



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIRÍA
FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACIÓN

DEPARTAMENTO DE SISTEMAS DIGITALES Y
TELECOMUNICACIONES

Monografía para optar al Título de

INGENIERO ELECTRÓNICO

Título:

**Análisis de la Radio propagación para un escenario Outdoor-to-Indoor en las
Bandas 850 MHz y 2100 MHz**

Autor: Br. Maxwell Josué Calderón Jiménez

Carnet: 2006-23143

Tutor: Marvin Arias Olivas, PhD

MANAGUA, NICARAGUA

Noviembre de 2017

DEDICATORIA

Este valioso logro se lo dedico primeramente a Cristo Jesús y a Dios padre por darme ese soplo de vida, por permitirme tantas pruebas y darme la capacidad de hacerme fuerte en ellas, por caminar junto a mi cada día y acostarme cada noche con la convicción de saber que allí estarán para velar mis logros y fracasos.

A mi papá, Douglas Calderón por demostrarme que cuando se es fuerte y se tiene determinación en la vida se puede salir adelante pese a cualquier limitante, por enseñarme a andar por el camino correcto y por inculcarme que cuando se es pobre físicamente, la mejor manera de salir adelante es estudiando.

A Doña Mercedes Pavón Sánchez por haberme visto con sentimientos de madre, por sus anhelos hacia mí y por todas aquellas preocupaciones que hoy alcanzan un significado.

A mi vieja pero joven novia, Eugenia Osorio, que desde hace 15, juntos hemos venido recorriendo todo este duro camino, por estar allí en cada momento de alegrías y tristezas de avances y paradas, por creer en mí y por creer que unidos somos más fuertes ante cualquier adversidad. Podría seguir digitando hasta necesitar más letras de las que posee el alfabeto pero hay sentimientos que jamás encontrarán adjetivos para exteriorizarlos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente y de todo corazón el apoyo incondicional del precursor de este tema de investigación, mi tutor el Doctor Marvin Arias Olivas por su predisposición, entrega y dirección a lo largo y en cada una de las etapas del presente proyecto investigativo.

Y de una forma muy especial agradezco infinitamente al ingeniero Kelvin René Arana Orozco, por su invaluable apoyo incondicional, por esa humildad que lo caracteriza y esa virtud de brindarle la mano a quien se la solicite, pues sin sus valiosos aportes este trabajo difícilmente hubiera llegado a concretarse. Gracias Gracias..... ¡Infinitas gracias mi estimado Ingeniero Kelvin Arana!

ÍNDICE DE ABREVIACIONES

3D	Tres Dimensiones
1G	Primera Generación de Telefonía Celular
2G	Segunda Generación de Telefonía Celular
3G	Tercera Generación de Telefonía Celular
4G	Cuarta Generación de Telefonía Celular
5G	Quinta Generación de Telefonía Celular
BTS	Base Transceiver Station
CDMA	Code Division Multiple Access
EDGE	Enhanced Data Rates for Global Evolution
EEM	Energía Electromagnética
EVDO	Evolution-Data Only
FS	Free Space
FG	Floor Gain
GSM	Global Standard for Mobile Telecommunications
GPRS	General Packet Radio System
Gbps	Giga bits por segundos
GO	Geometric Optical
HSPA	High Speed Packet Access
HSPA+	HSPA Evolucionado
HSCSD	High Speed Circuit Switched Data
ITU	International Telecommunication Union
IMT	International Mobile Telecommunications
LOS	Line Of Sight
LTE	Long Term Evolution
LTE-A	Long Term Evolution Advanced
LTF	Long Term Fading
MHz	Megahertz
NLOS	Non Line of Sight
O2I	Outdoor-to-Indoor

Prx	Potencia recibida
PCS	Personal Communications Service
PDC	Personal Digital Cellular
PC	Personal Computer
RF	Radio Frecuencia
SIM	Subscriber Identity Module
SBR	Shooting and Bouncing Ray
STF	Short Term Fading
TX	Transmisor
TDMA	Time Division Multiple Access
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UTD	Uniform Theory Diffraction
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
WI	Wireless Insite®
WIMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Acces
WiFi	Wireless Fidelity

ABSTRACT

In any deployment of wireless networks, one of the most important elements by mobile communication service providers is to provide excellent coverage to their customers, but this coverage is directly related to the propagation of electromagnetic signals within very complex scenarios and variables, which requires having to model and determine the characteristics of these radioelectric channels.

This characterization and modeling of radio propagation channels in Outdoor-to-Indoor, environments represents one of the most complex stages in the deployment of wireless communication systems, which has made it one of the most significant research sectors and fundamental in the studies of coverage, capacity and performance of non-wired systems, which allows through its results to have a better knowledge about the behavior of the propagation channel and consequently to reduce the costs of deployments and the operation of such systems.

The present monographic issue analyzes the characteristics of radio propagation within an Outdoor-to-Indoor environment for a five-story building located in the central campus (Simón Bolívar University Campus) of the National University of Engineering (UNI-Managua-Nicaragua), for this purpose, we have used the analysis of measurement of power in the bands of frequency 850MHz and 2100MHz, this analysis is based on the comparison of real measures and the results acquired by means of the implementation of the tool software Wireless Insite®, which implements the technology of Shooting and Bouncing Ray as method of prediction.

The results of the present work show that the technology of ray tracing implemented by the tool of prediction of coverage Wireless Insite®, it helps to achieve a prediction with a high degree of approximation to the results measured in the area of interest, for the coverage of a system of radio spread Outdoor-to-Indoor.

Comparing our measurement results with predicted values showed a delta error margin deviation of approximately 10 dB. Additionally, we suggest further research using more

precise environment description and specialized measurement equipment to deeply understand the radio propagation mechanisms already studied on this work.

RESUMEN

En cualquier despliegue de redes inalámbricas, uno de los elementos más importantes por parte de los abastecedores de servicios de comunicaciones móviles es brindar una excelente cobertura a sus clientes, pero esta cobertura se encuentra directamente relacionada a la propagación de señales electromagnéticas dentro de escenarios muy complejos y variables, lo que obliga a tener que modelar y determinar las características propias de estos canales radio-eléctricos.

Esta caracterización y modelación de los canales de radio propagación en entornos Outdoor-to-Indoor, representa una de las etapas más complejas dentro del despliegue de sistemas de comunicación inalámbricos, por lo que se ha convertido en uno de los sectores de investigación más significativo y primordial en los estudios de cobertura, capacidad y desempeño de sistemas inalámbricos, lo que permite a través de sus resultados poder contar con un mejor conocimiento sobre el comportamiento del canal de propagación y por consiguiente a la reducción de los costos de despliegues y la operación de dichos sistemas.

El presente trabajo monográfico analiza las características de radio propagación dentro de un entorno Outdoor-to-Indoor para un edificio de cinco pisos ubicado en el campus central (Recinto Universitario Simón Bolívar) de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI-Managua-Nicaragua), para esta finalidad se ha hecho uso del análisis de medición de potencia en las bandas de frecuencia 850MHZ y 2100MHz ,este análisis se fundamenta en la comparación de mediciones reales y los resultados adquiridos mediante la implementación de la herramienta software Wireless Insite®, la cual implementa la técnica de disparo y rebote de rayos (Shooting and Bouncing Ray) como método de predicción.

Los resultados del presente trabajo demuestran como la técnica de trazado de rayos implementada por la herramienta de predicción de cobertura Wireless Insite®, contribuye a lograr una predicción con un alto grado de aproximación a los resultados

medidos en el terreno, para la cobertura de un sistema de radio propagación Outdoor-to-Indoor.

La comparación de nuestros resultados de medición con los valores obtenidos por predicción mostró una desviación del margen de error delta de aproximadamente 10 dB. Además, sugerimos más investigaciones utilizando una descripción más precisa del entorno y equipos de medición especializados para comprender en profundidad los mecanismos de propagación de radio ya estudiados en este trabajo.

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Longitud de onda, amplitud y frecuencia. Señal Con frecuencia de 2 ciclos por segundos y velocidad de la onda equivalente a 1 m/s [15].	15
Figura 2. Polarización vertical de una onda electromagnética [15].	16
Figura 3. Reflexión de ondas de radio [15].	17
Figura 4. Señales de Multi-trayecto en un entorno real de comunicaciones inalámbricas [16]. .	17
Figura 5. Representación de la derivación de la refracción [17].	18
Figura 6. Difracción de ondas electromagnéticas [18].	18
Figura 7. Dispersión (Scattering) de ondas electromagnéticas [18].	19
Figura 8. Desvanecimiento a pequeña escala [16].	21
Figura 9. Comparación gráfica en escala logarítmica del Fast fading y el Slow fading [21].	22
Figura 10. Esquema de clasificación de los modelos de propagación [22].	24
Figura 11. Principio del modelo modificado de espacio libre [24].	27
Figura 12. Representación gráfica del método y disparo y rebote de rayos [32].	37
Figura 13. Terminales móviles utilizados para la toma de mediciones.	39
Figura 14. Laptop Alienware 14 utilizada para la ejecución de las simulaciones.	39
Figura 15. Vista satelital de Google Earth de los edificios del Recinto Universitario Simón Bolívar.	41
Figura 16. Modelado dentro de Wireless Insite® del Recinto Universitario Simón Bolívar.	41
Figura 17. Edificio a modelar [34]	43
Figura 18. Diseño aproximado en 3D dentro Trimble SketchUp del edificio Rigoberto López Pérez.	44
Figura 19. Vista de diferentes ángulos de los pasillos del edificio RLP	46
Figura 20. Trayectoria tomada en cada piso para la toma de mediciones.	46
Figura 21. Diagrama de bloques de la metodología de mediciones.	48
Figura 22. Representación aproximada de la altura de cada piso.	49
Figura 23. Representación de la ruta de puntos receptores en cada uno de los pisos.	51
Figura 24. Localización de las BTS sobre el techo del edificio en el campus principal.	52
Figura 25. Caminos tomados por la señal de propagación en el escenario simulado.	54
Figura 26. Potencia de recepción medida y simulada para la frecuencia 850 MHz.	59
Figura 27. Potencia de recepción vs contra muestras sobre la ruta de puntos de recepción.	64
Figura 28. Potencia de recepción vs muestra sobre la ruta de puntos de recepción.	64
Figura 29. Potencia de recepción vs muestras sobre la ruta de puntos de recepción.	65
Figura 30. Potencia de recepción vs muestras sobre la ruta de puntos de recepción.	65
Figura 31. Potencia de recepción vs muestras sobre la ruta de puntos de recepción.	66
Figura 32. Potencia de Recepción Estimadas y Simulada para la Banda de Frecuencia 2100 MHz.	69
Figura 33. Potencia de recepción contra muestras sobre la ruta de puntos de recepción.	72
Figura 34. Potencia de recepción contra muestras sobre la ruta de puntos de recepción.	72
Figura 35. Potencia de recepción contra muestras sobre la ruta de puntos de recepción.	73

Figura 36. Potencia de recepción contra muestras sobre la ruta de puntos de recepción.....	73
Figura 37. Potencia de recepción contra muestras sobre la ruta de puntos de recepción.....	74
Figura 38. Comparación de valores medios simulados y medidos para las bandas 850 MHz y 2100 MHz.....	76
Figura 39. Comparación del valor medio de error delta.	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Especificaciones de las diferentes generaciones de sistemas celulares [14].	14
Tabla 2. Parámetros para el modelo completo 3D [32].	34
Tabla 3. Propiedad de los Materiales Implementados.	50
Tabla 4. Parámetros de configuración de simulación para las bandas 850 MHz y 2100 MHz. ...	53
Tabla 5. Resultados estadísticos respecto a la simulación y la medición para la banda 850MHz.	56
Tabla 6. Muestras tomadas respecto a la simulación y la medición para la banda 850MHz, en los pisos 4 y 5.	62
Tabla 7. Resultados estadísticos de mediciones simuladas y reales para la banda 2100MHz...	67
Tabla 8. Ganancia de piso del resultado de las mediciones para las bandas 850 MHz y 2100 MHz.	79
Tabla 9. Potencia de recepción estimada y medidas en los puntos de referencia, para el piso 1 en la banda 850 MHz.	89
Tabla 10. Potencia de recepción estimada y medidas en los puntos de referencia, para el piso 2 en la banda 850 MHz.	95
Tabla 11. Potencia de recepción estimada y medidas en los puntos de referencia, para el piso 3 en la banda 850 MHz.	100
Tabla 12. Potencia de recepción estimada y medidas en los puntos de referencia, para el piso 4 en la banda 850 MHz.	105
Tabla 13. Potencia de recepción estimada y medidas en los puntos de referencia, para el piso 5 en la banda 850 MHz.	110
Tabla 14. Potencia de recepción estimada y medidas en los puntos de referencia, para el piso 1 en la banda 2100 MHz.	115
Tabla 15. Potencia de recepción estimada y medidas en los puntos de referencia, para el piso 2 en la banda 2100 MHz.	120
Tabla 16. Potencia de recepción estimada y medidas en los puntos de referencia, para el piso 3 en la banda 2100 MHz.	124
Tabla 17. Potencia de recepción estimada y medidas en los puntos de referencia, para el piso 4 en la banda 2100 MHz.	128
Tabla 18. Potencia de recepción estimada y medidas en los puntos de referencia, para el piso 5 en la banda 2100 MHz.	133

Índice de Contenido

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
ÍNDICE DE ABREVIACIONES.....	iii
ABSTRACT.....	v
RESUMEN.....	vii
INDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xi
CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Organización del documento	2
1.3 Planteamiento del problema	3
1.4 Contribución.....	4
1.5 Antecedentes	5
1.6 Justificación	7
1.7 Objetivos.....	8
1.7.1 Objetivo General.....	8
1.7.2 Objetivos Específicos.....	8
1.8 Limitaciones.....	9
CAPÍTULO 2 MARCO DE REFERENCIA.....	10
2.1 Definición de comunicaciones inalámbricas.....	10
2.2 Breve Reseña histórica sobre las comunicaciones inalámbricas	10
2.3 Breve reseña de la evolución de la telefonía celular.....	11
2.4 Propagación de ondas electromagnéticas.....	14
2.4.1 Canal de propagación inalámbrico	14
2.5 Mecanismos de radio propagación	16
2.5.1 Reflexión	16
2.5.2 Refracción.....	17
2.5.3 Difracción	18
2.5.4 Dispersión.....	19
2.6 Canales de comunicación inalámbrica.....	20
2.6.1 El canal Outdoor e Indoor	20
2.6.2 Breve Descripción de los canales inalámbrico Outdoor e Indoor	20

2.7 Pérdidas de propagación en interiores.....	23
2.8 Modelos de Propagación	23
2.8.1 Clasificación de los Modelos de Propagación.....	24
2.8.2 Modelos de Propagación Para Interiores	26
2.9 Modelado de un Canal de Propagación.....	30
CAPÍTULO 3 DISEÑO METODOLÓGICO.....	32
3.1 Metodología empleada.....	32
3.2 Herramientas utilizadas.....	32
3.2.1 Remcom Wireless Insite®.....	32
3.2.2 Modelo completo 3D	33
3.2.3 Técnica de Trazado de Rayos utilizado en Wireless Insite®	35
3.2.4 Método de predicción utilizado por Wireless Insite®	36
3.2.5 Trimble SketchUp Pro 2017.....	37
3.2.6 Google Earth Pro.....	37
3.2.7 Network Cell Info Lite	38
3.2.8 G-NetTrack Lite.....	38
3.2.9 Terminales móviles utilizados	38
3.2.10 Laptop	39
3.3 Descripción del escenario.....	40
3.4 Descripción del edificio	42
3.5 Diseño, mediciones e implementación de las simulaciones Outdoor-to-Indoor	43
3.5.1 Diseño de la Estructura	43
3.5.2 Procedimiento de las Mediciones Outdoor-to-Indoor	45
3.5.3 Configuración de la Simulación.....	49
CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL ESCENARIO OUTDOOR-TO-INDOOR EN BANDAS 850 MHZ Y 2100 MHZ.....	55
4.1 Resultados y Análisis para la Banda 850 MHz	55
4.1.1 Análisis de Resultados de mediciones y simulaciones para la Banda 850 MHz	55
4.1.2 Análisis del Comportamiento de la Señal del Escenario Outdoor-to-Indoor en Banda de 850 MHz	60
4.2 Análisis de Resultados para la banda de 2100 MHz.....	66
4.2.1 Análisis Comparativo de las mediciones y simulaciones para la Banda 2100 MHz	66
4.2.2 Análisis del Comportamiento de la Señal del Escenario Outdoor-to-Indoor Banda de 2100 MHz.....	70

4.3 Mecanismos de Radio Propagación: Bandas 850 MHz y 2100 MHz	74
4.4 Ganancia de piso (FG-Floor Gain)	78
CAPITULO 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	80
5.1 Conclusiones	80
5.2 Recomendaciones	82
BIBLIOGRAFIA	83
ANEXOS	89
Anexo 1. Datos Obtenidos de Potencia de Recepción Estimada y Mediciones en los Puntos de Referencia en la Banda 850 MHz.	89
Anexo 2. Datos Obtenidos de la Potencia de Recepción Estimada y Mediciones en los Puntos de Referencia en la Banda 2100 MHz.	115

1.1 Introducción

El auge en el crecimiento sostenido en las últimas décadas del sector de las telecomunicaciones, especialmente las concernientes a las tecnologías de las comunicaciones inalámbricas es evidente. Las comunicaciones inalámbricas se han transformado en un pilar imprescindible en las tareas del día a día del ser humano, ofreciéndoles a los usuarios una conectividad de red de datos sin la necesidad de estar conectado a un cable y con menores costos de instalación y mantenimiento con respecto a las redes cableadas [1], estas características junto con la flexibilidad y la escalabilidad que presentan han sido los responsables de su remarcada penetración dentro del mercado de las telecomunicaciones.

Actualmente, las interfaces inalámbricas se encuentran integradas, en la mayoría de equipos y dispositivos de comunicación móviles, esto explica el creciente uso y la popularidad que han experimentado las redes inalámbricas. Pero se debe tener presente que la mayoría de redes inalámbricas están limitadas en cuanto a alcance y que la mayoría de ellas son desarrolladas en entornos con una remarcada variación y muy vulnerables a las interferencias, lo que obliga a efectuar estudios que garanticen una correcta planificación, diseño, despliegue y operación, tomando en consideración los fenómenos y factores que se localizan dentro de estos procesos y garantizar enlaces más confiables y con mejores niveles de cobertura.

Lo expuesto anteriormente, ha impulsado a desarrollar diversas herramientas de software para análisis, diseño y planificación de sistemas de comunicaciones inalámbricas, utilizadas para el cálculo o predicción de propagación de ondas electromagnéticas a diferentes frecuencias del espectro radioeléctrico. Este tipo de herramientas contribuyen a tener un mejor conocimiento sobre el comportamiento de la señal dentro de un canal de comunicación.

El estudio de predicción de propagación de cobertura varía sus resultados según el tipo de entorno en que se lleve a cabo la predicción, pues para el caso de los sistemas de exteriores lo que se pretende es lograr una cobertura eficaz de la zona en estudio y evitar que se presenten interferencias tanto dentro del sistema como en otros ajenos a él; Sin embargo para el caso de los estudios dirigidos a escenarios de interior, la cobertura estará en dependencia a grandes rasgos de la geometría de los edificios y de los elementos dentro de él, lo que demanda una comprensión muy detallada del lugar en estudio , dado que estos presentan una marcada influencia en la propagación de la señal [2].

1.2 Organización del documento

La presente investigación se encuentra estructurada de la forma siguiente:

Capítulo 1: es el presente capítulo, en el cual se introduce el proyecto elaborado, dando a conocer la problemática a la cual se pretende brindar una contribución de conocimiento, así como también se aborda el contexto en el que se encuentra inmerso dicho tema de investigación, los objetivos que se esperan lograr una vez finalizado y los trabajos que preceden a nuestro tema en estudio.

Capítulo 2: en este capítulo se muestra el estudio referente al estado del arte que le permite al lector poder ubicarse en el punto de partida del presente trabajo y a su vez se expone la literatura científica que servirá de base de trabajo para nuestro tema de investigación.

Capítulo 3: en este capítulo se presenta la metodología empleada en nuestro tema de investigación, también se exponen las herramientas utilizadas dentro de esta metodología, al igual que se realiza una descripción del escenario en estudio y del diseño de éste usando la herramienta Sketchup, también se exponen tanto el procedimiento llevado a cabo para la obtención de las mediciones realizadas en el terreno, así como las simulaciones dentro del software de predicción.

Capítulo 4: en este capítulo se exponen los resultados de las mediciones y las simulaciones y se analizan en forma conjunta, mediante la comparación de sus valores,

también se desarrolla la discusión de estos resultados, iniciando con la ayuda de parámetros estadísticos y finalmente se realiza un estudio del comportamiento de la señal recibida en cada uno de los pisos del edificio.

Capítulo 5: este capítulo presenta las conclusiones extraídas de los resultados del presente trabajo monográfico, también se plantean algunas recomendaciones que podrían seguir contribuyendo en esta línea de investigación.

1.3 Planteamiento del problema

En Nicaragua la propagación de señales radioeléctricas en entornos Outdoor-to-Indoor, de los despliegues de redes móviles, propiedad de los operadores de telefonía celular, se encuentran con una serie de fenómenos propios de estos tipos de ambientes, principalmente en edificaciones de múltiples pisos y altos tiempos de ocupación, que ocasionado por el desconocimiento del comportamiento del canal de propagación se obtienen sistemas con prolongados tiempos de diseños, bajos rendimientos de operación y altos costos de despliegues.

De lo antes expuesto se realiza el presente estudio de radio propagación en un escenario Outdoor-to-Indoor en las bandas 850MHz y 2100MHz que permita comprender el comportamiento de la señal en estas bandas de frecuencia y describir la forma en que la señal se propaga y se recibe a determinadas distancias, basado en la obtención de resultados a través de simulaciones mediante el software Wireless Insite® y la adquisición de datos en campo real por medio de las herramienta de aplicación G-NetTrack-Lite y Network Cell Info Lite, desarrolladas en capítulos posteriores.

1.4 Contribución

Durante el proceso del trabajo monográfico, hemos desarrollado simulaciones y mediciones de campo en el entorno Outdoor to Indoor, cuyos resultados hemos sometido para publicación, un artículo científico titulado: “Outdoor-to-Indoor Propagation Mechanisms in Multi-Storey Building for 0.85 GHz and 1.9 GHz Bands”, que ha sido aceptado para su publicación en la conferencia internacional XXXVII edición de la Convención IEEE de Centro América y Panamá, CONCAPAN, que se llevó a cabo en Nicaragua del 15-17 de Noviembre de 2017 [3].

1.5 Antecedentes

En las últimas dos décadas el auge de las tecnologías inalámbricas han experimentado un impacto significativo en los diferentes sectores y niveles sociales. Actualmente en Nicaragua el número de abonados a la telefonía móvil se encuentra muy por encima del número de abonados del servicio de telefonía fija [4] y se proyecta que esta inclinación continúe en aumento, pero al utilizarse un canal de radiofrecuencia como un medio de transmisión no guiado y al tener presente que el espectro de radiofrecuencia es un recurso limitado con anchos de bandas limitados, sumado a esto los diferentes fenómenos que ocasionan cambios en la señal antes de llegar a su destino, ha obligado en diversas partes del mundo que los operadores de telefonía móvil requieran determinar con un alto grado de confianza la propagación de ondas electromagnéticas tanto en ambientes internos como en exteriores.

En este contexto en diciembre de 2009 [5], se realizó un estudio en la banda GSM de 850 MHz que permitió analizar las características de un canal de propagación exterior-interior, a través de la ejecución de mediciones de la potencia recibida en todo el trayecto interno del edificio en el que se llevó a cabo el estudio, mediante una estación base que se encontraba radiando en el techo de uno de los bloques de este. Esto les permitió poder observar la calidad de recepción de la señal y poder comprender los fenómenos que influyen dentro del canal de propagación de la onda, como la propagación multi-camino, la atenuación producida por los objetos ubicados entre la BTS y el móvil como las paredes y suelos, que aunque el móvil se encontrara muy próximo a la estación, determinaron que la señal de recepción siempre se verá afectada por estos elementos.

Un estudio similar al anterior se desarrolló en el 2010 [6] , sobre la propagación de señales en un ambiente Outdoor-to-Indoor para un canal MIMO operando a una frecuencia de 780 MHz, logrando obtener mediciones de parámetros como el Path Loss, shadow fading, delay spread, angular spread y el rician k-factor, lo que posteriormente les permitió efectuar la comparación del primer parámetro antes mencionado con las pérdidas obtenidas en la modificación del modelo de pérdidas de penetración de edificios conocido como Cost-231 [6] , logrando analizar con una mayor

precisión la influencia que ejerce la distancia de separación entre el transmisor y el receptor en las pérdidas de la señal transmitida, a la vez se logró reafirmar la posible aplicación de este modelo de pérdida, en frecuencias en las que los estudios de propagación de señales Outdoor-to-Indoor son bastantes escasos.

Otro trabajo que constituye un significativo aporte es el realizado en la Universidad Tecnológica de Lodz (Polonia) [7] en las bandas: 28 GHz y 2.4 GHz, que permitió conocer el comportamiento de la señal electromagnética dentro de un canal de radio propagación Outdoor-to-Indoor; en este trabajo se lograron poner en práctica diferentes herramientas que en combinación con el software Wireless Insite® y el procesamiento de los datos obtenidos en el escenario de estudio, se logró describir y predecir como la potencia de la señal es recibida en una determinada distancia de cada uno de los entornos seleccionados y como es afectada por los diferentes elementos que se encuentran a su paso hacia el receptor, dando origen a una serie de variaciones dentro del canal de propagación.

En Nicaragua, a nuestro conocimiento, no se ha desarrollado hasta la fecha un trabajo similar que se relacione directamente con el estudio de un canal de propagación inalámbrico para escenarios Outdoor-to-Indoor, pero si se han elaborado investigaciones relacionadas a la propagación de señales, tal es el caso del tema desarrollado por el Ingeniero Carlos Rodríguez Áviles, que presenta un estudio sobre el impacto de la implementación de una red de telefonía y datos móviles basada en tecnología LTE [8].

1.6 Justificación

El mercado de las telecomunicaciones ha experimentado un notable avance, en parte propiciado por la evolución de las comunicaciones vía radio, dado que tecnologías como GSM o UMTS en su momento impusieron el modo de comprender las telecomunicaciones, dando origen a nuevos servicios que atravesaban las barreras de lo que se conocía para ese momento sobre la definición de la radio comunicación. Por otro lado estos nuevos servicios propiciaron un cambio significativo en las tecnologías inalámbricas y aplicaciones móviles y con ello la creciente demanda de ancho de banda por parte de los usuarios.

El problema dentro de las comunicaciones inalámbricas es que las señales no hacen uso de un medio guiado, sino de un canal de propagación que se ve afectado por múltiples elementos y factores propios de él, que perjudican los niveles de potencia de la señal en la línea entre el transmisor y el receptor, a esto se le suman otros fenómenos físicos y aleatorios que están en dependencia del ambiente y la región donde se realiza el enlace y que terminan causando una variación en la señal.

Todos estos factores requieren de un conocimiento detallado que permitan una óptima implementación y funcionamiento de un sistema de comunicación inalámbrico con el objetivo de lograr un correcto desempeño del mismo, esto hace que surja la necesidad del estudio propuesto en este trabajo monográfico, que se enfoca hacia el establecimiento de una idea que permita comprender el comportamiento de una señal electromagnética y los fenómenos que la afectan dentro de un canal de propagación para entornos Outdoor-to-Indoor en las bandas de frecuencias de 850 MHz y 2100 MHz, en escenarios reales.

Este estudio servirá como base en la universidad Nacional de Ingeniería (UNI), a futuras investigaciones que se puedan desarrollar para obtener un mejor conocimiento acerca del comportamiento de la señal dentro de un canal de propagación en diferentes escenarios, los fenómenos que afectan dicho canal y por consiguiente contribuir a desarrollar sistemas de comunicación más eficientes y confiables.

1.7 Objetivos

1.7.1 Objetivo General

- Analizar el comportamiento de ondas de radio para un escenario Outdoor-to-Indoor en el edificio Rigoberto López Pérez del recinto Simón Bolívar de la Universidad Nacional de Ingeniería en las bandas 850 MHz y 2100 MHz.

1.7.2 Objetivos Específicos

- Comprender los fenómenos que afectan el comportamiento de un canal de propagación inalámbrico dentro de escenarios Outdoor-to-Indoor.
- Obtener las estimaciones (por predicción), de los valores de nivel potencia de las señales electromagnéticas producidas en un entorno Outdoor-to-Indoor, en el área del edificio Rigoberto López Pérez, usando la herramienta Wireless Insite®.
- Realizar mediciones de la potencia de la señal recibida , tomando como área de prueba el edificio Rigoberto López Pérez, en las bandas de 850 MHz Y 2100 MHz, empleando como herramienta de medición los software de aplicación móvil Network Cell Info Lite y G-Nettrack Lite.
- Comparar los resultados de las simulaciones obtenidas mediante el software Wireless Insite®, con las mediciones de campo adquiridas con los software Network Cell Info Lite y G-NetTrack Lite, de la señal de radio propagación en las bandas de 850 MHz Y 2100 MHz en escenario Outdoor-to-Indoor.

1.8 Limitaciones

- A causa de la falta de acceso a los planos originales del escenario en estudio, se optó por hacer uso de Google Earth para lograr una obtención aproximada de las dimensiones reales del edificio a modelar.
- Debido a la falta de un GPS, no se logró hacer uso del software de adquisición de datos Netimizer.
- Para aspectos de configuración de las simulaciones, no se logró tener acceso a parámetros reales de la red en estudio.

CAPÍTULO 2 MARCO DE REFERENCIA

2.1 Definición de comunicaciones inalámbricas

Las comunicaciones inalámbricas son definidas como aquellas en la que no se hace necesario el soporte de cables para lograr la transmisión de la información puesto que esta viaja en forma de onda electromagnética a través del espacio y a distancias muy considerables [9], permitiéndole viajar largas distancias y a pesar que para el punto de vista del usuario estas no presentan ninguna diferencia con otro tipo de conexión de red, si conservan propiedades muy particulares en comparación con una red cableada.

2.2 Breve Reseña histórica sobre las comunicaciones inalámbricas

Las comunicaciones inalámbricas tuvieron sus inicios en 1860 con la formulación de la teoría de las ondas electromagnéticas por parte de James Clerk Maxwell, a esto le siguió el advenimiento en 1880, de la demostración de la existencia de dichas ondas por parte de Heinrich Rudolf Hertz, mientras que en 1890 se le concedió a Guglielmo Marconi la primer patente de comunicaciones inalámbricas, quien cuatro años más tarde comenzó a experimentar la transmisión de mensajes mediante ondas de radio y en 1897 logró la transmisión de un mensaje a través del canal de Bristol a una distancia de 14 kilómetros y dos años más tarde alcanzó superar esta transmisión a una distancia de 187 kilómetros efectuando un enlace desde Francia a Inglaterra, contribuyendo de este modo al inicio del desarrollo de las comunicaciones inalámbricas.

Lo anterior motivó que el 23 de enero de 1901 se comprobara mediante un enlace realizado desde la isla Wight a la ciudad de Cornualles, que las ondas de radio no solamente viajan en línea de vista y que es posible la transmisión de ondas de radio a distancias muy considerables.

Es así como al inicio de la primera década del Siglo XX sobresalieron avances investigativos que iniciaron a dar forma a las comunicaciones inalámbricas de la era de los puntos y las rayas, a la comunicación del mundo actual, siendo una de las más sobresaliente la de John Fleming, inventor de la válvula inalámbrica, este descubrió que

al hacer circular una corriente por medio de un filamento caliente de la bombilla de una lámpara las cargas negativas circularían del filamento a una placa fría dentro de la bombilla, lo que fue utilizado para lograr que las oscilaciones de las ondas radio eléctricas llegadas a una antena se logaran convertir en corriente continua.

Lee de Forest le adicionó un mayor valor a la investigación de la válvula del vacío realizada por John Fleming, al convertir la válvula diodo de dos elementos en una válvula tríodo que permitiría poder amplificar la corriente de una onda radioeléctrica a un número mayor, haciendo de esta manera posible la transmisión de información en forma analógica como la voz humana o la música [9].

El inicio de las comunicaciones inalámbrica trajo con sigo la evolución de los sistemas de comunicación y gracias a su gran aceptación, al poco tiempo el servicio iniciaba a saturarse, lo que obligó a buscar nuevas formas de acceso múltiple al canal y a cambiar los sistemas analógicos a digitales que permitieran atender a un número mayor de usuarios, esta serie de cambios han venido dando origen a una sucesión evolutiva de etapas o generaciones de la telefonía inalámbrica.

2.3 Breve reseña de la evolución de la telefonía celular

Generación 1G

La primer generación de telefonía móvil o 1G, hizo su entrada en 1979 y su principal peculiaridad estuvo remarcada por ser analógica y por estar dirigida exclusivamente a la transmisión de voz, esto debido a las limitaciones tecnológicas de esa época, al igual que contaban con baja calidad en los enlaces, transferencia entre celdas poco confiable y no ofrecían ningún tipo de seguridad. Los equipos utilizados en esta tecnología eran bastante simples pero de gran tamaño y la frecuencia utilizada para la prestación de servicios se encontraba dentro de la banda de los 800 MHz. La tecnología presente y que sirvió como inicio para la segunda generación fue el Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA. Time Division Multiple Acces).

Generación 2G

La segunda generación (2G), también conocida como PCS, llegó en 1990 y a diferencia de la primera, esta pasó a ser digital e inició a hacer uso en sus comunicaciones de protocolos más avanzados y con mayores velocidades de información para la transmisión de voz, y aunque ya permitía la comunicación de datos, no ofrecía velocidades significativas para esta última, otra de las características que la distinguía de su predecesora es que contaba con diferentes niveles de encriptación para sus comunicaciones, siendo GSM (Groupe Spécial Mobile), CDMA (Code Division Multiple Access) y PDC (Personal Digital Communications) las tecnologías sobresalientes.

Generación 2.5G

Esta generación proporciona características extendidas que permiten ofrecer capacidades que los sistemas 2G no ofrecen, tales como GPRS (General Packet Radio System), HSCSD (High Speed Circuit Switched Data) y EDGE (Enhanced Data Rates for Global Evolution).

Generación 3G

La tercera generación plasmó sus inicios en 1992, al tiempo en que la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU-International Telecommunication Union) dio origen a los trabajos IMT- 2000 (International Mobile Telecommunications) en los que plasmaba la planeación de la forma en que los sistemas modernos deberían de operar de manera armónica [11]. Esta generación se caracterizó por la convergencia de la voz y datos con acceso inalámbrico a Internet y la alta tasa de transmisión de datos al igual que el acceso a las aplicaciones multimedia. Sus protocolos fueron orientados para soportar altas velocidades de información, tales como el video en movimiento, video-conferencia y acceso a Internet de alta velocidad [12].

Generación 4G

Los servicios actuales de 3G no satisfacen las crecientes necesidades de los usuarios que al transcurso del tiempo demandan mayores velocidades para sus aplicaciones, en respuesta a esta demanda nace en febrero de 2007 la cuarta generación de redes móviles, llamada 4G. La característica que marca la diferencia entre 4G y sus predecesoras son sus considerables tasas de subida y de bajada ofrecidas dentro de las tecnologías consideradas como 4G, siendo Wimax, LTE (comercialmente llamado 4G) y LTE Advanced las tecnologías más sobresalientes. Otra de las diferencias muy remarcadas en relación a su predecesora, es que 4G está basada totalmente en el protocolo IP, descartando de este modo cualquier uso de la conmutación de circuitos para pasar a utilizar la conmutación de paquetes [13].

Generación 5G

Se estima que cada 10 años surge una nueva generación de sistemas celulares, cada vez con mayores características que las hacen propias y superiores a sus predecesoras, siguiendo esta tendencia la tecnología 5G, nombre asignado a la siguiente generación de redes inalámbricas que sería aprobada en el año 2015 y posteriormente ser normalizada e iniciar la fase de desarrollo de productos a inicios del 2020 [14]; las redes 5G están orientadas a soportar una mayor cantidad de equipos y al mismo tiempo proveer de una mayor cantidad de datos a cada usuario .

Se prevé que la experiencia en Internet móvil dentro de la tecnología 5G alcanzará tasas máximas de hasta 10 Gbps en condiciones estáticas de baja movilidad, mientras que en celdas de alta movilidad con velocidades mayores a 300 km/h la tasa será de 1 Gbps [15]. En la Tabla 1 se puede apreciar tanto el año de lanzamiento de cada tecnología como el pico y la tasa de datos promedio para cada una de las generaciones celulares.

Tabla 1. Especificaciones de las diferentes generaciones de sistemas celulares [14].

Generación	Año de lanzamiento	Requerimiento para la velocidad de datos	
		Usuarios móviles	Usuarios estacionarios
1G	1981	--	--
2G	1992	--	--
3G	2001	384 Kbps	>2 Mps
4G	2011	100 Mps	1 Gbps
5G	2021	1 Gbps	10 Gbps

2.4 Propagación de ondas electromagnéticas

2.4.1 Canal de propagación inalámbrico

Para efectuar un análisis de radio propagación, es relevante tener un conocimiento sobre la potencia de la señal que se está recibiendo en una determinada distancia, pero se debe tener presente que esta tiende a atravesar diferentes medios y encontrarse con una variedad de obstáculos en su trayecto y otros fenómenos propios de un canal de propagación inalámbrico, dando como resultado la pérdida en la potencia y el cambio de dirección de la señal; lo anterior origina que la propagación de las ondas estén en dependencia del ambiente en que se propaga, pero que también dependan en gran parte de su longitud de onda. Esto hace necesario el tener que modelar el canal de propagación, logrando lo que generalmente se califica como modelo de propagación.

Pero para ayudar a comprender la propagación de las ondas electromagnéticas y cómo se comportan estas dentro de un canal de propagación inalámbrico, es importante conocer a priori los tres parámetros principales de una onda y la correspondencia entre ellas:

$$\text{Velocidad} = f * \lambda \quad \text{ec. (1)}$$

La longitud de onda o también llamada lambda (λ), representa la distancia medida desde un punto en una onda hasta la parte equivalente de la siguiente onda, mientras que la frecuencia representa el número de ondas enteras que transitan por un punto fijo en un segundo, y un tercer parámetro, la velocidad, esta representa la rapidez con que la onda es propagada en el vacío, siendo este último un valor constante (3×10^8 m/s) [15].

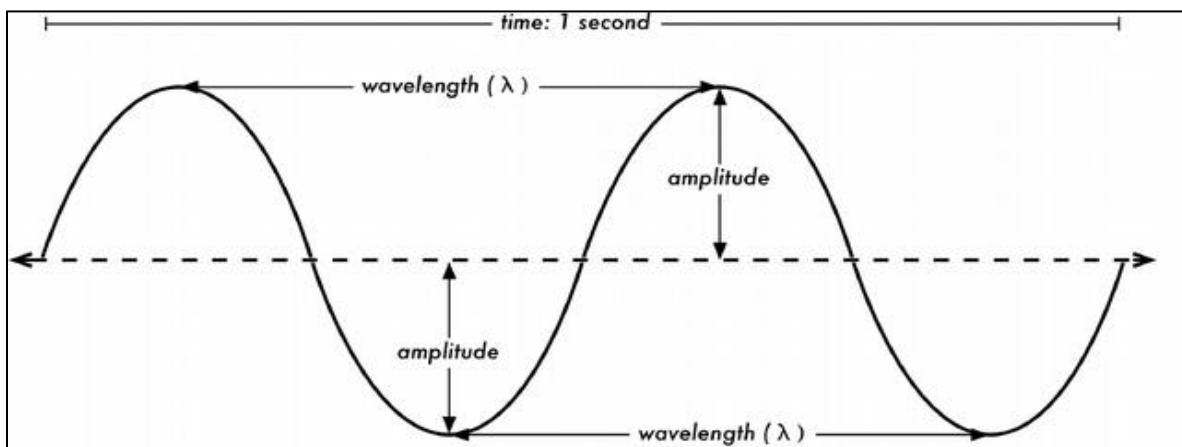


Figura 1. Longitud de onda, amplitud y frecuencia. Señal Con frecuencia de 2 ciclos por segundos y velocidad de la onda equivalente a 1 m/s [15].

Las señales dentro de un sistema de comunicación inalámbrico se transmiten desde un punto transmisor a un receptor remoto y hacen uso del espacio libre como vía de transmisión y se propagan en forma de energía electromagnética o EM, esta energía está constituida por dos campos: el campo magnético y el campo eléctrico, el primero tiene la particularidad de que sus líneas de fuerza siguen una orientación de forma paralela al eje de la antena, mientras que las fuerzas de las líneas del campo eléctrico lo hacen de forma perpendicular a dicho eje como se muestra en la figura 2.

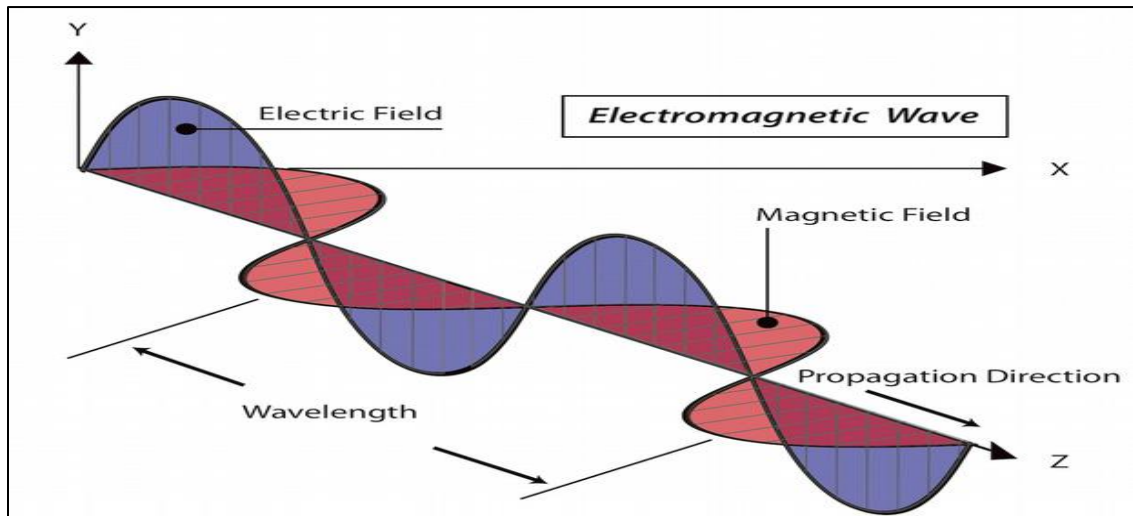


Figura 2. Polarización vertical de una onda electromagnética [15].

2.5 Mecanismos de radio propagación

La propagación de las ondas electromagnéticas en un entorno terrestre es muy diferente al esparcimiento en un entorno ideal de espacio libre, pues en la primera, la interrelación de las ondas electromagnéticas con los objetos del ambiente se ve asociada a otros mecanismos de propagación que también causan atenuación en dichas ondas, por lo que se hace necesario la comprensión que ejercen los siguientes efectos sobre la propagación de las ondas.

2.5.1 Reflexión

Dentro del área de la radio frecuencia es común que las ondas colisionen con obstáculos, provocando que una parte de ella sea reflejada, originando una pérdida en la intensidad de la señal. La ley de la reflexión es muy sencilla de comprender y expresa que el ángulo de incidencia es proporcional al ángulo de reflexión y que tanto el rayo incidente, el reflejado y la normal se encuentran en un mismo plano, pero esto suele complicarse cuando se trata de espacios cerrados o áreas urbanas en los que el número de objetos es muy considerable y bastante variado causando que la señal sea propagada en múltiples direcciones hasta llegar a un punto de destino a través de rutas diferentes, llamadas Multi-trayecto. Ver Figuras 3 y 4 para ilustración.

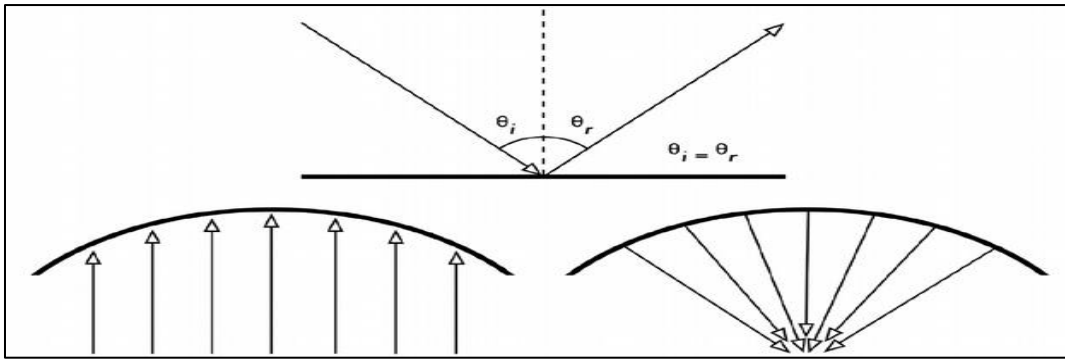


Figura 3. Reflexión de ondas de radio [15].

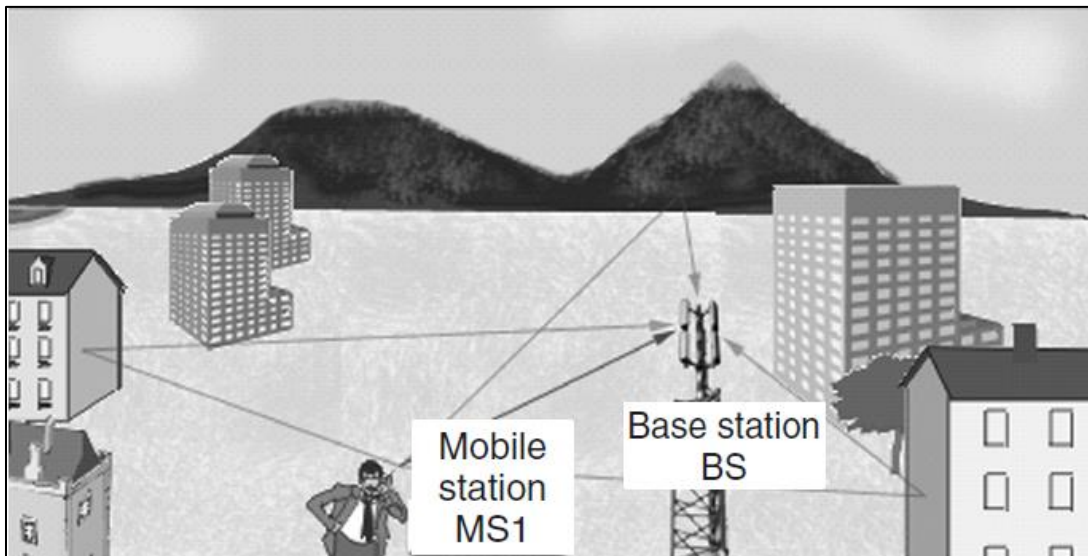


Figura 4. Señales de Multi-trayecto en un entorno real de comunicaciones inalámbricas [16].

2.5.2 Refracción

La refracción hace alusión a la variación en la trayectoria de un rayo, cuando este atraviesa de manera transversal otro medio de naturaleza diferente y se manifiesta cada vez que una onda electromagnética traspasa de un medio a otro con distinta densidad; la densidad del medio que la onda atraviesa influye de forma inversa en su velocidad de propagación.

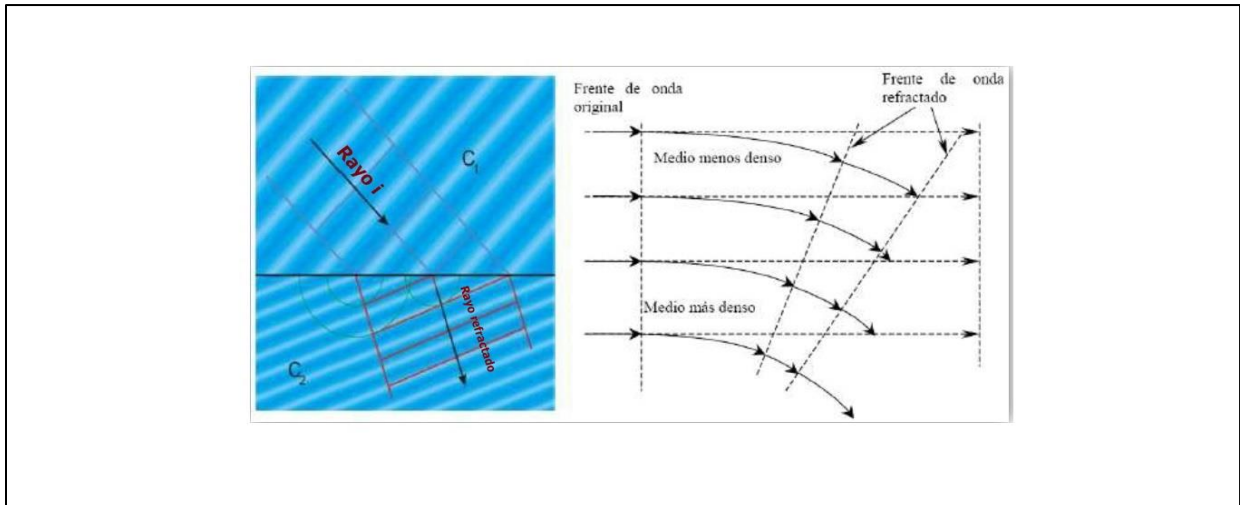


Figura 5. Representación de la derivación de la refracción [17].

En la figura 5 se muestra como el rayo *i* se propaga del medio menos denso C_1 hacia el medio más denso C_2 , sufriendo una variación de dirección cuando se propaga dentro de este medio.

2.5.3 Difracción

La difracción se presenta cuando las ondas golpean sobre un objeto y causan la impresión de doblarse y pese a que se genera cierta pérdida de potencia en la ocurrencia de este fenómeno, en muchas ocasiones se puede sacar ventaja de él puesto que nos permitiría rodear determinados obstáculos.

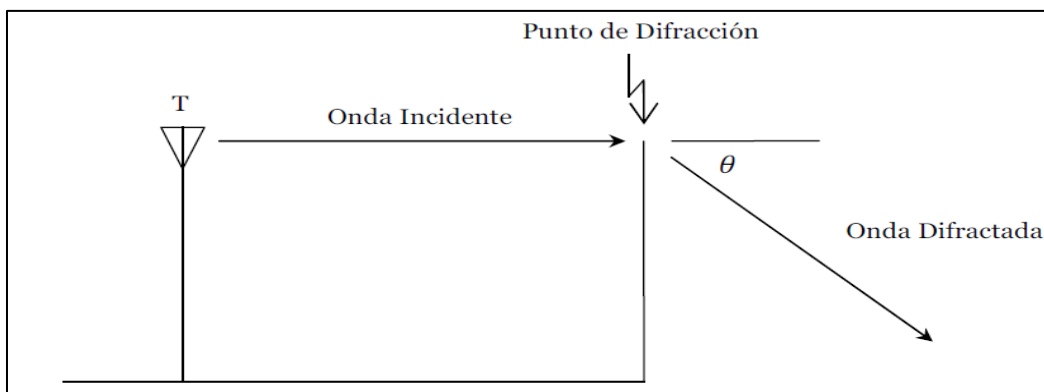


Figura 6. Difracción de ondas electromagnéticas [18].

2.5.4 Dispersión

La dispersión o Scattering se presenta cuando el medio por el que la onda recorre está compuesto por objetos de tamaños menores comparados con la longitud de onda. En la práctica las superficies que presentan rugosidad y objetos de pequeños tamaños son las principales fuentes de origen del efecto Scattering, como se muestra en la siguiente figura.

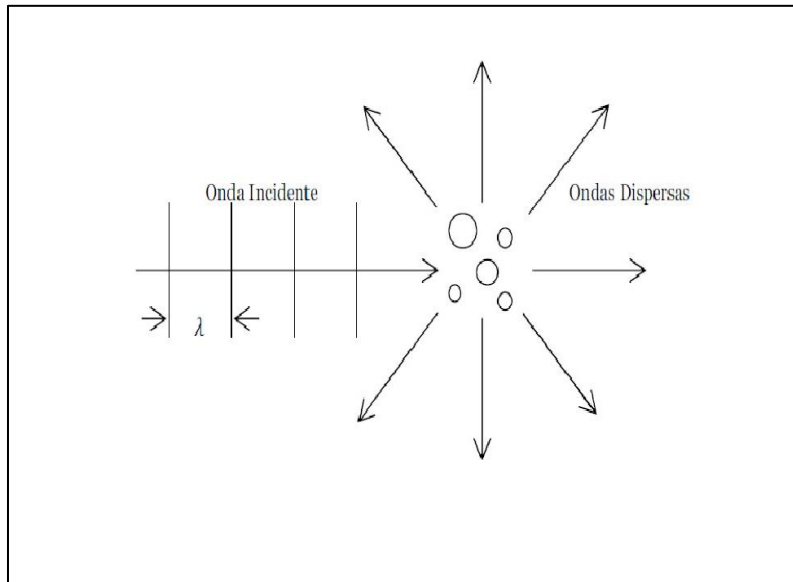


Figura 7. Dispersión (Scattering) de ondas electromagnéticas [18].

Cuando se trata de conocer sobre las pérdidas que sufre una onda electromagnética en su trayectoria hacia el receptor no basta con conocer únicamente sobre los parámetros anteriores, pues también se debe tener presente el efecto que sufre debido a las pérdidas por espacio libre.

Se habla de propagación en espacio libre cuando la distancia que separa tanto al transmisor y al receptor se encuentra libre de obstáculos, lo que también es conocido como línea de vista (LOS). El efecto producido en la pérdida de la intensidad de la señal en este aspecto se debe únicamente a la distancia puesto que la energía de la señal radiada se expande en función de ésta, desde el transmisor.

Para representar la propagación de espacio libre se hace uso de una ecuación, conocida como la ecuación de Friis, esta permite el cálculo de la potencia recibida por un receptor ubicado a una determinada distancia de separación del transmisor.

$$Pr(d) = PtGtGr\lambda^2 / (4\pi)^2 d^2 L \quad \text{ec. (2)}$$

Donde:

Pt: hace referencia a la potencia transmitida. Pr (d): Es la potencia recibida y ésta se encuentra en función de la distancia de separación d. Gt y Gr: Ambas representan las ganancias de las antenas transmisora y receptora, respectivamente. L: Representa el factor de pérdida del sistema. Lambda (λ): Representa a la longitud de la onda [19].

2.6 Canales de comunicación inalámbrica

2.6.1 El canal Outdoor e Indoor

Canal de comunicaciones inalámbrico

Un canal de comunicaciones inalámbrico es aquel que mantiene la propagación de señales electromagnéticas desde el transmisor hacia un receptor y que por característica particular, la señal que en él transita siempre se verá degradada por una variedad de fenómenos propios y ajenos a él [20].

2.6.2 Breve Descripción de los canales inalámbrico Outdoor e Indoor

La propagación de ondas electromagnéticas en interiores varía en relación a la comunicación en exteriores en el sentido que la distancia de radio cobertura de la primera es mucho menor que la segunda y la variación del entorno de ambos es muy variable y a pesar que ambas se guían por los mismos mecanismos de propagación, en los ambientes indoor estos se presentan con una mayor notoriedad.

En los ambientes Indoor las distancias entre un emisor y receptor suelen ser bastante cortas, presentándose en grandes rasgos la propagación Multi-trayecto; La propagación Multi-trayecto es originada principalmente por fenómenos como la reflexión, difracción

y dispersión que causan que la señal transmitida tome varios caminos indirectos, atenuaciones, ángulos y desfases diferentes antes de llegar al receptor, causando variaciones en la señal recibida.

Otro fenómeno que se presenta dentro de los canales inalámbricos Outdoor e Indoor es el ocasionado por el movimiento de los elementos receptores o difusores, lo que provoca variaciones aleatorias en las características del canal, pudiendo ocasionar que las diferentes ondas de llegadas al receptor pueda hacerlo con una diferencia en sus fases y amplitudes, ocasionando lo que comúnmente se conoce como interferencia destructiva, la cual representa uno de los principales problemas dentro del despliegue de enlaces inalámbricos, especialmente para el caso de espacios confinados.

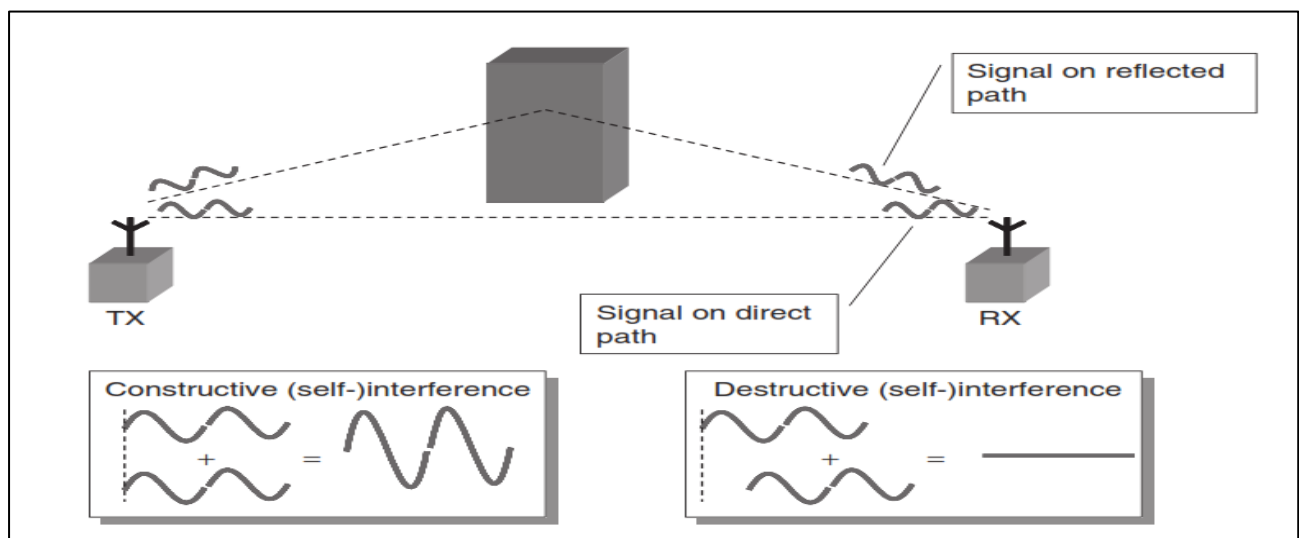


Figura 8. Desvanecimiento a pequeña escala [16].

A la variación de la potencia de la señal de llegada al receptor originada por los multi-trayecto se le conoce como fading, este se establece de acuerdo a su duración como long-term fading si el desvanecimiento ocurre a largo plazo y short-term fading si el desvanecimiento es ocasionado en tiempos cortos.

El long-term fading se origina cuando el receptor móvil se traslada a grandes distancias de separación del transmisor provocando que la señal se vea afectada por el tipo de relieve del terreno en el que se desplaza y de los elementos existentes en él, y a pesar de que este fenómeno se encuentra presente tanto en entornos Indoor como Outdoor, cobra mayor relevancia en ambientes exteriores puesto que las distancias recorrida por la onda, es la necesaria para que el shadowing (long-term fading) se manifieste, mientras que en entornos Indoor las variaciones temporales son pausadas puesto que los usuarios dentro de sitios cerrado tienen poca movilidad.

El segundo efecto derivado del desvanecimiento es el Small-term fading o Fast Fading, su ocurrencia está en dependencia de la velocidad del receptor y es ocasionado cuando la señal es reflejada y difractada al chocar contra elementos muy cercanos al receptor. Este efecto no causa transformaciones en la potencia media recibida a menos que su ocurrencia se prolongue por un periodo de tiempo bastante considerable. En la figura 9 se muestra una representación sobre los efectos producidos por el fading en la amplitud de una onda.

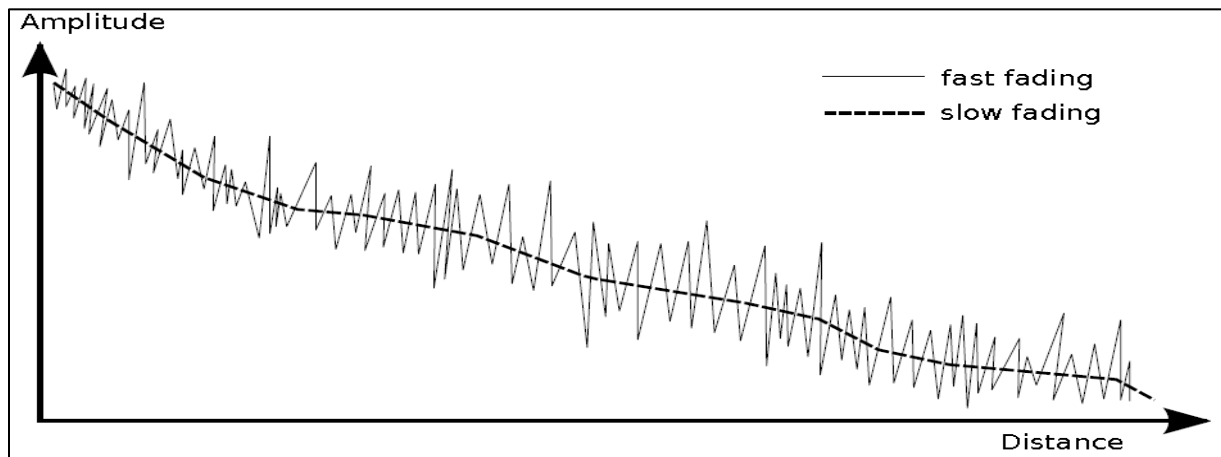


Figura 9. Comparación gráfica en escala logarítmica del Fast fading y el Slow fading [21].

Una vez que se ha visto cuan complejo puede resultar un canal de propagación inalámbrico bien sea dentro de un entorno de Interiores o de Exteriores, la mejor manera de definirlo sería mediante el modelado del mismo.

2.7 Pérdidas de propagación en interiores

Dentro de la propagación en interiores se manifiestan una enorme cantidad de fenómenos que causan una variación en la señal de radio propagación ocasionada por la influencia que ejercen en ella las paredes y el resto de elementos dentro de estos entornos, lo cual es traducido a pérdidas originadas por el multi-trayecto de la señal.

A continuación se enumeran algunos tipos de pérdidas de propagación presentes en escenarios de interiores:

Pérdidas por Multi-trayecto de la señal

Este tipo de pérdidas estará en relación directa del tipo de edificio, de la altura de este, de la cantidad de elementos, del tamaño y del tipo de material con el que se encuentra construido.

Pérdidas derivadas del trayecto de la señal

Esta estará en dependencia de la distancia que la señal recorra.

Pérdidas ocasionadas por la atenuación temporal

Esta se encuentra muy marcada en estos tipos de entornos pues es originada tanto por el movimiento de las personas como de los puntos receptores [2].

2.8 Modelos de Propagación

Un modelo de propagación es un grupo de expresiones matemáticas, representaciones y algoritmos que permiten mostrar las particularidades de radio de un ambiente determinado mediante la predicción de las pérdidas por trayectoria a las que se ve sometida una señal de radio frecuencia entre una estación transmisora y una estación receptora móvil o fija. El modelado de canales de radio, considerando las características de la trayectoria de la señal entre el transmisor y el receptor nos permite identificar el nivel de viabilidad de un proyecto que se pretenda desarrollar en una determinada zona, consiguiendo de este modo el nivel de necesidad, costos y capacidad que se requiera en los equipos necesarios [22].

Con el objetivo de modelar canales de propagación en una diversidad de sistemas de comunicación con características particulares y contextos de escenarios muy variados, a través de los años muchos expertos en la materia han desarrollado una variedad de modelos orientados a la estimación de la potencia de la señal radio eléctrica en sitios concretos de recepción dentro de un área, todos estos modelos difieren en su enfoque, niveles de complejidad y exactitud [22], de esta forma algunos parámetros adquieren una menor o mayor relevancia, por lo que una serie de modelos han sido desarrollados con el propósito de calcular con mayor o menor facilidad la potencia recibida en los diferentes escenarios de aplicación de los sistemas de comunicación inalámbricos [24].

2.8.1 Clasificación de los Modelos de Propagación

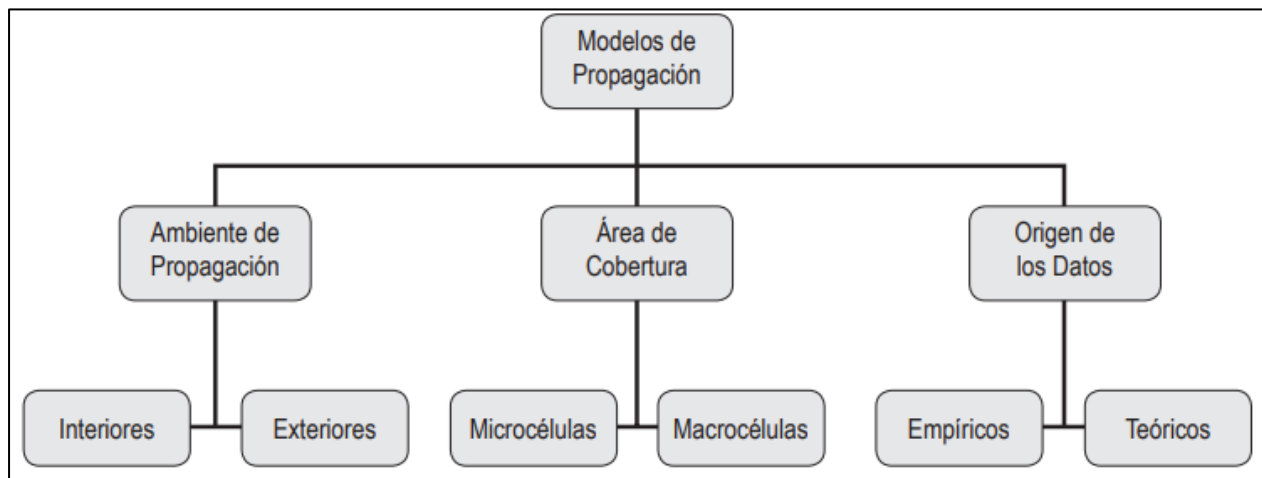


Figura 10. Esquema de clasificación de los modelos de propagación [22].

2.8.1.1 En concordancia al origen de los datos:

Modelos Teóricos: son todos aquellos modelos que se encuentran establecidos en leyes y teoremas del electromagnetismo y cuya ecuación resultante es parte únicamente de un conjunto de valores muy específicos, las cuales están basadas por mediciones bastantes reducidas, es importante señalar que estos tipos de resultados están orientados únicamente al análisis matemático y no al diseño como tal.

Modelos Empíricos: estos modelos son establecidos a partir de mediciones efectuadas en las zonas geográficas donde se pondrá en práctica el estudio, estos modelos se caracterizan por estar en concordancia con la realidad del ambiente y en la mayoría de los casos son utilizados para el cálculo de las pérdidas por trayectorias, pérdidas producidas por la Multi-trayectoria y las ocasionadas por el desvanecimiento de la señal. Estos tipos de modelos asocian las muestras que se obtienen en el área de estudio con un modelo matemático que les permite obtener el comportamiento de la señal de acuerdo a la tendencia indicada por las muestras tomadas, esto a la vez representa un indicio que la exactitud del modelo estará en dependencia del número de muestras tomadas.

Modelos Estadísticos: estos tipos de modelos basan el modelado del ambiente de propagación mediante la utilización de una serie de variables aleatorias, por lo que la magnitud en la precisión de estos estará en dependencia de la cantidad de información con la que se cuente referente al ambiente de propagación.

2.8.1.2 Ambiente de Propagación

Propagación en ambientes Indoor y Outdoor

La propagación en ambientes Outdoor cubre tres tipos de áreas: urbana, suburbana y rural, y en los tres cobra mucha relevancia el perfil del terreno al momento de modelar un área en específico, al igual que se deben tener presente la presencia de árboles, vehículos y otros obstáculos existentes en la zona en estudio. En este tipo de ambientes las principales contribuciones hacia el receptor son causadas tanto por la trayectoria directa como por las reflexiones causadas por el terreno y los edificios, al igual que las difracciones producidas en las esquinas y los techos de los edificios.

La complejidad en la composición de la Multi-trayectoria en la propagación interior y exterior de los edificios es mucho más complicada que en la propagación en exteriores, esto es debido a la naturaleza de las estructuras de los edificios, estructura de las habitaciones pero principalmente de los tipos de materiales utilizados para sus

construcciones, por lo que se hace necesario la implementación de modelos de propagación que se adecuen a las características propias de estos dos tipos de entornos [25].

2.8.2 Modelos de Propagación Para Interiores

A continuación se describen algunos de los modelos orientados a modelar canales de radio propagación en interiores.

Modelo de propagación en el espacio libre (LOS- Line of Sight)

Este modelo es utilizado para predecir la potencia de la señal cuando entre el transmisor y el receptor existe línea de visión directa y entre ellas está presente una distancia de separación [25]. Para el cálculo de la potencia de recepción se hace uso de la ecuación de Friis deducida a continuación:

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L} \quad \text{ec. (3)}$$

Fórmula para el cálculo de potencia en espacio libre [27].

Donde: $P_r(d)$ representa la potencia de recepción que se encuentra en función de la distancia de separación d , entre la antena transmisora y la antena receptora. P_t es la potencia en watt entregada a la antena transmisora. G_t y G_r representan las ganancias de las antenas transmisoras y receptoras respectivamente. L representa el factor de pérdida concerniente al sistema no relacionado con la propagación. λ (lambda) simboliza la longitud de onda en metros [28]. $(4\pi)^2$ se deriva del área de superficie de una esfera considerando que se está tomando una antena omnidireccional como antena transmisora. Como se logra apreciar en la ec. (3) la potencia de recepción disminuye de manera inversa al cuadrado de la distancia a razón de 20 dB/década.

La potencia de la señal se ve reducida a causa del ensanchamiento del frente de onda, dando origen a lo conocido como pérdida de espacio libre, estas pérdidas de trayecto

se definen como la diferencia en dB entre las potencias efectivas transmitidas y las potencias efectivas recibidas y siempre guardara un valor positivo y es obtenida a partir de la siguiente ecuación:

$$l_{FS}(dB) = 10\log\left(\frac{P_t}{P_r}\right) = -10\log\left[\frac{\lambda^2}{(4\pi)^2 d^2}\right] \quad \text{ec. (4)}$$

Ecuación de Pérdida de Espacio Libre [27].

2.8.2.1 Modelo modificado para espacio libre

Este modelo permite realizar un cálculo rápido sobre la potencia recibida y las pérdidas de trayecto en un área en específico, este modelo no considera la posición ni las pérdidas individuales de cada uno de los obstáculos dentro de los edificios, puesto que el cálculo de las pérdidas realizadas son semejante a las realizadas con el modelo de Free Space (FS) o de espacio libre, si no que calcula las pérdidas de trayecto directo mediante un factor adicional de atenuación n , utilizado para especificar cada tipo de edificio. De esta forma las pérdidas de trayecto estarán relacionadas de manera directa con la distancia como se muestra a continuación:

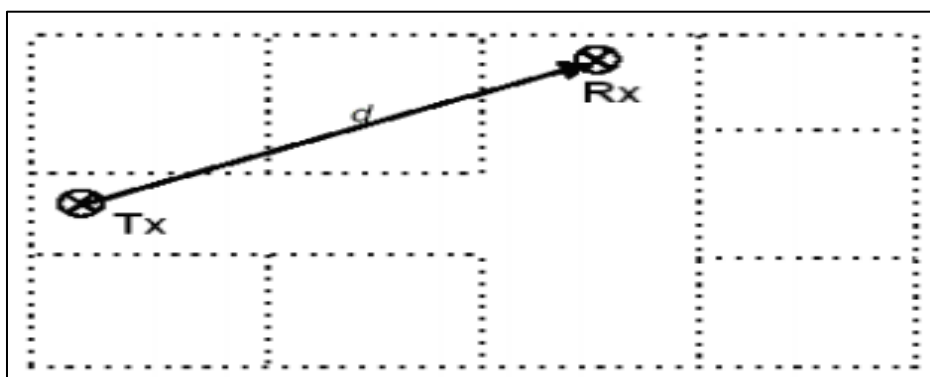


Figura 11. Principio del modelo modificado de espacio libre [24].

$$L_{MF} = 10(P_t / P_r)^n + L_c = -n * 10\log [G_t G_r \lambda^2 / (4\pi)^2 d^2] + l_c \quad \text{ec. (5)}$$

Ecuación de Pérdida de trayecto [27].

Dónde:

L_{MF} = Pérdidas de trayecto de modelo modificado de espacio libre.

d = Distancia entre Tx y Rx.

n = Índice de atenuación, propio del edificio.

l_c = Constante de calibración del modelo

Mientras que la potencia recibida es calculada mediante la siguiente ecuación:

$$P_r \text{ (dB)} = P_t \text{ (dB)} - [n * 20\log (4\pi / \lambda) + l_c] l_c \quad \text{ec. (6)}$$

Cálculo de potencia recibida [28].

Modelo de pérdida de trayecto basado en COST-231 [23]

Este modelo de propagación para interiores es el implementado en las tecnologías de transmisión de radio UMTS y se define de la siguiente manera:

$$L = L_{FS} + L_C + \sum K_{wi} L_{wi} + n \left(\frac{n+2}{n+1} - b \right) * L_f \quad \text{ec. (7)}$$

Dónde:

L_{FS} = pérdida en espacio libre entre transmisor y receptor

L_C = constante de pérdida

K_{wi} = número de paredes de tipo i penetradas

n = número de suelos penetrados

L_{wi} = pérdida debida a muro de tipo i

L_f = pérdida entre suelos adyacentes

b = parámetro empírico

L_C se fija normalmente en 37 dB.

Este modelo es de tipo empírico y toma en consideración las pérdidas de propagación en entornos abiertos al igual que implica las pérdidas producidas en paredes, suelos y techos existentes en el trayecto del transmisor y receptor [23].

2.8.2.2 Modelos Basados en la Técnica de Trazado de Rayos (Ray Tracing)

Los algoritmos de los modelos basados en la técnica de trazado de rayos, toman en cuenta en sus cálculos cada uno de los caminos que podrían tomar la señal en su trayecto hacia el receptor. Existen dos tipos de modelos basados en esta técnica: los modelos básicos de trazado de rayos que fundamentan sus cálculos en la transmisión en espacios abiertos apoyado con los resultados producido por las reflexión en las paredes y los modelos basados en algoritmos más complejos que toman en cuenta los mecanismos de difracción, dispersión difusa y penetración a través de diversos materiales, pero en ambos tipos los niveles de señal en un punto determinado son el resultado de la suma de los componentes de cada uno de los caminos posibles existentes entre transmisor y receptor.

Los modelos basados en la técnica de trazado de rayos son considerados los más precisos entre todos los modelos de predicción de potencia, no obstante exigen de una representación muy detallada del área a modelar pues la precisión en sus resultados depende en gran parte de la explicación detallada del área, esto a su vez demanda de un elevado tiempo computacional [23]. El software de simulación utilizado en el presente trabajo que corresponde a la base fundamental de este proyecto está basado en la técnica de trazado de rayos por lo que éste modelo se desarrollará con mayor detalle en los siguientes capítulos.

2.9 Modelado de un Canal de Propagación

Predecir la ruta que sigue una señal electromagnética desde el emisor hacia el receptor, en los que el canal de radio se caracteriza por presentar una alta complejidad y aleatoriedad, podría ser desde una simple línea de vista hasta un ambiente en el que se encuentran presente una gran variedad de obstáculos como edificios, paredes, árboles, asientos, entre otros elementos que interfieren a la señal.

Es por lo anterior que nace la necesidad de establecer modelos de propagación que permitan prever el comportamiento de las señales electromagnéticas y los niveles de potencia que se reciben en puntos seleccionados dentro de una región específica, con el fin de obtener información que contribuya a encontrar de una forma más precisas las ubicaciones de las radio bases y lograr de este modo mejores rangos de cobertura y un conocimiento más próximo sobre los costos y capacidades que deberán tener los equipos dentro del proyecto que se desee ejecutar.

Para el modelado de un canal de propagación se deben tener presente muchos factores de gran relevancia dentro del cálculo de las pérdidas de propagación, tales como: conocimiento sobre el perfil de la zona que se va a modelar, presencia de obstáculos como árboles, ventanas, edificios, establecimiento de la ubicación del transmisor y receptores, recolección de medidas en campo real, etc.

Para el logro de este fin se han propuesto diferentes modelos orientados a estimar la potencia de la señal en un punto específico de recepción de un área bajo estudio. Cada uno de estos modelos presenta un enfoque diferente, complejidad y exactitud en sus resultados, pero la mayoría de ellos están orientados a un ambiente en particular, bien sea urbano o rural o bien indicado para ambientes interiores o exteriores.

Un parámetro muy importante dentro de estos estudios de propagación y que ayuda significativamente a realizar el análisis de la señal, es la SNR (Signal to Noise Ratio) o relación señal a ruido. La SNR representa un valor en dB del nivel de potencia de señal en relación al nivel de potencia de ruido, si este parámetro presenta un valor elevado está señalando que el nivel de señal se encuentra muy por encima del nivel de ruido y el sistema de comunicación es bueno, pero en caso que la SNR presente un valor

bastante bajo, estaría mostrando que la potencia del ruido se encuentra por encima de la potencia de la señal, o lo que es lo mismo que el sistema no es confiable para la transmisión de la información puesto que la probabilidad de error en los datos que transmiten es mucho mayor [29].

3.1 Metodología empleada

La metodología que se ha seguido en el presente trabajo ha sido la siguiente: Se realizó una metodología de naturaleza explicativa dado que se deseaba encontrar una respuesta a la variación que experimenta una señal electromagnética dentro de un canal inalámbrico Outdoor-to-Indoor y de este modo obtener un mejor conocimiento sobre el comportamiento que se presenta en la señal entre el transmisor y los puntos receptores ubicados dentro del edificio.

El proceso de diseño que se siguió en este trabajo fue de tipo experimental, puesto que se tomaron muestras de una señal radioeléctrica en las bandas de frecuencia 850 MHz y 2100 MHz, transmitidas dentro de un canal de comunicación. Se realizó el modelado de radio propagación con ayuda de la herramienta de predicción Wireless Insite® para predecir los efectos de los edificios y el terreno en la transmisión de ondas electromagnéticas para el ambiente Outdoor-to-Indoor en el área del edificio Rigoberto López Pérez de la UNI. Seguidamente se realizaron mediciones de campo en el escenario real mediante las herramientas de aplicación móvil Network Cell Info Lite y G-NetTrack Lite, para posteriormente comparar el resultado de estas comprobaciones con las obtenidas en las simulaciones realizadas en el software Wireless Insite®.

3.2 Herramientas utilizadas

3.2.1 Remcom Wireless Insite®

Wireless Insite® es una herramienta de simulación electromagnética compuesta por una serie de modelos de trazado de rayos, creada por la compañía REMCOM para el análisis de sistemas de propagación de radio y comunicaciones inalámbricas en sitios determinados. Wireless Insite® proporciona predicciones puntuales y muy eficaces de transmisión electromagnética, a su vez facilita el estudio de las características que presenta cada canal de comunicación tanto en ambiente muy complejos, urbanos, rurales, interiores y de exteriores [30].

3.2.2 Modelo completo 3D

El modelo full 3D o modelo completo 3D representa uno de los principales modelos de propagación dentro de la herramienta Wireless Insite®, utilizado para el cálculo de la cobertura dentro de escenarios de interiores, este modelo tiene la propiedad de no presentar restricciones en las formas de estructuras y toma en consideración todo tipo de objetos e irregularidades que estos presenten. Otra de las características que convierten a este modelo en uno de los más completos y más conveniente dentro de la herramienta para el análisis en escenarios de interiores, es que dentro de las simulaciones se toman muy en cuenta los valores de las transmisiones producidas a través de las superficies de los objetos al igual que las reflexiones causadas en las paredes, pisos y los techos [31].

En la tabla 2 se pueden apreciar los parámetros de configuración para la aplicación del modelo completo 3D.

Tabla 2. Parámetros para el modelo completo 3D [32].

Máximas reflexiones	30, asumiendo que no hay traspaso de señal en la superficie
Máximas difracciones	4 (Shooting and Bouncing Ray)
Transmisiones máximas	30, asumiendo que no hay reflexiones
Ambiente	Todos
Terreno	Todos
Interiores	Todos
Objetos	Todos
Alcance	Varía de acuerdo con la aplicación
Altura de las antenas	Todas
Tipo de antenas	Todos
Trazado de rayos	SBR
Frecuencia mínima	100MHz
Frecuencia máxima	De acuerdo al tipo de aplicación

3.2.3 Técnica de Trazado de Rayos utilizado en Wireless Insite®

Con el fin de contar con un modelo capaz de ser aplicado en cualquier entorno sin que su precisión se vea afectada, se creó un nuevo modelo de propagación determinista establecido en el desarrollo de bases de datos con excelentes resoluciones de ciudades, edificios y objetos, dicha idea tomada en un inicio de la industria de la fibra óptica [8], se halla fundamentada en la teoría de la Óptica Geométrica (GO- Geometrical Optics) [32] y en la teoría uniforme de la difracción (UTD, Uniform Theory Diffraction) [32], utilizada dentro de la herramienta Wireless Insite® como un modelo determinístico para el estudio de la propagación de las señales radioeléctricas, de modo que permite la predicción de la respuesta del canal radioeléctrico tanto en escenarios indoor como outdoor [23].

Tal como se expone en [33] UTD se encuentra especificada en: ec. (8), ec. (9) y ec. (10), expuestas a continuación, donde $S_{i_{nm}}$ es la longitud del trayecto del rayo incidente para el n-ésimo borde cuando la antena receptora se encuentra en el paso m, $S_{d_{nm}}$ es la longitud de la trayectoria de difracción, $GE_{ins_{d_{nm}}}$ es la ganancia de antena del transmisor en la dirección de un rayo incidente en el n-ésimo borde, $GR_{dif_{d_{nm}}}$ es la ganancia de antena del receptor en la dirección del rayo difractado desde el n-ésimo borde, $D_{nm(e,h)}$ es el coeficiente UTD corregido.

$$Df_{Total} = \sum_{n=1}^{m-1} D_{nm(e,h)} \sqrt{\frac{1}{S_{i_{nm}}S_{d_{nm}}(S_{i_{nm}} + S_{d_{nm}})}} \sqrt{GE_{ins_{d_{nm}}} GR_{dif_{d_{nm}}}} e^{-jk(S_{i_{nm}}+S_{d_{nm}})} \quad \text{ec. (8)}$$

Tanto el ángulo difractado como la longitud de la trayectoria se determinan de la siguiente manera:

$$\theta_{dif^{nm}} = \pi - \arctan \left[\frac{h_r - (n - m)a}{ER - (b_p + (n - 1)b)} \right] \quad \text{ec. (9)}$$

$$S_{d^{nm}} = \sqrt{(h_r - (n - m)a)^2 + (ER - (b_p + (n - 1)b))^2} \quad \text{ec. (8)}$$

Dónde:

h_r = Representa la altura del receptor

ER= Distancia de separación de las antenas

n= Número de bordes de difracción

m= Número de escalones

a, b= Altura y ancho de cada uno de los escalones

La técnica de trazado de rayos no solamente ofrece resultados muy precisos tanto en ambientes de interiores como de exteriores, como parte de sus buenas cualidades, sino que también posee ciertas desventajas, dado que se requiere detallar de una forma muy precisa el ambiente que se desea estudiar, esto origina que su precisión dependa enormemente de la rigurosidad en la exactitud de los datos referentes al entorno de despliegue de la red o sistema de comunicación inalámbrica [26], otro de los inconvenientes se encuentra relacionado al tiempo computacional, pues este es afectado de forma directa según el número de reflexiones, difracciones y transmisión tomadas en cuenta en la configuración de las simulaciones, es decir, una simulación puede tomar días en un PC normal [7].

3.2.4 Método de predicción utilizado por Wireless Insite®

El método de disparo y rebote de rayos (SBR, Shooting-and-Bouncing Ray), es uno de los métodos implementados dentro de la herramienta Wireless Insite® que permite conocer cada uno de los posibles caminos que puede tomar la señal en su trayecto desde el transmisor hacia el receptor y este radica en el envío de múltiples rayos desde la antena transmisora, proyectando los rayos con el propósito de determinar si estos inciden sobre algún tipo de objeto o si lo hacen en la antena receptora, de este modo si los rayos golpean en algún cuerpo, dan origen a la reflexión, refracción, dispersión o difracción, dependiendo de las dimensiones y del tipo de objeto que incidan como se muestra en la Figura 12 [32].

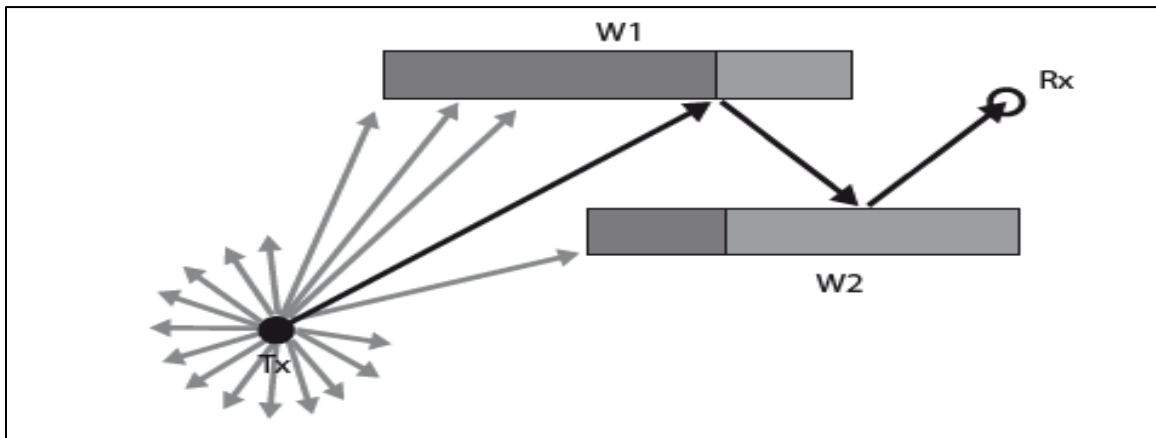


Figura 12. Representación gráfica del método y disparo y rebote de rayos [32].

3.2.5 Trimble SketchUp Pro 2017

Sketchup pro 2017 es un software informático creado por la compañía tecnológica Google para el diseño y la modelación en 3D para ambientes arquitectónicos y fue perfilado para ser utilizado de una manera intuitiva y muy flexible, siendo una herramienta de fácil manejo en comparación con otros tipos de programas de modelado en 3D. Este software además de permitir el modelado de edificios en 3D, también admite el modelado de automóviles, personas y cualquier otro elemento dentro de la imaginación del diseñador.

3.2.6 Google Earth Pro

Google Earth ProTM es un instrumento informático desarrollado por el equipo de Google que permite la visualización virtual del globo terrestre, permitiéndole al usuario tener la posibilidad de poder observar la geografía del planeta mediante la superposición de fotografías de vistas satelitales. Entre las características que presenta Google EarthTM sobresale la posibilidad por parte de los usuarios en poder ubicar de manera virtual calles, avenidas, edificios, parques, entre otros y poder expandirlos de una forma realista y según sean sus necesidades obtener de ellos mediciones avanzadas y algunos otros datos de interés.

3.2.7 Network Cell Info Lite

Es una aplicación orientada a ser implementada dentro de sistemas operativos Android que permite la comprobación de cobertura que se encuentra recibiendo en un equipo móvil en un determinado momento, dicha aplicación es capaz de ser implementada en cualquier red celular, bien sea LTE, HSPA+, HSPA, WCDMA, EDGE, GSM, CDMA, EV-DO y está disponible dentro de la Play Store como una versión gratuita y una versión de pago que cuenta con una serie de herramienta más completa, siendo la primera a utilizarse dentro del presente trabajo.

3.2.8 G-NetTrack Lite

Es un monitor de red y una aplicación de pruebas para redes de radio basadas en tecnologías UMTS, GSMS, LTE, CDMA y tecnologías EV-DO, esta aplicación orientada para sistemas operativos móviles android permite el monitoreo de la información de una red móvil y de las celdas vecinas sin la necesidad de hacer uso de equipamiento especializado, igual se encuentra disponible dentro de Play Store como una versión Pro y la versión Lite, siendo la versión Lite la que se utilizara en este trabajo.

3.2.9 Terminales móviles utilizados

Para la puesta en práctica de las antes mencionadas aplicaciones implementadas para la adquisición de los datos en campo real se hizo uso de dos tipos de teléfono inteligentes, de este modo se utilizó un teléfono Samsung SM-G530W con sistema operativo Android, versión 5.1.1 y procesador Qualcomm para la toma de datos en 4G-2100MHz, bajo la aplicación G-NetTrack Lite para la captura de mediciones de campo dentro del edificio, mientras que para la toma de datos en 3G-850 MHz se procedió al uso de un teléfono móvil Huawei ALE-L21 con sistema operativo Android, versión 6.0, bajo la aplicación Network Cell Info Lite para la obtención de las mediciones en el mismo edificio.



Figura 13. Terminales móviles utilizados para la toma de mediciones.

3.2.10 Laptop

Para la puesta en marcha de las simulaciones se hizo uso de un computador portátil Alienware 14 equipado con un procesador Intel Core i7, una memoria RAM de 16 GB de capacidad y una tarjeta gráfica NVIDIA GeForce GTX 765M de GPU GDDR5 de 2 GB dedicada al procesamiento de imágenes.



Figura 14. Laptop Alienware 14 utilizada para la ejecución de las simulaciones.

3.3 Descripción del escenario

Lo primero a realizar es describir la ubicación geográfica en donde se realizarán cada una de las mediciones de estudio del presente proyecto de investigación.

El escenario en donde se llevó a cabo la investigación, es el Recinto Universitario Simón Bolívar de la Universidad Nacional de Ingeniería ubicada en la ciudad de Managua. Tanto la ubicación de los edificios al igual que sus dimensiones fueron obtenidas mediante la ayuda de Google Earth.

Una vez dentro de Google Earth se procedió a identificar la ubicación del edificio Rigoberto López Pérez, a continuación se prosiguió a hacer zoom al área con el objetivo de trazar un recuadro que comprendiera la ubicación de la zona en la que se encuentra y parte de los edificios aledaños a él, que podrían influir en la propagación de la señal, entre ellos se encuentran los edificios M8, R1, R2, R3, S1, U1, B3 y el edificio a modelar, Rigoberto López Pérez (RLP).

Como un resultado del escenario en el que se realizó el estudio, se muestra a continuación en la Figura 15 del edificio Rigoberto López Pérez obtenido inicialmente con ayuda de Google Earth, para ser modelado posteriormente en la herramienta de simulación Wireless Insite®.



Figura 15. Vista satelital de Google Earth de los edificios del Recinto Universitario Simón Bolívar.

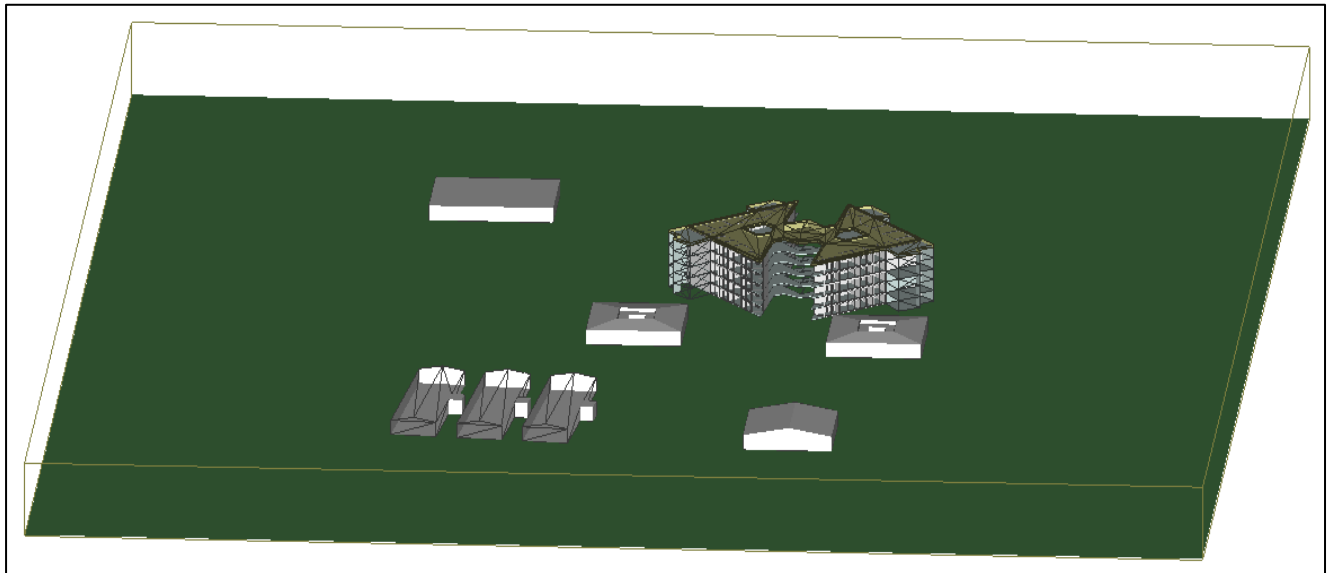


Figura 16. Modelado dentro de Wireless Insite® del Recinto Universitario Simón Bolívar.

3.4 Descripción del edificio

El edificio en estudio “Rigoberto López Pérez” representa la edificación más reciente y la obra más importante del recinto central Simón Bolívar de la Universidad Nacional de Ingeniería, en Managua Nicaragua. La estructura exterior de este edificio se encuentra cubierta por capas de paneles de yeso, posee un total de cinco pisos con una notable similitud entre ellos, tiene una altura aproximada de 18 metros y cuenta con un número muy significativo de ventanas de vidrio. Este edificio constituye una estructura multipropósito, utilizado para oficinas, salones de clases y conferencias de altos tiempos de ocupación.

Este edificio fue construido con pisos para usos similares entre sí que descansan sobre una base de estructura de armazón metálico lleno de hormigón, cada piso combina zonas de despachos y aulas, con amplias ventanas de cristales, paredes interiores de yeso, pisos de ladrillo y puertas de madera. Debido a las características de las cinco plantas y por su ubicación en el centro de la ciudad, los operadores locales han aprovechado la oportunidad de colocar en la azotea del edificio antenas transmisoras de diversas tecnologías celulares como 3G y 4G, esto convierte a dicho escenario en un candidato ideal para el presente estudio de Radio Propagación.

Otra característica muy particular del edificio en estudio es su diseño semi-abierto que no encaja dentro de una estructura de una pared completa o de ventanas cerradas, por lo tanto no se tiene seguro si las ondas de radio llegaran a los receptores penetrando las paredes o si lo alcanzarán a través de los mecanismos de propagación, como la reflexión, la difracción o mediante el Scattering, que representa un elemento muy importante para modelar o comprender la naturaleza del escenario de radio propagación en estudio.



Figura 17. Edificio a modelar [34]

3.5 Diseño, mediciones e implementación de las simulaciones Outdoor-to-Indoor

3.5.1 Diseño de la Estructura

En esta etapa del proyecto se llevó a cabo la construcción del escenario de simulación que debido a la falta de alcance de información sobre el edificio en estudio, fue necesario obtener las dimensiones de este con ayuda de Google Earth, y de esta forma lograr un modelo aproximado al entorno real, a continuación se procedió al diseño dentro de Trimble SketchUp Pro 2017 , identificando primeramente algunos de los elementos que forman parte de la estructura, tales como: puertas, pasillos, ventanas y salones, y de este modo obtener el diseño en tres dimensiones del entorno a modelar, tal como se aprecia en la Figura 18:

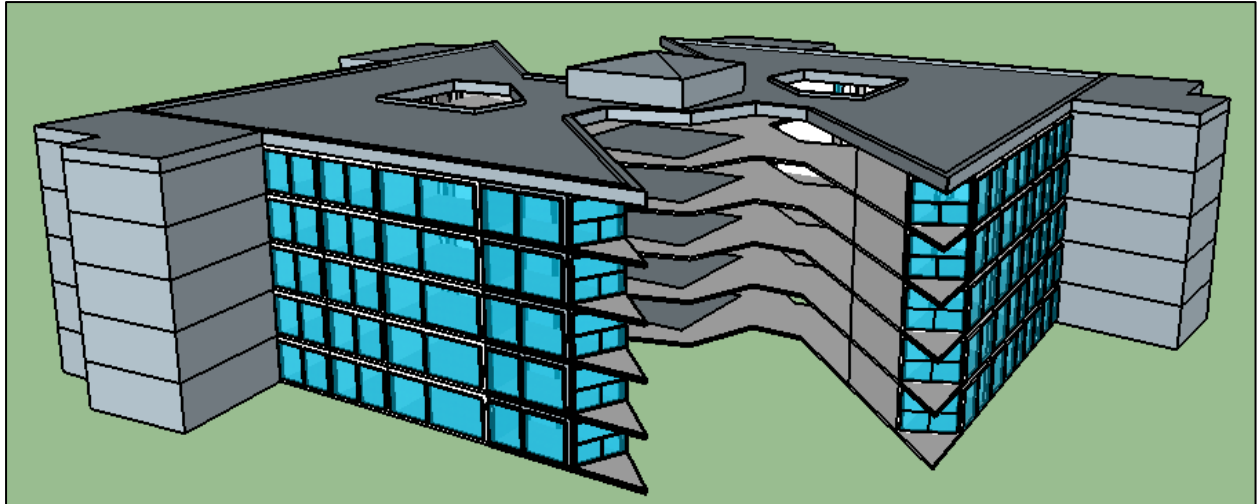


Figura 18. Diseño aproximado en 3D dentro Trimble SketchUp del edificio Rigoberto López Pérez.

La Figura 18 nos ofrece una perspectiva general del escenario que se pretende simular. Con el fin de contar con una aproximación que encaje en mayor detalle con cada uno de los elementos antes mencionados, fue necesario la toma de medidas en el escenario real con el propósito de modelar cada uno de los espacios y cuerpos del mismo de manera más aproximada dentro de Trimble SketchUp Pro 2017.

Se optó para el diseño en 3D del escenario en estudio, por la herramienta Trimble SketchUp Pro 2017 debido a su sencillez para el diseño en tres dimensiones y en el manejo de las configuraciones de las caras predeterminadas y por utilizar una interfaz de fácil manejo hacia la construcción de modelos de ciudades para Wireless Insite®. Y como una última característica muy relevante es que Trimble SketchUp permite la exportación del modelo en formato .dxf, por lo que se puede leer como un archivo de ciudad en Wireless Insite®.

La desventaja de este software de diseño es que al crear modelos completos con un número de detalles más amplio, dentro de Wireless Insite® no se logran importarlos como un único archivo y para ello se hace necesario trabajar en capas desde un inicio el modelo de diseño dentro de Sketchup y posteriormente importarlos dentro de Insite en múltiples archivos en formatos .dxf, obteniéndose al final un mismo resultado.

Otra particularidad muy relevante que presenta Trimble SketchUp, es su propiedad de contar con formatos de archivos en 3D propios de este software, como .dae y .dxf y que son reconocidos directamente por Wireless Insite® al momento de importarlos [7].

3.5.2 Procedimiento de las Mediciones Outdoor-to-Indoor

El parámetro seleccionado para el análisis del canal de radio propagación del presente estudio fue la potencia de recepción. La potencia de señal recibida representa el parámetro de radio propagación que analiza la cantidad de energía electromagnética recibida en el receptor proveniente de un punto transmisor [7].

Para el desarrollo de las mediciones, se procedió a analizar cada uno de los cinco pisos del edificio mediante el parámetro de potencia de la señal recibida tanto para la red celular en las bandas de operación en 850 MHz y 2100 MHz.

En esta fase se trata de describir el proceso completo de adquisición de datos en el terreno real. Inicialmente se procedió a seguir una ruta de medición con el fin de tomar muestras a lo largo de un recorrido situado en cada uno de los pasillos de cada piso del edificio, utilizando un receptor con una altura aproximada de metro y medio para cada piso individual y para cada una de las bandas de frecuencia en estudio, la distancia de separación entre cada muestra tomada fue de metro y medio deducida a partir de lo recomendado en [2], que orienta que esta ha de realizarse cada 5 y 10 longitudes de onda. Obteniendo de esta forma un total aproximado de 125 muestras por piso en los cinco corredores del edificio tanto para la frecuencia de 850 MHz como para la banda de 2100 MHz.

La posición de partida para la toma de medidas en cada uno de los pasillos iniciaba en un punto próximo al transmisor TX7, como se muestra en la Figura 24 y cada una de las rutas finalizaba en torno a esta misma orientación de origen. Una representación de estas rutas se muestra en la Figura 19, mientras que la Figura 20 muestra la trayectoria seguida dentro de estos pasillos para la adquisición de los datos medidos.

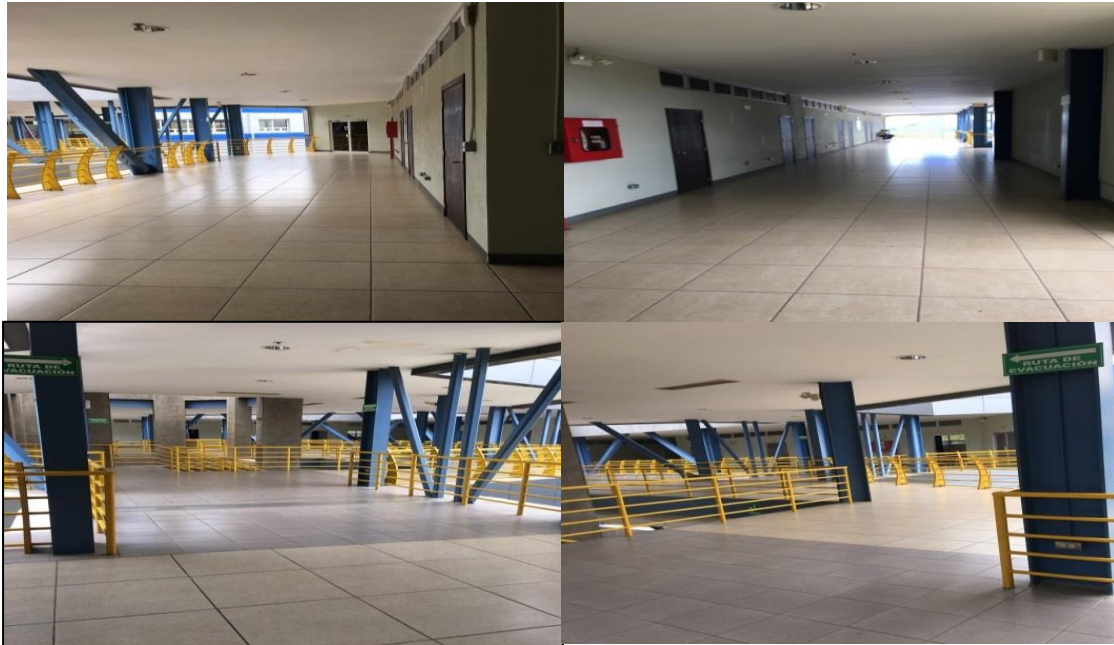


Figura 19. Vista de diferentes ángulos de los pasillos del edificio RLP.

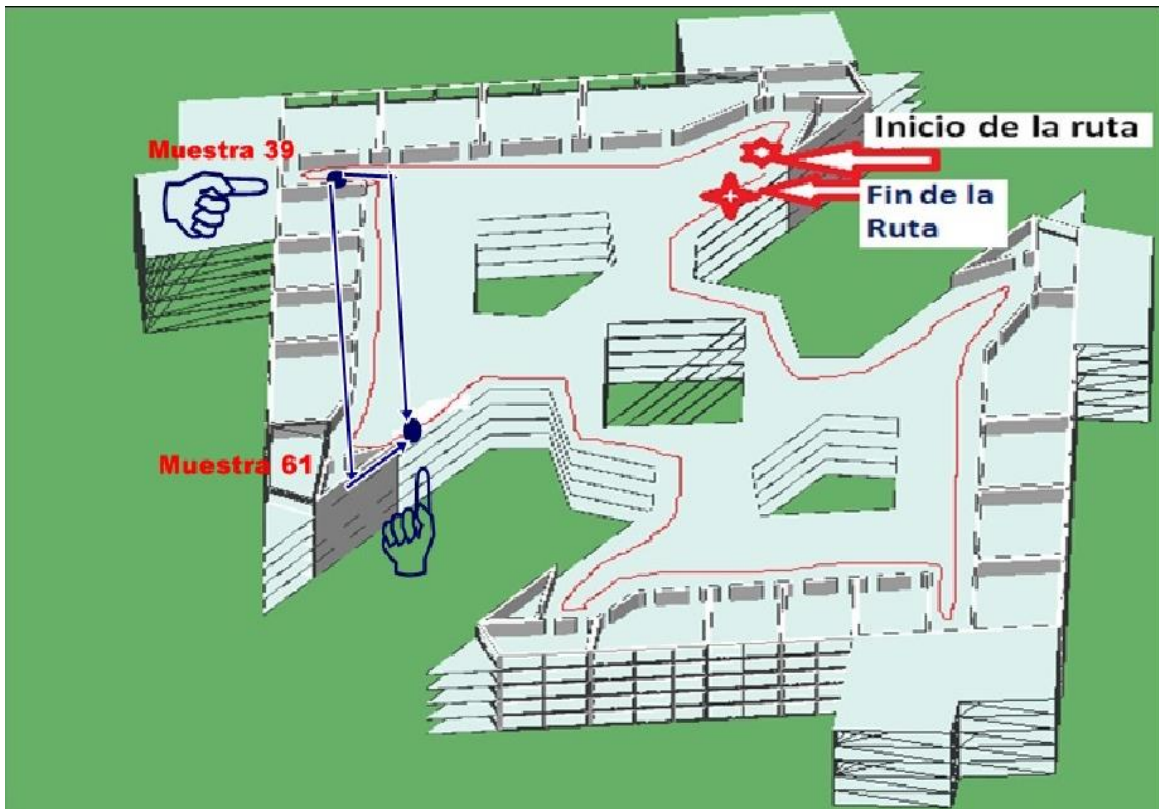


Figura 20. Trayectoria tomada en cada piso para la toma de mediciones.

El proceso de medición referente a la banda de 850 MHz se efectuó en un día regular de la semana universitaria, aproximadamente a las 8:00 PM, para evitar un número demasiado congestionado en la zona y minimizar así la influencia de estos en los resultados finales de las aproximaciones, pero cabe indicar que la afluencia de personas en el piso 1 y 2 era bastante concurrida.

Dos semanas después, a las 10:30 AM se procedió a efectuar la medición para la banda de 2100 MHz, igual que para el anterior caso se hizo en un día laboral, pero con una mayor afluencia de personas en todos los pisos debido que no se previó la salida anticipada de los estudiantes y del resto de personal dentro del edificio. Los receptores usados para ambos procesos de mediciones fueron Smartphone de gama media del cliente; este enfoque fue concebido como una solución de bajo costo y libre acceso

Es importante señalar que primeramente se realizó la adquisición de mediciones correspondiente a la banda de 850 MHz, puesto que para la porción de 2100 MHz se tuvo que realizar posteriormente debido a un inconveniente presentado en el SIM Card que no nos permitía conectarnos a la red LTE y de esta manera poder obtener las mediciones, que debió resolverse antes por el operador de dicha banda en experimento, pero el procedimiento final de mediciones fue el mismo para ambos segmentos de frecuencias.

El proceso de medición en cada uno de los cinco pisos y para cada banda de frecuencia se puede resumir de la siguiente manera:

- 1- Establecimiento del punto de partida para la toma de muestras.
- 2- Cálculo de la distancia de separación entre cada muestra a tomar
- 3- Activación de la aplicación (Network Cell Info Lite para 850 MHz y G-NetTrack Lite para 2100 MHz) encargada de obtener el parámetro de potencia en el equipo receptor responsable de recibir las ondas de Radio Frecuencia (RF).
- 4- Inicio de toma de muestras en cada punto de recepción.
- 5- Almacenamiento de muestras en una tabla de Excel.

- 6- Fin de la captura de mediciones en el equipo receptor.
- 7- Pausa de la aplicación encargada de la obtención del parámetro de potencia.
- 8- Repetición de pasos del 1 al 7 para cada uno de los siguientes cuatro pisos.
- 9- Repetición de los pasos del 1 al 7 para la siguiente banda de frecuencia en estudio.

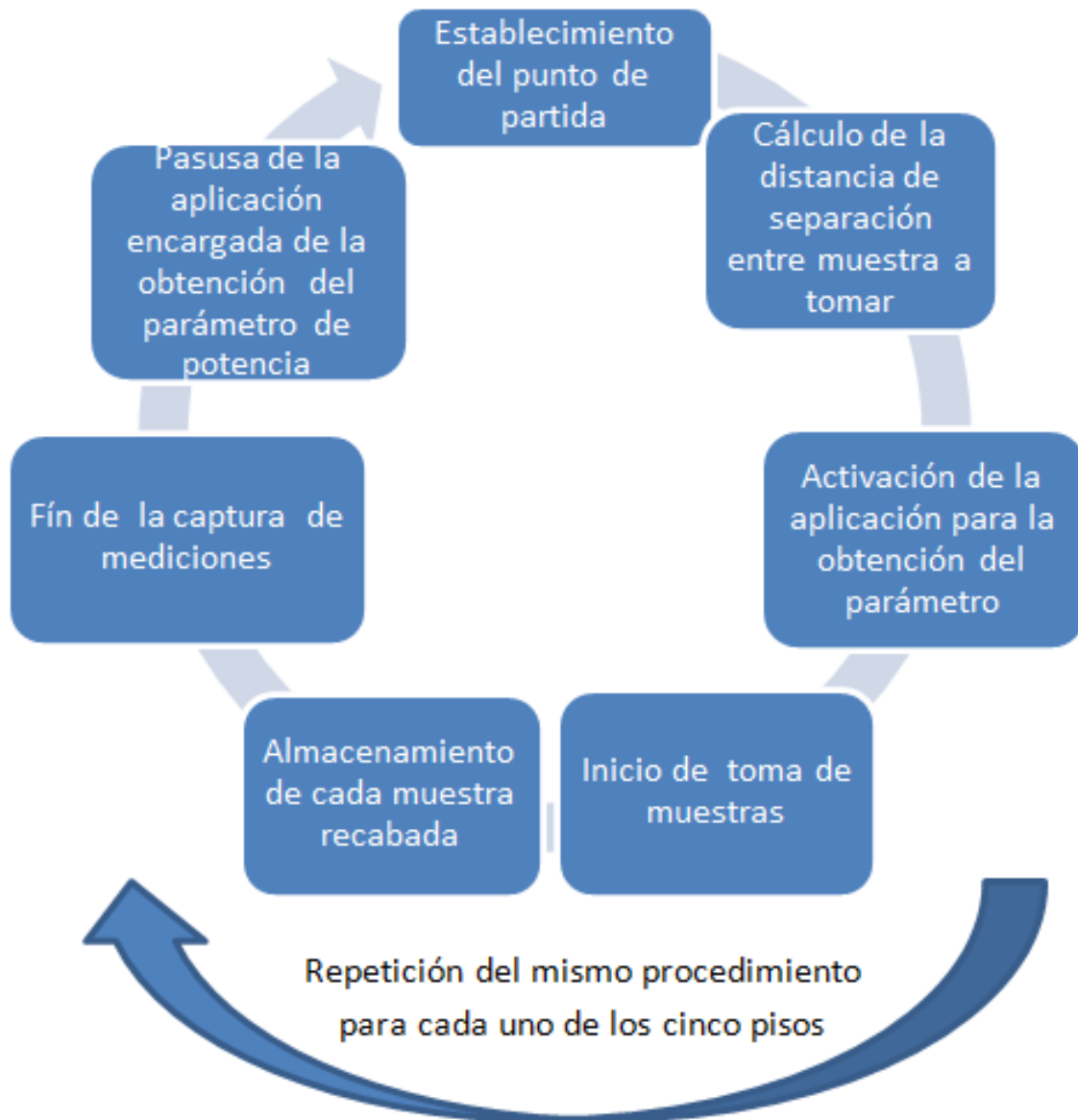


Figura 21. Diagrama de bloques de la metodología de mediciones.

En la Figura 22 se muestra una representación esquemática sobre la aproximación de las alturas para cada uno de los pisos del edificio Rigoberto López Pérez (RLP), obtenidas mediante Google Sketchup Pro, los cuales se tomaron en cuenta para las mediciones realizadas.

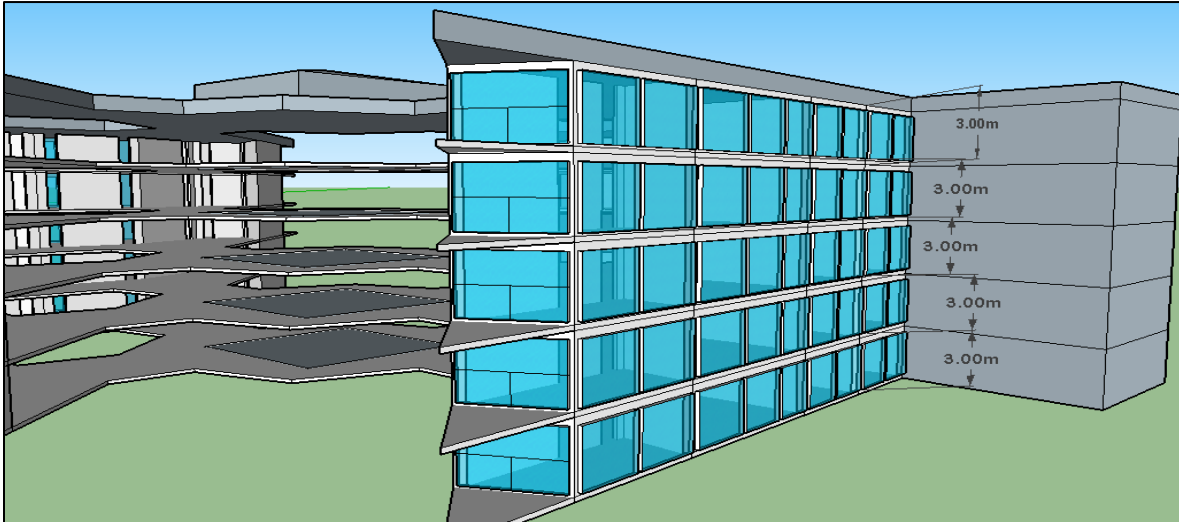


Figura 22. Representación aproximada de la altura de cada piso.

3.5.3 Configuración de la Simulación

En esta fase se realizó el nivel de pruebas mediante simulación, a través de la ubicación de una serie de puntos receptores a lo largo del pasillo de cada uno de los pisos, a los que se le realizó una estimación de potencia tanto para la banda 850 MHz como para la banda de 2100 MHz y seguidamente proceder a la comparación y análisis de los resultados medidos en campo real con los obtenidos en la herramienta de predicción.

Para la simulación se utilizó el software comercial Wireless Insite®, el cual está basado en la técnica de Ray-Tracing expuesta en la sección 2.8.2.2, la que nos permite poder interpretar el canal de ondas de radio para el escenario en estudio. También el software permite fácilmente el análisis de muchos parámetros importantes, como la pérdida por trayectorias, la potencia recibida, las pérdidas de espacio libre, propagación de retraso, el ángulo de llegada, el ángulo de salida, entre otros.

Referente al modelo de simulación, una vez realizado el diseño en 3D mediante Trimble SketchUp, se procedió a impórtalo dentro de la herramienta de predicción Wireless Insite® en formato .dae, a través de capas debido a lo explicado en líneas precedentes. Con el objetivo de lograr una predicción más exacta del comportamiento de la propagación de las ondas en el escenario en estudio y una vez dentro de Wireless Insite, fue obligatorio especificar de manera aproximada los tipos de materiales con los cuales está compuesta la estructura a modelar, tales como: la permitividad, la conductividad y el tipo de material de cada elemento que componen la estructura.

Para el escenario en estudio se logró determinar tres tipos de materiales más sobresalientes dentro del modelo, mostrados en la Tabla 3, con sus respectivas características. Cabe señalar que los valores establecidos para cada una de las propiedades de estos cuatro elementos son los implementados por defecto en la herramienta de predicción Wireless Insite®. A fin de lograr un modelo más cercano a la realidad se añadió follaje para introducir algunas pérdidas adicionales debido a la vegetación y al igual que para los parámetros anteriores, también se fijaron valores por defecto. Por último, pero no menos importante, se estableció un terreno plano porque el escenario real no presenta una desviación de altura superior a 1 metro.

Tabla 3. Propiedad de los Materiales Implementados.

Material	Conductividad (S/m)	Permitividad (pF/m)	Grosor
Layered Drywall	0.001000	2.800	0.0130 m
Concreto	0.01500	7.000	0.300 m
Vidrio	0.000	2.400	0.00300 m

Para la simulación, se distribuyeron 161 puntos receptores en cada uno de los pasillos de cada piso, como se observa en la Figura 23. En estos puntos específicos de recepción se logró visualizar el cálculo de cobertura mediante la implementación de la herramienta software Wireless Insite®, la que hace uso del método de predicción SBR y del modelo de propagación X3D. Los puntos transmisores utilizados dentro del escenario en estudio son propiedad de proveedores de servicio local y se encuentran localizados en siete puntos específicos sobre el techo del edificio, tal como se aprecian en la Figura 24.

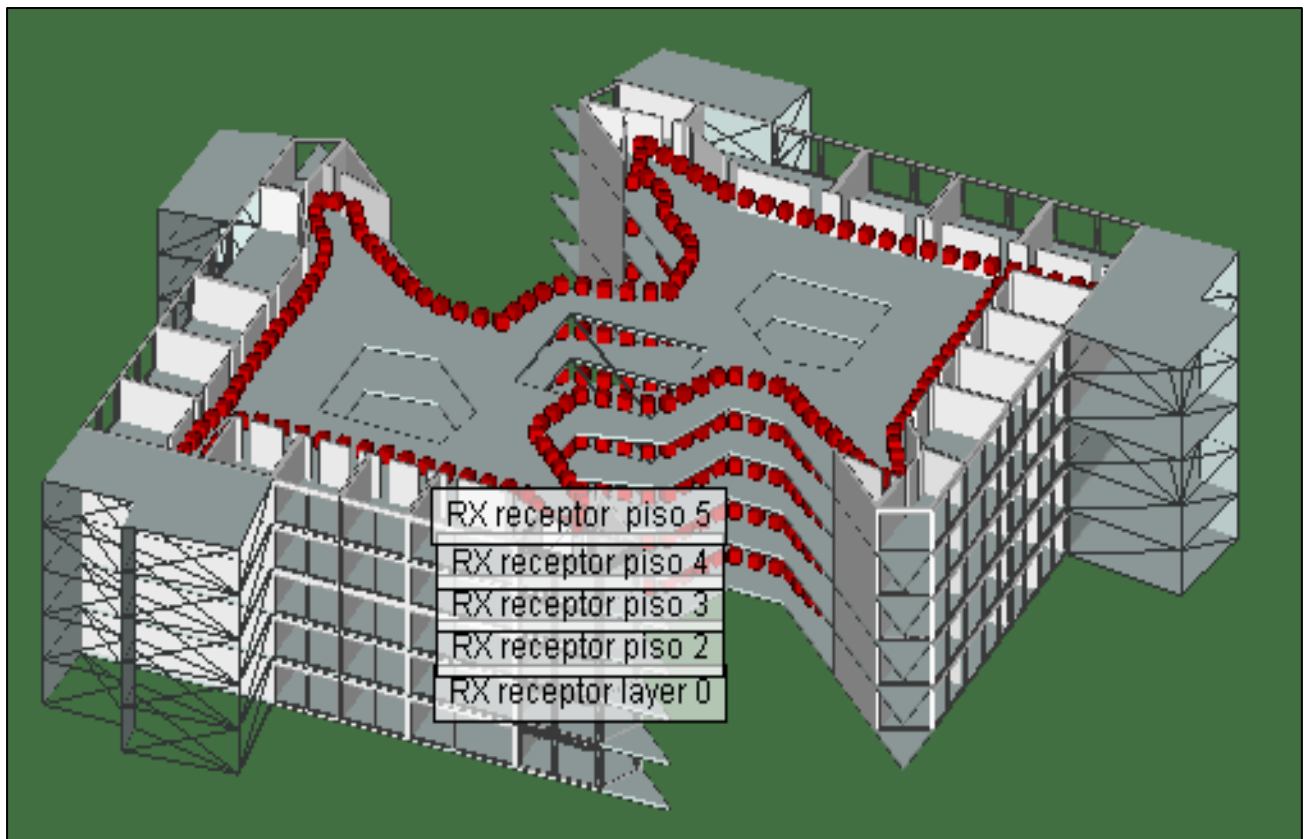


Figura 23. Representación de la ruta de puntos receptores en cada uno de los pisos.

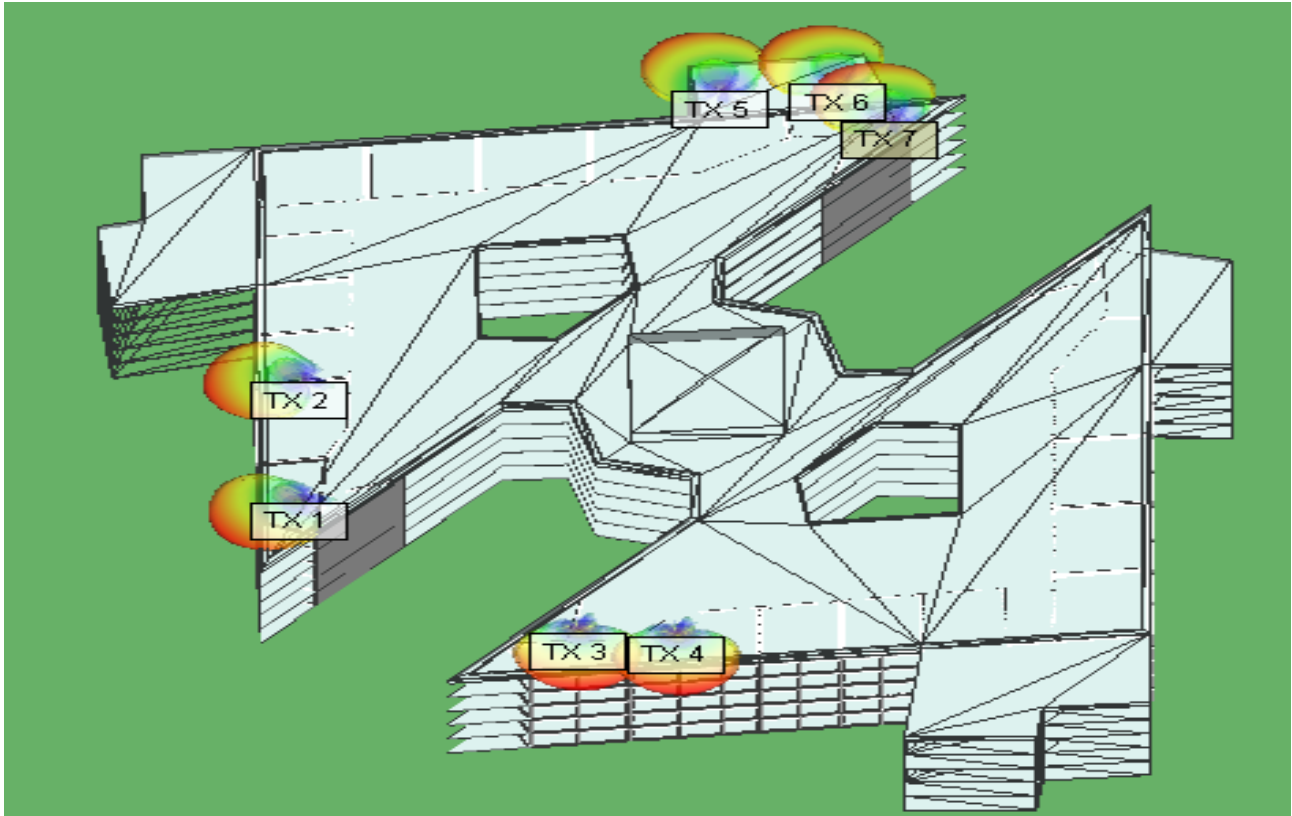


Figura 24. Localización de las BTS sobre el techo del edificio en el campus principal.

La selección del tipo de modelo de propagación dentro de la herramienta de predicción, constituye uno de los puntos más importantes en la simulación y en los resultados finales que la herramienta presente. Para el actual proyecto se optó por el modelo X3D, debido a que se basa en la técnica de tazado de rayos expuesta anteriormente; esta técnica trata con mayor proximidad la cantidad de rayos que llegan al receptor. Se intentaron establecer valores lo más alto posible del número de reflexiones, transmisión y difracción, pero a medida que los valores de estos parámetros crecen, el tiempo computacional incrementa exponencialmente con ellos, especialmente en términos de valores de difracción, por lo tanto, para tratar de mantener el cálculo en medidas de tiempo un poco razonables (no más de 24 horas), finalmente se establecieron valores no muy elevados.

A continuación se muestra el conjunto completo de parámetros configurados para llevar a cabo la simulación tanto en 850 MHz como en 2100 MHz.

Tabla 4. Parámetros de configuración de simulación para las bandas 850 MHz y 2100 MHz.

Parámetro	Valor	Comentario
Forma De Onda	3G-850 MHz 4G-2100 MHz	Ancho de banda=5 MHz Ancho de banda=10 MHz
Antena Transmisora	850 MHz→ 2100 MHz→	Antenas Commscope
Antena Receptora	Half-Wave Dipole	Modelo predefinido
Sensibilidad de la antena receptora	-150 dBm	
Ganancia de las antenas	15.8884 dBi	valor por defecto
Materiales	Concreto Vidrio Layered drywall	Valores por defecto
Follaje	Césped Caducifolio Escaso en hojas	Coeficientes por defecto
Terreno	plano	-----
Potencia Del Transmisor	43 dBm	-----
Sistemas De Coordenas	cartesianas	-----
Tipo De RX	Tipo de ruta	1.5 m de separación
Altura De Receptores	1.5 mtr	A partir de la primer planta
Bandas De Frecuencia	850 MHz 2100 MHz	-----
Modelo De Propagación	Modelo X3D	-----
Espaciamiento De Rayos	0.25 ⁰	-----
Numero De Reflexiones	6	Establecido por el usuario
Numero De Transmisiones	4	Establecido por el usuario
Numero De Difracciones	1	Establecido por el usuario

Una vez que se concretó el escenario de trabajo para las bandas de frecuencias 850 MHz y 2100 MHz, con los puntos de recepción y la localización de cada punto transmisor se llevó a cabo la simulación utilizando el método de predicción SBR y el modelo de propagación X3D y se procedió a ejecutar el trazado de rayos dentro del software, entre los transmisores y cada uno de los puntos receptores distribuidos en cada pasillo de los cinco pisos del modelo del edificio, tal como se muestra en la Figura 25, y posteriormente proceder al análisis y comparación de estos resultados con los obtenidos en las mediciones de campo real.

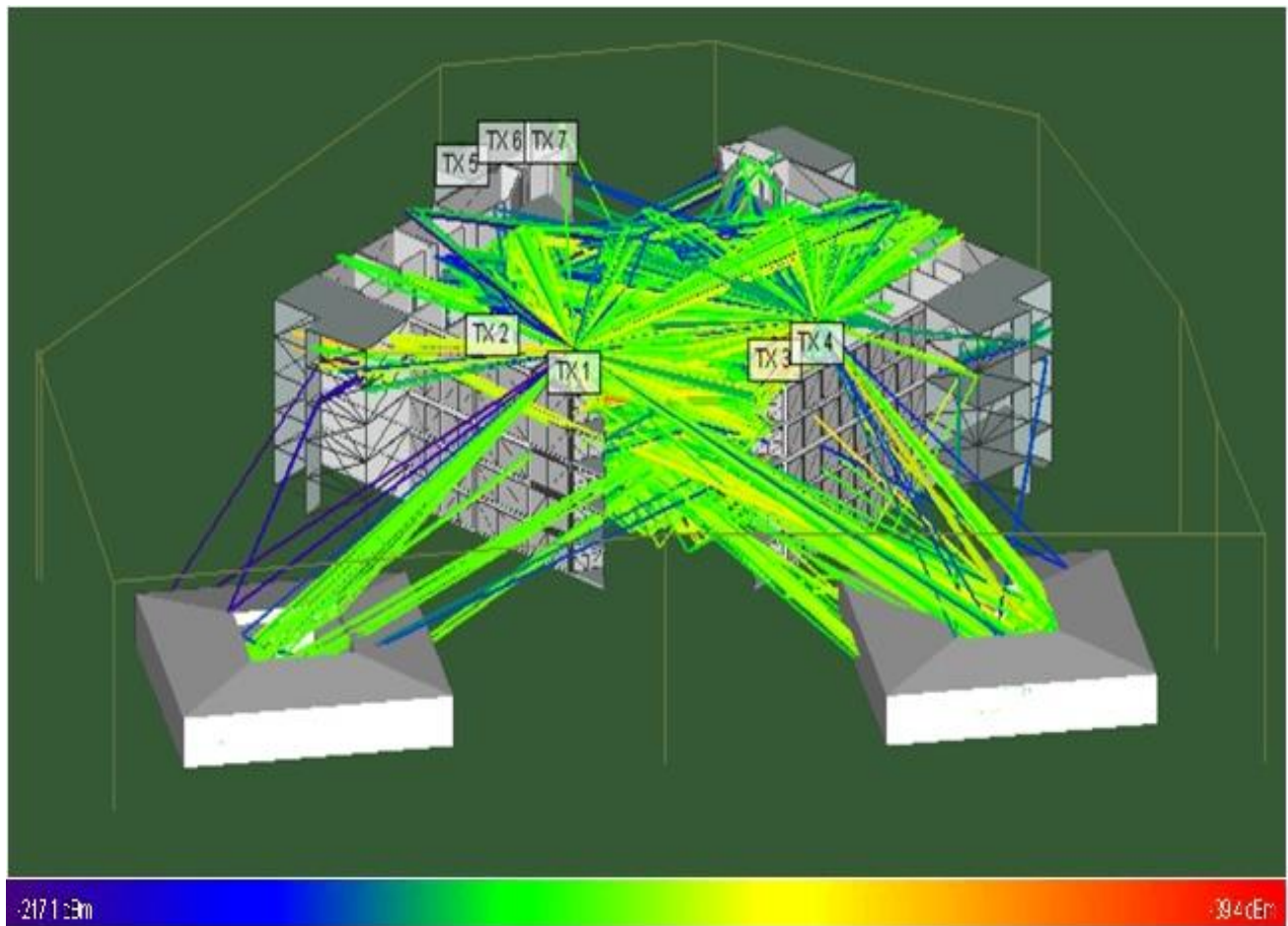


Figura 25. Caminos tomados por la señal de propagación en el escenario simulado.

CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL ESCENARIO OUTDOOR-TO-INDOOR EN BANDAS 850 MHZ Y 2100 MHZ

4.1 Resultados y Análisis para la Banda 850 MHz

4.1.1 Análisis de Resultados de mediciones y simulaciones para la Banda 850 MHz

Antes de iniciar el análisis de los resultados, es importante definir que las contribuciones de potencia de la señal recibidas podrían derivarse de cualquiera de las antenas que se encuentran radiando en la azotea del edificio. Sin embargo, con la herramienta de simulación utilizada calculamos la potencia de la señal recibida por cada uno de los siete arreglos de transmisores configurados y basándose en el hecho de que existe una baja correlación entre los transmisores, se empleó el teorema de superposición para obtener la contribución de potencia de señal recibida de cada elemento radiante en la simulación.

Con el objetivo de observar el nivel de aproximación de los resultados obtenidos en las simulaciones a través de la implementación de la herramienta de predicción de cobertura Wireless Insite®, se llevó a cabo la comparación entre los datos alcanzados en la simulación y los adquiridos en las mediciones en campo real, mediante los programas de aplicación G-NetTrack Lite y Network Cell Info Lite, realizándose el siguiente análisis:

Partiendo del hecho que el único valor definido es la potencia de transmisión y que la potencia de recepción representa una variable aleatoria debido al comportamiento que muestra el canal en la propagación de la onda: En el presente tema de estudio y con el objetivo de contar con valores de referencia para el análisis de la propagación Outdoor-to-Indoor se procedió a la utilización de la herramienta Microsoft Excel para realizar el cálculo de los datos estadísticos que nos permitieran conocer la incertidumbre del canal de propagación y a la vez determinar el grado de aproximación de los resultados medidos con los obtenidos en la simulación.

Cabe mencionar que la Tabla 5 muestra únicamente los resultados de los cálculos estadísticos para cada piso, en la que se incluyen datos importantes para el análisis como son la potencia promedio de recepción simulada, la potencia de recepción medida, la desviación estándar, el rango. El total de resultados obtenidos tanto en las mediciones de campo como en las simulaciones, se encuentran contenidos en las tablas ubicadas en la parte de los anexos del presente trabajo.

Tabla 5. Resultados estadísticos respecto a la simulación y la medición para la banda 850MHz.

PISOS	Potencia de recepción	Potencia promedio Prx (dBm)	Desviación estándar (dBm)	Rango (dBm)
PISO 1	Simulada	-89.39	7.29	38.36
	medida	-71.5605	10.92	46
PISO 2	Simulada	-91.94	5.64	26.62
	medida	- 72.0379	7.96	34
PISO 3	Simulada	-68.87	5.95	30.53
	medida	-65.8421	6.43	28
PISO 4	Simulada	-60.99	4.3	20.43
	medida	-66.3413	9.77	39
PISO 5	Simulada	-59.12	4.21	21.74
	medida	-59.2422	7.37	40
Promedios finales	Promedio final Simulado		5.478	27.54
	Promedio final medido		8.49142	37.4
Margen de Error delta	Rango		9.864	
	Desviación Estándar		3.9468	

Desde un punto de vista comparativo en las mediciones y las simulaciones, en la Tabla 5 y correspondiente a la potencia recibida en los diferentes pisos del edificio, se puede observar que los niveles de potencia de -71.5605 dBm, -89.39 dBm, - 72.0379 dBm, - 91.94 dBm, recibidos en el piso 1 y piso 2, respectivamente, son menores a los recibidos en los pisos más altos, lo que es un resultado esperado, puesto que la cantidad de obstáculos que la señal debe atravesar para poder llegar a su destino es mucho mayor que la atravesada por la señales de los piso 3, piso 4 y piso 5, produciéndose de este modo una mayor atenuación en ella, también se puede apreciar como los niveles de potencia van disminuyendo por cada piso a medida que se va descendiendo por la edificación, lo que es equivalente a decir que a mayor altura existe menor atenuación.

Siguiendo con un poco del análisis estadístico se puede observar en la misma tabla 5, el nivel de aproximación existente entre las mediciones reales y las simuladas, lográndose apreciar a través de la comparación de los valores de 38.36 dB, 46 dB, 26.62 dB y 34 dB correspondiente al rango obtenido en los pisos 2 y 3, respectivamente, comparados con los del resto de pisos son los que presentan niveles de dispersión más próximos entre sus datos medidos versus sus datos simulados, lo que se puede ver en el valor de rango señalado para cada conjunto de resultados obtenidos en estos dos pisos para ambos escenarios (medidos y simulados).

En la Tabla 5 si se comparan los niveles de variación representados por los valores de las desviaciones estándar, tanto de las mediciones como los resultados de las simulaciones, se aprecia como 5.64 dBm, 7.96 dBm, 5.95 dBm, 6.43 dBm, correspondiente a los pisos 2 y 3 respectivamente, representan los menores niveles de variabilidad entre los conjuntos de resultados medidos y simulados comparados con el resto de pisos. Por lo que se puede decir que los valores de potencia promedio obtenidos en estos dos pisos presentan un número menor de fluctuaciones en comparación con los valores de los pisos 1,4 y 5, a su vez las desviaciones de los pisos 2 y 3 nos ofrecen mejor confiabilidad en las potencias promedio conseguidas puesto que sus datos se encuentran menos dispersos que la del resto de pisos.

Al estudiar el caso del piso 3 se puede observar como la comparación de las desviaciones estándar entre los datos medidos y los simulados resultan ser menor a 1dB (de apenas 0.48 dB), obteniéndose aún una menor variación en la potencia promedio que la obtenida en la comparación con el piso 2 , pero a pesar de ser un valor muy pequeño podría ocasionar errores en los resultados obtenidos en cuanto al comportamiento de la señal y al igual que en las atenuaciones que la señal pueda experimentar al atravesar los diferentes obstáculos.

Tal como era lógico de esperar, el piso 5 es el que presenta los mejores niveles de potencia de recepción tanto medidos como estimados, existiendo una mínima diferencia entre estos dos valores de apenas de 0.12 dB. Esta buena recepción en parte es debido a la menor cantidad de obstáculos que la señal debe atravesar antes de llegar a los puntos receptores, pero a pesar de eso la comparación entre los valores de las mediciones y las simulaciones correspondiente a la desviaciones estándar, resultaron ser mayores que los contenidos en los pisos 2 y piso 3, por lo que las potencias promedios del piso 5 resultan menos confiables que el piso 2 y piso 3.

Comparando el promedio obtenido de la desviación estándar de 5.48 dB y 8.49 dB, de los datos simulados con los datos medidos para todos los pisos, se puede observar como en el segundo grupo existe un mayor nivel de variación en el conjuntos de datos alcanzados, por lo que el promedio obtenido de estos resultados se vuelve menos confiable que los promedios de potencia obtenidos de las simulaciones, pero a pesar de esto también es notable la poca diferencia existente entre los datos de ambos grupos, por lo que se podría decir que ambos conjuntos presentan bastante aproximación, a pesar de las limitaciones en cuanto a la implementación del uso de herramientas más precisas para la obtención de datos y del uso de parámetros más exactos para la simulación.

En la Figura 26 se puede ver de forma gráfica la representación de los resultados de potencia de recepción medidas y las potencias de recepción simuladas, obtenidas a partir de los puntos receptores establecidos en la ruta correspondiente para cada piso, en ellas se pueden apreciar que en los resultados de la simulación están presente en mayor grado las rápidas variaciones de desvanecimiento en las señales y como se comprueba en la Tabla 5 (valores estadísticos) el piso 1 y piso 2 tanto para los valores medidos como para los simulados, son los que presentan los niveles de potencia más bajos, tomando en consideración el hecho que la simulación se estableció con un número limitado de reflexiones y difracciones.

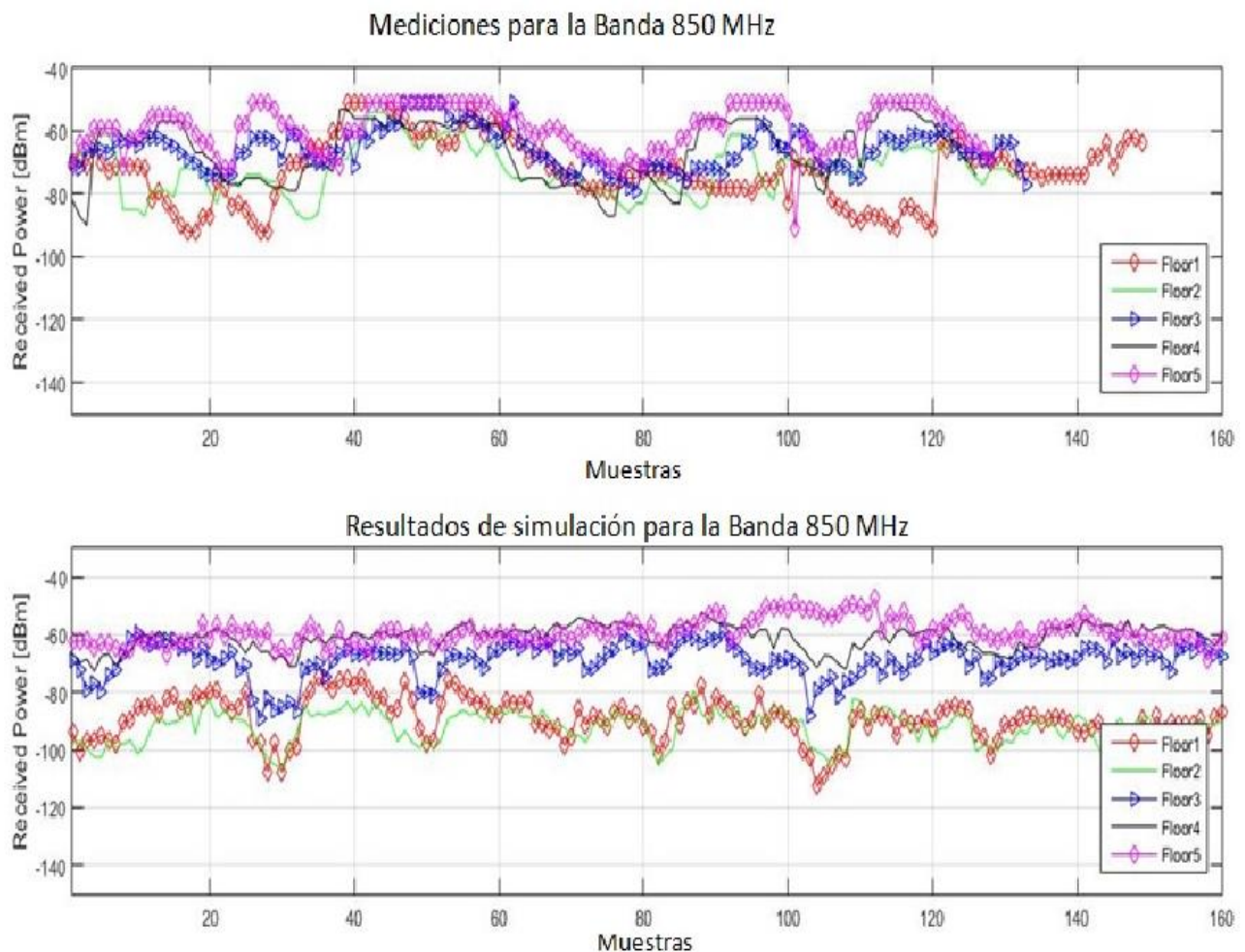


Figura 26. Potencia de recepción medida y simulada para la frecuencia 850 MHz.

4.1.2 Análisis del Comportamiento de la Señal del Escenario Outdoor-to-Indoor en Banda de 850 MHz

Una vez que se ha obtenido el análisis del grado de aproximación existente entre los resultados de las mediciones y los datos reales, se procedió a graficar los niveles de potencia medidos en cada una de las rutas de recepción de cada piso del edificio, para analizar la naturaleza del comportamiento que experimenta la señal en su trayecto hacia los puntos receptores y de esta manera poder determinar cuáles son los factores que causan esta conducta dentro del escenario Outdoor-to-Indoor en estudio.

En las Figuras 27, 28, 29, 30 y 31 respectivamente, se pueden observar las gráficas de la potencia de recepción para cada una de las rutas en cada piso, obtenidas a partir de las mediciones reales y del número de muestras tomadas en cada pasillo. Se puede observar de forma general que lo que prevalece en estas gráficas es el desvanecimiento rápido o Short term fading provocado por el fenómeno de la multi-trayectoria en cada uno de los pasillos del escenario, originado por las múltiples contribuciones de las señales que llegan a alcanzar al terminal receptor en diferentes intervalos de tiempos, diferentes ángulos de llegada y diferentes niveles de amplitud, que presenta cada contribución en su llegada al receptor.

Se logra observar como el comportamiento de la señal en el piso 1, piso 2 y piso 3 es el esperado, debido a que la señal propagada se encuentra con una mayor cantidad de obstáculos en su camino hacia el receptor provocando una gran cantidad de reflexiones y difracciones y por consiguiente altos niveles de variación en la señal recibida, esta cantidad de obstáculos es mucho mayor que los recorridos por las señales de los pisos 4 y 5.

En los tres primeros pisos se puede apreciar el rápido nivel de variación de la señal, pero resulta más notoria la variabilidad de la señal en el piso 1, en el que la potencia promedio recibida es de -71 dBm, la que se ve atenuada debido a las diferencias de fases, tiempo de arribo y la amplitud con la que cada una de las contribuciones llegan al punto receptor. Cabe mencionar que la variación que experimenta la señal en este

primer piso no solamente es originada por el multi-camino, sino que también se le suman los Fast fading provocados por las personas en el pasillo, las cuales obstaculizan de forma intermitente los posibles caminos de propagación causando rápidas variaciones en la señal, pues recordemos que la toma de mediciones se llevó a cabo cuando había una concurrencia muy significativa de personas en los piso 1 y piso 2 del edificio.

En las Figuras 30 y 31, correspondiente a las gráficas de los pisos 4 y piso 5, cuyos promedios de señal recibida son de aproximadamente -66 dBm y -59 dBm, respectivamente, se puede notar un comportamiento de la señal un poco diferente a la de los tres primeros pisos, con una menor influencia de la propagación multi-camino dado que la cantidad de obstáculos atravesados en estos pisos resulta ser menor que la de los pisos más abajo y por consiguiente la señal recibida presenta una menor variabilidad, así en la gráfica del piso 4 podemos observar un pequeño sector que va de la muestra 39 a la muestra 61, que además de presentar una rápida variación, también presenta un pequeño margen de desvanecimiento lento, que podría ser causado por algún objeto de gran tamaño que se encuentra ubicado en el camino de la señal.

En la gráfica correspondiente al piso 5 se puede observar que la potencia recibida experimenta en algunos pequeños tramos, un Long term fading o desvanecimiento lento, pero observándose en mayor proporción a partir de la muestra 39 a la muestra 61, en el que el comportamiento de la señal experimenta una baja variación temporal, causado por algún objeto de gran tamaño al paso de la señal, pero que a diferencia de lo que sucede en la gráfica 4 a partir de la muestra 39 a la muestra 61, en el piso 5 para ese mismo intervalo de muestras, la señal no experimenta variación, por lo que se ve afectada únicamente por el Long term fading.

Continuando con el análisis del comportamiento de la señal en los pisos 4 y 5; con el propósito de representar el segmento de ruta donde se tomaron las muestras de los valores medidos y simulados en el que está presente el efecto del Long Term Fading para estos dos pisos, en la Figura 20 se ha indicado y se ha trazado con flechas de color azul el recorrido de ese trayecto, iniciando a partir de la muestra 39 a la muestra 61. A continuación en la Tabla 6 se presentan los niveles de potencia de recepción tomados para cada una de estas muestras, tanto para las mediciones reales como para los valores simulados con el objetivo de indicar el comportamiento existente de los niveles de potencia en estos dos segmentos de ruta.

Tabla 6. Muestras tomadas respecto a la simulación y la medición para la banda 850MHz, en los pisos 4 y 5.

No. de Muestras	PISO 4		PISO 5		Distancia
	Potencia de Recepción	Potencia de Recepción	Potencia de Recepción	Potencia de Recepción	
	Media (dBm)	Simulada (dBm)	Media (dBm)	Simulada (dBm)	
39	-53	-61	-60	-64	1.5
40	-56	-59	-60	-62	1.5
41	-56	-60	-60	-63	1.5
42	-56	-61	-51	-67	1.5
43	-56	-59	-51	-61	1.5
44	-59	-58	-51	-58	1.5
45	-57	-60	-51	-58	1.5
46	-57	-60	-51	-58	1.5
47	-59	-59	-51	-61	1.5
48	-60	-58	-51	-59	1.5
49	-57	-66	-51	-60	1.5
50	-57	-65	-51	-58	1.5
51	-57	-67	-51	-63	1.5
52	-58	-62	-51	-62	1.5
53	-59	-59	-51	-62	1.5
54	-57	-57	-51	-60	1.5
55	-57	-56	-51	-58	1.5
56	-59	-55	-51	-57	1.5
57	-59	-60	-51	-62	1.5
58	-58	-58	-51	-59	1.5
59	-58	-61	-52	-60	1.5
60	-58	-58	-55	-59	1.5
61	-65	-59	-57	-60	1.5
Promedio	-57.73913043	-59.91304348	-52.65217391	-60.47826087	

El efecto del Long Term Fading en los pisos 4 y 5 podría estarse manifestando no solamente por la presencia de algún objeto de gran tamaño que se encuentre interpuesto entre el transmisor y los puntos receptores, si no que como se logró observar en el terreno, sobre las muestras tomadas en este segmento de ruta se encuentran localizadas dos antenas, lo que nos permite suponer que en esa región la recepción de potencia también podría estar siendo afectada por el efecto del Near Field y que una parte de la señal que se está recibiendo podría estar llegando de la contribución de los lóbulos traseros de ambas antenas.

Finalmente, el párrafo anterior comprueba que cuando se trata de propagación en ambientes de interiores, el entorno de este presenta una mayor influencia en la propagación de la señal, que la influencia que podría tener la distancia entre el transmisor y el receptor, y esto se termina de comprobar al ver la ausencia de desvanecimientos lentos en los pisos más abajo. Otro aspecto a resaltar en la gráfica correspondiente a la potencia promedio del piso 5, es que a partir de la muestra 96 a la muestra 98 se ve como la contribución de las diferentes ondas de llegada resultaron ser constructivas, pues se observa un ligero incremento en la potencia recibida en ese sector.

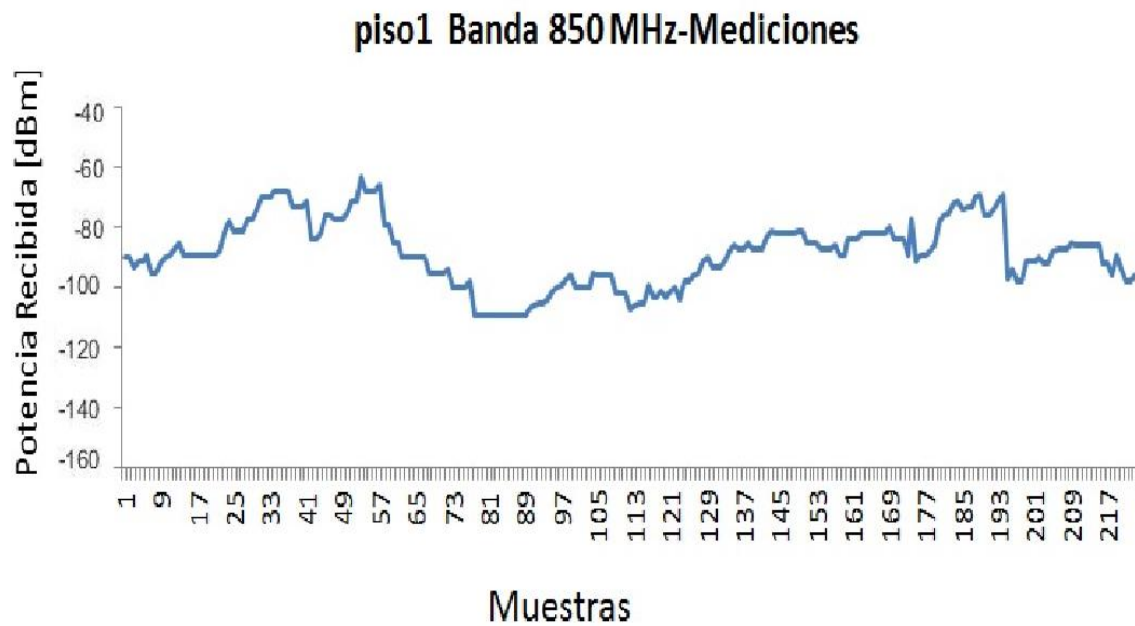


Figura 27. Potencia de recepción vs contra muestras sobre la ruta de puntos de recepción del piso 1.

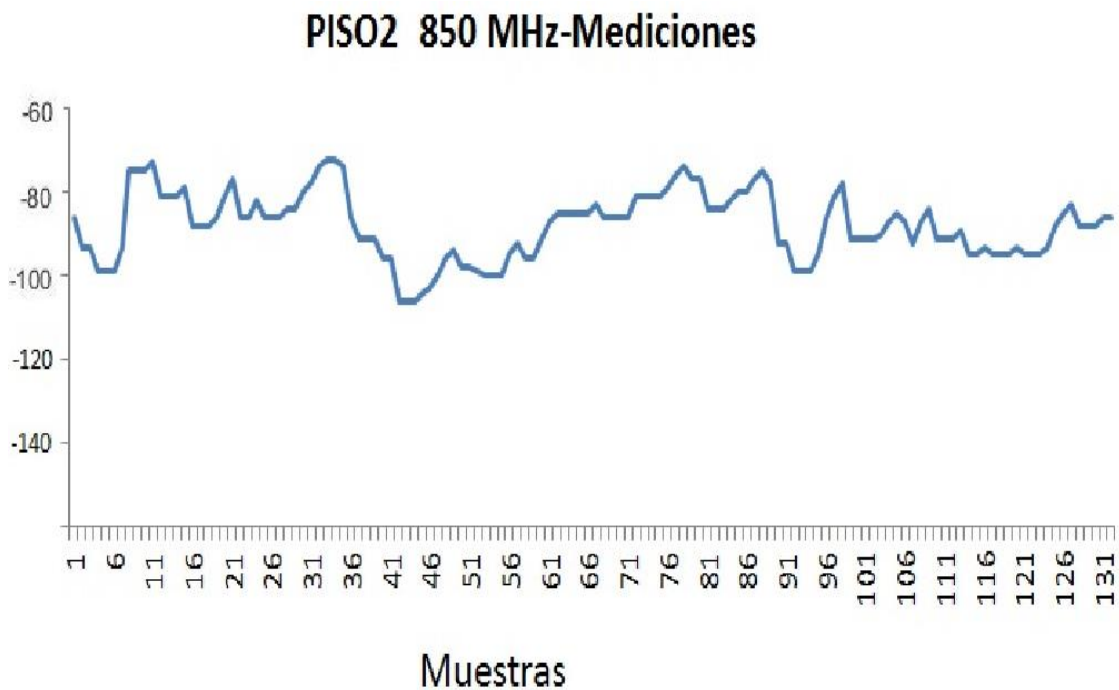


Figura 28. Potencia de recepción vs muestra sobre la ruta de puntos de recepción del piso 2.

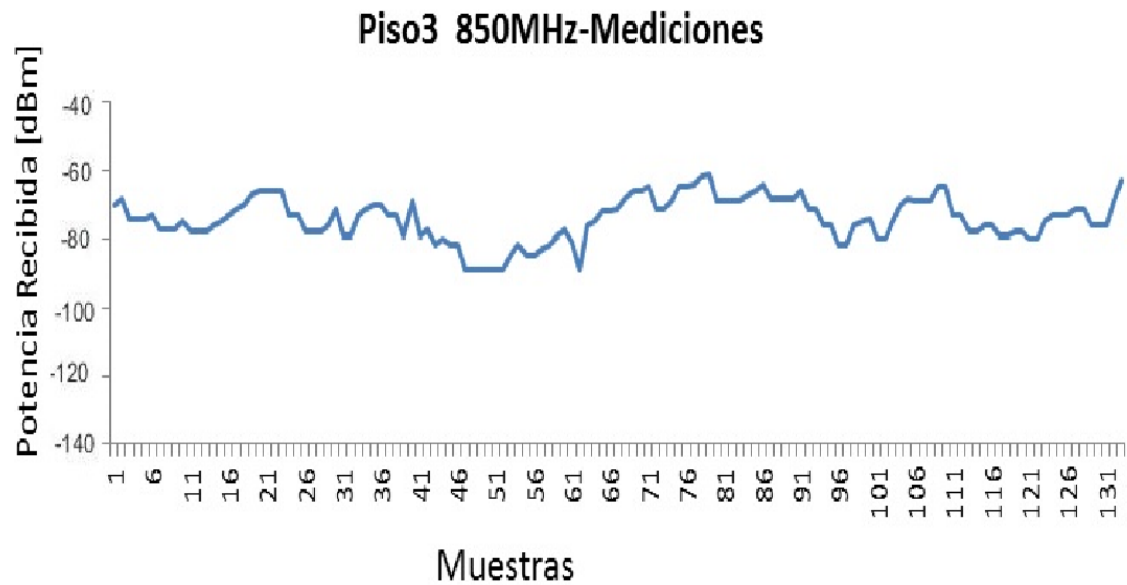


Figura 29. Potencia de recepción vs muestras sobre la ruta de puntos de recepción del piso 3.

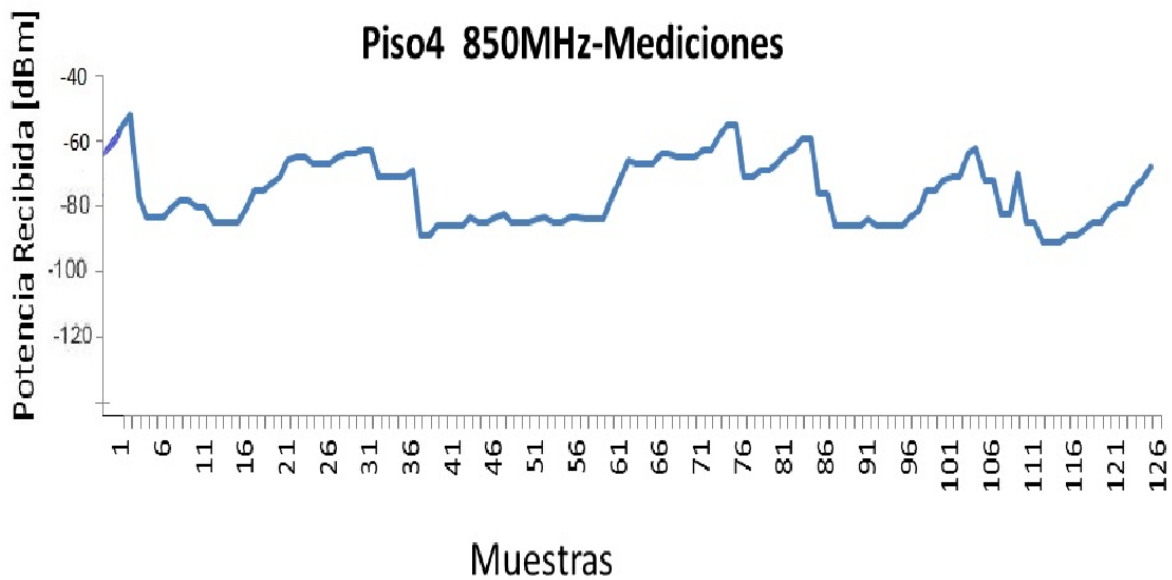


Figura 30. Potencia de recepción vs muestras sobre la ruta de puntos de recepción del piso 4.

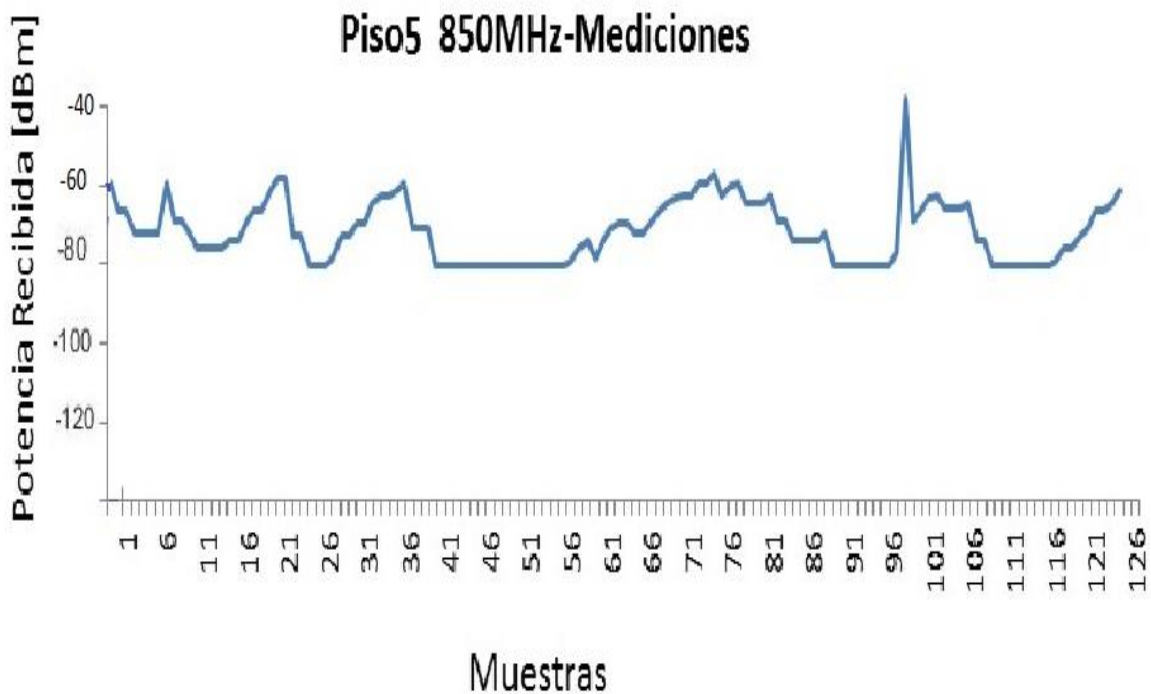


Figura 31. Potencia de recepción vs muestras sobre la ruta de puntos de recepción del piso 5.

4.2 Análisis de Resultados para la banda de 2100 MHz

4.2.1 Análisis Comparativo de las mediciones y simulaciones para la Banda 2100 MHz

Siguiendo una analogía del análisis realizado en la banda de 850 MHz, para la comparación de los resultados simulados y los resultados medidos en la banda de 2100 MHz, se procedió primeramente a realizar el estudio con ayuda de ciertos parámetros estadísticos, entre los datos simulados y los datos medidos con el objetivo de poder conocer el grado de aproximación entre estos dos grupos de valores, como se muestra a continuación en la Tabla 7.

Tabla 7. Resultados estadísticos de mediciones simuladas y reales para la banda 2100MHz.

PISOS	Potencia de recepción	Potencia promedio Prx (dBm)	Desviación estándar (dBm)	Rango (dBm)
PISO 1	simulada	-92.9906	7.0596	39.1587
	medida	-84.6532	8.3296	37
PISO 2	simulada	-81.3878	5.896	29.3939
	medida	-85.1504	7.6452	36
PISO 3	simulada	-70.271	5.0438	25.3366
	medida	-83.3853	7.5974	36
PISO 4	simulada	-59.2257	4.5002	27.1403
	medida	-83.0495	9.5231	31
PISO 5	simulada	-48.5111	4.3465	21.1922
	medida	-78.488	10.7242	26
Promedios finales	Promedio final Simulado		5.3692	28.4443
	Promedio final Medido		8.7639	33.2
Margen de Error delta	Rango		4.7557	
	Desviación Estándar		3.39468	

Analizando los valores estadístico de la Tabla 7 podemos observar el grado de aproximación que está presente entre los resultados de las mediciones reales y los simulados, lográndose apreciar mediante la comparación, que los valores existente entre las mediciones y las simulaciones de la potencia promedio correspondientes al piso 1 y piso 2, son los que presentan los menores niveles de recepción entre el total de plantas del edificio, pero a la vez los pisos 1 y 2 son los que guardan una mayor relación entre los valores medidos y simulados.

A pesar que la diferencia entre los valores de rango de 39 dB, 37 dB, 29 dB y 36 dB, correspondiente a los piso 1 y piso 2 respectivamente, no presentan los niveles de dispersión más bajos entre sus datos, respecto a sus valores promedios, los resultados de comparación entre los valores de desviación estándar resultan ser menor que 2 dB, mientras que la del resto de pisos está por encima de este mismo valor (2 dB) , por lo que podemos suponer que los piso 1 y piso 2 presentan menores niveles de variación entre los datos de sus conjuntos y por consiguiente una mayor confiabilidad en los promedios de potencias obtenidos en estos dos pisos.

Continuando con el análisis de la comparación entre las mediciones y los resultados de las simulaciones para el piso 1 y el piso 2, podemos apreciar como la diferencia entre sus valores de potencia promedio medida y los valores de potencia simuladas, son menores que el resultado de la comparación del resto de pisos, siendo aproximadamente de 8 dB para el caso del piso 1 y de 4 dB para el piso 2, a pesar de ser los pisos más bajos y de encontrarse entre los niveles de potencia más reducidos.

Por otro lado se aprecia que el grado de diferencia existente entre el valor de la potencia promedio medida y el valor de potencia promedio simulada para el piso 5 es la mayor entre todos los pisos con una diferencia aproximada de -29 dB. El piso 5 es el que presenta los mejores niveles de potencia de recepción, en cierto modo gracias a la distancia de separación que presenta con respecto a los puntos transmisores, pero en un mayor grado es debido a la poca cantidad de obstáculos que la señal propagada debe atravesar.

A continuación en la Figura 32 se muestra la comparación de los resultados de forma gráfica, de los valores de potencia de recepción medidas y las potencias de recepción simuladas para la banda 2100 MHz, en ella se logra apreciar que en los resultados de la simulación están presentes en mayor proporción las rápidas variaciones de desvanecimiento y que el comportamiento de la señal presenta un cierto grado de variabilidad conforme la señal atraviesa cada uno de los pisos y como se comprueba en la Tabla 7 y se muestra en la Figura 32, los pisos 1 y 2 continúan siendo los que

presentan los niveles de potencia más bajos, pero también un comportamiento bastante parecido.

También se logra apreciar en la Figura 32, como los valores de potencia medida, mantienen un comportamiento de la señal casi invariable, tal como se logró apreciar en los valores obtenido en las mediciones.

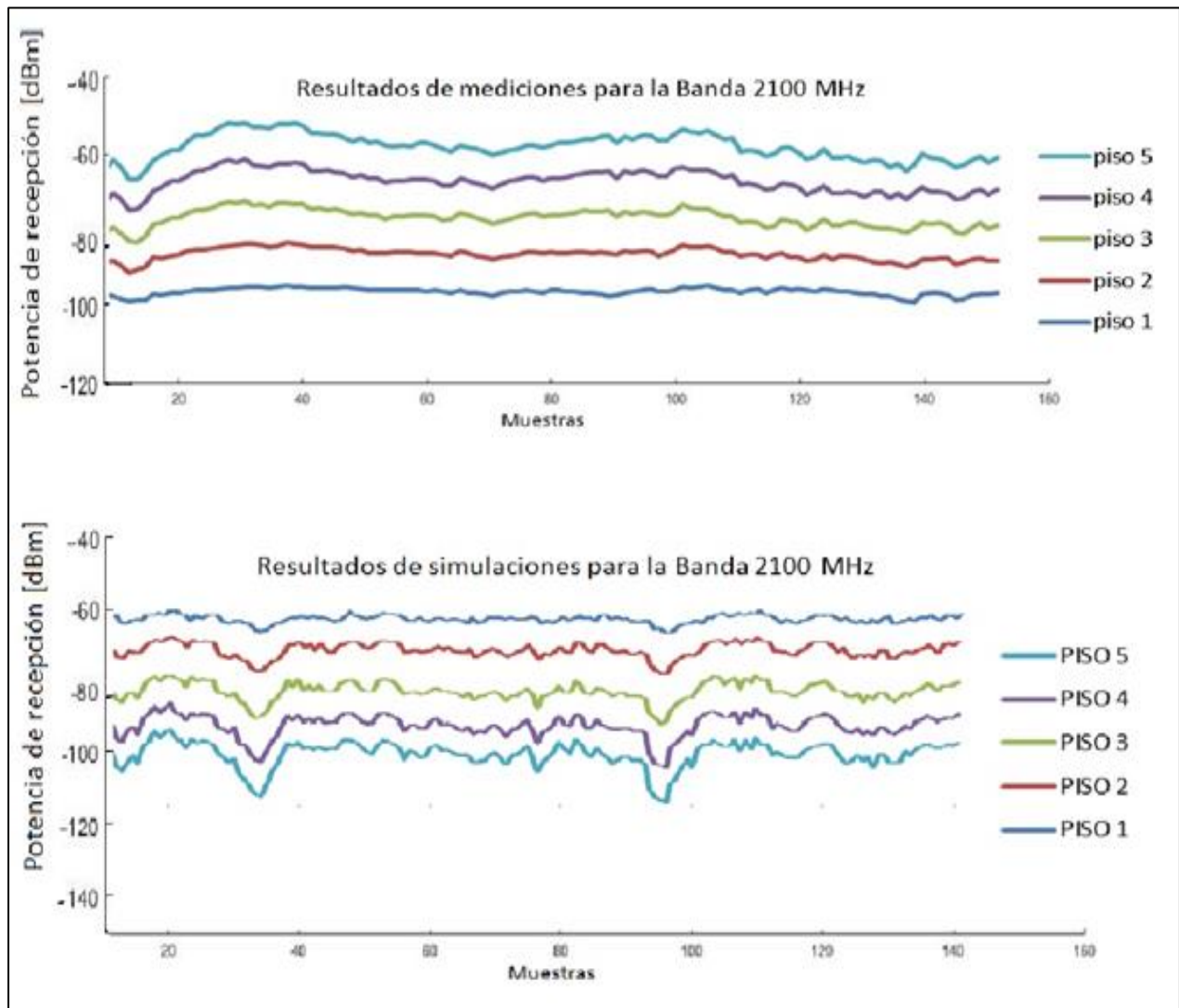


Figura 32. Potencia de Recepción Estimadas y Simulada para la Banda de Frecuencia 2100 MHz.

4.2.2 Análisis del Comportamiento de la Señal del Escenario Outdoor-to-Indoor Banda de 2100 MHz

Para el estudio de la naturaleza del comportamiento de la señal de propagación, se realizó el mismo procedimiento efectuado en el estudio de la banda de 850 MHz. A continuación se presenta mediante las Figuras 33, 34, 35, 36 y 37, correspondientes a las gráficas de los valores de la potencia de recepción tomada para cada uno de los cinco pisos, se expone el análisis del comportamiento de la señal dentro del canal de propagación Outdoor-to-Indoor para las mediciones realizadas en la banda de 2100 MHz.

En estas gráficas continúan prevaleciendo los desvanecimientos rápidos provocados por el multi-camino, el cual a su vez es ocasionado por la falta de línea de vista y el número de elementos presentes en el canal de propagación.

En dichas gráficas se pueden observar los bajos niveles de amplitud y un comportamiento bastante similar para el caso de las mediciones, por lo que se podría suponer que la señal aparte de estar sufriendo los efectos del multi-trayecto, también está siendo perjudicada por algún tipo de interferencia que está contribuyendo a la degradación en los diferentes niveles de potencia recibidos.

Pero pese a lo expuesto en el párrafo anterior, la potencia recibida en los piso 1, piso 2, piso 3 continúan presentando un nivel descendente en la potencia de recepción con valores recibidos de -84.6532 dBm, -85.1504 dBm y -83.3853 dBm, respectivamente y con una diferencia en sus niveles de potencias medidas menor a -1dB, estas diferencias son producidas por la atenuación de la señal ocasionada por la influencia de cada uno de los elementos que interfieren en el trayecto de la señal.

Resulta de gran interés observar en las siguientes gráficas, la similitud de las señales en los piso 1, piso 2, piso 3, en las que se observa un comportamiento del canal cuasi idéntico para las señales en estos tres pisos, lo que no sucede para el caso de la señal del piso 5, pero que a pesar de contar con un mejor valor de potencia de -78.488 dBm entre todos los pisos, el comportamiento de su señal es muy semejante a la señal del

piso 4 , que cuenta con un valor de potencia media de -83.0495 dBm y que a su vez es muy próximo a los valores correspondiente a los pisos más bajos.

En las Figuras 36 y la Figura 37, correspondiente a las señales del piso 4 y piso 5, se puede notar un comportamiento de la señal bastante diferente a la conducta del resto de gráficas. En estas gráficas se puede apreciar de una forma más clara la cantidad de fluctuaciones originadas por el efecto de la multi-trayectoria, sumándosele a esta última el hecho de que las mediciones para 2100 MHz en su totalidad se efectuaron en un periodo de tiempo en el que la concurrencia de las personas en el edificio era muy notoria en todos los pisos, este conglomerado de personas caminando por los pasillos obstaculizaba de forma muy intermitente las posibles trayectorias de propagación de la señal, provocando un fasta fading en la señal recibida, lo cual toma una mayor relevancia considerando el tamaño de la longitud de onda para la banda de 2100 MHz.

El supuesto que podemos plasmar en cuanto al comportamiento de las señales en el piso 1, 2 y 3, es que sus niveles de fluctuación son poco notorias o no pueden observarse de forma clara puesto que la distancia de separación utilizada para la toma de cada muestra fue considerablemente grande, partiendo de la consideración que el nivel de afectación existente para la señal de 2100 MHz en el entorno de estudio es bastante considerable, por lo que podríamos decir que para poder visualizar un nivel de variación más claro en esta frecuencia, tendríamos que realizar las toma de muestra a distancias más reducidas y poder así observar con una mayor claridad la influencia del canal en el comportamiento de la señal, puesto que en este caso la diferencia en los desvanecimientos observados en las mediciones de la mayoría de los pisos está por debajo de los -1 dB, a excepción del piso 5.

A modo de conclusión podemos decir que en el interior de edificios, el tamaño de los elementos difusores y la distancia de separación que hay entre ellos y la antena, en muchos casos son muy próximos en dimensiones a la longitud de onda con la que se está operando, por lo que un pequeño desplazamiento del terminal móvil podría provocar cambios muy marcados en el comportamiento del canal que

consecuentemente serán reflejados en la señal transmitida, esta variación está más acentuada para los casos en los que no se tiene línea de vista entre las antenas, puesto que el número de componentes que llegan al receptor es mucho mayor.

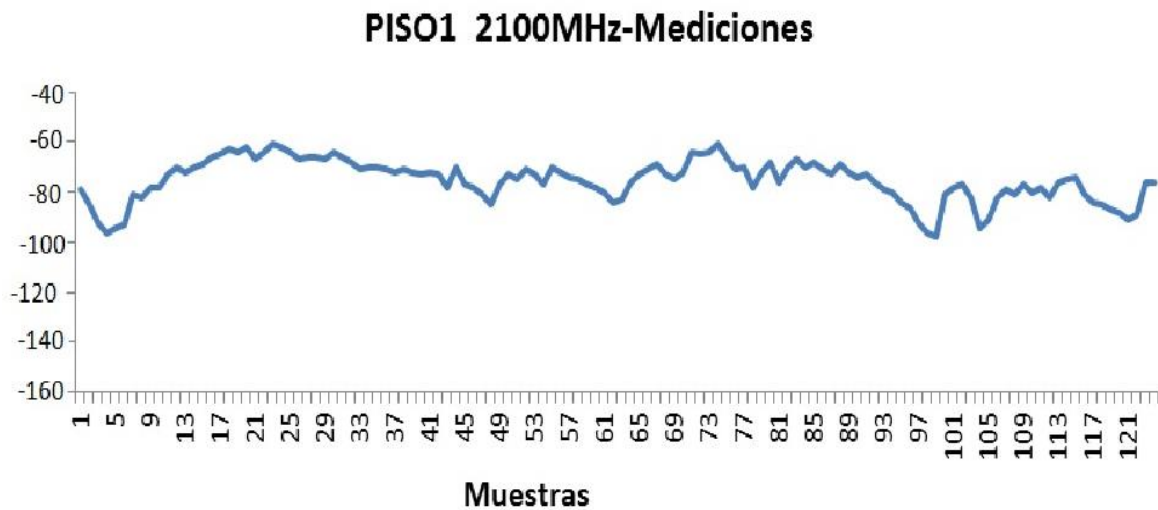


Figura 33. Potencia de recepción contra muestras sobre la ruta de puntos de recepción del piso 1.

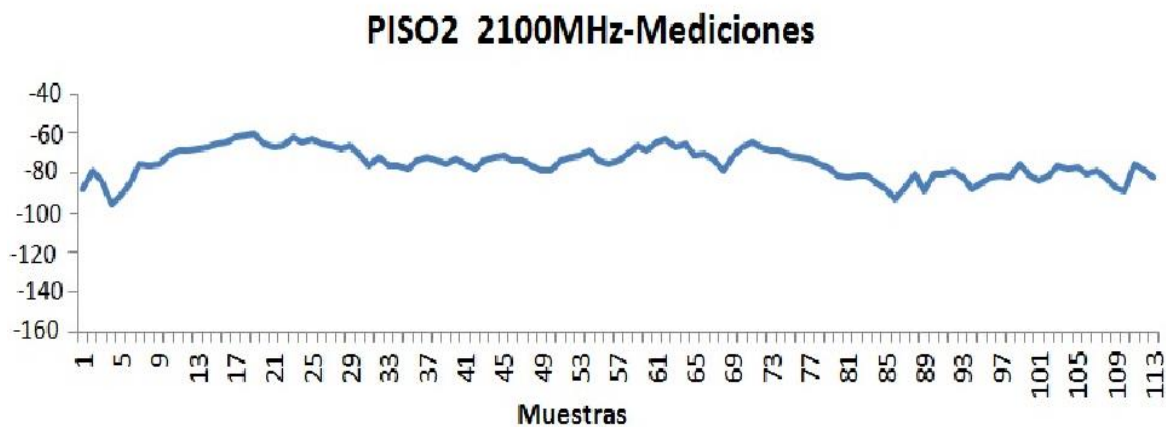


Figura 34. Potencia de recepción contra muestras sobre la ruta de puntos de recepción del piso 2.

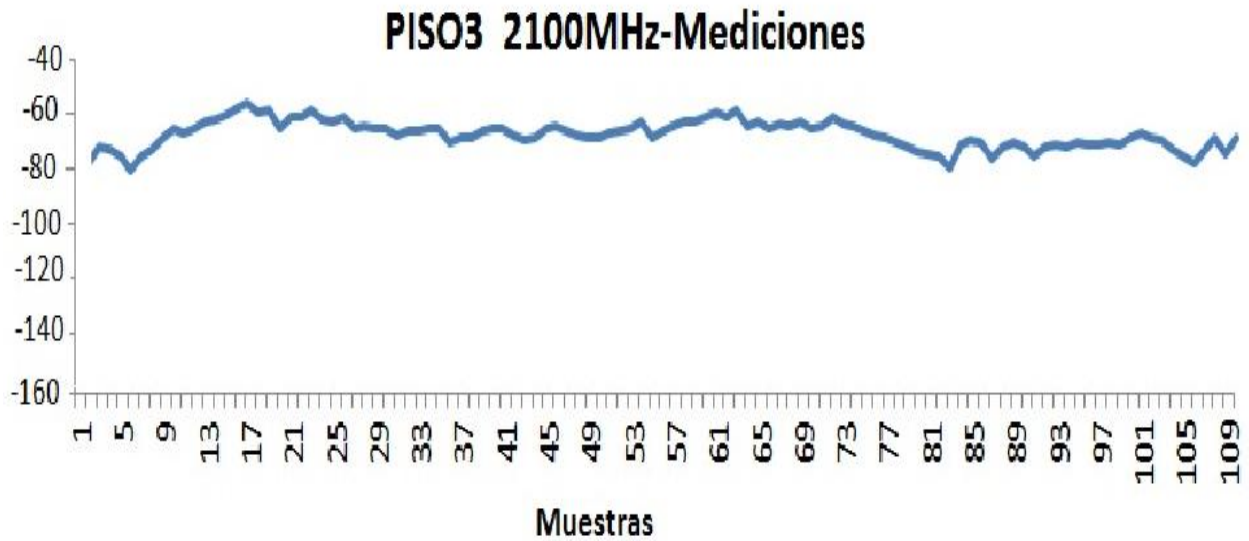


Figura 35. Potencia de recepción contra muestras sobre la ruta de puntos de recepción del piso 3.

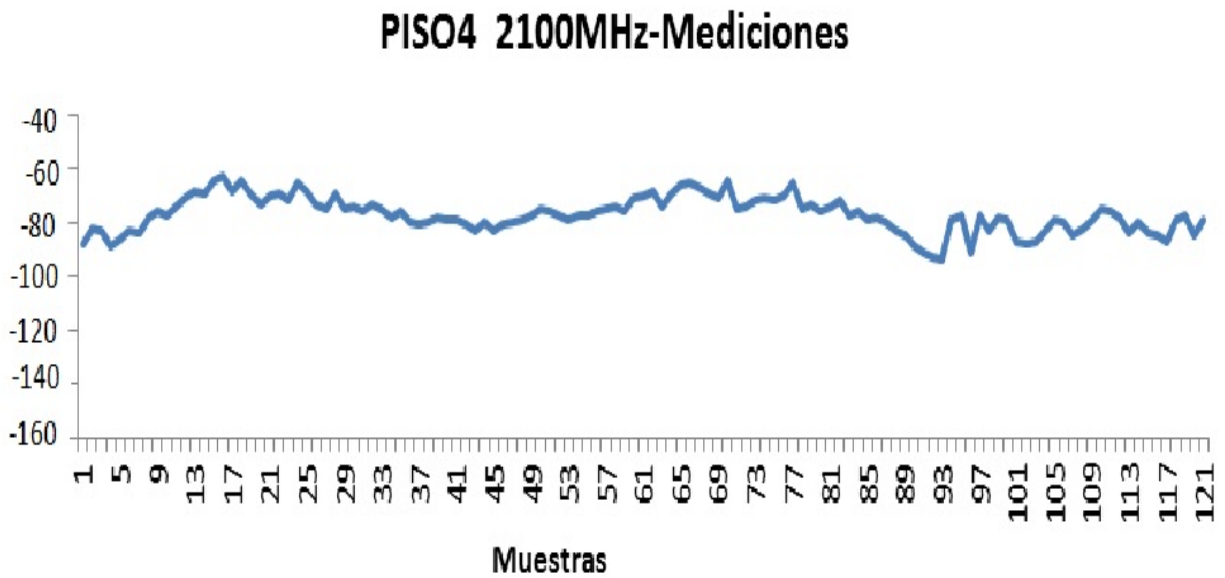


Figura 36. Potencia de recepción contra muestras sobre la ruta de puntos de recepción del piso 4.

PISO5 2100MHz-Mediciones

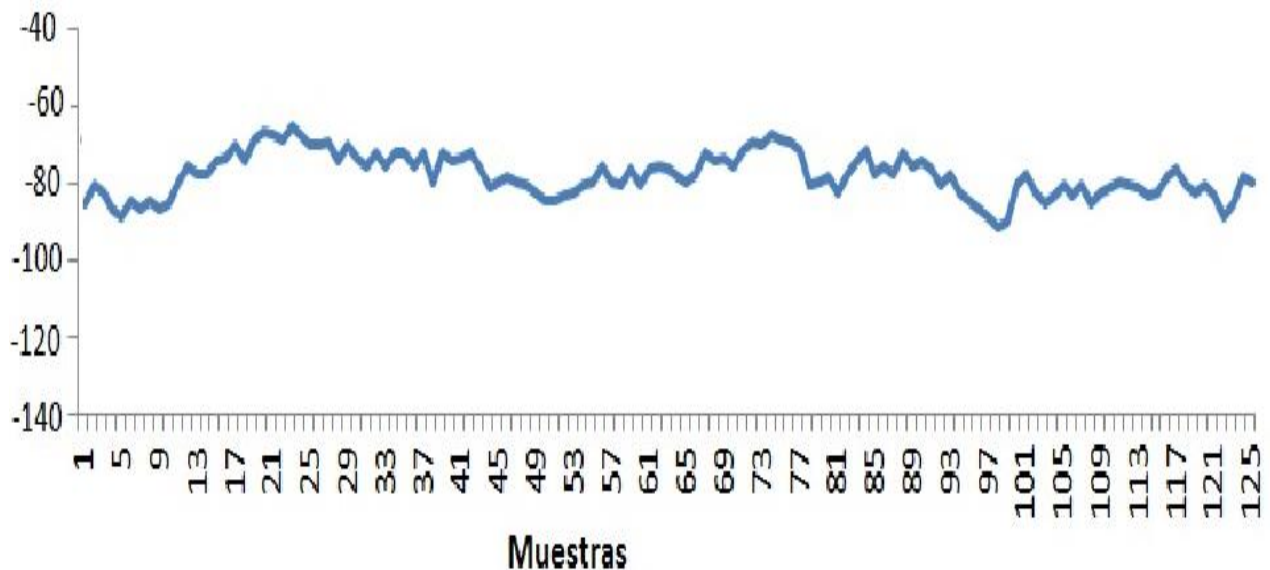


Figura 37. Potencia de recepción contra muestras sobre la ruta de puntos de recepción del piso 5.

4.3 Mecanismos de Radio Propagación: Bandas 850 MHz y 2100 MHz

Partiendo del hecho que en nuestro escenario de estudio, las diferentes trayectorias presentes entre los puntos transmisores y los puntos receptores no se encuentran en línea de vista (NLOS), si no que a como se ha venido estudiando, tanto transmisores como receptores están ubicados entre una serie de obstáculos de características muy diversas, dando origen a diversos mecanismos de propagación. A partir de las perspectivas de estos mecanismos y con la ayuda de los valores de error delta plasmados en las Tablas 5 y 7, podemos analizar la diferencia existente entre los valores simulados y los resultados de las mediciones, tanto para la banda de frecuencia de 850 MHz como para la banda de frecuencia de 2100 Mhz.

En el análisis de los resultados se encontró que para la banda de 850 MHz el rango de parámetro de los resultados simulados presenta una fluctuación de aproximadamente 10 dB comparado con los resultados de las mediciones, mientras que en la banda de 2100 MHz se muestra una fluctuación de aproximadamente 5 dB, estos valores son un resultado de los rápidos desvanecimientos que están presente en las simulaciones, sin embargo este mecanismo parece ser lógico puesto que las principales contribuciones de energía podrían originarse a partir de una quinta o sexta reflexión o difracción que no fue tomada en consideración dentro de la simulación.

Por otro lado, los valores de desviación estándar mostrados en la Tabla 5 y Tabla 7, expresan un pequeño margen de error de aproximadamente 4 dB entre los resultados de las simulaciones y las mediciones para el caso de la banda de 850 MHz, mientras que para 2100 MHz se tiene un margen de error de aproximadamente 3.5 dB, estos valores obtenidos nos proporcionan el conocimiento sobre los niveles de error entre las mediciones de la cobertura y los resultados de la simulación de la potencia recibida, a partir de los cuales se puede decir que los resultados de la simulación están obteniendo buena aproximación del comportamiento de la señal recibida para el ambiente investigado.

A continuación en la Figura 38, se muestran las gráficas de la comparación entre los resultados medidos y los simulados para cada uno de los cinco pisos en las bandas de frecuencia de 850 MHz y 2100 MHz.

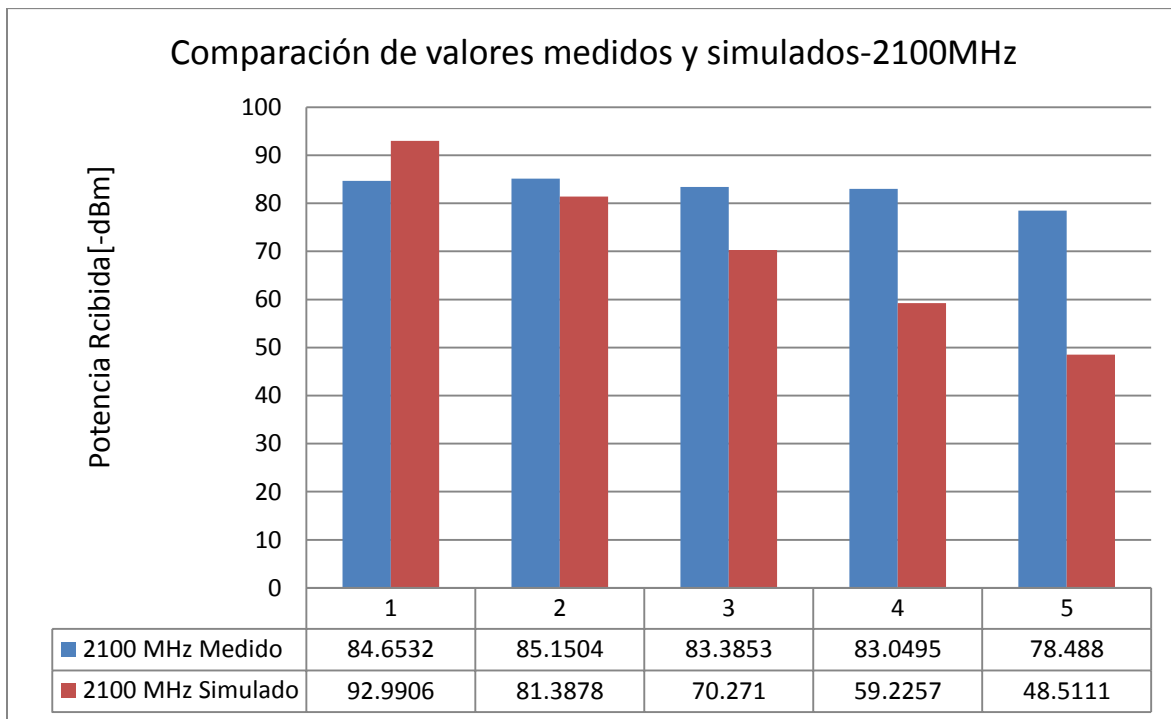
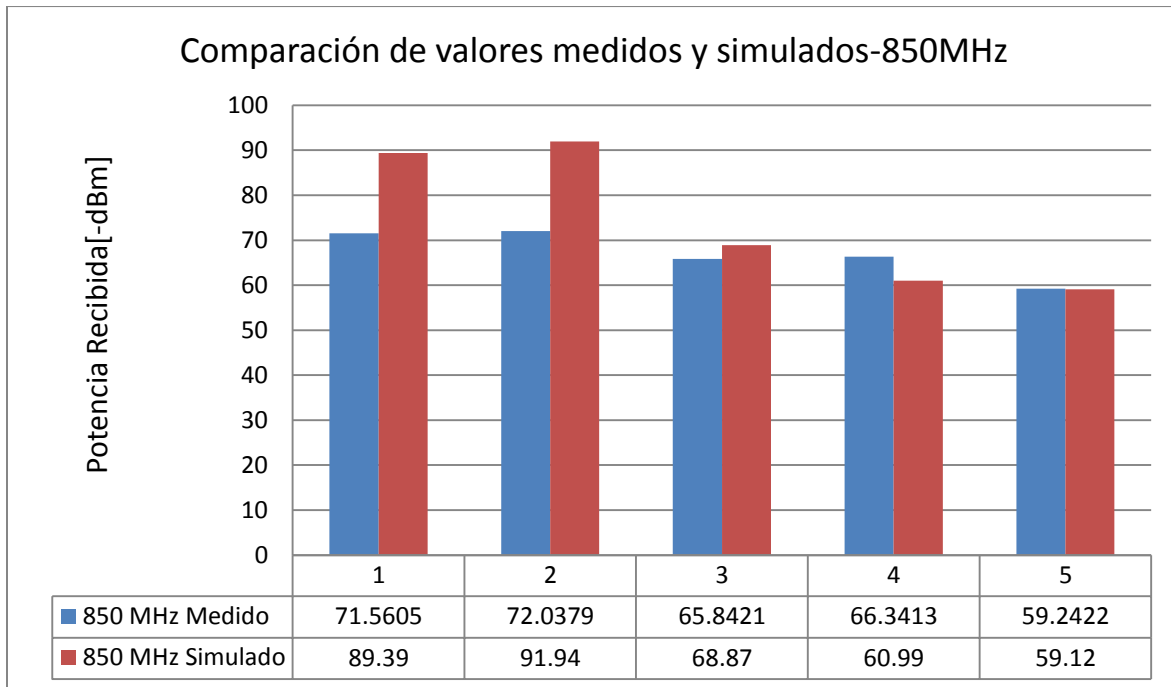


Figura 38. Comparación de valores medios simulados y medidos para las bandas 850 MHz y 2100 MHz.

A partir de la comparación de los valores medios, los resultados de la simulación muestran un comportamiento diferente en comparación con las mediciones, como se muestran en la Figura 38. En el escenario, se debe tener en cuenta cierta tolerancia al margen de error porque se simplificaron o asumieron muchos parámetros de la simulación; Por ejemplo, las reflexiones y difracciones fueron limitadas para mantener el tiempo computacional a valores razonables (menos de 24 horas), no se utilizó una configuración detallada de la red real, se desconocen a profundidad las características de construcción del escenario en estudio.

Otra importante simplificación realizada en el modelo, es que no se consideraron la presencia de importantes zonas abiertas del edificio, tanto los existentes entre suelos y techos correspondientes a las escaleras, ni el existente en la parte central del edificio, tampoco se consideró el mobiliario existente en cada uno de los salones. Todo lo planteado anteriormente hace que la descripción del entorno en estudio difiera mucho del entorno real, pero a pesar de no contar con un entorno completamente detallado, el uso de un factor de escala podría utilizarse como una tolerancia al margen de error como se hizo previamente en [7].

Partiendo de lo anterior, en el presente trabajo se analizó una desviación de error delta mostrada en la Figura 39. Como es mostrado en la Figura 39 los resultados del valor medio de error delta mostraron un valor alto de este en los piso 1 y piso 2 para la banda de 850 MHz, mientras que la banda de 2100 MHz experimentó un alto valor de error delta en los piso 3, piso 4 y piso 5. Es importante notar lo ocurrido en el piso 3 para la banda de 850 MHz, en este el margen de error fue bastante pequeño, por lo que si se pretende usar un factor de escala como se realizó en [7], no resultaría de gran beneficio, puesto que los resultados de los valores medios de nuestro escenario de estudio difieren de los resultados logrados en [7].

Como una posible explicación para los resultados precisos obtenidos en el piso 3, para la banda de 850 MHz, se utilizó la herramienta de ruta de propagación de radio de Wireless Insite® para interpretar gráficamente cómo los edificios vecinos interactúan y afectan las características de propagación de nuestro escenario. Se infiere que los edificios cercanos, que presentan una altura aproximadamente igual a la altura del piso

3, como se muestra en la Figura 25, reflejan señales de contribución alta, que es un mecanismo mayormente presente en el piso 3 debido a la proximidad de los mismos niveles de altura, pero aún para probar esta hipótesis más profunda investigación tiene que hacerse.

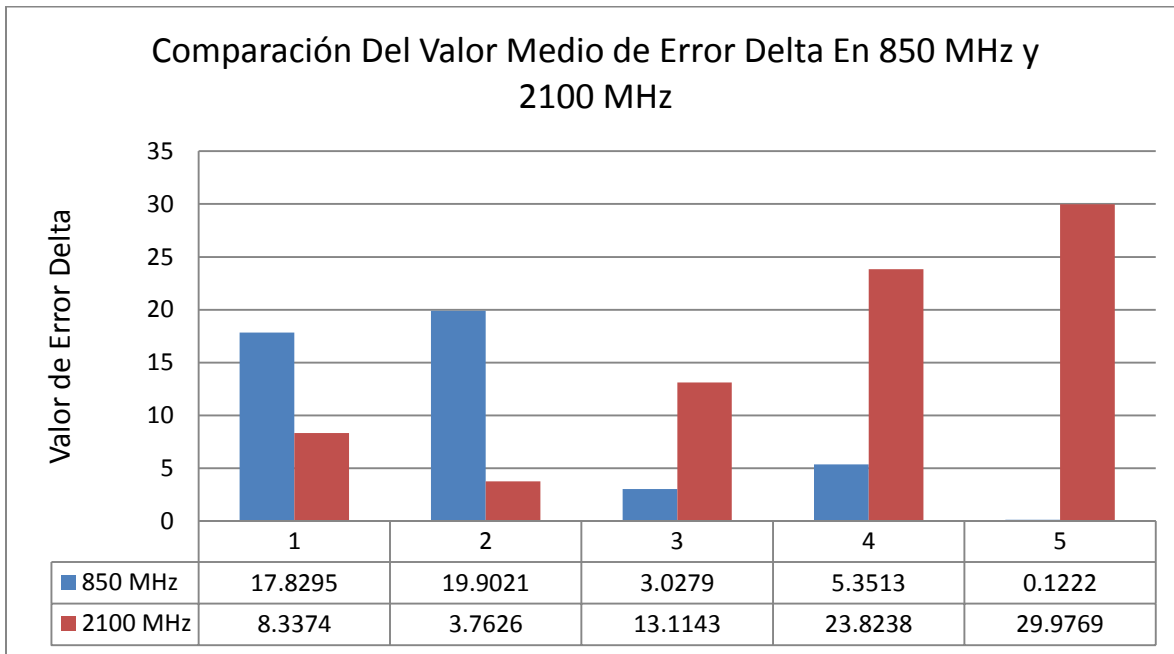


Figura 39. Comparación del valor medio de error delta.

4.4 Ganancia de piso (FG-Floor Gain)

La dependencia de la potencia recibida con la altura de la antena receptora es un factor muy importante que nos ayuda a respaldar el conocimiento sobre la variación en los resultados de las mediciones entre los pisos de un edificio de varias plantas, para esto se hace uso de la ganancia de piso, el cual es un parámetro utilizado para describir como la potencia de la señal recibida incrementa de forma proporcional a medida que se asciende hacia los pisos más altos del edificio, empleando como referencia la potencia recibida a nivel del suelo dentro del edificio [35].

En los escenarios Outdoor-to-Indoor, un importante mecanismo estudiado es la ganancia mínima de piso puesto que representa un elemento particular para este tipo de escenarios. A continuación en la Tabla 8 se muestran los resultados de la ganancia de piso para las bandas de 850 MHz y 2100 MHz, obtenidos a partir de los niveles medidos de la potencia de recepción.

Los resultados obtenidos en la Tabla 8, muestran un buen acercamiento con la literatura. En la referencia [36] se presenta un trabajo realizado para identificar las particularidades de un canal de propagación Outdoor-to-Indoor en las bandas de 850 MHz y 1900 MHz, en dicha referencia se demostró como a medida que incrementa la altura de los pisos, también aumenta la potencia media de recepción y a su vez disminuyen las pérdidas de penetración, tal como se logró observar en nuestros resultados.

En términos de la ganancia total de piso en [37] se indicó un valor de 10 dB del primer al octavo piso en 2600 MHz, que es un resultado cercano a los 12.3183 dB y 6.1652 dB correspondiente a nuestras bandas en estudio, respectivamente. Por otro lado en [38], se documentó una atenuación de 6.5 dB para la banda de 900 MHz y 2300 MHz y 6.7 dB para 1800 MHz y 2300 MHz, las cuales representan valores muy próximos a los encontrados en las bandas del presente trabajo.

Tabla 8. Ganancia de piso del resultado de las mediciones para las bandas 850 MHz y 2100 MHz.

Ganancia De Pisos Basada En Las Mediciones		
Número de pisos	Banda-850 MHz	Banda-2100 MHz
1	0	0
2	-0.4774	-0.4972
3	6.1958	1.7651
4	-0.4992	0.3358
5	7.0991	4.5615
Total	12.3183	6.1652

CAPITULO 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Como conclusiones de este capítulo y sobre la base de simulaciones y mediciones de un edificio semi-abierto con estaciones (BTS) instaladas en la azotea del edificio, para un escenario Outdoor-to-Indoor en bandas de 850 MHz y 2100 MHz, podemos decir que hemos comprobado la importancia de la técnica de predicción de trazado de rayos utilizada como herramienta de predicción Wireless Insite® para el modelado y predicción del comportamiento de un canal de propagación en entornos Outdoor-to-Indoor para un edificio de múltiples plantas.

Se logró comprobar mediante el estudio de los resultados como los puntos receptores más próximos a los transmisores experimentan mayores niveles de potencia recibida y una menor variación en el comportamiento de la señal recibida, puesto que el efecto de la multi-trayectoria presenta menor influencia en los pisos más altos por presentar una menor cantidad de obstáculos. Dentro del estudio realizado también hemos comprobado que a mayor frecuencia las señales son más afectadas por la atenuación y por los fenómenos de propagación como difracción, dispersión y reflexión debido a los obstáculos presentes en sus trayectorias.

Para el escenario Outdoor-to-Indoor, se concluyó que de la literatura existente sobre la base de mediciones, existe una atenuación adicional de 10 dB de la potencia de la señal recibida en la banda de frecuencias de 1900 MHz en comparación con la banda de 850 MHz, que para el caso de 1900 MHz, es una banda muy cercana a la de 2100 MHz del presente estudio. De hecho, se ha demostrado el concepto de ganancia de piso a través de este experimento, obteniendo valores de 12.3183 dB en banda de 850 MHz y de 6.1652 dB en banda de 2100 MHz para un edificio semi-abierto de cinco plantas, para una reducción total de 6.1531 dB de ganancia de piso de 2100 MHz en comparación con la banda de 850 MHz.

En términos de aporte, la presente investigación proporciona una contribución a la literatura existente sobre el comportamiento de la señal en escenarios Outdoor-to-Indoor, puesto que hemos contribuido mediante simulación en la descripción de un escenario no ampliamente documentado en las que las antenas transmisoras se encuentran ubicadas en la azotea de edificios con alto tiempo ocupacional. Además, el presente estudio cobra un mayor valor en la región centroamericana porque a medida que las ciudades cambian a diseños arquitectónicos verticales, existen pocos estudios detallados sobre los mecanismos de propagación existentes en este tema para la región.

Finalmente, consideramos que las limitaciones del trabajo realizado incide en la falta de datos más precisos sobre las características del edificio en estudio y si se hubieran introducido en la simulación una cantidad mayor de reflexiones y difracciones, se habrían obtenido mayor adherencia entre los niveles de potencia media simulados y los niveles de potencia media obtenidos en las mediciones, lo anterior demuestra la importancia que juega la definición correcta de estos datos puesto que influyen de forma directa en los resultados finales.

5.2 Recomendaciones

Una vez finalizado nuestro trabajo sobre el Análisis de la Radio propagación para un escenario Outdoor-to-Indoor en las Bandas 850 MHz y 2100 MHz, observamos que aún queda mucho trabajo por hacer bajo este tema, por lo que se plantea continuar el estudio haciendo uso de más información detallada de los parámetros de reflexión y difracción en las simulaciones de trazado de rayos con el fin de lograr un modelado del canal, más próximo al escenario real. Al mismo tiempo se recomienda hacer uso de una información más detallada tanto del escenario a ser modelado, como de la configuración de la red desplegada, esto contribuirá a obtener resultados simulados mucho más confiables y más congruentes con los obtenidos en las mediciones reales.

Finalmente se plantea hacer uso de equipos más precisos de mediciones que permitan una correcta recepción de los niveles de potencia recibidos de la red real, a la par de lo anterior también se recomienda hacer uso de equipos que faciliten con gran precisión el análisis de las señales radio eléctricas, con el objetivo de brindar un mejor análisis en el comportamiento de estas señales.

BIBLIOGRAFIA

[1] Wang, B., Yongle, W., Feng, H., & Yu-Han, Y. (septiembre de 2011). Green Wireless Communications: A Time-Reversal Paradigm. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 29(8), 1698-1710.

[2] Núñez, P. (2009). Estudio de la Propagación de Señales Electromagnéticas en Edificios en Bandas de Wi-Fi Y WIMAX. (Tesis de pregrado).p.1.Universidad Autónoma de Madrid. España.

[3] Jiménez, M., Arana, K., Arias, M. (2017). Outdoor-to-Indoor Propagation Mechanisms in Multi-Storey Building for 0.85 GHz and 1.9 GHz Bands. Universidad Nacional de Ingeniería. Department Electrotecnia and Computer Engineering. Managua, Nicaragua. Accepted for publication.

[4] Telcor. Ente Regulador. (2016). Estadísticas del Servicio de Telefonía Celular. Telcor ente regulador. Nicaragua. Disponible en: http://www.telcor.gob.ni/Desplegar.asp?PAG_ID=47. [Consultado el 11 de octubre de 2016].

[5] Martínez, L., Suarez, C. and Larotta, D. (2009). Análisis Experimental Para Un Modelo De Propagación De La Telefonía Móvil De La Universidad Militar. (Revista científica, num.2). p.15. Universidad Militar Nueva Granada. Colombia. ISSN: 0124-8170.

[6] Suikkanen, E., Tolli, A., Latva-aho, M. (2010). Characterization of Propagation in an Outdoor-to-Indoor Scenario at 780 MHz. 21st International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications. University Of Oulu. Finland.

[7] Arana, K. (2016).Outdoor-to-Indoor Radio Wave Propagation Modelling. Lodz University Of Technology Faculty Of Electrical, Electronic, Computer And Control Engineering. Lodz, Polonia.

[8] Rodríguez, C. (2012). Estudio experimental por simulación del diseño de una red LTE de telefonía y datos móviles en Nicaragua (tesis de pre-grado).Universidad Nacional de Ingeniería. Managua, Nicaragua.

[9] Butler, J., Pietrosimoli, E., Zenaro, M., Fonda, C., Forster, J., Howard, I., Krag, T. and Zennaro, M. (2006). Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo. 4ta ed. Creative Commons Attribution- ShareAlike 2.5., p.1. ISBN-13: 978-1492390855.

[10] Tomasi, W. (2003).Sistemas de Comunicaciones Electrónicas.Mexico.4ta ed. Pearson Education. ISBN 0-13-022125-2.

[11] Mauricio Martínez Ramírez. (2006). Análisis De Propagación En Interiores En La Banda de 2.4 GHz, Para El Diseño de Cobertura de La Red IEEE 802.11b, g de Esime Zacatenco (Tesis de pre-grado). Instituto Politécnico Nacional. México, D.F.

[12] López Fernández, A., González López, D. and Rubio Lara, A. (2002). Transmisión y redes de Datos. Telefonía Móvil. U.H.U. 10-VII-2002, p.1.

[13] Marcellini Yus, C., Martínez Silva, D. and Quiroz Canepa, S. (2013). TENOLOGIA 4G.La próxima generación en comunicaciones móviles. p.7. Universidad Técnica Federico Santa María.

[14] Rodríguez, J.(2015).Fundamental Of 5G Mobile Networks.1ra ed. Jonh Willey & Sons,Ltd. p.5.ISBN-9781118867525.

[15] Pietrosemoli, E., Zenaro, M., Fonda, C., Forster, J., Okay, S., Aichele, E., Et al. (2013). Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo. Una guía práctica para planificar y construir infraestructuras de telecomunicaciones de bajo costo. 4 ta ed. Creative Commons Attribution- ShareAlike 2.5., p.1. ISBN-13: 978-1492390855.

[16] Molisch, A. (2011). Wireless Communications. 2da ed. California: John Wiley & Sons Ltd, p.1. ISBN: 978-0-470-74187-0.

[17] Calvo, I. (2013). Pérdidas De Inserción En Diferentes Tipos De Materiales Y Arboles. Departamento de tecnología electrónica y de las Comunicaciones (tesis de pre-grado). p.47. Universidad Autónoma de Madrid. España.

[18] Rodríguez, G. (2009). Modelo De Propagación Electromagnética En Una Red UTRAN (Tesis de pre-grado). p.34. Facultad De Ciencias Físicas Y Matemáticas. Departamento de ingeniería eléctrica. Universidad De Chile. Chile.

[19] Díaz, E, Niño, J. (2005). Análisis De Propagación Electromagnética En Espacios Cerrados: Herramienta Software En Matlab Para Predicción Y Simulación (Tesis de pre-grado). Facultad de ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de ingeniería eléctrica, electrónica y telecomunicaciones. Universidad Nacional De Santander .Bucaramanga.

[20] Arias, P. (2009). Estudio de Los Canales con Desvanecimiento Sobre Redes Fijas Y Móviles En Sistemas de Radio Comunicación. (Tesis de pre-grado). Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica Escuela Politécnica Nacional. Quito.

[21] Marcet, C., Gandía, G. (s.f). Aplicación Del Modelo de Propagación Multi-Wall Para la Estimación De Coberturas De Femtoceldas LTE En Interiores. p.12. Escuela Técnica Superior De Ingenieros De Telecomunicaciones. Universidad Politécnica De Valencia. España.

[22] Pedraza, L., Hernández, C., Ballesteros, D. (2009). Análisis Experimental Para un Modelo de Propagación de la Telefonía Móvil de la Universidad Militar. (Revista científica, num.2). p.46. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia. ISSN: 0124-8170.

[23] Olivares, J. (2009). Modelo de Cobertura Para Redes Inalámbricas de Interiores. P.57. Escuela superior de ingenieros. Universidad de Sevilla. España.

[24] Castellanos, E., Talero, J., Rugeles, J., Boada, H. (2005) . Análisis de Propagación Electromagnética en Espacios Cerrados: Herramienta Software en Matlab Para Predicción y Simulación. (Revista científica, num. 6). p.13. Universidad Industrial de Santander. Colombia. ISSN: 1692-7257

[25] Alejandro, G., Análisis y Comparación del Modelo de Propagación del Espacio Libre con Mediciones Realizadas a 400 Mhz Para un Entorno con Características de Ciudad Colonial (Tesis de Pre-grado). p.3. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Universidad Profesional Adolfo López Mateo. México, D.F.

[26] Fernández, G. (2006). Modelo de Cobertura en Redes Inalámbricas Basado en Radiosidad por Refinamiento Progresivo. (Tesis Doctoral). p.79. Departamento de informática. Universidad de Oviedo. España.

[27] Rappaport, T. (2002). Wireless Communications. Principles and Practice. New Jersey: Pearson Education, Upper Saddle River. p.71. ISBN: 0-13-042232-0.

[28] Goncalves, M., Umbert, J. (2015). Caracterización Indoor y Ampliación de un Rem (Radio Environment Map) en el Campus Nord De La Upc. (Tesis de Pregrado). P.18. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación. Barcelona de la Universidad Politécnica de Catalunya. España.

[29] Cordero, S. (2005). Análisis de la calidad de señal en una red Wi-Fi con la herramienta Netstumbler. (Revista científica, num.7).p.12. Universidad Manuela Beltrán Bogotá, Colombia. ISSN: 1692-337.

[30] REMCOM. Wireles Insite. (2015). Software de Propagación EM Inalámbrica. Disponible en: <http://www.remcom.es/software-de-propagacion-em/> [Consultado el 30 de agosto de 2017].

[31] J.Schuster and R. Luebbers. Hybrid SBR/GTD radio propagation model for site specific predictions in an urban environment, 12th Annual Review of Progress in Applied Computational Electromagnetics. (1996). Monterrey. California. Vol. 1.p. 84-92.

[32] Parra, A., Bonilla, L., Flores, Q. (2011). Análisis de la Precisión de Cobertura de un Sistema Wi-Fi en Interiores Mediante la Técnica de Trazado de Rayos. (Revista científica, num.1).p.47. Universidad del cauca. Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones. Popayán. Colombia. ISSN: 0122-6517.

[33] V. Fono, O. Abu Safia, L. Larbi, M. Nedil, “Accurate ray-tracing/UTD-based model for indoor stairwells at 10 GHz,” in Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting, 2015 IEEE International Symposium on. Accurate ray-tracing.

[34] (2017).Universidad Nacional de Ingeniería. Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo Dirección de Estudios de Posgrado y Educación Continua UNI-DEPEC. Disponible en: <http://www.posgrado.uni.edu.ni/universidad/> [Consultado el 9 de noviembre de 2017].

[35] D. Rose, T. Kürner, “Outdoor-to-Indoor Propagation – Accurate Measuring and Modelling of Indoor Environments at 1900 and 1800 MHz ” in 6th European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP).

[36] H. Elgannas and I. Kostanic, “Outdoor-to-indoor propagation characteristics of 850 MHz and 1900 MHz bands in macro-celullar environments ” in Proceedings of the World

Congress of Engineering and Computer Science 2014 Vol II WCECS 2014, 22-24 October, 2014, San Francisco, USA.

[37] E. Mellios, G. S. Hilton and A. R. Nix, "Evaluating the impact of user height variations on outdoor-to-indoor propagation in urban macrocells and picocells using ray-tracing" ,in General Assembly and Scientific Symposium (URSI GASS), 2014 XXXIth URSI .

[38] Toledo, A., Turkmani, A., Parsons, D. (1998). Estimating Coverage of Radio Transmission into and within Buildings at 900, 1800, and 2300 MHz. Universidad de Liverpool.

ANEXOS

Anexo 1. Datos Obtenidos de Potencia de Recepción Estimada y Mediciones en los Puntos de Referencia en la Banda 850 MHz.

Tabla 9. Potencia de recepción estimada y medidas en los puntos de referencia, para el piso 1 en la banda 850 MHz.

Columna1	Columna2	Columna3	Columna4	Columna5
Número de Puntos Receptores	Potencia de Recepción Medida (dBm)	Promedio de la Potencia de Recepción Simulada (dBm)	Distancia(m)	Distancia(m)
1	-70.0	1.5	-93.9170429	1.64246
2	-70.0	1.5	-100.768857	1.64246
3	-67.0	1.5	-96.5117571	1.64246
4	-69.0	1.5	-96.6681571	1.64246
5	-69.0	1.5	-94.6640857	1.64246
6	-71.0	1.5	-96.5242857	1.64246
7	-65.0	1.5	-97.6160429	1.64246
8	-65.0	1.5	-90.559	1.64246
9	-68.0	1.5	-89.7496286	1.64246
10	-70.0	1.5	-85.0627714	1.64246
11	-71.0	1.5	-85.1889429	1.64246
12	-73.0	1.5	-83.6339571	1.64246
13	-75.0	1.5	-87.4085143	1.64246
14	-71.0	1.5	-82.3450857	1.64246
15	-71.0	1.5	-80.9191286	1.64246
16	-71.0	1.5	-86.3323429	1.64246
17	-71.0	1.5	-85.1789714	1.64246

18	-71.0	1.5	-80.1210429	1.64246
19	-71.0	1.5	-82.4409429	1.64246
20	-71.0	1.5	-79.5663857	1.64246
21	-71.0	1.5	-79.4012571	1.64246
22	-72.0	1.5	-83.5923429	1.64246
23	-78.0	1.5	-86.5134429	1.64246
24	-82.0	1.5	-85.0888143	1.64246
25	-79.0	1.5	-79.5363	1.64246
26	-79.0	1.5	-96.8728429	1.64246
27	-79.0	1.5	-97.4817	1.64246
28	-83.0	1.5	-107.561457	1.64246
29	-83.0	1.5	-97.3640857	1.64246
30	-86.0	1.5	-107.716814	1.64246
31	-90.0	1.5	-100.1563	1.64246
32	-90.0	1.5	-98.9822857	1.64246
33	-90.0	1.5	-83.4751286	1.64246
34	-92.0	1.5	-79.2170714	1.64246
35	-92.0	1.5	-74.8448429	1.64246
36	-92.0	1.5	-76.1228429	1.64246
37	-92.0	1.5	-78.9595286	1.64246
38	-87.0	1.5	-75.6960857	1.64246
39	-87.0	1.5	-75.3124571	1.64246
40	-87.0	1.5	-77.7651429	1.64246
41	-89.0	1.5	-74.3415143	1.64246
42	-76.0	1.5	-78.7842571	1.64246
43	-76.0	1.5	-82.4677714	1.64246
44	-78.0	1.5	-81.2899286	1.64246
45	-84.0	1.5	-87.3503429	1.64246
46	-84.0	1.5	-85.5859286	1.64246
47	-83.0	1.5	-76.5846143	1.64246

48	-83.0	1.5	-82.7269	1.64246
49	-83.0	1.5	-92.6674571	1.64246
50	-85.0	1.5	-97.5757857	1.64246
51	-89.0	1.5	-96.7873286	1.64246
52	-89.0	1.5	-84.0251286	1.64246
53	-97.0	1.5	-75.9585	1.64246
54	-92.0	1.5	-76.9464	1.64246
55	-92.0	1.5	-80.5398143	1.64246
56	-92.0	1.5	-81.8171571	1.64246
57	-94.0	1.5	-83.6110143	1.64246
58	-81.0	1.5	-83.5632286	1.64246
59	-81.0	1.5	-87.5144857	1.64246
60	-75.0	1.5	-87.4524286	1.64246
61	-75.0	1.5	-82.794	1.64246
62	-70.0	1.5	-83.6311	1.64246
63	-70.0	1.5	-83.8461286	1.64246
64	-70.0	1.5	-82.7725	1.64246
65	-70.0	1.5	-90.7288	1.64246
66	-70.0	1.5	-90.6890571	1.64246
67	-70.0	1.5	-93.0364571	1.64246
68	-65.0	1.5	-92.2544857	1.64246
69	-65.0	1.5	-98.2630857	1.64246
70	-65.0	1.5	-95.4432571	1.64246
71	-65.0	1.5	-85.6039857	1.64246
72	-66.0	1.5	-91.1969	1.64246
73	-60.0	1.5	-88.0447	1.64246
74	-60.0	1.5	-88.9193571	1.64246
75	-60.0	1.5	-91.7955	1.64246
76	-60.0	1.5	-86.9911143	1.64246
77	-62.0	1.5	-84.9558	1.64246

78	-51.0	1.5	-89.6905714	1.64246
79	-51.0	1.5	-87.1850286	1.64246
80	-51.0	1.5	-91.9070857	1.64246
81	-51.0	1.5	-93.9332	1.64246
82	-51.0	1.5	-101.484043	1.64246
83	-51.0	1.5	-96.7673	1.64246
84	-51.0	1.5	-84.5463143	1.64246
85	-51.0	1.5	-91.4111	1.64246
86	-51.0	1.5	-83.543	1.64246
87	-51.0	1.5	-84.345	1.64246
88	-51.0	1.5	-77.536	1.64246
89	-51.0	1.5	-88.0731429	1.64246
90	-53.0	1.5	-81.3860714	1.64246
91	-54.0	1.5	-83.7960714	1.64246
92	-55.0	1.5	-85.9969714	1.64246
93	-55.0	1.5	-89.9934857	1.64246
94	-56.0	1.5	-92.2561	1.64246
95	-59.0	1.5	-89.8328286	1.64246
96	-60.0	1.5	-80.2900857	1.64246
97	-61.0	1.5	-90.2974	1.64246
98	-63.0	1.5	-86.8637571	1.64246
99	-64.0	1.5	-87.1046	1.64246
100	-60.0	1.5	-89.6474429	1.64246
101	-60.0	1.5	-91.8294571	1.64246
102	-60.0	1.5	-100.2488	1.64246
103	-60.0	1.5	-102.774586	1.64246
104	-65.0	1.5	-112.707871	1.64246
105	-64.0	1.5	-109.130829	1.64246
106	-64.0	1.5	-105.702129	1.64246
107	-64.0	1.5	-101.138814	1.64246

108	-64.0	1.5	-102.9346	1.64246
109	-58.0	1.5	-89.0829429	1.64246
110	-58.0	1.5	-86.0496286	1.64246
111	-58.0	1.5	-92.1673571	1.64246
112	-53.0	1.5	-87.3682714	1.64246
113	-54.0	1.5	-88.5359286	1.64246
114	-55.0	1.5	-88.3346714	1.64246
115	-55.0	1.5	-95.2082571	1.64246
116	-61.0	1.5	-89.1943571	1.64246
117	-57.0	1.5	-91.1250429	1.64246
118	-57.0	1.5	-90.7522143	1.64246
119	-59.0	1.5	-89.0954	1.64246
120	-57.0	1.5	-92.3602429	1.64246
121	-59.0	1.5	-86.8158143	1.64246
122	-60.0	1.5	-85.4013857	1.64246
123	-56.0	1.5	-84.4090714	1.64246
124	-62.0	1.5	-85.5106571	1.64246
125	-62.0	1.5	-86.2471571	1.64246
126	-64.0	1.5	-94.0928571	1.64246
127	-65.0	1.5	-95.2889286	1.64246
128	-69.0	1.5	-102.102043	1.64246
129	-70.0	1.5	-96.762	1.64246
130	-67.0	1.5	-90.6203429	1.64246
131	-67.0	1.5	-91.6832857	1.64246
132	-67.0	1.5	-89.2348857	1.64246
133	-69.0	1.5	-88.1478429	1.64246
134	-72.0	1.5	-87.7895571	1.64246
135	-74.0	1.5	-90.9709143	1.64246
136	-73.0	1.5	-89.2229286	1.64246
137	-73.0	1.5	-88.4014286	1.64246

138	-75.0	1.5	-89.1047714	1.64246
139	-73.0	1.5	-90.4787286	1.64246
140	-73.0	1.5	-93.5774571	1.64246
141	-73.0	1.5	-93.6671857	1.64246
142	-77.0	1.5	-92.3656714	1.64246
143	-79.0	1.5	-90.0335286	1.64246
144	-78.0	1.5	-96.7609714	1.64246
145	-78.0	1.5	-95.3233	1.64246
146	-78.0	1.5	-101.078143	1.64246
147	-78.0	1.5	-95.2259571	1.64246
148	-78.0	1.5	-98.7663	1.64246
149	-79.0	1.5	-89.2522429	1.64246
150	-79.0	1.5	-95.2577571	1.64246
151	-75.0	1.5	-88.1185429	1.64246
152	-75.0	1.5	-93.4833857	1.64246
153	-75.0	1.5	-90.3668429	1.64246
154	-73.0	1.5	-90.9021286	1.64246
155	-73.0	1.5	-91.1026857	1.64246
156	-73.0	1.5	-90.7483286	1.64246
157	-74.0	1.5	-89.2897	1.64246
158	-71.0	1.5	-94.9277	1.64246
159	-71.0	1.5	-88.7831571	1.64246
160	-76.0	1.5	-86.8386857	1.64246
161	-76.0	1.5	-95.2295714	1.64246

Tabla 10. Potencia de recepción estimada y medidas en los puntos de referencia, para el piso 2 en la banda 850 MHz.

Columna1	Columna2	Columna3	Columna4	Columna5
Número de Puntos Receptores	Potencia de Recepción Medida (dbm)	Distancia (m)	Promedio de la Potencia de Recepción Simulada (dBm)	Distancia(m)
1	-74.0	1.5	-97.8052857	1.64
2	-67.0	1.5	-96.8355	1.64
3	-67.0	1.5	-99.0520286	1.64
4	-61.0	1.5	-102.590271	1.64
5	-61.0	1.5	-102.651257	1.64
6	-61.0	1.5	-96.5574857	1.64
7	-67.0	1.5	-99.1296286	1.64
8	-85.0	1.5	-97.8935857	1.64
9	-85.0	1.5	-96.5744857	1.64
10	-85.0	1.5	-101.277686	1.64
11	-87.0	1.5	-98.4904857	1.64
12	-79.0	1.5	-91.4955286	1.64
13	-79.0	1.5	-88.2983571	1.64
14	-79.0	1.5	-91.1717714	1.64
15	-81.0	1.5	-90.2847714	1.64
16	-72.0	1.5	-89.6615571	1.64
17	-72.0	1.5	-82.8132143	1.64
18	-72.0	1.5	-94.3970143	1.64
19	-74.0	1.5	-84.7483	1.64
20	-79.0	1.5	-82.6761429	1.64
21	-83.0	1.5	-88.8580143	1.64
22	-74.0	1.5	-86.4972286	1.64
23	-74.0	1.5	-88.5203286	1.64

24	-78.0	1.5	-89.3849286	1.64
25	-74.0	1.5	-90.1591286	1.64
26	-74.0	1.5	-94.2367714	1.64
27	-74.0	1.5	-98.2223429	1.64
28	-76.0	1.5	-103.003657	1.64
29	-76.0	1.5	-105.163557	1.64
30	-80.0	1.5	-105.978443	1.64
31	-82.0	1.5	-99.3637857	1.64
32	-86.0	1.5	-94.4376571	1.64
33	-88.0	1.5	-84.5962429	1.64
34	-88.0	1.5	-88.3348	1.64
35	-86.0	1.5	-87.2938143	1.64
36	-74.0	1.5	-87.8565143	1.64
37	-69.0	1.5	-86.8309286	1.64
38	-69.0	1.5	-86.2177714	1.64
39	-69.0	1.5	-83.2879429	1.64
40	-64.0	1.5	-86.8194286	1.64
41	-64.0	1.5	-83.4652	1.64
42	-54.0	1.5	-88.2524429	1.64
43	-54.0	1.5	-83.4171714	1.64
44	-54.0	1.5	-88.3210286	1.64
45	-56.0	1.5	-90.2503857	1.64
46	-57.0	1.5	-96.9487429	1.64
47	-60.0	1.5	-93.3328143	1.64
48	-64.0	1.5	-97.2093286	1.64
49	-66.0	1.5	-99.3137143	1.64
50	-62.0	1.5	-97.0542714	1.64
51	-62.0	1.5	-99.7602571	1.64
52	-61.0	1.5	-96.3899429	1.64
53	-60.0	1.5	-88.9585	1.64

54	-60.0	1.5	-88.0127143	1.64
55	-60.0	1.5	-86.2142571	1.64
56	-65.0	1.5	-87.7783429	1.64
57	-68.0	1.5	-87.1487429	1.64
58	-64.0	1.5	-89.8382429	1.64
59	-64.0	1.5	-84.9409286	1.64
60	-69.0	1.5	-86.6669143	1.64
61	-73.0	1.5	-87.4154286	1.64
62	-75.0	1.5	-85.1956429	1.64
63	-75.0	1.5	-88.4604857	1.64
64	-75.0	1.5	-88.4214571	1.64
65	-75.0	1.5	-89.6706429	1.64
66	-75.0	1.5	-86.0772286	1.64
67	-77.0	1.5	-89.8529286	1.64
68	-74.0	1.5	-91.3599857	1.64
69	-74.0	1.5	-91.9203714	1.64
70	-74.0	1.5	-95.4583429	1.64
71	-74.0	1.5	-94.6812286	1.64
72	-79.0	1.5	-97.4247143	1.64
73	-79.0	1.5	-91.6734571	1.64
74	-79.0	1.5	-89.2261571	1.64
75	-79.0	1.5	-92.5350571	1.64
76	-81.0	1.5	-85.7390571	1.64
77	-84.0	1.5	-89.1951857	1.64
78	-86.0	1.5	-89.8669714	1.64
79	-83.0	1.5	-88.9980286	1.64
80	-83.0	1.5	-89.9270286	1.64
81	-76.0	1.5	-96.9107429	1.64
82	-76.0	1.5	-105.476657	1.64
83	-76.0	1.5	-102.053186	1.64

84	-78.0	1.5	-99.6920286	1.64
85	-80.0	1.5	-86.1209429	1.64
86	-80.0	1.5	-84.4346143	1.64
87	-83.0	1.5	-79.3511143	1.64
88	-85.0	1.5	-87.3809857	1.64
89	-82.0	1.5	-89.6734571	1.64
90	-68.0	1.5	-84.7636143	1.64
91	-68.0	1.5	-89.7477429	1.64
92	-61.0	1.5	-85.7944714	1.64
93	-61.0	1.5	-84.7443857	1.64
94	-61.0	1.5	-94.2954714	1.64
95	-65.0	1.5	-91.6602571	1.64
96	-74.0	1.5	-87.3574714	1.64
97	-79.0	1.5	-92.4088857	1.64
98	-82.0	1.5	-84.7949143	1.64
99	-69.0	1.5	-85.7346429	1.64
100	-69.0	1.5	-89.4077571	1.64
101	-69.0	1.5	-90.2155857	1.64
102	-69.0	1.5	-89.7246	1.64
103	-70.0	1.5	-98.9230857	1.64
104	-73.0	1.5	-100.586843	1.64
105	-75.0	1.5	-101.8822	1.64
106	-73.0	1.5	-105.830529	1.64
107	-68.0	1.5	-99.4211429	1.64
108	-73.0	1.5	-101.717314	1.64
109	-76.0	1.5	-82.0671429	1.64
110	-69.0	1.5	-82.9975571	1.64
111	-69.0	1.5	-91.0852429	1.64
112	-69.0	1.5	-87.2079429	1.64
113	-71.0	1.5	-84.9744571	1.64

114	-65.0	1.5	-85.4179571	1.64
115	-65.0	1.5	-88.7021286	1.64
116	-67.0	1.5	-88.9539857	1.64
117	-65.0	1.5	-90.5817143	1.64
118	-65.0	1.5	-97.0669429	1.64
119	-65.0	1.5	-90.6204143	1.64
120	-67.0	1.5	-97.1705714	1.64
121	-65.0	1.5	-92.5410857	1.64
122	-65.0	1.5	-92.2334429	1.64
123	-65.0	1.5	-88.3989714	1.64
124	-67.0	1.5	-87.2124571	1.64
125	-72.0	1.5	-89.0083286	1.64
126	-75.0	1.5	-100.503357	1.64
127	-77.0	1.5	-98.6207571	1.64
128	-72.0	1.5	-98.0164286	1.64
129	-72.0	1.5	-100.232114	1.64
130	-72.0	1.5	-96.6424429	1.64
131	-74.0	1.5	-97.4294143	1.64
132	-74.0	1.5	-93.0928143	1.64

Tabla 11. Potencia de recepción estimada y medidas en los puntos de referencia, para el piso 3 en la banda 850 MHz.

Columna1	Columna2	Columna3	Columna4	Columna5
Número de Puntos Receptores	Potencia de Recepción Medida (dBm)	Distancia (m)	Promedio de la Potencia de Recepción Simulada (dBm)	Distancia(m)
1	-70.0	1.5	-68.5006571	1.64
2	-72.0	1.5	-72.1452143	1.64
3	-66.0	1.5	-79.3490571	1.64
4	-66.0	1.5	-76.8737	1.64
5	-66.0	1.5	-79.5657	1.64
6	-67.0	1.5	-73.9363571	1.64
7	-63.0	1.5	-72.2428714	1.64
8	-63.0	1.5	-66.8160143	1.64
9	-63.0	1.5	-61.2031857	1.64
10	-65.0	1.5	-59.2670857	1.64
11	-62.0	1.5	-62.542	1.64
12	-62.0	1.5	-63.7317286	1.64
13	-62.0	1.5	-62.3200143	1.64
14	-64.0	1.5	-61.6324429	1.64
15	-65.0	1.5	-61.8585571	1.64
16	-67.0	1.5	-64.8151571	1.64
17	-69.0	1.5	-64.0817	1.64
18	-70.0	1.5	-68.6247714	1.64
19	-73.0	1.5	-64.6388714	1.64
20	-74.0	1.5	-68.9077857	1.64
21	-74.0	1.5	-69.8725	1.64
22	-74.0	1.5	-68.3852143	1.64
23	-74.0	1.5	-65.7900857	1.64
24	-67.0	1.5	-72.4240286	1.64

25	-67.0	1.5	-70.7483286	1.64
26	-62.0	1.5	-82.9585286	1.64
27	-62.0	1.5	-89.1945857	1.64
28	-62.0	1.5	-82.1969	1.64
29	-64.0	1.5	-86.4967857	1.64
30	-69.0	1.5	-85.1056857	1.64
31	-61.0	1.5	-83.3184286	1.64
32	-61.0	1.5	-86.6123286	1.64
33	-67.0	1.5	-72.2358143	1.64
34	-69.0	1.5	-70.7966429	1.64
35	-70.0	1.5	-70.0386143	1.64
36	-70.0	1.5	-74.7585571	1.64
37	-67.0	1.5	-69.1063429	1.64
38	-67.0	1.5	-66.6455857	1.64
39	-61.0	1.5	-65.1623571	1.64
40	-71.0	1.5	-66.9680857	1.64
41	-61.0	1.5	-66.8302714	1.64
42	-63.0	1.5	-65.3092143	1.64
43	-58.0	1.5	-66.1764429	1.64
44	-60.0	1.5	-66.4189143	1.64
45	-58.0	1.5	-66.6783286	1.64
46	-58.0	1.5	-66.7969857	1.64
47	-51.0	1.5	-64.8837571	1.64
48	-51.0	1.5	-67.5257571	1.64
49	-51.0	1.5	-80.5874	1.64
50	-51.0	1.5	-79.6752286	1.64
51	-51.0	1.5	-81.2614286	1.64
52	-51.0	1.5	-72.0133286	1.64
53	-55.0	1.5	-67.4750429	1.64
54	-58.0	1.5	-66.7252429	1.64

55	-55.0	1.5	-68.5524857	1.64
56	-55.0	1.5	-66.8993571	1.64
57	-57.0	1.5	-69.2604	1.64
58	-58.0	1.5	-71.6151429	1.64
59	-61.0	1.5	-66.4288429	1.64
60	-63.0	1.5	-65.3741	1.64
61	-59.0	1.5	-62.8099714	1.64
62	-51.0	1.5	-63.0042429	1.64
63	-64.0	1.5	-64.3965	1.64
64	-65.0	1.5	-61.3610143	1.64
65	-68.0	1.5	-65.7300286	1.64
66	-68.0	1.5	-63.3263286	1.64
67	-69.0	1.5	-62.4713286	1.64
68	-72.0	1.5	-68.2870429	1.64
69	-74.0	1.5	-64.8513714	1.64
70	-74.0	1.5	-67.2402	1.64
71	-75.0	1.5	-64.9020714	1.64
72	-69.0	1.5	-72.2519857	1.64
73	-69.0	1.5	-71.8136857	1.64
74	-71.0	1.5	-69.1990143	1.64
75	-75.0	1.5	-66.2244	1.64
76	-75.0	1.5	-65.3891	1.64
77	-76.0	1.5	-59.9172571	1.64
78	-78.0	1.5	-62.1788	1.64
79	-79.0	1.5	-64.0328286	1.64
80	-71.0	1.5	-62.9233857	1.64
81	-71.0	1.5	-72.1451286	1.64
82	-71.0	1.5	-71.5315143	1.64
83	-71.0	1.5	-71.0423714	1.64
84	-73.0	1.5	-65.4267	1.64

85	-74.0	1.5	-61.7153857	1.64
86	-76.0	1.5	-60.5861571	1.64
87	-72.0	1.5	-61.1900571	1.64
88	-72.0	1.5	-63.0677571	1.64
89	-72.0	1.5	-60.9259143	1.64
90	-72.0	1.5	-61.7892571	1.64
91	-74.0	1.5	-58.658	1.64
92	-69.0	1.5	-63.6550714	1.64
93	-69.0	1.5	-65.2771429	1.64
94	-64.0	1.5	-68.2908714	1.64
95	-64.0	1.5	-71.5081571	1.64
96	-58.0	1.5	-71.7902429	1.64
97	-58.0	1.5	-72.7634857	1.64
98	-64.0	1.5	-68.5991714	1.64
99	-65.0	1.5	-69.4016571	1.64
100	-66.0	1.5	-68.2449429	1.64
101	-60.0	1.5	-69.3330143	1.64
102	-60.0	1.5	-71.5174	1.64
103	-65.0	1.5	-87.7001286	1.64
104	-70.0	1.5	-79.2415857	1.64
105	-72.0	1.5	-76.7386	1.64
106	-71.0	1.5	-74.7614429	1.64
107	-71.0	1.5	-81.6231571	1.64
108	-71.0	1.5	-76.1629286	1.64
109	-75.0	1.5	-75.3317143	1.64
110	-75.0	1.5	-72.6776	1.64
111	-67.0	1.5	-68.9694571	1.64
112	-67.0	1.5	-68.7184571	1.64
113	-62.0	1.5	-73.9536857	1.64
114	-62.0	1.5	-68.0490143	1.64

115	-64.0	1.5	-70.9059143	1.64
116	-64.0	1.5	-73.4619143	1.64
117	-61.0	1.5	-69.4499286	1.64
118	-61.0	1.5	-68.6698286	1.64
119	-62.0	1.5	-63.1133714	1.64
120	-62.0	1.5	-66.5303714	1.64
121	-60.0	1.5	-64.8363143	1.64
122	-60.0	1.5	-63.3397571	1.64
123	-65.0	1.5	-63.5132571	1.64
124	-67.0	1.5	-65.2407857	1.64
125	-67.0	1.5	-70.9985571	1.64
126	-67.0	1.5	-67.4402714	1.64
127	-69.0	1.5	-75.2168714	1.64
128	-69.0	1.5	-75.0579714	1.64
129	-64.0	1.5	-69.0825286	1.64
130	-64.0	1.5	-71.4346857	1.64
131	-64.0	1.5	-70.0543429	1.64
132	-71.0	1.5	-67.7089286	1.64
133	-77.0	1.5	-67.1651571	1.64

Tabla 12. Potencia de recepción estimada y medidas en los puntos de referencia, para el piso 4 en la banda 850 MHz.

Columna1	Columna2	Columna3	Columna4	Columna5
Número de Receptores	Potencia de Recepción Medida (dBm)	Distancia (m)	Promedio de la Potencia de Recepción Simulada (dBm)	Distancia(m)
1	-82.0	1.5	-66.4655143	1.64
2	-87.0	1.5	-69.7699286	1.64
3	-90.0	1.5	-68.4858714	1.64
4	-65.0	1.5	-72.7255143	1.64
5	-59.0	1.5	-67.3124	1.64
6	-59.0	1.5	-66.6860286	1.64
7	-59.0	1.5	-70.7165286	1.64
8	-62.0	1.5	-66.9302	1.64
9	-64.0	1.5	-66.1111429	1.64
10	-64.0	1.5	-61.8458286	1.64
11	-62.0	1.5	-59.8522	1.64
12	-62.0	1.5	-60.9451857	1.64
13	-57.0	1.5	-58.8563857	1.64
14	-57.0	1.5	-61.5693857	1.64
15	-57.0	1.5	-63.6944857	1.64
16	-57.0	1.5	-61.1317857	1.64
17	-62.0	1.5	-61.3338143	1.64
18	-67.0	1.5	-60.0944143	1.64
19	-67.0	1.5	-61.0576429	1.64
20	-69.0	1.5	-58.8463286	1.64
21	-71.0	1.5	-57.8681	1.64
22	-76.0	1.5	-59.2291	1.64
23	-77.0	1.5	-61.2357857	1.64
24	-77.0	1.5	-62.9581	1.64

25	-75.0	1.5	-66.5038286	1.64
26	-75.0	1.5	-62.2691143	1.64
27	-75.0	1.5	-65.9759571	1.64
28	-77.0	1.5	-65.8693714	1.64
29	-78.0	1.5	-68.3373	1.64
30	-78.0	1.5	-66.9187286	1.64
31	-79.0	1.5	-70.9907	1.64
32	-79.0	1.5	-70.7059857	1.64
33	-71.0	1.5	-60.6535429	1.64
34	-71.0	1.5	-62.897	1.64
35	-71.0	1.5	-60.2859286	1.64
36	-71.0	1.5	-63.3707857	1.64
37	-73.0	1.5	-60.3350286	1.64
38	-53.0	1.5	-61.1324857	1.64
39	-53.0	1.5	-61.8063	1.64
40	-56.0	1.5	-59.1372857	1.64
41	-56.0	1.5	-60.1916429	1.64
42	-56.0	1.5	-61.5028143	1.64
43	-56.0	1.5	-59.6548429	1.64
44	-59.0	1.5	-58.9037429	1.64
45	-57.0	1.5	-60.4731	1.64
46	-57.0	1.5	-60.1622	1.64
47	-59.0	1.5	-59.1165429	1.64
48	-60.0	1.5	-58.1274714	1.64
49	-57.0	1.5	-66.6951143	1.64
50	-57.0	1.5	-65.6949286	1.64
51	-57.0	1.5	-67.2668429	1.64
52	-58.0	1.5	-62.5214286	1.64
53	-59.0	1.5	-59.6396286	1.64
54	-57.0	1.5	-57.3932429	1.64

55	-57.0	1.5	-56.6436286	1.64
56	-59.0	1.5	-55.3685857	1.64
57	-59.0	1.5	-60.1622571	1.64
58	-58.0	1.5	-58.6657143	1.64
59	-58.0	1.5	-61.1700571	1.64
60	-58.0	1.5	-58.4382857	1.64
61	-65.0	1.5	-59.9548714	1.64
62	-70.0	1.5	-58.3633571	1.64
63	-76.0	1.5	-58.5482714	1.64
64	-75.0	1.5	-59.4055286	1.64
65	-75.0	1.5	-56.9587571	1.64
66	-75.0	1.5	-61.6350571	1.64
67	-78.0	1.5	-58.2788143	1.64
68	-78.0	1.5	-55.8806	1.64
69	-77.0	1.5	-58.0927571	1.64
70	-77.0	1.5	-56.2416	1.64
71	-77.0	1.5	-54.0346	1.64
72	-79.0	1.5	-54.7164714	1.64
73	-79.0	1.5	-56.1735286	1.64
74	-84.0	1.5	-56.0178143	1.64
75	-87.0	1.5	-57.9371	1.64
76	-87.0	1.5	-55.3467429	1.64
77	-71.0	1.5	-55.9739	1.64
78	-71.0	1.5	-56.6449	1.64
79	-73.0	1.5	-56.6019714	1.64
80	-73.0	1.5	-57.4390429	1.64
81	-75.0	1.5	-62.8860857	1.64
82	-78.0	1.5	-63.1075286	1.64
83	-80.0	1.5	-64.7766429	1.64
84	-83.0	1.5	-56.5940571	1.64

85	-83.0	1.5	-57.5020571	1.64
86	-66.0	1.5	-55.8032143	1.64
87	-66.0	1.5	-57.6407	1.64
88	-56.0	1.5	-52.2872714	1.64
89	-56.0	1.5	-53.8870429	1.64
90	-56.0	1.5	-55.6529143	1.64
91	-56.0	1.5	-56.1478143	1.64
92	-58.0	1.5	-56.7487571	1.64
93	-56.0	1.5	-57.7699429	1.64
94	-56.0	1.5	-56.8980714	1.64
95	-56.0	1.5	-61.0754714	1.64
96	-56.0	1.5	-58.4251286	1.64
97	-59.0	1.5	-58.0679714	1.64
98	-61.0	1.5	-64.8960571	1.64
99	-67.0	1.5	-57.7247429	1.64
100	-67.0	1.5	-58.1309429	1.64
101	-70.0	1.5	-62.5454286	1.64
102	-71.0	1.5	-64.5934714	1.64
103	-71.0	1.5	-68.1760286	1.64
104	-78.0	1.5	-71.3679857	1.64
105	-80.0	1.5	-67.0785	1.64
106	-70.0	1.5	-67.5683857	1.64
107	-70.0	1.5	-70.2928714	1.64
108	-60.0	1.5	-72.0097857	1.64
109	-60.0	1.5	-63.1079571	1.64
110	-72.0	1.5	-65.1693143	1.64
111	-57.0	1.5	-62.0689143	1.64
112	-57.0	1.5	-58.9445571	1.64
113	-51.0	1.5	-59.1273143	1.64
114	-51.0	1.5	-63.1725429	1.64

115	-51.0	1.5	-59.1779143	1.64
116	-53.0	1.5	-57.8045571	1.64
117	-53.0	1.5	-60.4508429	1.64
118	-55.0	1.5	-59.2954714	1.64
119	-57.0	1.5	-58.5051857	1.64
120	-57.0	1.5	-58.0925857	1.64
121	-61.0	1.5	-61.1124429	1.64
122	-63.0	1.5	-57.0021857	1.64
123	-63.0	1.5	-61.1725143	1.64
124	-68.0	1.5	-65.6448857	1.64
125	-70.0	1.5	-62.3983857	1.64
126	-74.0	1.5	-63.9559286	1.64

Tabla 13. Potencia de recepción estimada y medidas en los puntos de referencia, para el piso 5 en la banda 850 MHz.

Columna1	Columna2	Columna3	Columna4	Columna5
	Potencia de			
Numero de	Recepción Media	Distancia	Promedio de la Potencia de	
Receptores	(dBm)	(m)	Recepción Simulada (dBm)	Distancia(m)
1	-71.0	1.5	-62.4955429	1.64
2	-64.0	1.5	-62.4162143	1.64
3	-64.0	1.5	-61.6966	1.64
4	-59.0	1.5	-64.7873571	1.64
5	-59.0	1.5	-62.9590429	1.64
6	-59.0	1.5	-63.1966286	1.64
7	-59.0	1.5	-64.5484429	1.64
8	-71.0	1.5	-65.7765857	1.64
9	-62.0	1.5	-65.0821143	1.64
10	-62.0	1.5	-60.3980143	1.64
11	-59.0	1.5	-62.9480571	1.64
12	-55.0	1.5	-61.5137286	1.64
13	-55.0	1.5	-62.4799571	1.64
14	-55.0	1.5	-66.753	1.64
15	-55.0	1.5	-62.5063	1.64
16	-57.0	1.5	-62.8883143	1.64
17	-57.0	1.5	-62.4773286	1.64
18	-61.0	1.5	-62.5011714	1.64
19	-64.0	1.5	-55.9252	1.64
20	-64.0	1.5	-61.8026429	1.64
21	-69.0	1.5	-56.3972286	1.64
22	-72.0	1.5	-60.7663286	1.64
23	-72.0	1.5	-56.2837571	1.64
24	-58.0	1.5	-59.7196429	1.64

25	-58.0	1.5	-58.5817714	1.64
26	-51.0	1.5	-58.1532143	1.64
27	-51.0	1.5	-60.9825857	1.64
28	-51.0	1.5	-58.9111714	1.64
29	-53.0	1.5	-66.2069714	1.64
30	-58.0	1.5	-64.6026714	1.64
31	-58.0	1.5	-67.3260286	1.64
32	-61.0	1.5	-62.6192714	1.64
33	-61.0	1.5	-60.0996857	1.64
34	-66.0	1.5	-56.4197	1.64
35	-68.0	1.5	-59.4666571	1.64
36	-68.0	1.5	-66.4404143	1.64
37	-69.0	1.5	-64.5116857	1.64
38	-71.0	1.5	-58.2877857	1.64
39	-60.0	1.5	-64.2884	1.64
40	-60.0	1.5	-62.3789571	1.64
41	-60.0	1.5	-63.5022	1.64
42	-51.0	1.5	-67.8342857	1.64
43	-51.0	1.5	-61.2178	1.64
44	-51.0	1.5	-58.9478857	1.64
45	-51.0	1.5	-58.3395714	1.64
46	-51.0	1.5	-58.5162429	1.64
47	-51.0	1.5	-61.6173429	1.64
48	-51.0	1.5	-59.7327143	1.64
49	-51.0	1.5	-60.8451857	1.64
50	-51.0	1.5	-58.8496429	1.64
51	-51.0	1.5	-63.9988143	1.64
52	-51.0	1.5	-62.6359429	1.64
53	-51.0	1.5	-62.0262286	1.64
54	-51.0	1.5	-60.6366	1.64

55	-51.0	1.5	-58.1466714	1.64
56	-51.0	1.5	-57.2743714	1.64
57	-51.0	1.5	-62.4875571	1.64
58	-51.0	1.5	-59.7756143	1.64
59	-52.0	1.5	-60.6095571	1.64
60	-55.0	1.5	-59.6375714	1.64
61	-57.0	1.5	-60.6214714	1.64
62	-53.0	1.5	-59.5493286	1.64
63	-57.0	1.5	-62.3020571	1.64
64	-60.0	1.5	-61.6122	1.64
65	-61.0	1.5	-62.5281714	1.64
66	-61.0	1.5	-61.3120286	1.64
67	-59.0	1.5	-63.4186857	1.64
68	-59.0	1.5	-59.3948143	1.64
69	-61.0	1.5	-59.8761286	1.64
70	-64.0	1.5	-61.8163714	1.64
71	-66.0	1.5	-60.1935714	1.64
72	-67.0	1.5	-58.0159286	1.64
73	-68.0	1.5	-56.4399429	1.64
74	-68.0	1.5	-59.2562	1.64
75	-71.0	1.5	-60.1797429	1.64
76	-71.0	1.5	-58.0848286	1.64
77	-73.0	1.5	-57.4236571	1.64
78	-68.0	1.5	-55.2615857	1.64
79	-70.0	1.5	-56.5703143	1.64
80	-71.0	1.5	-60.0282143	1.64
81	-66.0	1.5	-56.5154286	1.64
82	-66.0	1.5	-62.4049286	1.64
83	-66.0	1.5	-62.9860571	1.64
84	-68.0	1.5	-59.8985	1.64

85	-62.0	1.5	-56.9049	1.64
86	-62.0	1.5	-57.8512857	1.64
87	-57.0	1.5	-56.3801857	1.64
88	-57.0	1.5	-56.0846571	1.64
89	-57.0	1.5	-52.7996857	1.64
90	-57.0	1.5	-51.5568	1.64
91	-59.0	1.5	-53.1760429	1.64
92	-51.0	1.5	-61.4873143	1.64
93	-51.0	1.5	-61.0920714	1.64
94	-51.0	1.5	-56.8662	1.64
95	-51.0	1.5	-54.8879429	1.64
96	-51.0	1.5	-54.2579	1.64
97	-51.0	1.5	-50.0642143	1.64
98	-51.0	1.5	-50.9432714	1.64
99	-51.0	1.5	-49.9454286	1.64
100	-54.0	1.5	-51.5451143	1.64
101	-91.0	1.5	-48.7542143	1.64
102	-62.0	1.5	-51.4458714	1.64
103	-64.0	1.5	-51.4139714	1.64
104	-67.0	1.5	-51.6474286	1.64
105	-68.0	1.5	-53.8743571	1.64
106	-65.0	1.5	-53.6548143	1.64
107	-65.0	1.5	-53.2092571	1.64
108	-65.0	1.5	-49.8857857	1.64
109	-66.0	1.5	-49.4788286	1.64
110	-57.0	1.5	-50.3723571	1.64
111	-57.0	1.5	-52.2070286	1.64
112	-51.0	1.5	-47.2623143	1.64
113	-51.0	1.5	-58.8736714	1.64
114	-51.0	1.5	-52.8296714	1.64

115	-51.0	1.5	-55.6833	1.64
116	-51.0	1.5	-51.9952	1.64
117	-51.0	1.5	-56.2668714	1.64
118	-51.0	1.5	-62.7303857	1.64
119	-51.0	1.5	-61.7859143	1.64
120	-52.0	1.5	-57.9489571	1.64
121	-55.0	1.5	-58.8599571	1.64
122	-55.0	1.5	-55.8133286	1.64
123	-58.0	1.5	-54.3193	1.64
124	-60.0	1.5	-52.689	1.64
125	-64.0	1.5	-55.4121714	1.64
126	-64.0	1.5	-59.9404857	1.64
127	-66.0	1.5	-59.6776429	1.64
128	-69.0	1.5	-61.3490286	1.64

Anexo 2. Datos Obtenidos de la Potencia de Recepción Estimada y Mediciones en los Puntos de Referencia en la Banda 2100 MHz.

Tabla 14. Potencia de recepción estimada y medidas en los puntos de referencia, para el piso 1 en la banda 2100 MHz.

Columna1	Columna2	Columna3	Columna4	Columna5
Número de Puntos Receptores	Potencia de Recepción Medida (dBm)	Distancia(m)	Promedio de la Potencia de Recepción Simulada (dBm)	Distancia(m)
1	-81.0	1.5	-89.2465143	1.64
2	-75.0	1.5	-86.5741429	1.64
3	-68.0	1.5	-98.7281143	1.64
4	-64.0	1.5	-100.868886	1.64
5	-66.0	1.5	-94.3259714	1.64
6	-67.0	1.5	-93.6253286	1.64
7	-79.0	1.5	-94.4000429	1.64
8	-78.0	1.5	-84.7082286	1.64
9	-82.0	1.5	-85.8896143	1.64
10	-82.0	1.5	-82.1711571	1.64
11	-87.0	1.5	-86.3779571	1.64
12	-90.0	1.5	-80.1526857	1.64
13	-88.0	1.5	-77.0049	1.64
14	-90.0	1.5	-83.1623714	1.64
15	-91.0	1.5	-86.1200143	1.64
16	-94.0	1.5	-96.1619857	1.64
17	-95.0	1.5	-85.4033714	1.64
18	-97.0	1.5	-91.6071143	1.64
19	-96.0	1.5	-87.2806429	1.64
20	-98.0	1.5	-85.2964571	1.64
21	-93.0	1.5	-86.5117571	1.64

22	-96.0	1.5	-97.7050571	1.64
23	-99.0	1.5	-99.8302	1.64
24	-98.0	1.5	-98.0366571	1.64
25	-96.0	1.5	-95.0929143	1.64
26	-93.0	1.5	-99.3946143	1.64
27	-94.0	1.5	-100.6654	1.64
28	-94.0	1.5	-109.859743	1.64
29	-93.0	1.5	-114.6043	1.64
30	-96.0	1.5	-112.403314	1.64
31	-94.0	1.5	-106.819786	1.64
32	-92.0	1.5	-101.468529	1.64
33	-89.0	1.5	-99.2594286	1.64
34	-90.0	1.5	-93.6166143	1.64
35	-90.0	1.5	-90.3636143	1.64
36	-89.0	1.5	-89.6475857	1.64
37	-88.0	1.5	-88.1286	1.64
38	-89.0	1.5	-89.4457429	1.64
39	-88.0	1.5	-88.9919	1.64
40	-87.0	1.5	-89.5948	1.64
41	-88.0	1.5	-91.4252429	1.64
42	-87.0	1.5	-93.8534286	1.64
43	-82.0	1.5	-96.6795	1.64
44	-90.0	1.5	-94.5044143	1.64
45	-83.0	1.5	-89.9627571	1.64
46	-82.0	1.5	-81.3652714	1.64
47	-79.0	1.5	-87.1504857	1.64
48	-75.0	1.5	-89.2275143	1.64
49	-83.0	1.5	-93.0850571	1.64
50	-87.0	1.5	-89.9598714	1.64
51	-85.0	1.5	-88.4346429	1.64

52	-89.0	1.5	-81.7619429	1.64
53	-87.0	1.5	-83.7783286	1.64
54	-83.0	1.5	-83.1559429	1.64
55	-90.0	1.5	-85.5936429	1.64
56	-88.0	1.5	-91.3939857	1.64
57	-86.0	1.5	-95.3481857	1.64
58	-85.0	1.5	-94.7050429	1.64
59	-83.0	1.5	-90.6968857	1.64
60	-82.0	1.5	-95.9324429	1.64
61	-80.0	1.5	-97.6863	1.64
62	-76.0	1.5	-92.7914429	1.64
63	-77.0	1.5	-92.3604	1.64
64	-84.0	1.5	-94.1703429	1.64
65	-87.0	1.5	-93.9418714	1.64
66	-89.0	1.5	-93.7610571	1.64
67	-91.0	1.5	-94.4699	1.64
68	-87.0	1.5	-101.2359	1.64
69	-85.0	1.5	-90.9994571	1.64
70	-88.0	1.5	-99.9763571	1.64
71	-96.0	1.5	-96.6904429	1.64
72	-95.0	1.5	-89.4804	1.64
73	-96.0	1.5	-89.6947143	1.64
74	-99.0	1.5	-89.3307	1.64
75	-94.0	1.5	-92.9280429	1.64
76	-89.0	1.5	-91.0037143	1.64
77	-90.0	1.5	-93.5056	1.64
78	-82.0	1.5	-92.9732571	1.64
79	-88.0	1.5	-93.7791429	1.64
80	-92.0	1.5	-89.0425571	1.64
81	-84.0	1.5	-92.4645143	1.64

82	-90.0	1.5	-101.288443	1.64
83	-93.0	1.5	-95.5931	1.64
84	-90.0	1.5	-99.9590143	1.64
85	-92.0	1.5	-94.9335571	1.64
86	-89.0	1.5	-89.3053857	1.64
87	-87.0	1.5	-94.2955714	1.64
88	-91.0	1.5	-92.6771	1.64
89	-88.0	1.5	-87.0756286	1.64
90	-86.0	1.5	-92.0378857	1.64
91	-87.0	1.5	-91.2890857	1.64
92	-84.0	1.5	-95.8587143	1.64
93	-81.0	1.5	-86.5673714	1.64
94	-80.0	1.5	-84.6521667	1.64
95	-76.0	1.5	-93.7037286	1.64
96	-74.0	1.5	-89.7875571	1.64
97	-68.0	1.5	-93.9737286	1.64
98	-64.0	1.5	-92.7381	1.64
99	-62.0	1.5	-96.5424143	1.64
100	-79.0	1.5	-97.8579429	1.64
101	-82.0	1.5	-97.1953286	1.64
102	-83.0	1.5	-96.6690429	1.64
103	-78.0	1.5	-109.159943	1.64
104	-66.0	1.5	-108.157086	1.64
105	-69.0	1.5	-114.181786	1.64
106	-78.0	1.5	-116.163643	1.64
107	-81.0	1.5	-111.241486	1.64
108	-79.0	1.5	-102.737243	1.64
109	-83.0	1.5	-102.4144	1.64
110	-80.0	1.5	-100.251671	1.64
111	-82.0	1.5	-94.8732714	1.64

112	-78.0	1.5	-100.913514	1.64
113	-84.0	1.5	-91.2029429	1.64
114	-85.0	1.5	-89.8048571	1.64
115	-86.0	1.5	-85.1188	1.64
116	-79.0	1.5	-82.5569143	1.64
117	-76.0	1.5	-88.7417571	1.64
118	-75.0	1.5	-86.7041286	1.64
119	-73.0	1.5	-82.1579857	1.64
120	-72.0	1.5	-86.5905286	1.64
121	-69.0	1.5	-82.8466571	1.64
122	-71.0	1.5	-83.5966	1.64
123	-84.0	1.5	-79.2095286	1.64
124	-84.0	1.5	-86.4373571	1.64

Tabla 15. Potencia de recepción estimada y medidas en los puntos de referencia, para el piso 2 en la banda 2100 MHz.

Columna1	Columna2	Columna3	Columna4	Columna5
Número de Puntos Receptores	Potencia de Recepción Medida (dBm)	Distancia(m)	Promedio de la Potencia de Recepción Simulada (dBm)	Distancia(m)
1	-72.0	1.5	-86.0663714	1.64
2	-81.0	1.5	-88.1147286	1.64
3	-76.0	1.5	-86.4604571	1.64
4	-64.0	1.5	-85.7454571	1.64
5	-69.0	1.5	-81.0532286	1.64
6	-75.0	1.5	-84.6798571	1.64
7	-85.0	1.5	-84.5910286	1.64
8	-84.0	1.5	-85.1083714	1.64
9	-85.0	1.5	-77.5958286	1.64
10	-89.0	1.5	-73.8124143	1.64
11	-91.0	1.5	-75.4664571	1.64
12	-91.0	1.5	-74.5037	1.64
13	-92.0	1.5	-73.4648429	1.64
14	-93.0	1.5	-72.3364714	1.64
15	-95.0	1.5	-75.6525429	1.64
16	-96.0	1.5	-74.0716857	1.64
17	-98.0	1.5	-70.7380143	1.64
18	-99.0	1.5	-71.7963429	1.64
19	-100.0	1.5	-71.7964857	1.64
20	-95.0	1.5	-75.7034857	1.64
21	-93.0	1.5	-77.2653857	1.64
22	-94.0	1.5	-85.0705429	1.64
23	-98.0	1.5	-83.5238	1.64
24	-96.0	1.5	-89.5698571	1.64

25	-97.0	1.5	-85.3388857	1.64
26	-95.0	1.5	-90.7152	1.64
27	-94.0	1.5	-91.5053857	1.64
28	-92.0	1.5	-94.5843	1.64
29	-94.0	1.5	-94.5543429	1.64
30	-89.0	1.5	-96.6319143	1.64
31	-84.0	1.5	-94.0922571	1.64
32	-88.0	1.5	-91.0911714	1.64
33	-84.0	1.5	-91.3113286	1.64
34	-84.0	1.5	-84.0159143	1.64
35	-82.0	1.5	-76.2025286	1.64
36	-86.0	1.5	-77.2330714	1.64
37	-88.0	1.5	-73.3306	1.64
38	-86.0	1.5	-81.0398143	1.64
39	-85.0	1.5	-77.0379571	1.64
40	-87.0	1.5	-84.1524857	1.64
41	-85.0	1.5	-74.2908286	1.64
42	-82.0	1.5	-79.7333571	1.64
43	-86.0	1.5	-82.4748714	1.64
44	-88.0	1.5	-76.2092143	1.64
45	-89.0	1.5	-76.4126429	1.64
46	-86.0	1.5	-82.7012429	1.64
47	-86.0	1.5	-75.0617714	1.64
48	-84.0	1.5	-75.3167571	1.64
49	-81.0	1.5	-76.4039571	1.64
50	-81.0	1.5	-81.9912571	1.64
51	-86.0	1.5	-79.9529	1.64
52	-88.0	1.5	-77.9146857	1.64
53	-89.0	1.5	-75.5371429	1.64
54	-91.0	1.5	-77.7036	1.64

55	-86.0	1.5	-75.6181	1.64
56	-85.0	1.5	-77.8448286	1.64
57	-86.0	1.5	-83.1137	1.64
58	-90.0	1.5	-80.6827286	1.64
59	-94.0	1.5	-83.4056429	1.64
60	-91.0	1.5	-81.2380286	1.64
61	-96.0	1.5	-77.9540571	1.64
62	-97.0	1.5	-81.4407429	1.64
63	-93.0	1.5	-76.7605714	1.64
64	-95.0	1.5	-79.7221429	1.64
65	-89.0	1.5	-76.9739714	1.64
66	-90.0	1.5	-81.2655714	1.64
67	-87.0	1.5	-82.0844429	1.64
68	-81.0	1.5	-77.8959	1.64
69	-89.0	1.5	-81.3192429	1.64
70	-93.0	1.5	-84.9811	1.64
71	-96.0	1.5	-85.0876571	1.64
72	-93.0	1.5	-86.3505429	1.64
73	-91.0	1.5	-83.1946143	1.64
74	-91.0	1.5	-84.8812714	1.64
75	-89.0	1.5	-86.2245857	1.64
76	-88.0	1.5	-93.0558143	1.64
77	-87.0	1.5	-86.8516	1.64
78	-85.0	1.5	-83.2170714	1.64
79	-83.0	1.5	-80.5210571	1.64
80	-79.0	1.5	-78.8915857	1.64
81	-78.0	1.5	-85.5529	1.64
82	-79.0	1.5	-88.8988571	1.64
83	-79.0	1.5	-83.8889143	1.64
84	-75.0	1.5	-81.0260286	1.64

85	-72.0	1.5	-80.1814	1.64
86	-67.0	1.5	-80.925	1.64
87	-73.0	1.5	-81.8361857	1.64
88	-80.0	1.5	-83.8297143	1.64
89	-71.0	1.5	-74.3078143	1.64
90	-80.0	1.5	-71.8803429	1.64
91	-80.0	1.5	-82.2256571	1.64
92	-81.0	1.5	-80.9992143	1.64
93	-78.0	1.5	-79.3190143	1.64
94	-72.0	1.5	-82.3118143	1.64
95	-75.0	1.5	-77.4209286	1.64
96	-78.0	1.5	-86.4361714	1.64
97	-79.0	1.5	-83.9252714	1.64
98	-78.0	1.5	-81.1113286	1.64
99	-85.0	1.5	-83.0694	1.64
100	-79.0	1.5	-82.3907714	1.64
101	-76.0	1.5	-80.6156	1.64
102	-79.0	1.5	-84.1138857	1.64
103	-84.0	1.5	-92.8855	1.64
104	-82.0	1.5	-100.131914	1.64
105	-83.0	1.5	-99.5887571	1.64
106	-80.0	1.5	-96.7899286	1.64
107	-81.0	1.5	-88.4714429	1.64
108	-78.0	1.5	-87.8738857	1.64
109	-73.0	1.5	-81.9132571	1.64
110	-71.0	1.5	-80.5037714	1.64
111	-85.0	1.5	-88.0562857	1.64
112	-81.0	1.5	-77.3407857	1.64
113	-78.0	1.5	-76.5340286	1.64

Tabla 16. Potencia de recepción estimada y medidas en los puntos de referencia, para el piso 3 en la banda 2100 MHz.

Columna1	Columna2	Columna3	Columna4	Columna5
Número de Puntos Receptores	Potencia de Recepción Medida (dBm)	Distancia(m)	Promedio de la Potencia de Recepción Simulada (dBm)	Distancia(m)
1	-67.0	1.5	-67.7503714	1.64
2	-76.0	1.5	-70.7401	1.64
3	-75.0	1.5	-74.7752	1.64
4	-72.0	1.5	-77.9979714	1.64
5	-64.0	1.5	-72.6986571	1.64
6	-71.0	1.5	-68.8788429	1.64
7	-75.0	1.5	-79.0848714	1.64
8	-81.0	1.5	-66.1237429	1.64
9	-87.0	1.5	-62.6799571	1.64
10	-84.0	1.5	-62.9505429	1.64
11	-86.0	1.5	-66.1748857	1.64
12	-91.0	1.5	-65.5091143	1.64
13	-92.0	1.5	-63.5052143	1.64
14	-94.0	1.5	-68.6690714	1.64
15	-98.0	1.5	-64.4343	1.64
16	-100.0	1.5	-66.0772286	1.64
17	-96.0	1.5	-64.0355143	1.64
18	-97.0	1.5	-65.4644857	1.64
19	-87.0	1.5	-63.9975429	1.64
20	-93.0	1.5	-64.6544571	1.64
21	-93.0	1.5	-62.4225	1.64
22	-97.0	1.5	-63.9890571	1.64
23	-92.0	1.5	-65.2781571	1.64
24	-91.0	1.5	-66.6950857	1.64

25	-93.0	1.5	-67.1237143	1.64
26	-87.0	1.5	-72.5922714	1.64
27	-88.0	1.5	-74.4373429	1.64
28	-86.0	1.5	-76.0358571	1.64
29	-87.0	1.5	-83.0031571	1.64
30	-83.0	1.5	-78.8580714	1.64
31	-85.0	1.5	-78.7262571	1.64
32	-85.0	1.5	-71.6557143	1.64
33	-87.0	1.5	-69.4216143	1.64
34	-87.0	1.5	-65.6606571	1.64
35	-79.0	1.5	-61.1015143	1.64
36	-82.0	1.5	-69.4164	1.64
37	-82.0	1.5	-63.8013857	1.64
38	-85.0	1.5	-69.9388143	1.64
39	-86.0	1.5	-67.4237571	1.64
40	-87.0	1.5	-66.8068143	1.64
41	-83.0	1.5	-68.1587857	1.64
42	-80.0	1.5	-69.2915286	1.64
43	-82.0	1.5	-64.3174	1.64
44	-87.0	1.5	-70.1984286	1.64
45	-88.0	1.5	-64.7611714	1.64
46	-85.0	1.5	-64.5196	1.64
47	-83.0	1.5	-63.8730571	1.64
48	-82.0	1.5	-67.5746571	1.64
49	-82.0	1.5	-70.5221143	1.64
50	-84.0	1.5	-71.9703714	1.64
51	-85.0	1.5	-73.4443571	1.64
52	-86.0	1.5	-67.6050286	1.64
53	-90.0	1.5	-64.3137571	1.64
54	-82.0	1.5	-64.7555	1.64

55	-85.0	1.5	-68.1105429	1.64
56	-88.0	1.5	-69.0093714	1.64
57	-91.0	1.5	-71.8149	1.64
58	-91.0	1.5	-70.7291714	1.64
59	-93.0	1.5	-70.6531857	1.64
60	-95.0	1.5	-73.8084571	1.64
61	-93.0	1.5	-73.1865429	1.64
62	-97.0	1.5	-66.4400714	1.64
63	-88.0	1.5	-67.5390571	1.64
64	-90.0	1.5	-69.8016571	1.64
65	-86.0	1.5	-72.6072143	1.64
66	-89.0	1.5	-70.4917857	1.64
67	-88.0	1.5	-73.6015429	1.64
68	-91.0	1.5	-76.6084571	1.64
69	-86.0	1.5	-73.8954143	1.64
70	-88.0	1.5	-75.8211286	1.64
71	-93.0	1.5	-72.4647857	1.64
72	-89.0	1.5	-76.5435857	1.64
73	-88.0	1.5	-74.4213286	1.64
74	-85.0	1.5	-69.6125714	1.64
75	-83.0	1.5	-71.3442143	1.64
76	-81.0	1.5	-77.4193286	1.64
77	-79.0	1.5	-73.2533857	1.64
78	-77.0	1.5	-78.0388143	1.64
79	-74.0	1.5	-70.7787857	1.64
80	-73.0	1.5	-70.9821143	1.64
81	-71.0	1.5	-74.3380714	1.64
82	-65.0	1.5	-82.5390714	1.64
83	-78.0	1.5	-74.3993429	1.64
84	-80.0	1.5	-70.495	1.64

85	-79.0	1.5	-69.3817857	1.64
86	-70.0	1.5	-65.0862429	1.64
87	-76.0	1.5	-70.3814	1.64
88	-79.0	1.5	-69.9741571	1.64
89	-77.0	1.5	-67.4585857	1.64
90	-72.0	1.5	-68.2140143	1.64
91	-77.0	1.5	-75.2008	1.64
92	-78.0	1.5	-74.6252	1.64
93	-77.0	1.5	-71.0027571	1.64
94	-79.0	1.5	-71.3907	1.64
95	-78.0	1.5	-73.1178857	1.64
96	-78.0	1.5	-77.4259714	1.64
97	-79.0	1.5	-71.4166143	1.64
98	-78.0	1.5	-72.3460286	1.64
99	-81.0	1.5	-73.4904286	1.64
100	-84.0	1.5	-72.0861286	1.64
101	-81.0	1.5	-76.1854286	1.64
102	-80.0	1.5	-76.9007571	1.64
103	-75.0	1.5	-80.3264714	1.64
104	-72.0	1.5	-82.9306571	1.64
105	-67.0	1.5	-86.4381857	1.64
106	-75.0	1.5	-83.5912571	1.64
107	-81.0	1.5	-76.6166429	1.64
108	-73.0	1.5	-76.2114	1.64
109	-81.0	1.5	-77.8604714	1.64

Tabla 17. Potencia de recepción estimada y medidas en los puntos de referencia, para el piso 4 en la banda 2100 MHz.

Columna1	Columna2	Columna3	Columna4	Columna5
Número de Puntos de Receptores	Potencia de Recepción Medida (dBm)	Distancia(m)	Promedio de la Potencia de Recepción Simulada (dBm)	Distancia(m)
1	-72.0	1.5	-54.7979429	1.64
2	-78.0	1.5	-55.6864714	1.64
3	-77.0	1.5	-65.5092571	1.64
4	-71.0	1.5	-65.3784143	1.64
5	-74.0	1.5	-63.8168571	1.64
6	-77.0	1.5	-58.6374714	1.64
7	-76.0	1.5	-59.6102429	1.64
8	-82.0	1.5	-55.9007857	1.64
9	-84.0	1.5	-56.6675429	1.64
10	-83.0	1.5	-51.0445429	1.64
11	-86.0	1.5	-53.4745857	1.64
12	-89.0	1.5	-52.7337	1.64
13	-92.0	1.5	-52.0297	1.64
14	-91.0	1.5	-57.2978286	1.64
15	-96.0	1.5	-58.6316143	1.64
16	-97.0	1.5	-58.7514286	1.64
17	-92.0	1.5	-61.3769571	1.64
18	-96.0	1.5	-59.2588857	1.64
19	-91.0	1.5	-60.4529429	1.64
20	-87.0	1.5	-58.9259429	1.64
21	-90.0	1.5	-60.8005714	1.64
22	-91.0	1.5	-61.3982143	1.64
23	-88.0	1.5	-62.3231429	1.64

24	-95.0	1.5	-61.0791571	1.64
25	-92.0	1.5	-59.2000143	1.64
26	-87.0	1.5	-71.9366857	1.64
27	-85.0	1.5	-69.4521286	1.64
28	-91.0	1.5	-70.7041	1.64
29	-85.0	1.5	-69.6291571	1.64
30	-86.0	1.5	-76.3460857	1.64
31	-84.0	1.5	-68.9032714	1.64
32	-87.0	1.5	-66.6862714	1.64
33	-85.0	1.5	-63.4041714	1.64
34	-82.0	1.5	-58.5354143	1.64
35	-84.0	1.5	-59.3906	1.64
36	-80.0	1.5	-58.8633571	1.64
37	-79.0	1.5	-60.7379714	1.64
38	-80.0	1.5	-57.2982714	1.64
39	-82.0	1.5	-60.1121286	1.64
40	-81.0	1.5	-57.2217143	1.64
41	-81.0	1.5	-56.2290286	1.64
42	-79.0	1.5	-56.6437857	1.64
43	-77.0	1.5	-54.8851143	1.64
44	-80.0	1.5	-57.4756429	1.64
45	-77.0	1.5	-55.7187571	1.64
46	-79.0	1.5	-53.2227714	1.64
47	-80.0	1.5	-56.1275571	1.64
48	-81.0	1.5	-58.5402857	1.64
49	-83.0	1.5	-57.1965429	1.64
50	-85.0	1.5	-57.1168571	1.64
51	-84.0	1.5	-56.9505	1.64
52	-83.0	1.5	-57.1669286	1.64
53	-81.0	1.5	-58.6574714	1.64

54	-83.0	1.5	-58.2194429	1.64
55	-83.0	1.5	-59.5316	1.64
56	-84.0	1.5	-58.8251	1.64
57	-85.0	1.5	-62.2645429	1.64
58	-86.0	1.5	-57.0254571	1.64
59	-84.0	1.5	-57.9954286	1.64
60	-89.0	1.5	-58.3248143	1.64
61	-90.0	1.5	-58.9745	1.64
62	-92.0	1.5	-55.7435857	1.64
63	-86.0	1.5	-56.2009571	1.64
64	-91.0	1.5	-59.1785286	1.64
65	-94.0	1.5	-56.5928714	1.64
66	-95.0	1.5	-56.2132	1.64
67	-93.0	1.5	-60.2845857	1.64
68	-91.0	1.5	-55.5258571	1.64
69	-89.0	1.5	-60.4145714	1.64
70	-96.0	1.5	-57.2206857	1.64
71	-85.0	1.5	-58.4743286	1.64
72	-86.0	1.5	-62.7692714	1.64
73	-88.0	1.5	-57.3312286	1.64
74	-89.0	1.5	-58.1800143	1.64
75	-88.0	1.5	-60.3281429	1.64
76	-90.0	1.5	-61.0172	1.64
77	-95.0	1.5	-56.4971571	1.64
78	-85.0	1.5	-56.4484143	1.64
79	-87.0	1.5	-55.6359429	1.64
80	-84.0	1.5	-56.3537571	1.64
81	-86.0	1.5	-61.2678429	1.64
82	-88.0	1.5	-60.2406143	1.64
83	-83.0	1.5	-59.7159857	1.64

84	-84.0	1.5	-58.9998143	1.64
85	-81.0	1.5	-54.6806571	1.64
86	-82.0	1.5	-52.4023857	1.64
87	-80.0	1.5	-53.9655571	1.64
88	-77.0	1.5	-58.0794429	1.64
89	-75.0	1.5	-56.7317143	1.64
90	-71.0	1.5	-53.8227571	1.64
91	-69.0	1.5	-57.5238429	1.64
92	-67.0	1.5	-55.5559429	1.64
93	-66.0	1.5	-58.3459286	1.64
94	-81.0	1.5	-62.9225286	1.64
95	-83.0	1.5	-60.9934143	1.64
96	-69.0	1.5	-56.4779286	1.64
97	-83.0	1.5	-61.6692	1.64
98	-77.0	1.5	-63.5378571	1.64
99	-82.0	1.5	-56.2379429	1.64
100	-81.0	1.5	-58.9548429	1.64
101	-73.0	1.5	-57.7710857	1.64
102	-72.0	1.5	-57.2146714	1.64
103	-73.0	1.5	-69.8744571	1.64
104	-77.0	1.5	-75.9476429	1.64
105	-81.0	1.5	-71.2879429	1.64
106	-80.0	1.5	-78.1849	1.64
107	-75.0	1.5	-64.4716429	1.64
108	-78.0	1.5	-65.1011286	1.64
109	-81.0	1.5	-61.4727857	1.64
110	-85.0	1.5	-56.9432286	1.64
111	-84.0	1.5	-63.3617714	1.64
112	-82.0	1.5	-56.2765286	1.64
113	-76.0	1.5	-56.3104143	1.64

114	-80.0	1.5	-53.0525429	1.64
115	-76.0	1.5	-58.6207714	1.64
116	-75.0	1.5	-63.1259286	1.64
117	-73.0	1.5	-58.7294571	1.64
118	-81.0	1.5	-61.3958286	1.64
119	-83.0	1.5	-58.5886429	1.64
120	-75.0	1.5	-61.5159286	1.64
121	-81.0	1.5	-57.9208143	1.64

Tabla 18. Potencia de recepción estimada y medidas en los puntos de referencia, para el piso 5 en la banda 2100 MHz.

Columna1	Columna2	Columna3	Columna4	Columna5
Número de Puntos Receptores	Potencia de Recepción Medida (dBm)	Distancia(m)	Promedio de la Potencia de Recepción Simulada (dBm)	Distancia(m)
1	-71.0	1.5	-48.3007857	1.64
2	-76.0	1.5	-49.6403571	1.64
3	-74.0	1.5	-48.6143714	1.64
4	-70.0	1.5	-52.6418286	1.64
5	-68.0	1.5	-51.5911143	1.64
6	-72.0	1.5	-49.2503857	1.64
7	-70.0	1.5	-49.0200429	1.64
8	-72.0	1.5	-46.0252143	1.64
9	-70.0	1.5	-45.6907429	1.64
10	-71.0	1.5	-43.4925286	1.64
11	-77.0	1.5	-44.3634571	1.64
12	-81.0	1.5	-43.0703714	1.64
13	-79.0	1.5	-44.5170857	1.64
14	-79.0	1.5	-43.2012	1.64
15	-82.0	1.5	-44.2819857	1.64
16	-83.0	1.5	-45.8189143	1.64
17	-86.0	1.5	-45.2035143	1.64
18	-82.0	1.5	-44.2603286	1.64
19	-88.0	1.5	-45.6220714	1.64
20	-90.0	1.5	-45.1134714	1.64
21	-89.0	1.5	-46.8484	1.64
22	-88.0	1.5	-44.6048	1.64
23	-91.0	1.5	-47.2469571	1.64

24	-89.0	1.5	-49.7596	1.64
25	-86.0	1.5	-53.3835857	1.64
26	-86.0	1.5	-55.7204857	1.64
27	-87.0	1.5	-60.3154857	1.64
28	-82.0	1.5	-56.6245	1.64
29	-86.0	1.5	-60.3110714	1.64
30	-83.0	1.5	-61.9862571	1.64
31	-81.0	1.5	-55.7813571	1.64
32	-84.0	1.5	-56.228	1.64
33	-81.0	1.5	-46.4021286	1.64
34	-84.0	1.5	-50.5682286	1.64
35	-84.0	1.5	-43.836	1.64
36	-81.0	1.5	-45.3994	1.64
37	-84.0	1.5	-44.4019429	1.64
38	-77.0	1.5	-46.7718333	1.64
39	-84.0	1.5	-44.7868143	1.64
40	-82.0	1.5	-47.3799	1.64
41	-83.0	1.5	-49.0018571	1.64
42	-84.0	1.5	-47.1987714	1.64
43	-80.0	1.5	-44.7484143	1.64
44	-75.0	1.5	-45.6215714	1.64
45	-77.0	1.5	-44.4023857	1.64
46	-78.0	1.5	-44.5274429	1.64
47	-77.0	1.5	-47.3994143	1.64
48	-76.0	1.5	-41.3809429	1.64
49	-74.0	1.5	-43.7333714	1.64
50	-72.0	1.5	-48.7379429	1.64
51	-72.0	1.5	-52.2716	1.64
52	-73.0	1.5	-49.4314143	1.64
53	-74.0	1.5	-47.0708143	1.64

54	-76.0	1.5	-46.9637857	1.64
55	-77.0	1.5	-45.1482857	1.64
56	-81.0	1.5	-47.1594857	1.64
57	-77.0	1.5	-46.8892857	1.64
58	-76.0	1.5	-43.6869857	1.64
59	-80.0	1.5	-48.0937429	1.64
60	-76.0	1.5	-49.2923857	1.64
61	-80.0	1.5	-48.6604143	1.64
62	-81.0	1.5	-43.3165857	1.64
63	-80.0	1.5	-43.2501429	1.64
64	-78.0	1.5	-45.1760857	1.64
65	-77.0	1.5	-45.5357857	1.64
66	-79.0	1.5	-48.5017714	1.64
67	-84.0	1.5	-44.9186429	1.64
68	-82.0	1.5	-43.5228286	1.64
69	-83.0	1.5	-48.3222429	1.64
70	-81.0	1.5	-47.3634571	1.64
71	-85.0	1.5	-51.5684	1.64
72	-87.0	1.5	-47.9351714	1.64
73	-86.0	1.5	-48.5444286	1.64
74	-89.0	1.5	-47.9197429	1.64
75	-88.0	1.5	-47.4233857	1.64
76	-87.0	1.5	-45.6901	1.64
77	-85.0	1.5	-45.4545429	1.64
78	-76.0	1.5	-43.8799286	1.64
79	-77.0	1.5	-47.2622	1.64
80	-78.0	1.5	-42.9183857	1.64
81	-74.0	1.5	-47.9140571	1.64
82	-79.0	1.5	-52.1875857	1.64
83	-82.0	1.5	-49.9697714	1.64

84	-85.0	1.5	-46.5023	1.64
85	-79.0	1.5	-48.8356571	1.64
86	-81.0	1.5	-42.8208571	1.64
87	-79.0	1.5	-42.8294714	1.64
88	-84.0	1.5	-46.3742286	1.64
89	-81.0	1.5	-41.6693143	1.64
90	-82.0	1.5	-45.6491571	1.64
91	-80.0	1.5	-44.1389571	1.64
92	-76.0	1.5	-50.9646571	1.64
93	-79.0	1.5	-47.7683143	1.64
94	-74.0	1.5	-49.8055143	1.64
95	-72.0	1.5	-52.6094	1.64
96	-70.0	1.5	-56.2108	1.64
97	-68.0	1.5	-50.1960143	1.64
98	-65.0	1.5	-47.4807714	1.64
99	-66.0	1.5	-48.0050286	1.64
100	-76.0	1.5	-51.4634	1.64
101	-79.0	1.5	-49.7350286	1.64
102	-74.0	1.5	-52.293	1.64
103	-71.0	1.5	-59.9310714	1.64
104	-73.0	1.5	-61.2790429	1.64
105	-76.0	1.5	-59.2373571	1.64
106	-73.0	1.5	-62.5731429	1.64
107	-76.0	1.5	-60.3338429	1.64
108	-71.0	1.5	-61.2860429	1.64
109	-74.0	1.5	-51.7220571	1.64
110	-75.0	1.5	-48.1021143	1.64
111	-77.0	1.5	-55.3225571	1.64
112	-76.0	1.5	-48.7551714	1.64
113	-75.0	1.5	-48.7881143	1.64

114	-73.0	1.5	-54.1990571	1.64
115	-74.0	1.5	-51.2505286	1.64
116	-78.0	1.5	-48.6683	1.64
117	-80.0	1.5	-49.0089143	1.64
118	-76.0	1.5	-48.9712714	1.64
119	-74.0	1.5	-48.2568286	1.64
120	-76.0	1.5	-49.0629143	1.64
121	-73.0	1.5	-48.8599429	1.64
122	-68.0	1.5	-53.0114571	1.64
123	-71.0	1.5	-52.5883143	1.64
124	-78.0	1.5	-49.9101857	1.64
125	-77.0	1.5	-49.0755571	1.64