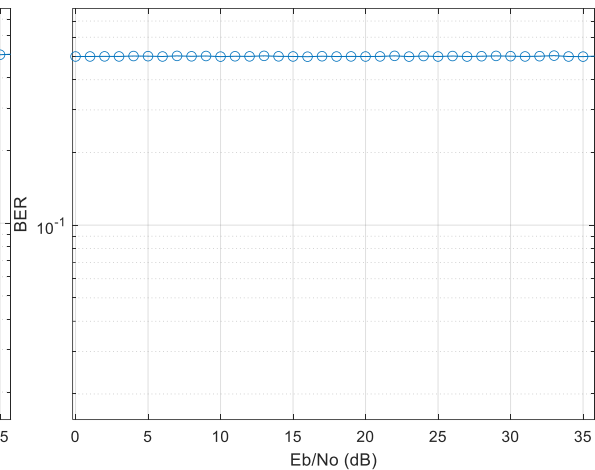


Figura 4.18 Gráfica Error por Bit vs SNR por Bit de material ladrillo para caso 2

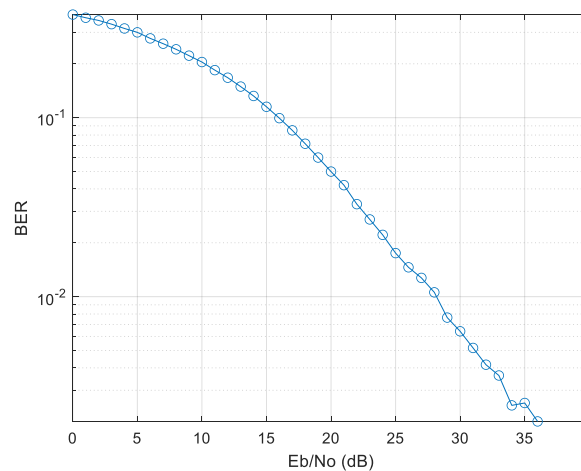


Figura 4.19 Gráfica Error por Bit vs SNR por Bit para el IRS para caso 2

En la figura 4.17 se presenta la gráfica Error por Bit vs SNR por Bit en un área de contorno de material madera. Este caso presenta la interacción entre antenas frontales, y por lo que se observa en la proyección de valores, es notorio que el ruido es un afectante a la transmisión dado

que sin importar el cambio de posicionamiento de antenas no ha implicado una pequeña mejora. Esto muestra que la señal no es excepto al ruido, sino que la alteración en la transmisión es reconocible.

En la figura 4.18 se destaca el Error por Bit vs SNR por Bit ante el uso de material tanto material como ladrillo. Este caso a comparación a otras evaluaciones en las figuras 4.7, 4.8 y 4.17, se reconoce que es muy similar a pesar del uso de distintos materiales de prueba, por lo que se obtiene que a partir del posicionamiento de antenas de manera frontal o paralelas en vista entre ellos, la Tasa de Error por Bit vs E_b/N_0 no cambia visualmente implicando cercanía de efectos en el espectro; esto prueba que ambos materiales no son el preciso material para el uso de una comunicación inalámbrica de uso de una frecuencia en banda de 5 GHz, ya que el entorno cerrado no le favorecerá su propagación y no habría mejoría de potencia de ejecución.

En la figura 4.19 nuevamente se representa la gráfica BER vs E_b/N_0 para el área de cubierta de IRS con un enlace inalámbrico frontal, este caso parte de lo evaluado en la figura 4.13. Se puede observar que el usar un material de superficie totalmente reflectante resultará un excelente comportamiento respecto a la transmisión de bits; a comparación de la figura 4.9 (caso 1 de IRS) se permite discernir que este material genera una mejor transmisión y se vuelve algo excepto al ruido.

En comparación de figuras entre 4.7, 4.8, 4.17 y 4.18 (BER vs E_b/N_0 para los materiales de madera y ladrillo en ambos casos) es visualmente reconocible el cambio de comportamiento gráfico en la transmisión por bit se sigue manteniendo una diferencia de manera drástica según el material aplicado. A su vez muestra que el IRS es mucho mejor en la amplificación de la señal y su calidad para un entorno cerrado, permitiendo que la señal extienda su alcance y no se vea alterada de manera radical en el área.

PATHLOSS VS DISTANCIA

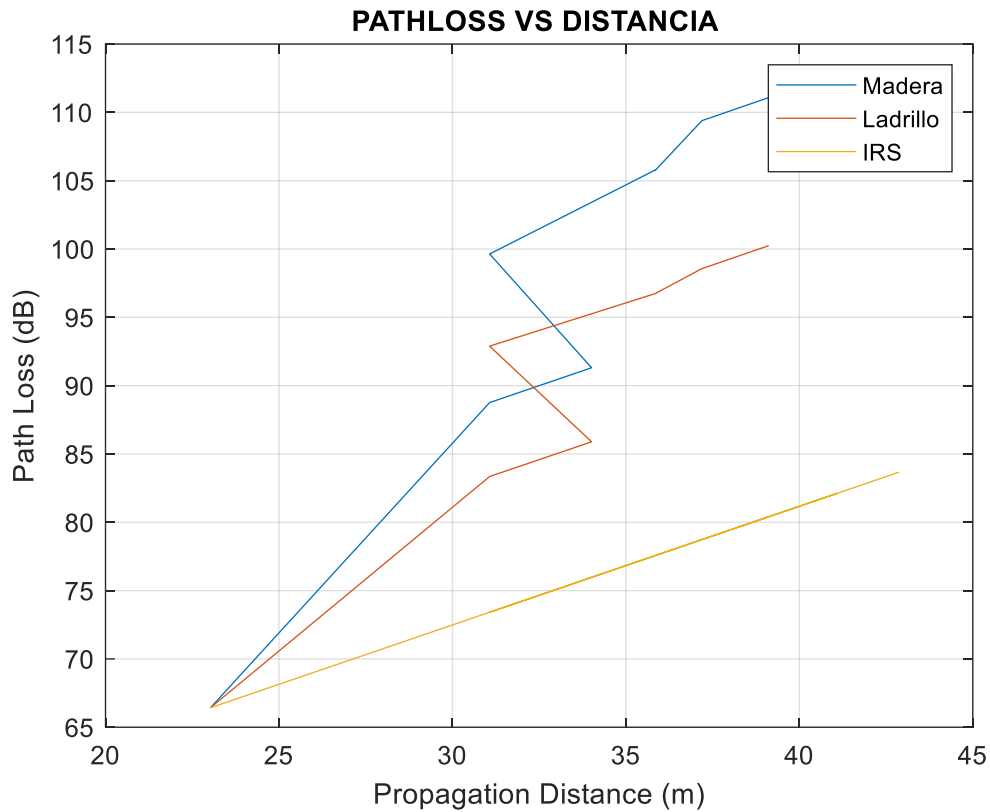


Figura 4.20 Gráfica Pathloss vs Distancia de propagación del caso 1 en el escenario usando todos los materiales.

Finalmente, en la figura 4.20 muestra gráficas comparativas del par de caso que se ejecutó para cada escenario de distinto material, de la cual mostrará el nivel de distorsión de la señal en cada una según su posicionamiento de antena e intrusiones. El comportamiento lineal para cada material de la cual es observable que generan consumo mayor sigue siendo madera y ladrillo a diferencia del IRS que se mantiene en niveles bajos entre los aproximadamente 72 y 84 en rango. Por otro lado, a pesar de usar antenas de manera frontales la distribución no llega a ser la mejor ni usando material o ladrillo, no obstante, el nivel de comportamiento del IRS es prácticamente invariante a comparación de las demás pruebas. Esto permite discernir que la mejor opción de materiales bajo una comunicación inalámbrica en uso de banda de 5 GHz es el IRS.

CONCLUSIONES

Posterior al estudio generado en las simulación, se generan distintos análisis en base a la ventaja de las simetría del entorno construido para la mejora de la comunicación inalámbrica; de la misma manera se considera la comparativa de la eficiencia de los materiales para el canal inalámbrico para el funcionamiento en la banda de 5GHz que brindaran una comparativa porcentual de cada nivel de trabajo:

- El uso de una estructura simétrica en que funciones un área indoor, para el uso de par de antenas es ventajoso el usar posicionamiento de manera equidistante entre ellas, puesto que esto permite generar una línea de vista mucho mas completa en todo el espaciado del área interna; no obstante, el proyecto usa un área interna totalmente vacía, lo que implica que la apertura de la señal permita propagarse ante todo el campo abierto, teniendo una interacción de espacialidad sin comprometer a la señal en medios que degraden la calidad de la misma puesto el que no exista objetos internos no existirá riesgo de disipación en la propagación del espectro.
- El modelamiento de canal inalámbrico en la banda de 5 GHz consiste en observar la propagación de la señal bajo dicha banda, un condicionamiento del modelamiento es la operación de frecuencia en tres distintas coberturas que mantengas distintas propiedades al accionar una señal. Primero se obtiene las comparaciones entre dos materiales de uso frecuente en edificaciones de áreas interna, esto involucra a la madera y el ladrillo; mediante el comportamiento del espectro en dichos materiales se puede notar que la perdida en el camino para ambos recae en un porcentaje de diferencia de cerca de 10.1% puesto que el comportamiento frecuente entre los 75 a 105 dB que implica que ante una mayor extensión de la señal, dicha comenzara a perder calidad; esto debido a la porosidad de los materiales y sus capacidad e permitir la salida de la señal. Una observación drástica es el comportamiento del modelamiento del canal al implementar la tecnología IRS como cobertura del área, puesto que en comparado con los materiales previos mencionados el espectro logra propagarse ene le mismo espacio en rebote y permite que se mantenga su potencia sin perdida como se muestra en los resultados del capítulo 4 el trasado de rayos es mucha mas reiterativo sin escape de la señal; en comparativa de niveles de propagación podemos observar que entre la madera y el IRS existe una diferencia 22.20% y entre el ladrillo y el IRS existe entre un 13.56% cual implica

que el modelamiento conjunto al IRS es mucho mas efectivo para el mantenimiento de la señal en todo el eterno, inclusive ante los retardos de la potencia, el IRA permite que la potencia no recaiga en rangos de periodos extensos.

- La aplicación desarrollada cumple con la recreación de todo un entorno que se adapta a tres tipos de materiales de cobertura del mismo, así mismo, cumple con u 98% de efectividad en comparación a los resultados obtenidos frente a los teóricos planteados; básicamente se ha considerado con mayor importancia el comportamiento de transmisión entre antenas y sus alteraciones al tener ruido presente, por lo que en el estudio de la tasa de error por bit frente al SNR se alcanza una efectividad del 100% de calculo desarrollados, lo que implica que el número de bits que con captados en el punto receptor son exactos y frente a cada uso de un material para el modelamiento se puede observar los cambios en la curva que presentarán que tanto el sistema de la tecnología IRS logra exceptuar al ruido de la transmisión a diferencia de un uso común como de la madera ladrillo que generan una grafica de distorsión sin una caída uniforme, esto implica que el IRS es una opción mucho mas viable y ventajosa frente al uso de un canal inalámbrico en que se desea tanto expandir coberturas de señal como mantenimiento de potencia en la misma sin decadencias periódicas

RECOMENDACIONES

En base a la experimentación y análisis en el proceso de desarrollo del proyecto , se toma en consideración múltiples detalles a favor de la recreación del mismo; esto conlleva a sugerencias para la emulación en entorno real como las consideraciones en base a la capacidad de un canal inalámbrico que trabaja bajo la banda de 5GHz:

- La realización de un canal inalámbrico de 5 GHz en un entorno cerrado debe tener en cuenta las antenas utilizadas y la línea de vista entre ambas para poder cumplir la primera zona de Fresnel, puesto que la expansión de la señal también debe abrirse en los laterales de la directividad, si estas no cumplen con esto llegara un punto en que las antenas tengan LOS entre ellos pero no cumplan con las siguientes zonas.
- El uso de un área simétrica reduce las interferencias causadas por objetos, lo que permite que cada punto del área mantenga el mismo efecto de radiofrecuencia sin que el espectro se vea afectado.
- En caso de querer implementar un modelamiento inalámbrico bajo la banda de frecuencia de 5 GHz en un escenario indoor, considerar posicionar un recubrimiento de la tecnología IRS de la misma dimensión de la pared en la que se quiera recubrir y amplificar el radio de propagación de la señal

BIBLIOGRAFIA

- [1] B. Sinclair, lot Inc. How your Company Can Use The Internet Of Things To Win in The Outcome Economy, McGraw-Hill Education, 2017.
- [2] A. Minter, Analytics for the Internet of Things (IoT): Intelligent analytics for your intelligent devices, Packt Publishing Ltd, 2017.
- [3] Y. W. a. R. Naylor, «Challenges in Designing 5 GHz 802.11ac WiFi Power Amplifiers,» IEEE, 2014.
- [4] M. I. S. Z. ,. M. I. B. Z. Qingqing Wu, «Intelligent Reflecting Surface-Aided Wireless Communications: A Tutorial,» IEEE, 2021.
- [5] M. F. Finneran, Voice Over WLANS: The Complete Guide, Newnes, 2008.
- [6] F. Nilsson, Intelligent Network Video: Understanding Modern Video Surveillance Systems, CRC Press.
- [7] L. C. J. P. Ruonan Zhang, Resource Management for Multimedia Services in High Data Rate Wireless Networks, Springer.
- [8] Y. L. Jelena Mirkovic, Passive and Active Measurement, New york: Springer.
- [9] U. S. C. H. C. o. E. a. C. S. o. C. a. Technology, hallenges and Opportunities in the 5 GHz Spectrum Band, US goverment printing Office, 2013.
- [10] M. Bollaín Sánchez, Ingeniería de instrumentación de plantas de proceso, Diaz de Santos , 2014.
- [11] A. L. A. J. U. Daniel Chew, Wireless Coexistence: Standards, Challenges, and Intelligent Solutions, IEEE PRESS, 2021.
- [12] R. G. R. D. H. J. G. Bradley Edgeworth, CCNP and CCIE Enterprise Core ENCOR 350-401 Official Cert Guide, CISCO PRESS.
- [13] D. A. W. David D. Coleman, CWNA Certified Wireless Network Administrator Study Guide: (Exam PW0-100), Wiley Publishing, 2006.
- [14] A. Mukherjee, 5G New Radio: Beyond Mobile Broadband, London: ARTHECH HOUSE, 2020.
- [15] N. Y. Z. Z. D. J. S. Hai Tang, 5G NR and Enhancements: From R15 to R16, India : MPS Limited, 2020.
- [16] N. L. Xingqin Lin, 5G and Beyond: Fundamentals and Standards, Pohang: Springer, 2021.
- [17] N. Samama, Indoor Positioning: Technologies and Performance, IEEE.

- [18] D. M. Rodriguez, *Sistemas Inalambricos de Comunicacion Personal*, Ciudad de Mexico: Marcombo, 2002.
- [19] W. Tomasi, *Sistemas de comunicaciones Cuarta Edicion*, Phoenix Arizona: Prentice Hall, 2003.
- [20] Y. L. Jelena Mirkovic, *Passive and Active Measurement: 16th International Conference, PAM 2015*, NEW YORK : Springer, 2015.
- [21] R. J. Bartz, *Mobile Computing Deployment and Management*, SYBEX, 2015.
- [22] A. Aragón-Zavala, *Indoor Wireless Communications: From Theory to Implementation*, Jhon Wilwy and son, 2017.
- [23] M. J. A. M. Iwona Dolińska, «Interference comparison in Wi-Fi 2.4 GHz and 5 GHz bands,» IEEE, 2017.

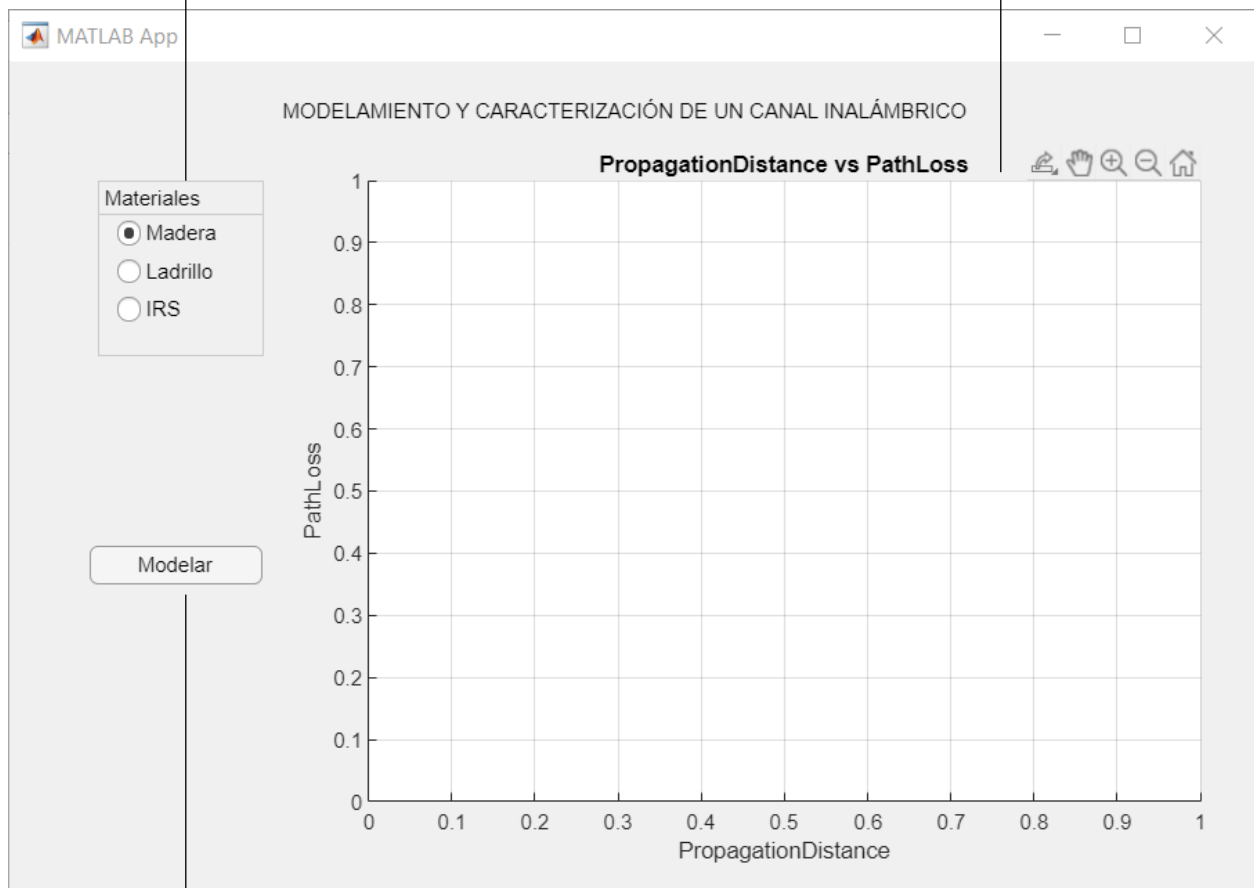
ANEXOS

Conjunto de Botones:

En este conjunto de botones se encuentran los diferentes materiales con los que se realizara el modelamiento, también se encuentra la tecnología IRS.

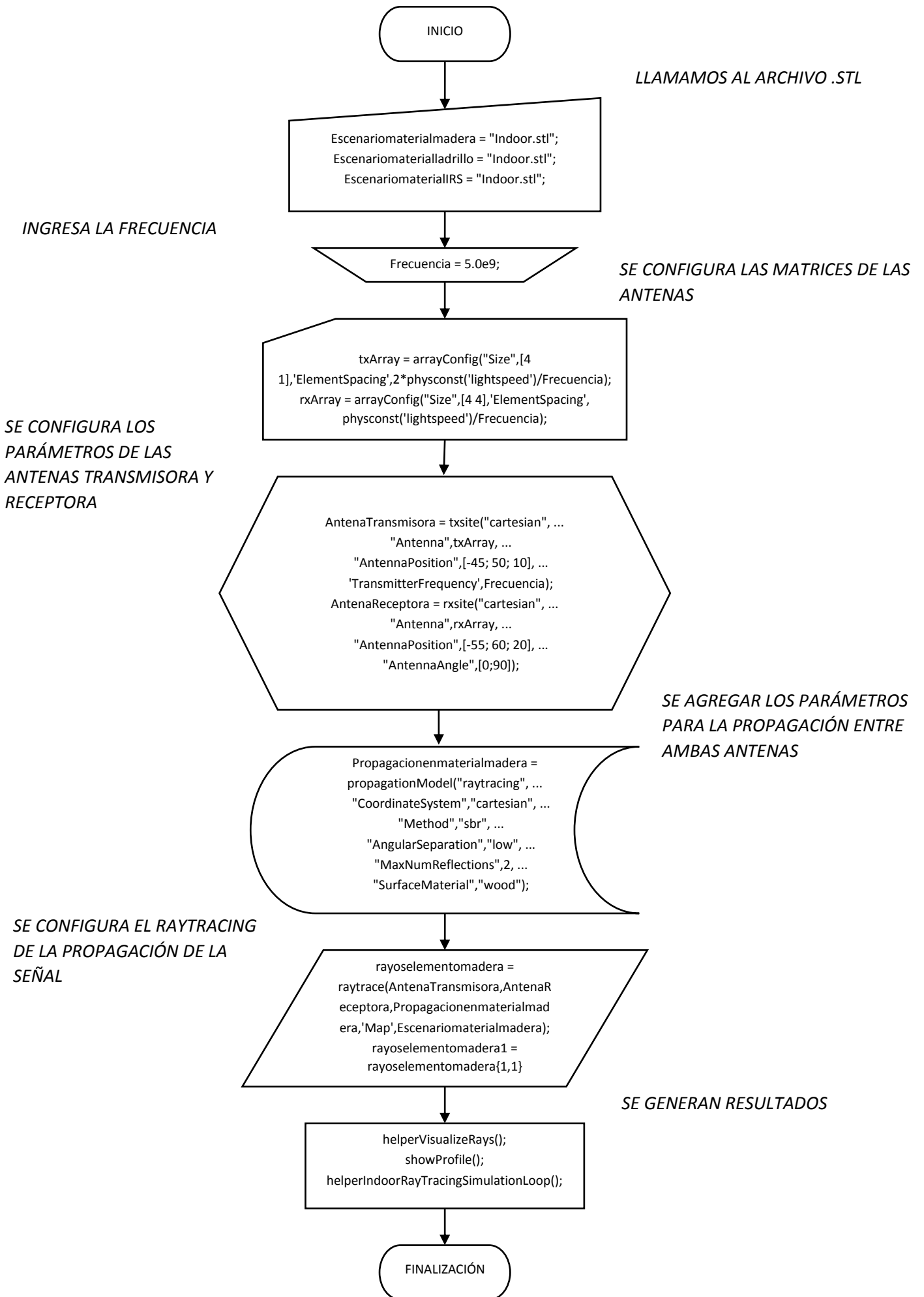
Gráfica Propagation Distance vs Pathloss:

Aquí se presenta la gráfica de Propagation distance vs Pathloss de los 3 materiales permitiendo observar diferencia entre ellos.



Botonera Modelar:

Al aplastar la botonera, dependiendo del material que se haya seleccionado se presentara la gráfica de modelamiento, BER y potencia del material seleccionado, también se mostrara la gráfica de Propagation distance vs Pathloss de los 3 materiales.



Corroboración matemática de los valores para la gráfica ERROR POR BIT VS SNR

Cálculo de valores BER vs SNR por bit para el escenario usando material de cobertura madera en el caso 1:

Tabla Anexos 1 Valores BER vs SNR por bit del caso 1 para el escenario usando material de cobertura madera.

EbNo	Errores de transmisión	Bits transmitidos	BER
0	0.648	1.296	0.5
1	0.6455	1.296	0.498071
2	0.6487	1.296	0.50054
3	0.6476	1.296	0.499691
4	0.6485	1.296	0.500386
5	0.6497	1.296	0.501312
6	0.6475	1.296	0.499614
7	0.6463	1.296	0.498688
8	0.6454	1.296	0.497994
9	0.6467	1.296	0.498997
10	0.6449	1.296	0.497608
11	0.6467	1.296	0.498997
12	0.6463	1.296	0.498688
13	0.6471	1.296	0.499306
14	0.6431	1.296	0.496219
15	0.6426	1.296	0.495833
16	0.6418	1.296	0.495216
17	0.643	1.296	0.496142
18	0.641	1.296	0.494599
19	0.6421	1.296	0.495448
20	0.6385	1.296	0.49267
21	0.6416	1.296	0.495062
22	0.6423	1.296	0.495602
23	0.6387	1.296	0.492824
24	0.642	1.296	0.49537
25	0.6335	1.296	0.488812
26	0.6359	1.296	0.490664
27	0.6321	1.296	0.487731
28	0.6331	1.296	0.488503
29	0.6314	1.296	0.487191
30	0.6302	1.296	0.486265
31	0.623	1.296	0.48071
32	0.62	1.296	0.478395
33	0.6222	1.296	0.480093
34	0.6137	1.296	0.473534
35	0.6077	1.296	0.468904
36	0.6073	1.296	0.468596

Cálculo de valores BER vs SNR por bit para el escenario usando material de cobertura ladrillo en el caso 1:

Tabla Anexos 2 Valores BER vs SNR por bit del caso 1 para el escenario usando material de cobertura ladrillo.

EbNo	Errores de transmisión	Bits transmitidos	BER
0	0.6465	1.296	0.498843
1	0.644	1.296	0.496914
2	0.6468	1.296	0.499074
3	0.6456	1.296	0.498148
4	0.6451	1.296	0.497762
5	0.6463	1.296	0.498688
6	0.6444	1.296	0.497222
7	0.6422	1.296	0.495525
8	0.6417	1.296	0.495139
9	0.6413	1.296	0.49483
10	0.6398	1.296	0.493673
11	0.6411	1.296	0.494676
12	0.639	1.296	0.493056
13	0.6396	1.296	0.493519
14	0.6349	1.296	0.489892
15	0.6339	1.296	0.48912
16	0.6324	1.296	0.487963
17	0.6318	1.296	0.4875
18	0.6275	1.296	0.484182
19	0.6284	1.296	0.484877
20	0.6227	1.296	0.480478
21	0.6246	1.296	0.481944
22	0.6216	1.296	0.47963
23	0.6159	1.296	0.475231
24	0.6155	1.296	0.474923
25	0.6025	1.296	0.464892
26	0.5994	1.296	0.4625
27	0.5947	1.296	0.458873
28	0.5897	1.296	0.455015
29	0.5817	1.296	0.448843
30	0.5702	1.296	0.439969
31	0.555	1.296	0.428241
32	0.5471	1.296	0.422145
33	0.5318	1.296	0.41034
34	0.5138	1.296	0.396451
35	0.4976	1.296	0.383951
36	0.4759	1.296	0.367207

Cálculo de valores BER vs SNR por bit para el escenario usando material de cobertura IRS en el caso 1:

Tabla Anexos 3 Valores BER vs SNR por bit del caso 1 para el escenario usando material de cobertura IRS.

EbNo	Errores de transmisión	Bits transmitidos	BER
0	0.0317	0.1296	0.244599
1	0.0287	0.1296	0.221451
2	0.0257	0.1296	0.198302
3	0.0228	0.1296	0.175926
4	0.0202	0.1296	0.155864
5	0.0175	0.1296	0.135031
6	0.0151	0.1296	0.116512
7	0.0125	0.1296	0.096451
8	0.0106	0.1296	0.08179
9	0.0084	0.1296	0.064815
10	0.0064	0.1296	0.049383
11	0.005	0.1296	0.03858
12	0.0035	0.1296	0.027006
13	0.0023	0.1296	0.017747
14	0.0014	0.1296	0.010802
15	0.0008	0.1296	0.006173
16	0.0004	0.1296	0.003086
17	0.0004	0.2592	0.001543
18	0.0003	0.7776	0.000386
19	0.0003	2.3328	0.000129
20	0.0002	6.48	3.09E-05
21	0	6.48	0
22	0	6.48	0
23	0	6.48	0
24	0	6.48	0
25	0	6.48	0
26	0	6.48	0
27	0	6.48	0
28	0	6.48	0
29	0	6.48	0
30	0	6.48	0
31	0	6.48	0
32	0	6.48	0
33	0	6.48	0
34	0	6.48	0
35	0	6.48	0
36	0	6.48	0

Cálculo de valores BER vs SNR por bit para el escenario usando material de cobertura madera en el caso 2:

Tabla Anexos 4 Valores BER vs SNR por bit del caso 2 para el escenario usando material de cobertura madera.

EbNo	Errores de transmisión	Bits transmitidos	BER
0	0.6472	1.296	0.499382716
1	0.6471	1.296	0.499305556
2	0.648	1.296	0.5
3	0.6473	1.296	0.499459877
4	0.6499	1.296	0.501466049
5	0.6495	1.296	0.501157407
6	0.6471	1.296	0.499305556
7	0.6503	1.296	0.501774691
8	0.6483	1.296	0.500231481
9	0.6495	1.296	0.501157407
10	0.646	1.296	0.49845679
11	0.6487	1.296	0.500540123
12	0.6475	1.296	0.499614198
13	0.6508	1.296	0.502160494
14	0.6482	1.296	0.500154321
15	0.6463	1.296	0.498688272
16	0.6454	1.296	0.497993827
17	0.6484	1.296	0.500308642
18	0.6464	1.296	0.498765432
19	0.6472	1.296	0.499382716
20	0.6468	1.296	0.499074074
21	0.6472	1.296	0.499382716
22	0.6512	1.296	0.502469136
23	0.6461	1.296	0.498533951
24	0.6492	1.296	0.500925926
25	0.6469	1.296	0.499151235
26	0.6497	1.296	0.501311728
27	0.6465	1.296	0.498842593
28	0.6486	1.296	0.500462963
29	0.6504	1.296	0.501851852
30	0.6489	1.296	0.500694444
31	0.647	1.296	0.499228395
32	0.6493	1.296	0.501003086
33	0.6527	1.296	0.503626543
34	0.6474	1.296	0.499537037
35	0.6463	1.296	0.498688272
36	0.6503	1.296	0.501774691

Cálculo de valores BER vs SNR por bit para el escenario usando material de cobertura ladrillo en el caso 2:

Tabla Anexos 5 Valores BER vs SNR por bit del caso 2 para el escenario usando material de cobertura ladrillo.

EbNo	Errores de transmisión	Bits transmitidos	BER
0	0.647	1.296	0.499228395
1	0.6471	1.296	0.499305556
2	0.6477	1.296	0.499768519
3	0.6473	1.296	0.499459877
4	0.6499	1.296	0.501466049
5	0.649	1.296	0.500771605
6	0.647	1.296	0.499228395
7	0.6507	1.296	0.502083333
8	0.6482	1.296	0.500154321
9	0.6501	1.296	0.50162037
10	0.6462	1.296	0.498611111
11	0.6484	1.296	0.500308642
12	0.6477	1.296	0.499768519
13	0.6509	1.296	0.502237654
14	0.648	1.296	0.5
15	0.6472	1.296	0.499382716
16	0.6458	1.296	0.498302469
17	0.6486	1.296	0.500462963
18	0.6468	1.296	0.499074074
19	0.6475	1.296	0.499614198
20	0.6469	1.296	0.499151235
21	0.6475	1.296	0.499614198
22	0.6509	1.296	0.502237654
23	0.6464	1.296	0.498765432
24	0.65	1.296	0.50154321
25	0.6469	1.296	0.499151235
26	0.6499	1.296	0.501466049
27	0.6467	1.296	0.498996914
28	0.6487	1.296	0.500540123
29	0.6506	1.296	0.502006173
30	0.6489	1.296	0.500694444
31	0.6472	1.296	0.499382716
32	0.6488	1.296	0.500617284
33	0.6524	1.296	0.503395062
34	0.6469	1.296	0.499151235
35	0.6463	1.296	0.498688272
36	0.65	1.296	0.50154321

Cálculo de valores BER vs SNR por bit para el escenario usando material de cobertura IRS en el caso 2:

Tabla Anexos 6: Valores BER vs SNR por bit del caso 2 para el escenario usando material de cobertura IRS.

EbNo	Errores de transmisión	Bits transmitidos	BER
0	0.4884	1.296	0.376851852
1	0.4689	1.296	0.361805556
2	0.4529	1.296	0.349459877
3	0.4318	1.296	0.333179012
4	0.4085	1.296	0.315200617
5	0.3885	1.296	0.299768519
6	0.3595	1.296	0.277391975
7	0.3358	1.296	0.259104938
8	0.3124	1.296	0.241049383
9	0.2879	1.296	0.222145062
10	0.2652	1.296	0.20462963
11	0.239	1.296	0.18441358
12	0.2168	1.296	0.167283951
13	0.1934	1.296	0.149228395
14	0.1714	1.296	0.132253086
15	0.1491	1.296	0.115046296
16	0.1288	1.296	0.099382716
17	0.1101	1.296	0.084953704
18	0.0927	1.296	0.071527778
19	0.0776	1.296	0.059876543
20	0.0648	1.296	0.05
21	0.0544	1.296	0.041975309
22	0.0426	1.296	0.03287037
23	0.035	1.296	0.027006173
24	0.0287	1.296	0.022145062
25	0.0227	1.296	0.017515432
26	0.0189	1.296	0.014583333
27	0.0165	1.296	0.012731481
28	0.0137	1.296	0.010570988
29	0.0099	1.296	0.007638889
30	0.0083	1.296	0.006404321
31	0.0067	1.296	0.005169753
32	0.0054	1.296	0.004166667
33	0.0047	1.296	0.003626543
34	0.0032	1.296	0.002469136
35	0.0033	1.296	0.002546296
36	0.0052	2.5892	0.002008342