



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES
Y REDES**

**“DETERMINACIÓN DE UN MODELO DE PROPAGACIÓN
EMPÍRICO PARA ENTORNOS INDOOR EN LA BANDA DE
FRECUENCIAS DE 10 A 20 GHZ”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y
REDES**

AUTORES:

**CRISTHIAN DAVID RIVERA GAIBOR
JENNY ESTHER ZAMBRANO PALACIO**

Riobamba – Ecuador

2021



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES
Y REDES**

**“DETERMINACIÓN DE UN MODELO DE PROPAGACIÓN
EMPÍRICO PARA ENTORNOS INDOOR EN LA BANDA DE
FRECUENCIAS DE 10 A 20 GHZ”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y
REDES**

AUTORES: CRISTHIAN DAVID RIVERA GAIBOR
JENNY ESTHER ZAMBRANO PALACIO

DIRECTOR: Ing. JEFFERSON ALEXANDER RIBADENEIRA RAMIREZ PhD.

Riobamba – Ecuador

2021

© 2021, Cristhian David Rivera Gaibor y Jenny Esther Zambrano Palacio

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, Cristhian David Rivera Gaibor y Jenny Esther Zambrano Palacio, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 26 de febrero de 2021



Cristhian David Rivera Gaibor

C.I: 060468697-2



Jenny Esther Zambrano Palacio

C.I: 230027490-5

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES Y
REDES**

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Proyecto de Investigación: **“DETERMINACIÓN DE UN MODELO DE PROPAGACIÓN EMPÍRICO PARA ENTORNOS INDOOR EN LA BANDA DE FRECUENCIAS DE 10 A 20 GHZ”**, realizado por los señores: **CRISTHIAN DAVID RIVERA GAIBOR Y JENNY ESTHER ZAMBRANO PALACIO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. Mónica Andrea

Zabala Haro MSc.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

MONICA
ANDREA
ZABALA
HARO

Firmado digitalmente por MONICA
ANDREA ZABALA HARO
Fecha: 2021.03.01 16:09:04 -05'00'

26-02-2021

Ing. Jefferson Alexander

Ribadeneira Ramírez PhD.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

JEFFERSON ALEXANDER
RIBADENEIRA RAMIREZ

Firmado digitalmente por JEFFERSON
ALEXANDER RIBADENEIRA RAMIREZ
Nombre de reconocimiento (DN): c=EC,
o=SECURITY DATA S.A., ou=ENTIDAD
DE CERTIFICACION DE INFORMACION,
serialNumber=44020113810,
cn=JEFFERSON ALEXANDER
RIBADENEIRA RAMIREZ
Fecha: 2021.03.01 15:42:33 -05'00'

26-02-2021

Ing. Hugo Oswaldo

Moreno Avilés PhD.

MIEMBRO DE TRIBUNAL



Firmado electrónicamente por:
**HUGO OSWALDO
MORENO AVILES**

26-02-2021

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación se lo dedico a mi mamita Eva que desde el cielo me cuida y protege. A mi madre Marina que siempre ha estado brindándome apoyo incondicional y sin su apoyo no lo habría logrado. A mi padre Freddy que con sus ocurrencias siempre me ha sacado una sonrisa hasta en los momentos más difíciles. A mis sobrinos Stefano, Erick, Ariel que son la inspiración de superarme cada día. A toda mi familia por confiar en mí.

Jenny

A mi madre Lexy por ser el pilar que sostiene mi vida y siempre ser esa mujer que nunca se deja derrotar, apoyándome incondicionalmente con su amor y alegría. A mi abuelita y segunda madre Marlene que me acogió en sus brazos desde el primer día de mi vida y supo guiarme para cumplir mis metas. A mi padre Juan Carlos por apoyarme a lo largo de mi vida estudiantil. A mis hermanos Alexis y Andres que son mi principal fortaleza y mi ejemplo a seguir. A mis Tíos Wilmo y Olivia por ser un apoyo fundamental para mí y mi familia en los momentos más complicados.

Cristhian

AGRADECIMIENTO

A Dios por permitirme cumplir este sueño. A mis padres, hermanos, cuñadas, sobrinos y a toda mi familia por su constante apoyo.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por acogerme dentro de sus aulas, en especial a todos mis maestros que durante estos años compartieron sus conocimientos y experiencias.

A nuestro tutor Ingeniero Jefferson Ribadeneira PhD quien con su amplia experiencia nos ha guiado durante la realización del presente trabajo de titulación.

A mis amigos por todas las malas noches de estudio, por su apoyo moral, por compartir experiencias especialmente a “Majos” por sus buenos consejos y apoyo durante mi etapa universitaria. A mi amigo y compañero de tesis Cristhian por su paciencia y dedicación para culminar con éxito el presente trabajo.

Jenny

Agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a todos y cada uno de los profesores que conforman la escuela de Electrónica en Telecomunicaciones y Redes, en especial al ingeniero Jefferson Ribadeneira PhD por su trabajo y dedicación a la hora de formar profesionales, y por ayudarnos en la elaboración del presente documento.

A mi Madre y Abuelita por su paciencia y por demostrarme que con esfuerzo y dedicación se cumplen los sueños. Agradezco la unión de mi familia que siempre está apoyándose. A los amigos que hice durante esta etapa universitaria, en especial a mi amiga Jenny que gracias a su esfuerzo y dedicación hizo posible la culminación de este trabajo de titulación.

Cristhian

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xi
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xii
RESUMEN.....	xiii
SUMMARY.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I	
1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	5
1.1 Espectro Radioeléctrico.....	5
1.2 Ondas Milimétricas.....	6
1.2.1 <i>Quinta Generación (5G)</i>	7
1.3 Modelos De Propagación.....	7
1.3.1 Modelos empíricos.....	7
1.3.2 Modelos semiempíricos.....	9
1.3.3 Modelos deterministas.....	10
1.4 Entornos <i>Indoor</i>	10
1.5 Pérdidas de propagación en interiores.....	10
1.5.1 <i>Pérdidas por Reflexión</i>	11
1.5.2 <i>Pérdidas por Refracción</i>	11
1.5.3 <i>Perdidas por Difracción</i>	12
1.6 Modelos de Propagación en Entornos <i>Indoor</i>	12
1.6.1 <i>Modelo de Propagación en el Espacio Libre</i>	12
1.6.2 <i>Modelo de Propagación Log-Normal Shadowing Path Loss</i>	13
1.6.3 <i>Modelo de Pérdida de Trayecto basado en COST231</i>	14
1.6.4 <i>Modelo ITU-R</i>	14
1.6.5 <i>Modelo de Atenuación de Trayecto Linear</i>	15
1.6.6 <i>Modelo de propagación de una sola pendiente</i>	15
1.6.7 <i>Modelo de propagación Keenan-Motley</i>	16
1.6.8 <i>Modelo de propagación Trazado de Rayos</i>	17
CAPÍTULO II	
2. MARCO METODOLÓGICO.....	19
2.1 Introducción.....	19

2.2	Metodología de la medición	19
2.2.1	<i>Antenas tipo Corneta</i>	20
2.2.2	<i>Cable Coaxial 50 ohm</i>	20
2.2.3	<i>Generador de Señales Anritsu MG3690C</i>	21
2.2.4	<i>Analizador de Espectros Anritsu MS2724C</i>	22
2.2.5	<i>Analizador de Redes Vectorial E5071C</i>	23
2.2.6	<i>Parámetros de las antenas</i>	24
2.2.6.1	<i>Directividad</i>	24
2.2.6.2	<i>Ganancia</i>	24
2.2.6.3	<i>Parámetros S</i>	25
2.2.7	<i>Caracterización de las antenas</i>	26
2.2.8	<i>Cálculo de pérdidas mediante el Balance de Enlace</i>	26
2.2.9	<i>Cálculo de pérdidas de inserción por penetración en pared</i>	27
2.2.10	<i>Cálculo del error cuadrático medio</i>	29
CAPÍTULO III		
3.	MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	30
3.1	Introducción	30
3.2	Cálculo de ganancia de antenas	30
3.3	Pérdidas de propagación en entornos <i>indoor</i>	34
3.2.1	<i>Pérdidas de propagación en entornos indoor variando la frecuencia</i>	35
3.2.2	<i>Pérdidas de propagación en entornos indoor variando la distancia</i>	36
3.4	Determinación de ecuación para cálculo de pérdidas de inserción por pared	38
3.5	Determinación del modelo de propagación empírico para entornos <i>indoor</i>	38
3.6	Comprobación del modelo de propagación empírico para entornos LOS	41
3.7	Comprobación del modelo de propagación empírico para entornos NLOS	44
CONCLUSIONES		47
RECOMENDACIONES		48
GLOSARIO		
BIBLIOGRAFIA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Algunos valores típicos para el exponente de pérdidas de camino	16
Tabla 2-2: Características de Generador de señales Anritsu MG3690C.....	21
Tabla 3-2: Características de Analizador de Redes Vectorial E5071C.....	23
Tabla 4-2: Cálculo de pérdidas de inserción.....	28
Tabla 5-3: Ganancia de antenas tipo corneta	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1.	Banda de frecuencias del espectro radioeléctrico.....	6
Figura 2-1.	Perdidas por Reflexión y refracción.....	11
Figura 3-1.	Principio del Modelo Keenan-Montley.....	17
Figura 4-1.	Modelo de Propagación Ray Tracing.....	17
Figura 5-1.	Teoría de las imágenes.....	18
Figura 6-2.	Diagrama del trabajo de titulación.....	19
Figura 7-2.	Antena <i>Horn</i>	20
Figura 8-2.	Cable coaxial 50 ohm.....	21
Figura 9-2.	Generador de señales Anritsu MG3690C.....	21
Figura 10-2.	Analizador de espectro Anritsu MS2724C.....	22
Figura 11-2.	Analizador de redes vectoriales Keysight's E5071C.....	23
Figura 12-2.	Ondas incidentes sobre el puerto 1.....	25
Figura 13-2.	Ondas incidentes sobre el puerto 2.....	25
Figura 14-2.	Pérdidas de propagación dentro de cámara anecoica.....	27
Figura 15-2.	Pérdidas de propagación dentro de cámara anecoica con pared.....	28
Figura 16-3.	Ganancia de tensión directa de antena horn.....	31
Figura 17-3.	Ganancia de antena horn.....	32
Figura 18-3.	Mínimo valor de pérdidas.....	34
Figura 19-3.	Escenario de laboratorio para mediciones LOS.....	34
Figura 20-3.	Escenario de laboratorio para mediciones NLOS.....	35
Figura 21-3.	Frecuencia vs Pérdidas LOS.....	36
Figura 22-3.	Distancia vs Pérdidas LOS 10 a 15 GHz.....	37
Figura 23-3.	Distancia vs Pérdidas LOS 16 a 20 GHz.....	37
Figura 24-3.	Primeras aproximaciones de modelo de propagación.....	40
Figura 25-3.	Modelo de propagación empírico de 10 a 15 GHz.....	42
Figura 26-3.	Modelo de propagación empírico de 16 a 20 GHz.....	43
Figura 27-3.	Modelo de propagación empírico 5m.....	44
Figura 28-3.	Modelo de propagación empírico de 10 a 15 GHz.....	45
Figura 29-3.	Modelo de propagación empírico de 16 a 20 GHz.....	46
Figura 30-3.	Modelo de propagación empírico 5m.....	46

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** GANANCIA DE LAS ANTENAS
- ANEXO B:** MEDICIONES DE PÉRDIDAS DE INSERCIÓN POR PENETRACIÓN EN PARED
- ANEXO C:** MEDICIONES REALIZADAS EN CONDICIONES DE LOS Y NLOS
- ANEXO D:** CÁLCULO DE PÉRDIDAS MEDIANTE LA ECUACIÓN DEL BALANCE DE ENLACE
- ANEXO E:** CÁLCULO DE CONSTANTES
- ANEXO F:** PRIMERAS APROXIMACIONES DEL MODELO DE PROPAGACIÓN PARA CONDICIONES DE LOS Y NLOS
- ANEXO G:** CÁLCULO DE PÉRDIDAS MEDIANTE LA ECUACIÓN DEL MODELO DE PROPAGACIÓN

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-1:	Modelo de propagación COST231-HATA.....	8
Ecuación 2-1:	Modelo Egli para alturas mayores a 10 metros.....	8
Ecuación 3-1:	Modelo Egli para alturas menores a 10 metros.....	9
Ecuación 4-1:	Modelo Walfish-Bertoni.....	9
Ecuación 5-1:	Modelo de propagación en el espacio libre	12
Ecuación 6-1:	Campo Lejano.....	13
Ecuación 7-1:	Modelo de propagación Log-Normal Shadowing Path Loss.....	13
Ecuación 8-1:	Modelo de pérdida de trayecto basado en COST231.....	14
Ecuación 9-1:	Modelo ITU-R	15
Ecuación 10-1:	Modelo de atenuación de trayecto lineal	15
Ecuación 11-1:	Modelo de propagación de una sola pendiente	15
Ecuación 12-1:	Modelo de propagación Keenan-Motley	16
Ecuación 13-2:	Directividad	24
Ecuación 14-2:	Ganancia	24
Ecuación 15-2:	Balance de enlace	26
Ecuación 16-2:	Pérdidas básicas de propagación.....	27
Ecuación 17-2:	Error cuadrático medio	29
Ecuación 18-3:	Ganancia de la antena	32
Ecuación 19-3:	Aproximación logarítmica	38
Ecuación 20-3:	Aproximación de pérdidas de inserción.....	38
Ecuación 21-3:	Determinación del Modelo de Propagación de Friis.....	38
Ecuación 22-3:	Modelo de propagación con factor de corrección.....	40
Ecuación 23-3:	Ecuación del modelo de propagación empírico para entornos indoor.....	41

RESUMEN

El objetivo principal de este trabajo de titulación fue la determinación de un modelo de propagación empírico para entornos *indoor* en la banda de frecuencias de 10 a 20 GHz. Para lograr dicha determinación se utilizó dos antenas tipo corneta con una dimensión de apertura de 5cm, un analizador de redes vectorial, un generador de señales y un analizador de espectros, se caracterizó las antenas con el uso del analizador de redes vectorial a una distancia de 0.34m (campo lejano) y variaciones de frecuencia de 100 MHz. Las mediciones se realizaron por medio de la utilización de las antenas tipo corneta conectadas al generador de señales y al analizador de espectros respectivamente con variaciones de distancia de 1m, estas mediciones fueron efectuadas en la Facultad de Informática y Electrónica dentro del Laboratorio de Microondas, entorno con línea de vista (LOS) siendo la distancia máxima de separación entre Transmisor y Receptor de 7m, posteriormente desde el aula 302 a la 303, entorno sin línea de vista (NLOS) a una distancia máxima de 6m y considerando una pared entre ellas, para lo cual se determinaron las pérdidas de inserción en el material introduciendo un pedazo de pared dentro de la cámara anecoica, obteniendo mayores pérdidas a mayor frecuencia por tal motivo se dedujo una ecuación general que describa este comportamiento. El modelo de propagación empírico resultante se considera aceptable ya que predice de manera aproximada el entorno real con 4.48 de error cuadrático promedio.

Palabras clave: <TELECOMUNICACIONES>, <MODELO DE PROPAGACIÓN>, <CAMPO LEJANO>, <PÉRDIDAS DE INSERCIÓN>, <ENTORNOS DE INTERIOR (*Indoor*)>, <ONDAS MILIMÉTRICAS>.



Firmado electrónicamente por:
ELIZABETH
FERNANDA AREVALO
MEDINA



0584-DBRAI-UPT-2021

SUMMARY

This research was aimed to determine an empirical propagation model for indoor environments in the frequency band from 10 to 20 GHz. Two cornet-type antennas with an aperture dimension of 5cm were used to achieve this determination, a vector network analyzer, a signal generator, and a spectrum analyzer. The antennas were characterized using the vector network analyzer at a distance of 0.34m (far-field) and frequency variations of 100 MHz. The measurements were made using the horn-type antennas connected to the signal generator and the spectrum analyzer, respectively, with distance variations of 1m. These measurements were carried out at Computer Science and Electronics Faculty within the Microwave Laboratory with a line of sight (LOS) environment, being the maximum separation distance between Transmitter and Receiver of 7m. From classroom 302 to 303, a Non-Line of Sight (NLOS) environment at a maximum distance of 6m with a wall between them. The material's insertion losses were determined by introducing a piece of wall into the anechoic chamber, obtaining higher losses at higher frequencies. For this reason, a general equation was deduced that describes this behavior. The resulting empirical propagation model is considered acceptable as it roughly predicts the real environment with a 4.48 square error.

Keywords: <TELECOMMUNICATIONS>, <PROPAGATION MODEL>, <FAR-FIELD>, <INSERTION LOSSES>, <INDOOR ENVIRONMENTS>, <MILLIMETRE-WAVE>

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de comunicación de ondas milimétricas (mmWave) han atraído un gran interés debido a la creciente y concurrida demanda que existe dentro del espectro sub-3GHz, la gran cantidad de espectro en el rango de 3 a 300 GHz permanece subutilizada. En general, la pérdida total de los sistemas que trabajan por sobre los 3 GHz es significativamente mayor que la de los sistemas de microondas para un enlace punto a punto. Sin embargo, afortunadamente las pequeñas longitudes de onda de las frecuencias de ondas milimétricas permiten desplegar un gran número de elementos de antena en el mismo factor de forma, lo que proporciona altas ganancias de procesamiento que teóricamente pueden compensar al menos la pérdida de trayectoria isotrópica.

El presente trabajo de titulación pretende analizar el estado del arte de los principales modelos de propagación y como fueron establecidos para posteriormente realizar una campaña de medición en la banda de 10 a 20 GHz en entornos *indoor* con variaciones de frecuencia y distancia, para así poder establecer cada uno de los parámetros que inciden en este tipo de entorno como lo son reflexión, difracción, dispersión, etc. Posteriormente realizar el análisis de la campaña de medición y así poder determinar un modelo de propagación empírico para entornos *indoor* en la banda de frecuencias de 10 a 20GHz para entornos con línea de visión directa (LOS) y sin línea de visión directa (NLOS). Por consiguiente, se procede a ejecutar la comprobación del modelo empírico mediante graficas realizadas en el software MATLAB y poder comparar los resultados obtenidos con las mediciones de campo realizadas.

ANTECEDENTES

Investigaciones realizadas en Brasil en 2019 sobre propagación de radio y modelado de canales a gran escala muestran que las frecuencias pueden usarse por encima de 6 GHz para la nueva generación de comunicaciones móviles (5G). En la investigación proporcionan una descripción detallada de las campañas de medición que utilizan antenas direccionales de bocina en copolarización (VV y HH) y polarización cruzada (VH) en situaciones de línea de visión (LOS) y línea de visión obstruida entre las transmisor y receptor. Los datos de medición se utilizaron para ajustar los modelos de predicción de pérdida de trayectoria de propagación de radio, a través del método de error cuadrático medio mínimo (MMSE), para entornos interiores en las frecuencias de 8-11 GHz (Batalha y Lopes, 2019, p. 1).

Otro de los estudios realizados se centró en evaluar una aplicación efectiva del modelo de pérdida de trayectoria direccional a gran escala de una sola frecuencia en función de los datos de medición

adquiridos para las bandas de frecuencia de 14 GHz y 22 GHz en un ambiente típico de corredor interior en el quinto piso del edificio de la Disciplina de Ingeniería Eléctrica, Electrónica e Informática, Universidad de KwaZulu-Natal, Campus Howard, Sudáfrica y cuya conclusión determina que tanto la altura de la antena como la frecuencia de propagación juegan un papel importante en el modelado de pérdida de trayectoria interior (Oyie y Afullo, 2018, p. 1).

Los entornos *indoor* son complejos ya que la propagación de las ondas a frecuencias de microondas se ve obstaculizada por una atenuación significativa a través de las paredes, múltiples reflejos entre las paredes, el piso y el techo, así como la difracción. Debido a diferencias significativas en la longitud del camino entre los rayos que alcanzan un punto receptor, la señal experimenta un desvanecimiento significativo debido a la ausencia de la contribución directa de la línea de visión (Jungsuek et al., 2014, p. 76).

En el país no existen estudios en torno a este rango de frecuencias, por tal motivo se procura analizar entornos *indoor* con la finalidad de determinar un modelo de propagación empírico y así poder aportar en la planificación de futuras redes de propagación de ondas milimétricas.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuán necesario es determinar un modelo de propagación empírico para entornos *indoor* en la banda de frecuencias de 10 a 20 GHz ¿

SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

¿Es importante implementar el set-up de laboratorio para determinar las pérdidas de propagación en entornos *indoor*?

¿Cómo se realizarán las medidas de propagación en entornos *indoor* para la banda de frecuencias de 10 a 20 GHz?

¿Para qué se generará un modelo de propagación para entornos *indoor* en la banda de frecuencias de 10 a 20 GHz?

JUSTIFICACION DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

En los últimos años, la tecnología de onda milimétrica (mmWave) ha experimentado un crecimiento extraordinario, principalmente debido a su potencial para proporcionar velocidades de transmisión de datos del orden de gigabits por segundo (Gbps) en el orden de unos pocos milímetros de longitud de onda (Awais et al., 2019, p. 1).

Dado que las frecuencias inferiores a 6 GHz están ocupadas en su mayoría, esta necesidad solo puede satisfacerse utilizando el amplio espectro en las frecuencias más altas que actualmente se encuentran subutilizadas. En particular, la aparición de comunicaciones celulares de quinta generación (5G) ha aumentado significativamente el interés en las comunicaciones de ondas milimétricas y ha motivado las mediciones de canales de propagación a frecuencias más altas. Aunque ha habido un creciente interés en las bandas entre 6 GHz y 20 GHz, la mayoría de las campañas de medición realizadas hasta ahora se centran en bandas por debajo de 6 GHz (Umit et al., 2019, p. 1).

El mayor inconveniente en entornos *indoor* son las características debido a los materiales de construcción utilizados, el número de personas desplazadas en el entorno, además se debe considerar la atenuación, reflexión y difracción.

La capacidad de determinar las ubicaciones óptimas de la estación base, obtener velocidades de datos adecuadas y estimar la cobertura sin realizar una serie de mediciones de propagación (lo que es muy costoso y requiere mucho tiempo) se puede lograr con modelos de propagación empíricos. Los modelos empíricos de propagación están diseñados para un tipo específico de sistemas de comunicación, parámetros específicos del sistema y tipos de entorno. Por lo tanto, la selección de un modelo de propagación adecuado es el primer paso en el diseño de la red inalámbrica (Milanović et al., 2016, p. 69).

JUSTIFICACIÓN APLICATIVA

En el presente proyecto se realizará la caracterización del canal de propagación en interiores para generar un modelo de propagación empírico en la banda de frecuencia de 10 a 20 GHz. Mediante la utilización de dos antenas tipo corneta, la primera conectada al generador de señales y la segunda al analizador de espectros por medio de cable coaxial. Se realizarán las medidas en el edificio de la Facultad de Informática y Electrónica en diferentes escenarios (laboratorio de microondas, aulas) con LOS y NLOS variando la frecuencia y distancia. Con los resultados obtenidos se podrá establecer un modelo de propagación empírico, el cual ayudará a establecer el

comportamiento de la propagación en la banda de frecuencias mencionada anteriormente para interiores.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar un modelo de propagación empírico para entornos *indoor* en la banda de frecuencias de 10 a 20 GHz.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar el estado del arte de las pérdidas de propagación para entornos *indoor*.
- Implementar el set-up de laboratorio para determinar las pérdidas de propagación en entornos *indoor*.
- Realizar medidas de propagación en entornos *indoor* para la banda de frecuencias de 10 a 20 GHz.
- Generar y validar un modelo de propagación empírico para entornos *indoor* en la banda de frecuencias de 10 a 20 GHz.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

En el presente capítulo se detallarán los conceptos teóricos básicos para la realización de este proyecto de investigación, tales como ondas milimétricas, modelos de propagación con un énfasis especial en modelos empíricos y entornos *indoor*. Además, se definen los diferentes fenómenos que ocurren a lo largo de la propagación en entornos *indoor* como son reflexión, refracción y difracción.

1.1 Espectro Radioeléctrico

Es un recurso natural de carácter limitado, sobre un bien público que gestiona el estado. Esto quiere decir que, al ser un recurso natural, no se puede crear, es decir, nos lo proporciona de forma natural nuestro planeta, por eso es público, pero tiene la potestad de su uso el gobierno del país sobre el que está. El espectro radioeléctrico es intangible y puede usarse por diferentes servicios de telecomunicaciones (Espinosa, 2019).

Está compuesto por un conjunto de frecuencias que se agrupan en “bandas de frecuencias” y puede ser utilizado por los titulares de una Licencia Única de Telecomunicaciones para la prestación de Servicios de comunicaciones inalámbricas, radiodifusión sonora y televisión - Servicios de Radiodifusión (AM, FM, TV), Internet, Telefonía Fija y Celular, brindados por un prestador o licenciatarario; o por titulares de Autorizaciones para operar Sistemas relacionados con seguridad, defensa, emergencias, transporte e investigación científica, así como aplicaciones industriales y domésticas - Sistemas de Radionavegación Marítimas y Aeronáuticas, Sistemas de Seguridad (Aeropuertos, Alarmas, Radiolocalización de vehículos, Monitoreo, etc.), diversos Sistemas y Servicios Radioeléctricos tanto de uso civil como militar (Fuerzas de Seguridad, FFAA, Policía, Bomberos, Defensa Civil, Salud Pública, Radioaficionados (ENACOM, 2018).

En la figura 1-1 se observa la banda de frecuencias del espectro radioeléctrico.

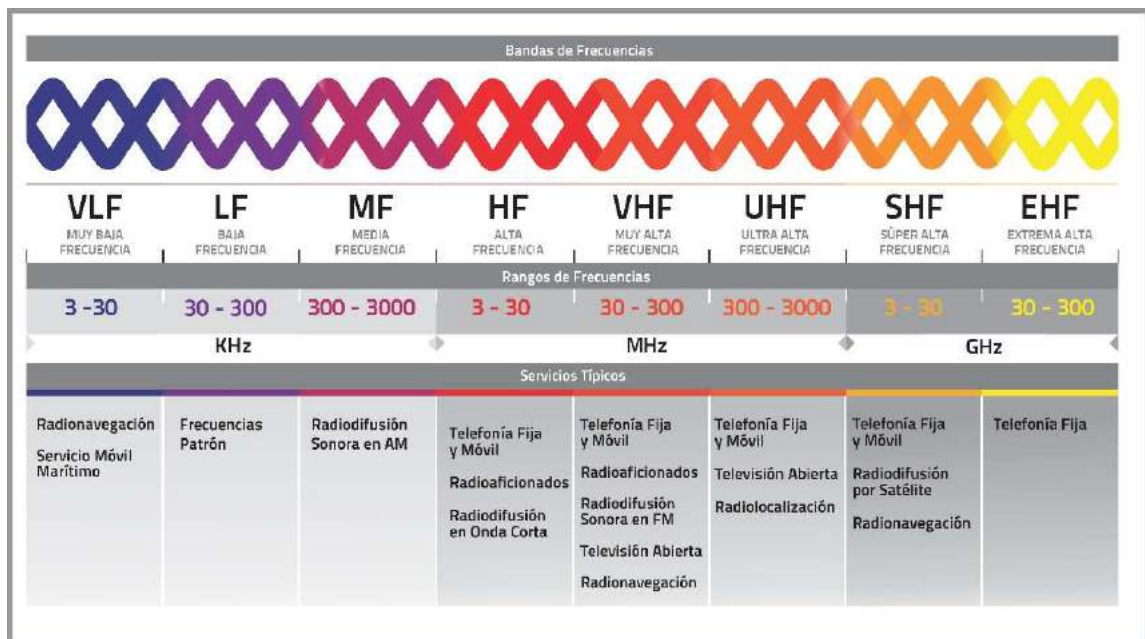


Figura 1-1. Banda de frecuencias del espectro radioeléctrico

Fuente: Espinosa, 2019

1.2 Ondas Milimétricas

La escasez global de ancho de banda que enfrentan los operadores inalámbricos ha motivado la exploración del espectro de frecuencia de ondas milimétricas (ondas mm) infrautilizadas, para futuras redes de comunicación celular de banda ancha.

Las frecuencias de onda mm, debido a la longitud de onda mucho más pequeña, pueden explotar la polarización y las nuevas técnicas de procesamiento espacial, como MIMO masivo y formación de haz adaptativo. Dado este salto significativo en el ancho de banda y las nuevas capacidades que ofrecen las ondas mm, los enlaces de estación base a dispositivo, así como los enlaces de retorno entre estaciones base, podrán manejar una capacidad mucho mayor que las redes 4G de hoy en áreas altamente pobladas. Este tipo de ondas experimentan una alta pérdida de trayectoria de espacio libre y son menos capaces de difractarse alrededor de los objetos en comparación con las frecuencias de RF más bajas tradicionales. La alta absorción de oxígeno en la banda de 60 GHz en interiores limita en parte el rango de propagación (Alloulah y Huang, 2019, p. 18).

A medida que crece la demanda de datos móviles, el espectro sub-3 GHz se está volviendo cada vez más concurrido. Por otro lado, una gran cantidad de espectro en el rango de 3–300 GHz permanece subutilizada. El espectro de 3–30 GHz generalmente se conoce como la banda de frecuencia súper alta (SHF), mientras que 30–300 GHz se conoce como la banda de frecuencia extremadamente alta (EHF) o de onda milimétrica. Como las ondas de radio en las bandas SHF y

EHF comparten características de propagación similares, nos referimos al espectro de 3–300 GHz colectivamente como bandas de ondas milimétricas con longitudes de onda que varían de 1 a 100 mm.

1.2.1 Quinta Generación (5G)

5G es la próxima generación de banda ancha móvil que eventualmente reemplazará, o al menos aumentará, su conexión 4G LTE. Con 5G, verá velocidades de carga y descarga exponencialmente más rápidas. La latencia, o el tiempo que tardan los dispositivos en comunicarse con las redes inalámbricas, también disminuirá drásticamente (Looper, 2020). Las redes de quinta generación están diseñadas para brindar un rendimiento extremo a las redes inalámbricas. Es mucho más rápido que las generaciones anteriores ofreciendo velocidades de hasta 10 Gbps siendo 10 veces mayor que las redes LTE-Advanced, reducción del tiempo de latencia aproximadamente a 1ms, también ofrece mayor capacidad y confiabilidad, comunicaciones masivas máquina a máquina (M2M), especialmente desarrollado para el Internet de las Cosas, tendrá la capacidad de soportar gran número de dispositivos conectados a la vez (ITU, 2019).

1.3 Modelos De Propagación

El modelo de propagación de ondas se basa en los resultados de la medición. Esto se debe a que el entorno de medición incluye el parámetro de *shadowing* en un entorno urbano de microceldas que incluye desvanecimiento por trayectos múltiples. En otras palabras, el parámetro de *shadowing* se usa para considerar las potencias de señal medidas en dos ubicaciones diferentes, incluso a lo largo de la distancia entre el mismo transceptor y los objetos circundantes (Ahmad et al., 2018, p.2).

Los modelos de propagación se clasifican en empíricos, semiempíricos y deterministas.

1.3.1 Modelos empíricos

Los modelos empíricos han sido un enfoque útil para el análisis de diferentes problemas en numerosas áreas / campos de conocimiento. Como se sabe, estos tipos de modelos son particularmente útiles cuando los modelos paramétricos no se ajustan a los datos reales, debido a estas razones, no se pueden construir. Basado en diferentes metodologías y enfoques, el modelo empírico permite al analista obtener una comprensión inicial de las relaciones que existen entre las diferentes variables que pertenecen a un sistema o proceso en particular (Mamun, 2016).

1.3.1.1 Modelo COST231-HATA

HATA es aplicable para un rango de frecuencia entre 150 MHz y 1500 MHz, por lo que se puede usar para predecir redes del Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM). COST231 HATA es una extensión de HATA. Ha ampliado HATA en términos de frecuencia de trabajo a 2 GHz. Por lo tanto, COST231 HATA se puede utilizar en redes WCDMA. El modelo funciona mejor si hay algunos obstáculos entre el transmisor y el receptor, mientras que no da una solución satisfactoria a un escenario urbano donde la información ambiental es importante (Chai y Zhang, 2012, p.1).

El modelo COST231-HATA viene dado por la ecuación 1-1

$$L_{urb} = 69.55 + 26.16 \log_{10}(f) - 13.2 \log_{10}(h_t) - a(h_r) + (44.9 - 6.55 \log_{10}(h_t)) \log_{10}(d)$$

Ecuación 1-1: Modelo de propagación COST231-HATA

Donde

f : es la frecuencia del transmisor (MHz)

h_t : es la altura de la antena del transmisor (m)

h_r : es la altura de la antena del receptor (m)

$a(h_r)$: es el factor de corrección para la altura de la antena de la unidad móvil (dB)

d : es la distancia desde la estación transmisora (km).

1.3.1.2 Modelo Egli

El modelo Egli es un modelo de terreno para la propagación de radiofrecuencia. Es adecuado para su uso en sistemas móviles en las bandas de 3MHz-3GHz y normalmente se usa cuando hay LOS entre una antena fija y una antena móvil. El modelo Egli se calcula por medio de la ecuación 2-1 para altura de estación móvil menores o iguales a 10 metros y para alturas mayores mediante la ecuación 3-1. Egli predice la pérdida de ruta total para un enlace punto a punto. Usado normalmente para la transmisión de línea de visión, este modelo proporciona la pérdida de trayectoria como una sola cantidad y es adecuado para escenarios de comunicación celular donde una antena es fija y la otra es móvil. Es aplicable al escenario donde la transmisión tiene que pasar por un terreno irregular (Chai y Zhang, 2012, p.3).

Para $h_m \leq 10$

$$P_L(dB) = 20 \log_{10}(f) + 40 \log_{10}(d) - 20 \log_{10}(h_b) + 76.3 - 10 \log_{10}(h_m)$$

Ecuación 2-1: Modelo Egli para alturas mayores a 10 metros

Para $h_m > 10$

$$P_L(dB) = 20\log_{10}(f) + 40\log_{10}(d) - 20\log_{10}(h_b) + 83.9 - 10\log_{10}(h_m)$$

Ecuación 3-1: Modelo Egli para alturas menores a 10 metros

Donde

h_b (m): altura de la antena de la estación base (m).

h_m (m): altura de la antena de la estación móvil (m).

d : distancia desde la antena de la estación base (km).

f : frecuencia de transmisión (MHz).

1.3.2 Modelos semiempíricos

Los modelos semiempíricos suelen ser más precisos que los modelos empíricos porque toman en cuenta información del entorno (Chai y Zhang, 2012, p.1).

1.3.2.1 Modelo Walfish-Bertoni

Es un modelo que no considera la existencia de línea de vista entre el transmisor y el receptor, utiliza el fenómeno de la difracción para describir las pérdidas que sufre la señal antes de alcanzar al receptor ubicado a baja altura sobre la calle (Lopez, 2012, p.4).

El modelo Walfish-Bertoni se puede calcular mediante la ecuación 4-1.

$$L_p = L_{ex} + L_o$$

$$L_{ex} = A + 57.1 + \log f_c + 18\log R_k - 18\log H - 18\log \left(1 - \frac{R_k^2}{17H}\right)$$

$$A = 5 \log \left[\left(\frac{d}{2}\right)^2 - (h - h_m)^2 \right] - 9\log d + 20\log \left\{ \tan^{-1} \left[\frac{2(h - h_m)}{d} \right] \right\}$$

Ecuación 4-1: Modelo Walfish-Bertoni

Donde:

L_p : Pérdidas de propagación

L_o : Pérdidas en el espacio libre

L_{ex} : Pérdidas por difracción de la señal

d : Anchura promedio entre centros de edificios

h : Altura de la antena sobre los edificios

h_m : Altura de los edificios

1.3.2.2 Modelos Longley Rice

Este modelo se lo usa principalmente en terreno de forma irregular y compara las pérdidas frente a la transmisión en el espacio libre. Fue diseñado para frecuencias comprendidas entre los 20MHz y los 40 GHz, y para distancias entre uno a 2000 Km con el propósito de realizar un estudio de planificación de frecuencia para transmisión de televisión.

El modelo cuenta con dos modos de predicción, el punto a punto y el de área, siendo la principal diferencia entre estos dos modos la cantidad de datos de entrada requerida. El punto a punto precisa conocer el perfil del terreno entre el emisor y el receptor mientras que el modo de predicción por área estima el impacto del terreno mediante métodos semi-empíricos.

Es importante saber que con este modelo la pérdida media de propagación se obtiene manejando los datos sobre la geometría del terreno entre transmisor y receptor y las características refractarias de la troposfera (García, 2016, p.25).

1.3.3 Modelos deterministas

Los modelos deterministas generalmente se refieren a algoritmos de propagación, proporcionan mayor precisión que otros, pero experimentan una baja velocidad de cálculo. De modo que los modelos deterministas pueden proporcionar resultados más precisos que los modelos empíricos (Chai y Zhang, 2012, p.2).

1.4 Entornos Indoor

El ambiente interior tiene características únicas debido a los materiales de construcción utilizados, el número de personas que se desplazan sobre el interior, las diferentes disposiciones de los dispositivos móviles, y la interferencia en los sistemas, entre otros factores. Los ambientes interiores confinan las ondas dentro del ambiente y tienen componentes más reflectantes que conducen a múltiples caminos, secciones transversales de paredes y otros tipos de obstáculos, efectos de dispersión, difracción y *shadowing*.

1.5 Pérdidas de propagación en interiores

La pérdida de ruta o la atenuación de las señales de RF ocurre naturalmente con la distancia. Los obstáculos entre el transmisor y el receptor también atenúan las señales. La cantidad de atenuación varía con la frecuencia de la señal de RF y el tipo y la densidad de los materiales obstructores, esto da lugar a que exista un tipo de trayectoria múltiple que ocurre cuando hay más de una ruta

disponible para la propagación de la señal de radio. El fenómeno de la reflexión, la difracción y la dispersión dan lugar a trayectos de propagación de radio adicionales más allá del trayecto óptico directo de "línea de visión" entre el transmisor de radio y el receptor.

1.5.1 Pérdidas por Reflexión

La reflexión ocurre en una interfaz entre dos medios de diferentes índices de refracción. Cada reflejo divide el haz entrante en un componente transmitido y reflejado como se observa en la figura 2-1. Normalmente, es el componente transmitido el que tiene más interés. En estos casos, el componente reflejado es el subproducto no deseado y la luz perdida por el reflejo solo se resta de la luz total disponible para el proceso de medición.

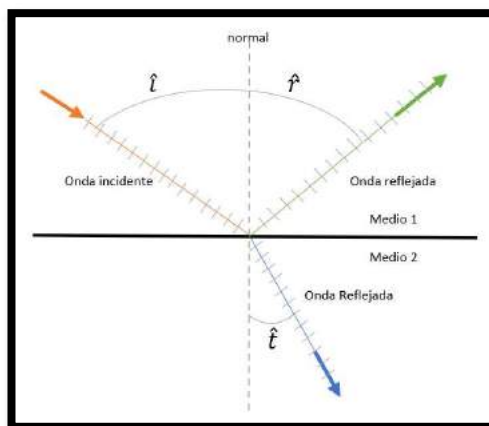


Figura 2-1. Pérdidas por Reflexión y refracción

Realizado por: Rivera C. y Zambrano J. (2020)

1.5.2 Pérdidas por Refracción

La refracción es una propiedad de una onda para cambiar de dirección cuando viaja entre diferentes medios. Cada medio tiene un índice de refracción característico: un número adimensional que compara la velocidad de la luz en el vacío con la velocidad de la luz en un material. El índice de refracción es un indicador de cuánto se desviará la onda de su trayectoria original. Este principio también se puede aplicar a la energía de RF. A medida que la RF atraviesa el límite entre la niebla densa y el aire limpio, su velocidad disminuye en relación con el cambio de densidad y la onda se dobla. Normalmente, la onda se refracta y refleja parcialmente (Camargo, 2009, p.127).

1.5.3 *Perdidas por Difracción*

La difracción ocurre cuando la ruta de radio entre el transmisor y el receptor está obstruida por una superficie que tiene irregularidades agudas (bordes). Las ondas secundarias resultantes de la superficie de obstrucción están presentes en todo el espacio e incluso detrás del obstáculo, lo que da lugar a una curvatura de las ondas alrededor del obstáculo, incluso cuando no existe una línea de visión entre el transmisor y el receptor. A altas frecuencias, la difracción, como la reflexión, depende de la geometría del objeto, así como de la amplitud, fase y polarización de la onda incidente en el punto de difracción (Rappaport, 2002, p.78).

1.6 Modelos de Propagación en Entornos *Indoor*

La propagación en interiores a menudo tiene que ser estimada por modelos específicos del lugar con características propias de un edificio en particular: el material de construcción, el grosor de las paredes, el material del suelo y del techo, todos tienen un fuerte impacto en la guía de las ondas dentro del edificio (Schwengler, 2019). A continuación, se numeran los modelos de propagación para interiores más utilizados.

1.6.1 *Modelo de Propagación en el Espacio Libre*

El modelo de espacio libre se utiliza para predecir la potencia de recepción cuando el transmisor y el receptor tienen LOS en un entorno de espacio libre, no se consideran obstáculos (Camargo, 2009, p.148). La potencia en el espacio libre recibida por una antena receptora que está separada de una antena transmisora radiante por una distancia d , viene dada por la ecuación de espacio libre de Friis (Rappaport, 2002, p.70-71).

El modelo de propagación en el espacio libre viene dado por la ecuación 5-1.

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L}$$

Ecuación 5-1: Modelo de propagación en el espacio libre

Donde

$P_r(d)$: Potencia recibida en función de la separación $T - R$

P_t : Potencia transmitida

G_t : Ganancia de la antena transmisora

G_r : Ganancia de la antena receptora

λ : Longitud de onda en metros

d : Distancia en metros entre transmisor y receptor $d > 0$

L : Factor de pérdida del sistema no relacionado con la propagación $L \geq 1$

El modelo de propagación en el espacio libre sólo es válido para valores de d que sean mayor al campo lejano. El campo lejano viene dado por la ecuación 6-1 (Rappaport, 2002, p.72).

$$d_f = \frac{2D^2}{\lambda}$$

Ecuación 6-1: Campo Lejano

Donde

D : Dimensión de la antena

λ : Longitud de onda en metros

1.6.2 Modelo de Propagación Log-Normal Shadowing Path Loss

El modelo de propagación Log-Normal *Shadowing Path Loss* predice las pérdidas de ruta entre transmisor y receptor preestableciendo la distancia, es aplicado en una amplia gama de entornos por medio de factores de corrección viene dado por la ecuación 7-1 (Yepez y Gragirena, 2012, p. 65). Este modelo se utiliza para sistemas de cobertura grandes y pequeños y las mediciones experimentales han demostrado que proporciona modelos de canales multitrayecto más precisos en comparación con los modelos Nakagami y Rayleigh para entornos inalámbricos interiores (Gungor y Korkmaz, 2012, p. 5).

$$P_L(d) = P_L(d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma$$

Ecuación 7-1: Modelo de propagación Log-Normal *Shadowing Path Loss*

Donde

$P_L(d)$: Pérdidas de trayectoria a una distancia d

$P_L(d_0)$: Pérdidas de trayectoria a una distancia d_0

n : Variable de pérdida de trayecto debido a múltiples trayectorias

d : Distancia entre transmisor y receptor

d_0 : Distancia cercana a la antena Tx

X_σ : Número aleatorio con una media de cero y una desviación estándar de σ

1.6.3 Modelo de Pérdida de Trayecto basado en COST231

El modelo de pérdida de trayecto basado en COST231 o modelo de propagación Multi Pared asume un aumento lineal de la pérdida a medida que aumenta el número de paredes y un aumento no lineal de la pérdida con respecto al número de pisos, ya que las pérdidas promedio del piso tienden a disminuir cuando aumenta el número de pisos. Si la señal atraviesa la pared con un determinado material, el valor de atenuación será mayor, reduciendo así el valor de la señal de potencia recibida en el receptor (Ahmad et al., 2018, p.7). El modelo de pérdida de trayecto COST-231 se desarrolló a partir del modelado de Keenan-Motley. Esto se puede ver en la fórmula de pérdida de trayectoria debido a la absorción de potencia de la señal que penetra varios pisos o paredes entre el transmisor y el receptor. En el modelo de Keenan-Motley, la cantidad de pérdida de trayectoria debida al paso a través de varias paredes o pisos se formula como una función lineal del número creciente de pisos o paredes penetradas por la señal. Mientras tanto, en el modelo de paredes múltiples COST231, la pérdida de trayectoria se formula como una función exponencial que está influenciada por factores empíricos (Alfin et al., 2018, p.19-20).

El modelo de pérdida de trayecto basado en COST231 está definido en la ecuación 8-1.

$$L = L_{FS} + L_C + \sum K_{Wi}L_{Wi} + n^{\left(\frac{n+2}{n+1}-b\right)} * L_f$$

Ecuación 8-1: Modelo de pérdida de trayecto basado en COST231

Donde

L_{FS} : Pérdidas en el espacio libre

L_C : Constante de pérdida $L_C = 37dB$

K_{Wi} : Número de paredes de tipo i penetradas

L_{Wi} : Pérdida debida a muro de tipo i

n : Número de suelos penetrados

b : Parámetro empírico

L_f : Pérdida entre suelos adyacentes

1.6.4 Modelo ITU-R

El modelo ITU-R toma en cuenta la pérdida que se ocasionan al atravesar múltiples pisos para permitir la reutilización de la frecuencia entre éstos. El coeficiente de pérdida de potencia por distancia incluye una asignación para la transmisión atravesando paredes y obstáculos, que se encuentren dentro de un solo piso del mismo edificio y está definido en la ecuación 9-1 (ITU, 2001, p. 4).

$$L_{ITU} = 20 \log f + N \log d + L_f(n) - 28$$

Ecuación 9-1: Modelo ITU-R

Donde

f : Frecuencia en MHz

N : Coeficiente de pérdidas por distancia

d : Distancia entre Tx y Rx

$L_f(n)$: Factor de pérdida de penetración en el suelo (dB)

n : Número de pisos entre Tx y Rx

1.6.5 Modelo de Atenuación de Trayecto Linear

El modelo de atenuación de trayecto linear se considera cuando el transmisor y receptor se encuentran dentro del mismo piso asume que la pérdida de trayectoria en el espacio libre en dB depende linealmente de la distancia Tx-Rx, se puede aplicar para cualquier frecuencia, siempre que los valores medios de potencia recibida se puedan medir experimentalmente para proporcionar datos empíricos, no toma en cuenta los efectos de desvanecimiento y se puede calcular por medio de la ecuación 10-1 (Camargo, 2009, p.152).

$$PL(d) = PL_{fs} + a * d$$

Ecuación 10-1: Modelo de atenuación de trayecto linear

Donde

PL_{fs} : Pérdidas en el espacio libre

a : Coeficiente de atenuación lineal

d : Distancia entre Tx y Rx

1.6.6 Modelo de propagación de una sola pendiente

En el modelo de propagación en interiores de una pendiente, se supone una dependencia lineal entre la pérdida de trayectoria y el logaritmo de la longitud d de la trayectoria. El modelo de una sola pendiente es un modelo simple y rápido está definido en la ecuación 11-1 (Ahmad et al., 2018, p. 5).

$$P_r(dB) = P_0(dB) - 10n \log_{10}(d)$$

Ecuación 11-1: Modelo de propagación de una sola pendiente

Donde

P_0 : Potencia recibida a 1 m de distancia del transmisor

n : Exponente de pérdida de camino

d : Distancia entre Tx y Rx

Este modelo se basa en la teoría del modelo de espacio libre y su principal objetivo es el de incluir todas las pérdidas debidas a varios mecanismos de propagación por el exponente de pérdida de trayectoria de la tabla 1-1. Este modelo es muy fácil de implementar, pero sin embargo a veces puede prestarse a una gran cantidad de errores ya que en ambientes interiores, es posible una gran variabilidad en los mecanismos de propagación entre diferentes oficinas y edificios debido al exponente de pérdidas de camino para diferentes Ambientes de propagación.

Tabla 1-1: Algunos valores típicos para el exponente de pérdidas de camino

Ambiente	Exponente de pérdidas de camino
Dentro de un Edificio (LOS)	1.6 a 1.8
Espacio Libre	2
Edificio (NLOS) mismo piso	2 a 4
Edificio (NLOS) de 1 a 3 pisos	4 a 6

Fuente: Agren, F. 2017

Realizado por: Rivera, C.; Zambrano, J. 2020

1.6.7 Modelo de propagación Keenan-Motley

El modelo de propagación Keenan-Motley estima la pérdida de trayectoria considerando la atenuación de las paredes y los pisos, basándose en el trayecto directo entre transmisor y receptor como se observa en la figura 3-1 (Lu, 2014, p. 4).

El modelo de propagación de Keenan-Motley viene dado por la ecuación 12-1

$$L_{KM}(d) = L_{FS}(d) + n_w L_w + n_F L_F$$

Ecuación 12-1: Modelo de propagación Keenan-Motley

Donde

L_{FS} : Pérdidas en el espacio libre

n_w : Número de paredes

L_w : Factor de atenuación de paredes

n_F : Número de pisos

L_F : Factor de atenuación de pisos

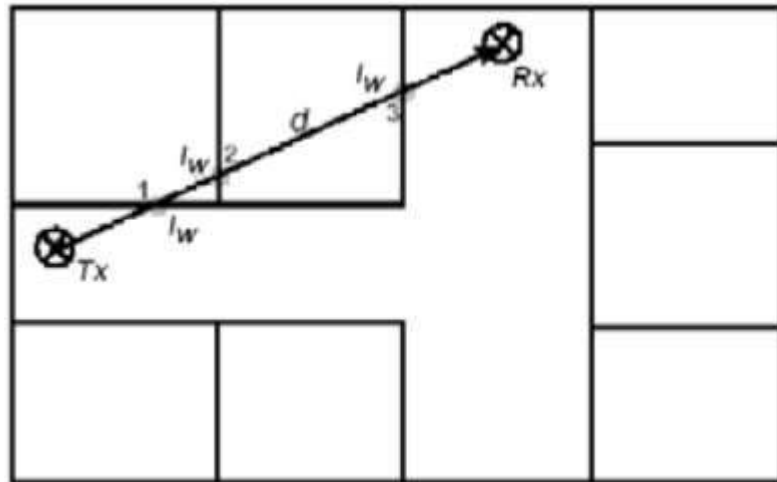


Figura 3-1. Principio del Modelo Keenan-Montley

Fuente: Castellanos, E.; Talero, J.; Rugeles, J. 2005

Las ventajas de los modelos empíricos como el de Keenan-Montley frente a los modelos de propagación deterministas como *ray tracing* (o trazado de rayos) son: mediciones más rápido, parámetros de entrada más simples y aplicación más fácil y eficiente de fórmulas.

1.6.8 Modelo de propagación Trazado de Rayos

El modelo de propagación trazado de rayos se basa en la teoría de las imágenes proporcionando estimaciones en la pérdida de trayecto, la ruta de propagación de la señal se traza desde el punto de partida hasta el objetivo como se observa en la figura 4-1 (Bayas, 2017, p. 11).

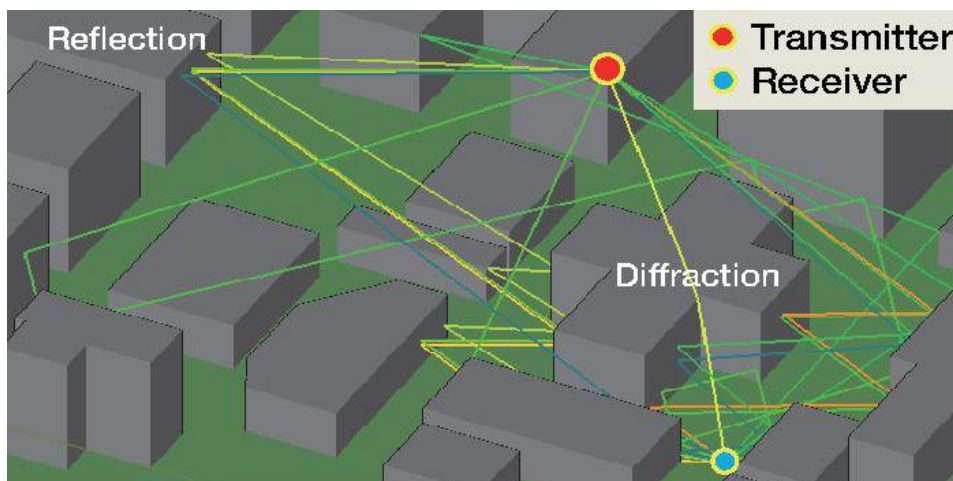


Figura 4-1. Modelo de Propagación Ray Tracing

Fuente: Chang, Y.; Baek, S.; Hur, S., Lee Y. 2014

Los métodos de trazado de rayos se basan en Óptica Geométrica (GO). Se siguen los rayos hasta que golpean un objeto, donde un rayo reflejado / transmitido se inicia en la siguiente profundidad de reflexión / transmisión. La dirección del nuevo rayo está determinada por la ley de Snellius.

Las pérdidas debidas a reflejos y transmisiones tienen en cuenta el espesor de las paredes / suelos de impacto y las características del material en la frecuencia respectiva. Además, los rayos difractados pueden considerarse mediante la Teoría Uniforme de Difracción (UTD). En el rango de frecuencia objetivo de 5 GHz, los rayos difractados se descuidan ya que solo tienen una contribución menor.

El trazado de rayos se puede distinguir en técnicas de lanzamiento de rayos y de imágenes de rayos. Aplicando el método de imágenes donde se construyen nuevas fuentes de imágenes de todas las fuentes (imágenes) existentes en la profundidad de reflexión / transmisión actual para todos los planos, se determina exactamente cada rayo (trayectoria) desde el transmisor al receptor como se observa en la figura 5-1 (Lott y Forkel, 2001, p. 2).

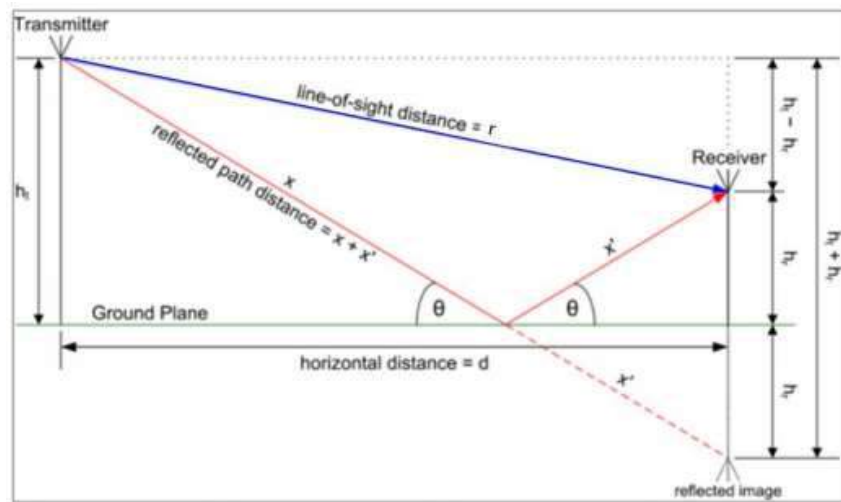


Figura 5-1. Teoría de las imágenes

Fuente: Parra, E. 2019

La idea de esta técnica es determinar todos los posibles rayos que llegan al receptor desde el transmisor conociendo además el tiempo y el campo eléctrico con el que llegan. Esto es lo que nos permite calcular además de las pérdidas por trayectoria y la potencia en el receptor nos permite determinar el Espectro de Potencia de las Componentes Multipaso (PDP) y el Esparcimiento de Retrasos Multipasos (DS).

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1 Introducción

En este capítulo se detalla el procedimiento necesario para la caracterización de las antenas por medio de la utilización del analizador de redes vectorial en el cual se extrae el parámetro S_{21} para posteriormente utilizarlo en la obtención de la ganancia de las antenas. El cálculo de pérdidas se lo realizó por medio de la ecuación del balance de enlace considerando potencias transmitida, recibida y ganancias de antenas para el rango de frecuencia de 10 a 20 GHz con saltos de frecuencia de 100MHz.

Posteriormente se calcularon las pérdidas de inserción por penetración en pared colocando un pedazo de pared de 20cm de grosor dentro la cámara anecoica y comparando esas pérdidas con las obtenidas sin la introducción de la pared.

2.2 Metodología de la medición

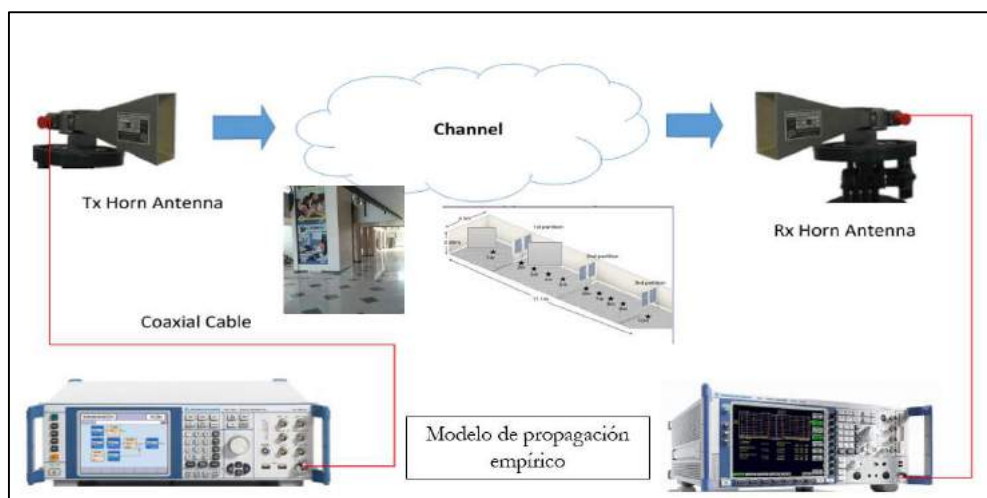


Figura 6-2. Diagrama del trabajo de titulación

Realizado por: Rivera C. y Zambrano J. (2020)

Para la determinación del modelo empírico se utilizaron dos antenas tipo corneta, dos cables coaxiales de 50 ohm, un generador de señales Anritsu MG3690C y analizador de espectros MS2724C de la misma marca, todos estos equipos pertenecientes a la Facultad de Informática y Electrónica. Las antenas conectadas por medio de cable coaxial al generador de señales y analizador de espectros respectivamente direccionándose entre ellas, como se observa en la figura 6-2.

2.2.1. Antenas tipo Corneta

Las antenas tipo corneta (*Antenas Horn*) se utilizan para la transmisión y recepción de señales de microondas, su nombre se debe a su aspecto acampanado, se observa en la figura 7-2. Poseen un patrón de radiación direccional con una alta ganancia de antena, que puede alcanzar hasta 25 dB en algunos casos, siendo típico 10-20 dB. Las antenas tipo corneta tienen muy poca pérdida, por lo que la directividad es aproximadamente igual a su ganancia. (Levine y Matzner, 2017, p.1)



Figura 7-2. Antena *Horn*

Realizado por: Rivera C. y Zambrano J. (2020)

2.2.2. Cable Coaxial 50 ohm

Los cables de 50 ohmios se utilizan para la comunicación por transmisión de ondas. El cable coaxial se compone de tres componentes principales. En el centro del cable coaxial se encuentra el conductor central. Se puede hacer de alambre sólido o trenzado y es típicamente una mezcla de aluminio y cobre. Alrededor del conductor central está situado el dieléctrico. El dieléctrico actúa como un amortiguador para mantener el conductor central aislado y recto. Por lo general se compone de alguna mezcla de plástico o espuma como se observa en la figura 8-2. Finalmente, en el exterior del dieléctrico está el escudo del cable coaxial, que suele ser una combinación de papel de cobre y aluminio o trenza de alambre. El escudo es entonces recubierto por PVC para aislarlo del medio ambiente (Chen et al., 2016, p.1).



Figura 8-2. Cable coaxial 50 ohm

Realizado por: Rivera C. y Zambrano J. (2020)

2.2.3. *Generador de Señales Anritsu MG3690C*

Este generador de señales de microondas / RF cuenta con un rango de frecuencia que opera entre los 0.1 KHz y los 20 GHz para una única salida coaxial, siendo posible llegar hasta 500 GHz con la utilización de multiplicadores externos. Cuenta con un excelente ruido de fase y una gran variedad de capacidades de modulación analógica.

La figura 9-2 muestra este equipo el cual una gran solución para el diseño y comprobación de dispositivos y sistemas para las industrias de las comunicaciones inalámbricas y aeroespaciales, siendo fácil de operar de forma manual o remota a través de conectividad Ethernet (Anritsu, 2019).



Figura 9-2. Generador de señales Anritsu MG3690C

Fuente: Anritsu, 2019

Tabla 2-2: Características de Generador de señales Anritsu MG3690C

Características de Generador de señales Anritsu MG3690C	
Rango de Frecuencia	2 GHz a 20/40/50/67 GHz
Resolución de Frecuencia	0.01 Hz
Precisión del nivel	± 1 dB
Cambio de frecuencia	2 mSec min
Potencia de salida	-120 dBm to +19 dBm

Nivel de ruido SSB	- 119 dB/Hz (typ) @10 GHz <i>output</i> , 10 KHz <i>offset</i>
--------------------	---

Fuente: Anritsu, 2019

Realizado por: Rivera, C.; Zambrano, J. 2020

2.2.4. *Analizador de Espectros Anritsu MS2724C*

El analizador de espectros es un equipo de medición para probar la distribución del espectro de la señal en frecuencia y así evaluar la calidad de la señal en una amplia gama de señales y bandas cada vez más complejas. En la figura 10-2 se puede observar una representación del equipo en el cual el eje de las ordenadas representa la potencia de la señal en dB y el eje de las abscisas la frecuencia.



Figura 10-2. Analizador de espectro Anritsu MS2724C

Fuente: Anritsu, 2019

El fabricante describe este equipo con las siguientes características (Anritsu, 2019).

- Medidas: ancho de banda ocupado, potencia del canal, ACPR, C / I
- Analizador de interferencias: espectrograma, intensidad de la señal, RSSI
- Rango dinámico: > 104 dB en 1 Hz RBW
- DANL: -160 dBm en 1 Hz RBW
- Ruido de fase: -100 dBc / Hz, 10 KHz de compensación a 1 GHz
- Precisión de frecuencia: ± 25 ppb con GPS activado
- Las mediciones se pueden realizar fácilmente utilizando las funciones principales del instrumento: frecuencia, intervalo, amplitud y ancho de banda.

2.2.5. Analizador de Redes Vectorial E5071C

Los analizadores de redes vectoriales ENA (Nuevos estándares en velocidad, precisión y versatilidad) E5071C de Keysight ofrecen nuevos estándares en velocidad, precisión y versatilidad para el análisis de redes de RF, en la figura 11-2 se puede observar una representación del analizador de redes vectorial. Diseñado con una amplia gama de capacidad de medición para satisfacer múltiples necesidades de análisis de redes, este tipo de equipo ofrece eficiencia y flexibilidad para aplicaciones de fabricación en industrias como la comunicación inalámbrica, automotriz, semiconductora y médica (Keysight's, 2019).



Figura 11-2. Analizador de redes vectoriales Keysight's E5071C

Fuente: Keysight, 2019

Por medio de este equipo se puede obtener un diseño confiable a través de la caracterización total de las interconexiones seriales de alta velocidad con la opción de análisis en el dominio del tiempo mejorada, mejorando así la precisión y los márgenes con un amplio rango dinámico de 130 dB. La tabla 3-2 muestra las características de este tipo de analizador de redes.

Tabla 3-2: Características de Analizador de Redes Vectorial E5071C

Características de Analizador de Redes Vectorial E5071C	
Rango de operación	300 KHz – 20 GHz
Gama Dinámica	n / A
Potencia de salida	10 dBm
Ruido de seguimiento	n / A
Numero de puertos integrados	2 puertos

Armónicos	-25 dBc
Piso de Ruido	n / A

Fuente: Keysigh, 2019

Realizado por: Rivera, C.; Zambrano, J. 2020

2.2.6. Parámetros de las antenas

Los parámetros de la antena describen el rendimiento de la antena con respecto a la distribución espacial de la energía radiada, la eficiencia energética, la adaptación al circuito de alimentación (Bhattarai et al., 2020, p. 217).

2.2.6.1 Directividad

La directividad de una antena es definida como la relación entre la intensidad de la radiación en una dirección determinada desde la antena y la intensidad de la radiación promediada en todas las direcciones como se muestra en la ecuación 13-2 (Poljak y Cvetković, 2019, p. 29).

$$D = \frac{4\pi U}{P_{rad}}$$

Ecuación 13-2: Directividad

Donde:

U = Intensidad de radiación

P_{rad} = Potencia radiada

2.2.6.2 Ganancia

La ganancia de una antena es la relación entre la intensidad, en una dirección dada, y la intensidad de radiación que se obtendría si la potencia aceptada por la antena se irradiara isotrópicamente como se muestra en la ecuación 14-2 (Poljak y Cvetković, 2019, p. 30).

$$G = \frac{4\pi U}{P_{in}}$$

Ecuación 14-2: Ganancia

Donde:

U = Intensidad de radiación

P_{in} = Potencia de entrada

2.2.6.3 Parámetros S

Los parámetros S (Parámetros de Scattering) describen las relaciones de entrada y salida entre los puertos de un sistema eléctrico. Específicamente a alta frecuencia se convierte en esencial describir una red dada en términos de ondas en lugar de voltaje o corriente. Por lo tanto, los parámetros S están basados en el nivel de potencia que recibe la red en los puertos (Jargon et al., 2018, p. 951).

Para caracterizar circuitos de alta frecuencia se utilizan parámetros que relacionan ondas de voltaje que inciden, reflejan y transmiten cuando se inserta una red de dos puertos en una línea de transmisión como se observan en las figuras 12-2 y 13-2.

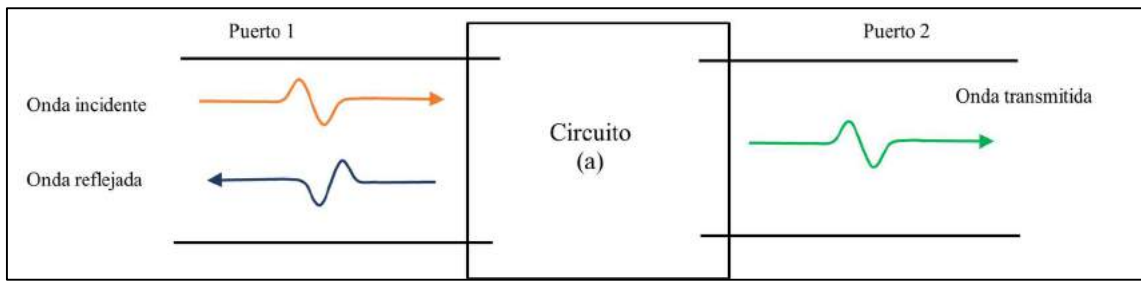


Figura 12-2. Ondas incidentes sobre el puerto 1

Realizado por: Rivera C. y Zambrano J. (2020)

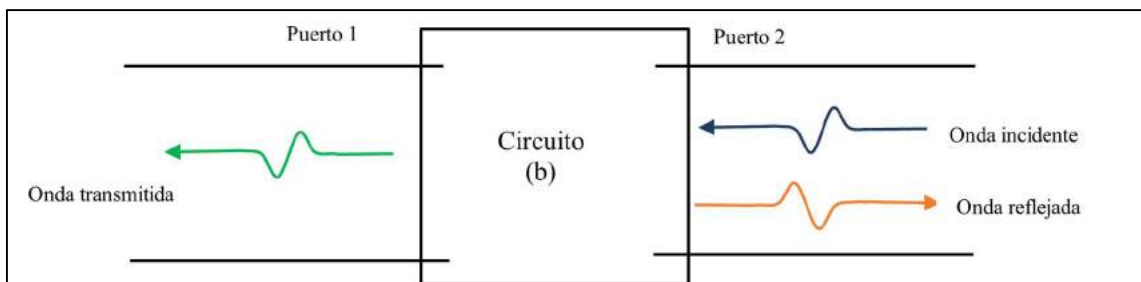


Figura 13-2. Ondas incidentes sobre el puerto 2

Realizado por: Rivera C. y Zambrano J. (2020)

S_{11} es el coeficiente de reflexión del puerto 1, cuando la onda incidente en el puerto 2 es cero. S_{21} mide la potencia enviada desde el puerto 1 hacia el puerto 2, es conocido como ganancia de tensión directa. S_{12} mide la potencia enviada desde el puerto 1 hacia el puerto 2, es conocido como ganancia de tensión inversa. S_{22} es el coeficiente de reflexión del puerto 2 (Adameczyk, 2018).

2.2.7. Caracterización de las antenas

Para la caracterización de las antenas primero se debe obtener el valor de campo lejano utilizando la ecuación 6-1 para las frecuencias 10 GHz y 20 GHz ya que es el rango de estudio

$$d_f = \frac{2D^2}{\lambda}$$

Donde

D : Dimensión de la antena $D = 0.05m$

λ : Longitud de onda en metros $\lambda = c/f$

El campo lejano para 10 GHz se obtiene de la siguiente manera

$$d_f = \frac{2(0.05)^2}{(3 * 10^8)/(10 * 10^9)}$$
$$d_f = 0.16666m$$

El campo lejano para 20 GHz se obtiene de la siguiente manera

$$d_f = \frac{2(0.05)^2}{(3 * 10^8)/(20 * 10^9)}$$
$$d_f = 0.33333m$$

Obtenidos los valores para las frecuencias de 10 y 20 GHz se puede determinar que la distancia mínima a considerar en las mediciones debe ser de 34cm ya que esta distancia cumple con el valor de campo lejano para el rango de frecuencia de estudio.

$$d > d_f$$

2.2.8. Cálculo de pérdidas mediante el Balance de Enlace

Para obtener las pérdidas se parte de la ecuación de balance de enlace mostrada en la ecuación 15-2 (Rábanos et al., 2013, p.80).

$$P_{Rx} = P_{Tx} - L_b + G_{Tx} + G_{Rx} \quad [dBm]$$

Ecuación 15-2: Balance de enlace

Donde

P_{Rx} : Potencia de recepción

P_{Tx} : Potencia de transmisión $P_{Tx} = 18dBm$

L_b : Pérdidas básicas de propagación

G_{Tx} : Ganancia de la antena de transmisión

G_{Rx} : Ganancia de la antena de transmisión

Se despejan las pérdidas

$$L_b = P_{Tx} - P_{Rx} + G_{Tx} + G_{Rx} \quad [dB]$$

Ecuación 16-2: Pérdidas básicas de propagación

2.2.9. Cálculo de pérdidas de inserción por penetración en pared

Para calcular las pérdidas de inserción por penetración se utilizó un pedazo de pared de 40x40x20cm el cual fue colocado dentro de la cámara anecoica a una distancia de 0.34m (*Far field*) de la pared hacia las antenas para así determinar las pérdidas que introduce este material.

En la figura 14-2 se observa cómo se realizaron las primeras mediciones con saltos de 100 MHz para determinar las pérdidas de propagación sin considerar la pared.

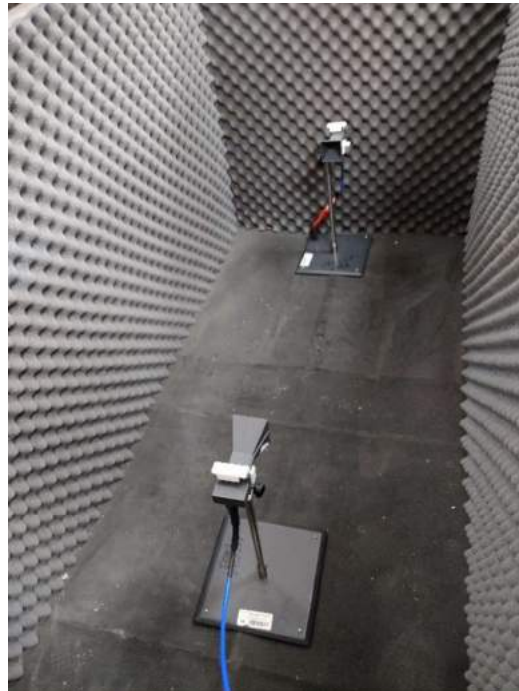


Figura 14-2. Pérdidas de propagación dentro de cámara anecoica

Realizado por: Rivera C. y Zambrano J. (2020)

En la figura 15-2 se observa cómo se realizaron las mediciones para determinar las pérdidas de propagación dentro de la cámara anecoica con la inserción de la pared.



Figura 15-2. Pérdidas de propagación dentro de cámara anecoica con pared

Realizado por: Rivera C. y Zambrano J. (2020)

Una vez realizada las mediciones se procede a calcular la diferencia entre las pérdidas de propagación dentro de la cámara anecoica y las pérdidas por inserción del material, como se muestra en la tabla 4-2 y de manera más detallada en el anexo B.

Tabla 4-2: Cálculo de pérdidas de inserción

Frecuencia	P_R con material (dBm)	P_R sin material (dBm)	Pérdidas de inserción (dB)
10 GHz	-35.93	-23.23	12.7
11 GHz	-37.19	-23.88	13.31
12 GHz	-40.33	-22.13	18.2
13 GHz	-38.58	-17.63	20.95
14 GHz	-42.52	-19.79	22.73
15 GHz	-47.37	-18.29	29.08
16 GHz	-40.93	-17.73	23.2
17 GHz	-35.47	-16.46	19.01
18 GHz	-53.28	-19.06	34.22
19 GHz	-53.03	-21.07	31.96
20 GHz	-67.75	-29.6	38.15

Realizado por: Rivera, C.; Zambrano, J. 2020

2.2.10. Cálculo del error cuadrático medio

El error cuadrático medio (REMC) examina dos grupos de valores para medir la porción de error que existe entre ellos. Es decir, realiza la comparación entre el valor predicho y el valor medido como se observa en la ecuación 17-2.

$$REMC = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (h_i - \hat{h}_i)^2}{m}}$$

Ecuación 17-2: Error cuadrático medio

Donde

h_i : es el valor observado

\hat{h}_i : es el valor calculado

m : el número de datos analizados

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

3.1 Introducción

Se implementó el set-up de laboratorio para determinar las pérdidas de propagación en los diferentes entornos de la Facultad de Informática y Electrónica tales como laboratorio de microondas y del aula 302 a la 303 con variaciones de distancia de 1m. Se detallan cada uno de los resultados obtenidos mediante las mediciones realizadas, para poder generar y validar un modelo de propagación empírico que se ajuste a entornos *indoor* en rango de frecuencias de 10 a 20 GHz.

3.2 Cálculo de ganancia de antenas

Para obtener la ganancia de tensión directa se colocaron las antenas tipo corneta a una distancia de 34cm conectados mediante cable coaxial al analizador de redes vectorial, obteniéndose así la figura 16-3.

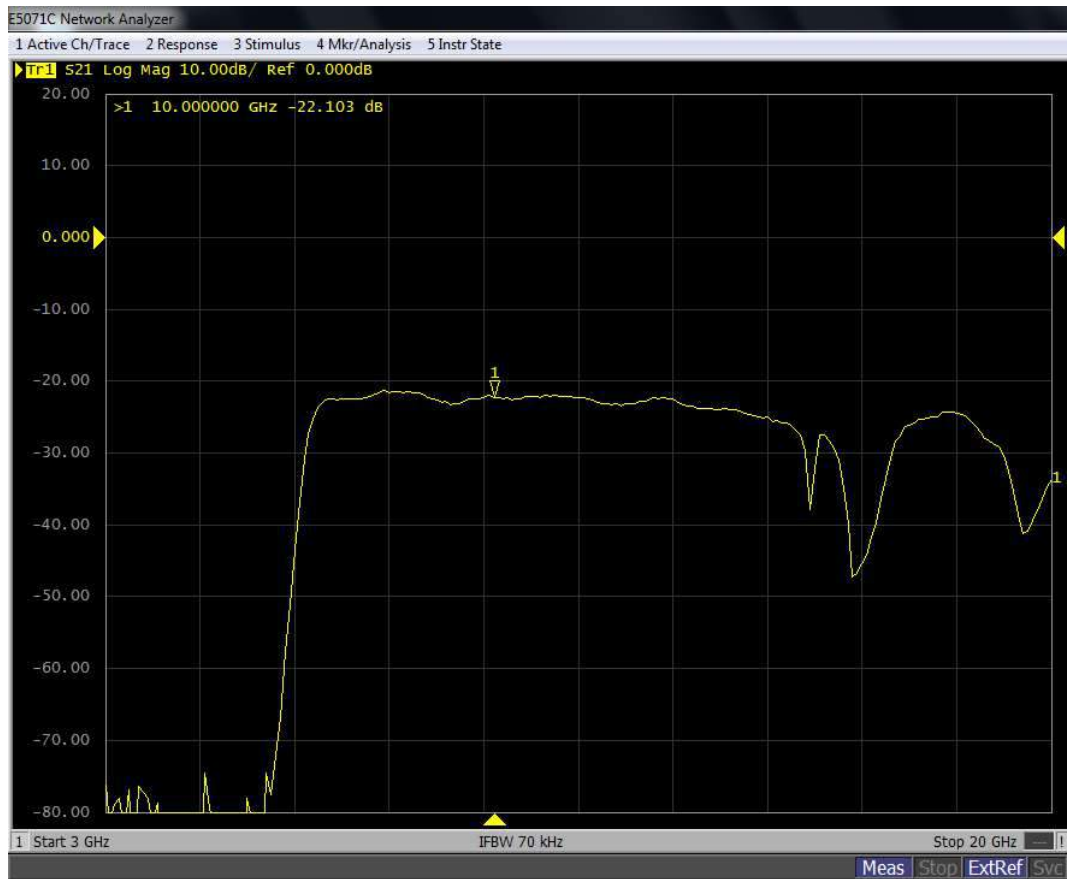


Figura 16-3. Ganancia de tensión directa de antena horn

Realizado por: Rivera C. y Zambrano J. (2020)

Para obtener la ganancia de las antenas se parte de ecuación 5-1

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L}$$

Donde

$P_r(d)$: Potencia recibida en función de la separación $T - R$ $P_r(d) = P_r$

P_t : Potencia transmitida

G_t : Ganancia de la antena transmisora

G_r : Ganancia de la antena receptora

λ : Longitud de onda en metros $\lambda = c/f$

d : Distancia en metros entre transmisor y receptor $d = 0.34m$

L : Factor de pérdida del sistema no relacionado con la propagación $L = 1$

Reemplazando el valor de pérdida del sistema no relacionado con la propagación, la potencia recibida y agrupando los términos se obtiene

$$\frac{P_r}{P_t} = \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 * G_t G_r$$

Considerando que las ganancias de las antenas son iguales $G_t = G_r = G$

$$\frac{P_r}{P_t} = \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 * G^2 \quad [W]$$

o

$$P_r - P_t = 2 * 10 \log\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right) + 2(G) \quad [dBm]$$

Despejando la ganancia se obtiene

$$G = \frac{P_r - P_t - 2 * 10 \log\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)}{2} \quad [dBi]$$

Donde $P_r - P_t = S_{21}$

$$G = \frac{S_{21} - 2 * 10 \log\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)}{2} \quad [dBi]$$

Ecuación 18-3: Ganancia de la antena

Aplicando la ecuación 18-3 y con el uso del software Matlab se pudo generar la figura 17-3 que muestra la relación de ganancia vs frecuencia, en la cual se puede observar que cada antena tiene una ganancia que oscila entre 7 y 11 dBi, como se muestra en el anexo A.

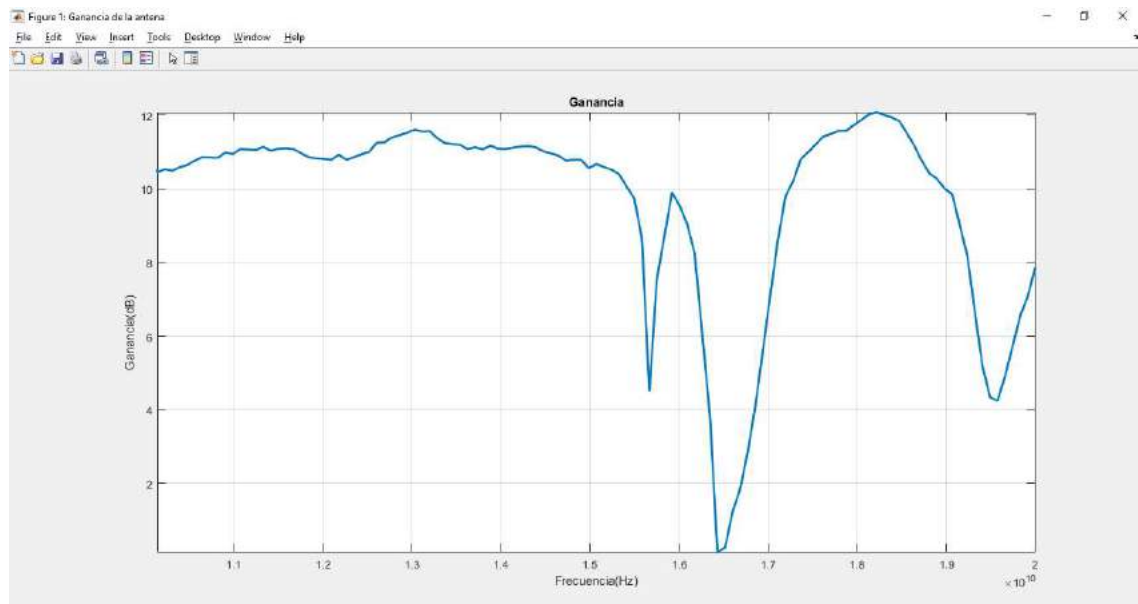


Figura 17-3. Ganancia de antena horn

Realizado por: Rivera C. y Zambrano J. (2020)

Los valores de ganancia para las frecuencias principales se muestran en la tabla 5-3, considerando frecuencias especiales a 15.7, 16.4 y 19.6 GHz ya que en estas frecuencias se obtuvo valores de ganancia bajas con relación a las demás.

Tabla 5-3: Ganancia de antenas tipo corneta

Frecuencia	Ganancia
10 GHz	10.5261 dBi
11 GHz	10.9469 dBi
12 GHz	10.8133 dBi
13 GHz	11.6083 dBi
14 GHz	11.0922 dBi
15 GHz	10.5611 dBi
15.7 GHz	4.5043 dBi
16 GHz	9.5371 dBi
16.4 GHz	0.1211 dBi
17 GHz	7.1378 dBi
18 GHz	11.7274 dBi
19 GHz	10.0040 dBi
19.6 GHz	4.2443 dBi
20 GHz	7.8687 dBi

Realizado por: Rivera, C.; Zambrano, J. 2020

La figura 18-3 muestra el valor de pérdidas utilizando las ganancias mostradas en la figura 17-3 a una distancia del *far field* (0.34 metros) que serían el valor mínimo de pérdidas que se puede obtener debido a la apertura de las antenas.

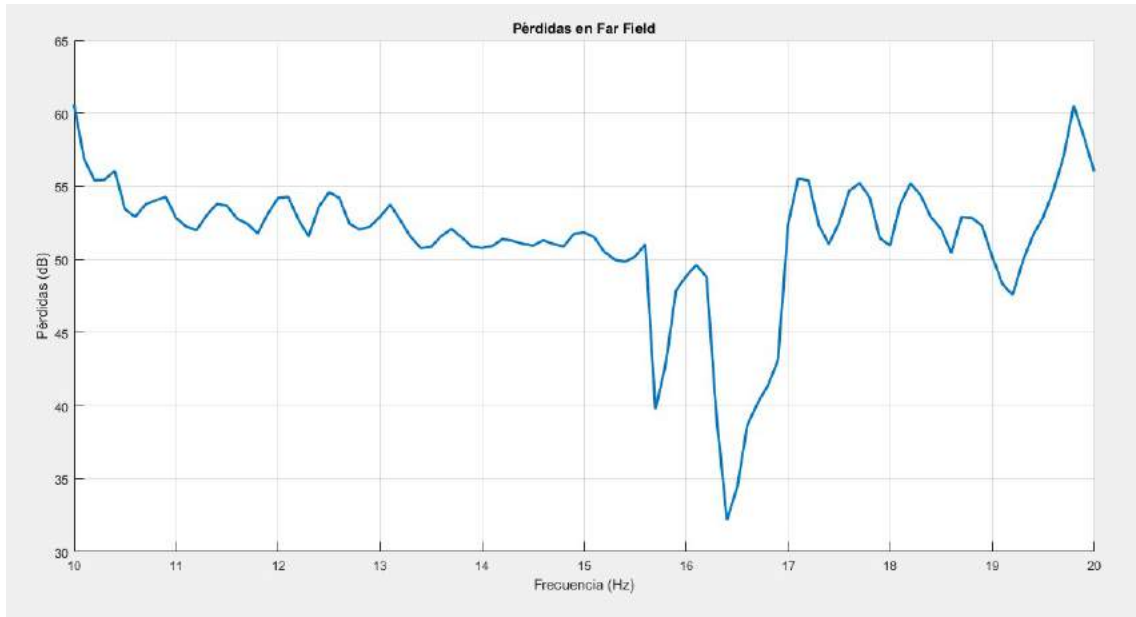


Figura 18-3. Mínimo valor de pérdidas

Realizado por: Rivera C. y Zambrano J. (2020)

3.3 Pérdidas de propagación en entornos *indoor*

Las pérdidas de propagación en entornos *indoor* se obtuvieron usando la ecuación 16-2. Se utilizó una potencia de transmisión de 18 dBm con saltos de 100 MHz, ganancias de las antenas que oscilan entre 10 y 22 dBi, como se observa en la figura 17-3 dependiendo la frecuencia de trabajo y saltos de 1 m para la distancia en entornos LOS (*Line of sight*) y NLOS (*Non Line of sight*), como se muestra en el anexo C.



Figura 19-3. Escenario de laboratorio para mediciones LOS

Realizado por: Rivera C. y Zambrano J. (2020)

En la figura 19-3 se observa el escenario planteado para realizar la campaña de mediciones dentro del laboratorio de microondas (LOS) con una distancia mínima de 1m y máxima de 7m.



Figura 20-3. Escenario de laboratorio para mediciones NLOS

Realizado por: Rivera C. y Zambrano J. (2020)

En la figura 20-3 se observa el escenario planteado para realizar la campaña de mediciones entre el aula 302 y 303 (NLOS) con una distancia mínima de 1m y máxima de 6m, considerando que la pared tiene 20cm de grosor.

3.2.1. Pérdidas de propagación en entornos indoor variando la frecuencia

En la figura 21-3 se puede observar las pérdidas en función de la frecuencia, teniendo en el rango de 10 a 15.6 GHz y de 17.1 a 20 GHz pérdidas entre 45 y 60 dB para el campo lejano y de 75 a 85 dB para 7 m considerada la mayor distancia analizada. Las mayores pérdidas se obtienen en la frecuencia de 10 GHz que oscilan de 57 a 85 dB y las menores pérdidas en la frecuencia de 14 GHz que oscilan de 50 a 78 dB, como se muestra en el anexo D.

Además, existe comportamiento anormal en el rango de 15.7 a 17.1 GHz debido a la absorción mínima por oxígeno dentro de este rango de frecuencias.

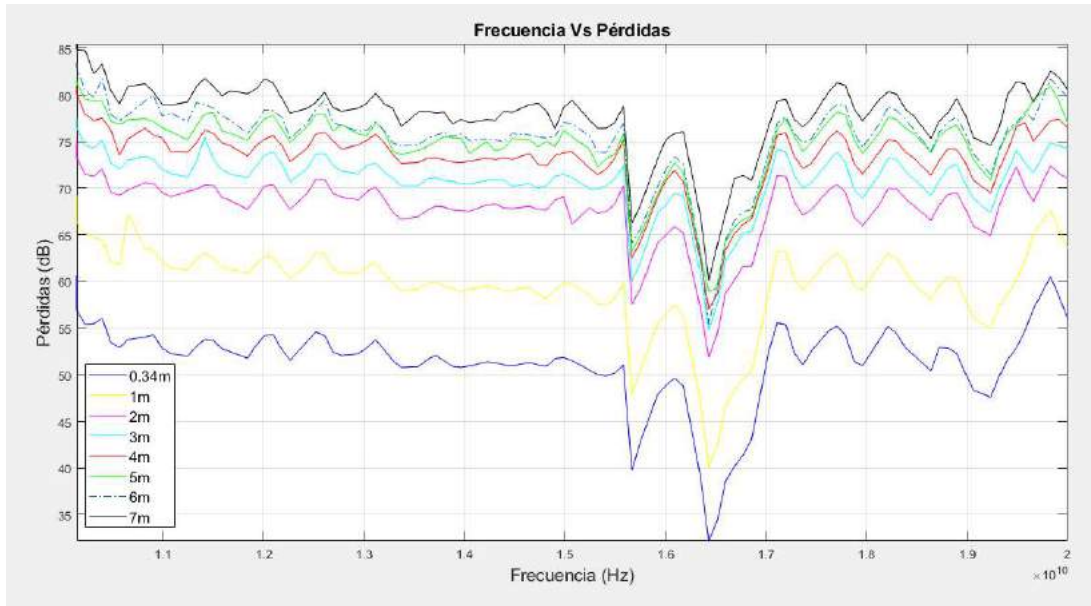


Figura 21-3. Frecuencia vs Pérdidas LOS

Realizado por: Rivera C. y Zambrano J. (2020)

3.2.2. Pérdidas de propagación en entornos indoor variando la distancia

En la figura 22-3 se puede observar las pérdidas en función de la distancia para las frecuencias de 10 a 15 GHz teniendo una tendencia ascendente conforme aumenta la distancia, en el campo lejano se obtuvieron pérdidas que oscilan de 50 a 60 dB y en 7 m considerada la mayor distancia de estudio se obtuvieron pérdidas que oscilan de 77 a 85 dB, como se muestra en el anexo D. Además, desde el campo lejano a 2 m las pérdidas se elevan significativamente en comparación con las demás distancias de estudio.

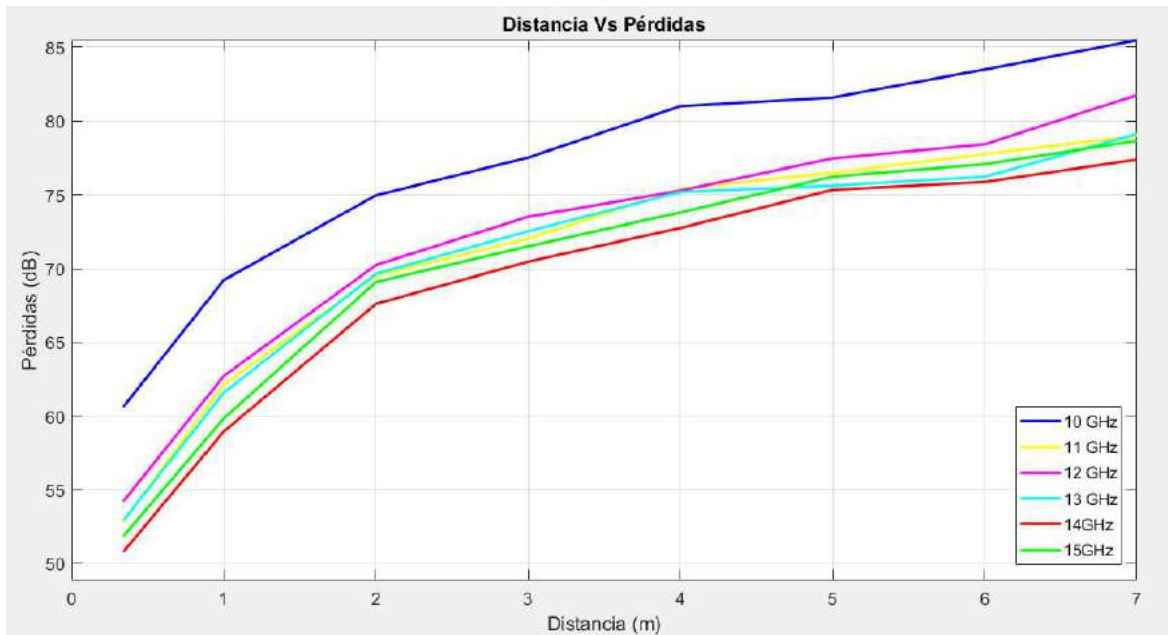


Figura 22-3. Distancia vs Pérdidas LOS 10 a 15 GHz

Realizado por: Rivera C. y Zambrano J. (2020)

En la figura 23-3 se puede observar las pérdidas en función de la distancia para las frecuencias de 16 a 20 GHz teniendo una tendencia ascendente conforme aumenta la distancia, en el campo lejano se obtuvieron pérdidas que oscilan de 49 a 56 dB y en 7 m considerada la mayor distancia de estudio se obtuvieron pérdidas que oscilan de 75 a 80 dB. Además, desde el campo lejano a 2 m las pérdidas se elevan significativamente en comparación con las demás distancias de estudio.

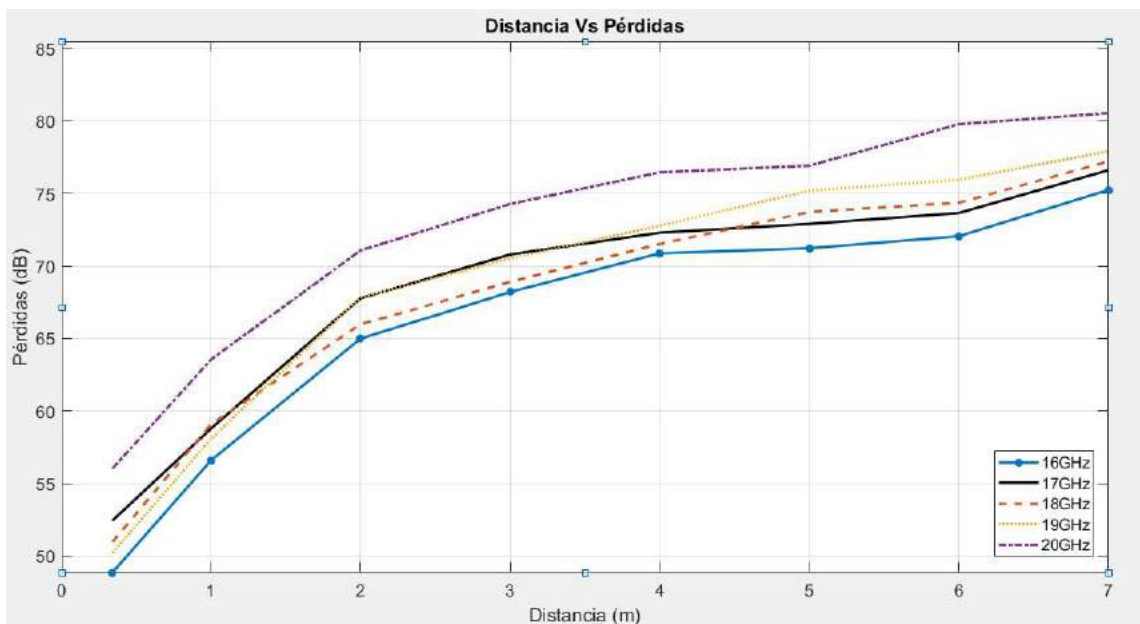


Figura 23-3. Distancia vs Pérdidas LOS 16 a 20 GHz

Realizado por: Rivera C. y Zambrano J. (2020)

3.4 Determinación de ecuación para cálculo de pérdidas de inserción por pared

Para determinar la ecuación de pérdidas por inserción en pared se utilizó una aproximación logarítmica con la ayuda del software MATLAB partiendo de la ecuación 19-3

$$y = a \log(x) + c$$

Ecuación 19-3: Aproximación logarítmica

Posteriormente igualarla a las pérdidas de inserción calculadas en la sección 2.2.9 para proceder a realizar un sistema de ecuaciones.

$$\begin{aligned}\delta i_n &= a_n \log(f_n) + c_n \\ \delta i_{n+1} &= a_n \log(f_{n+1}) + c_n\end{aligned}$$

Donde n es el primer valor analizado y $n + 1$ es el segundo valor a subsiguiente frecuencia. Los valores de a y c serán equivalentes al resultado de δi_n y así sucesivamente hasta el máximo valor analizado.

Los valores resultantes de a y c resolviendo el sistema de ecuaciones se muestran en el anexo E. Obteniendo los siguientes valores promedio:

$$a = 90.0056$$

$$c = -84.0647$$

Las pérdidas de inserción en paredes se calcularán con la ecuación 20-3

$$\delta i = 90.0056 \log(f) - 84.0647$$

Ecuación 20-3: Aproximación de pérdidas de inserción

Donde:

f : frecuencia en GHz

3.5 Determinación del modelo de propagación empírico para entornos *indoor*

Para determinar el modelo de propagación se utilizó la metodología planteada en el trabajo de titulación “Determinación de un modelo de propagación empírico para establecer las pérdidas de propagación en una cámara anecoica” misma que describe el comportamiento de propagación de ondas en diferentes condiciones del medio, como se muestra en la ecuación 21-3.

$$L = A \log(d) + B \log(f)$$

Ecuación 21-3: Determinación del Modelo de Propagación de Friis

Donde:

A y B : son las variables por determinar

d : distancia entre Tx y Rx en metros

f : frecuencia en GHz

Una vez realizada las mediciones con LOS en el laboratorio de microondas se calculó las pérdidas que se muestran en el anexo D y se procedió a resolver el siguiente sistema de ecuaciones:

$$L_n = A_n \log(d_n) + B_n \log(f_n)$$
$$L_{n+1} = A_n \log(d_{n+1}) + B_n \log(f_{n+1})$$

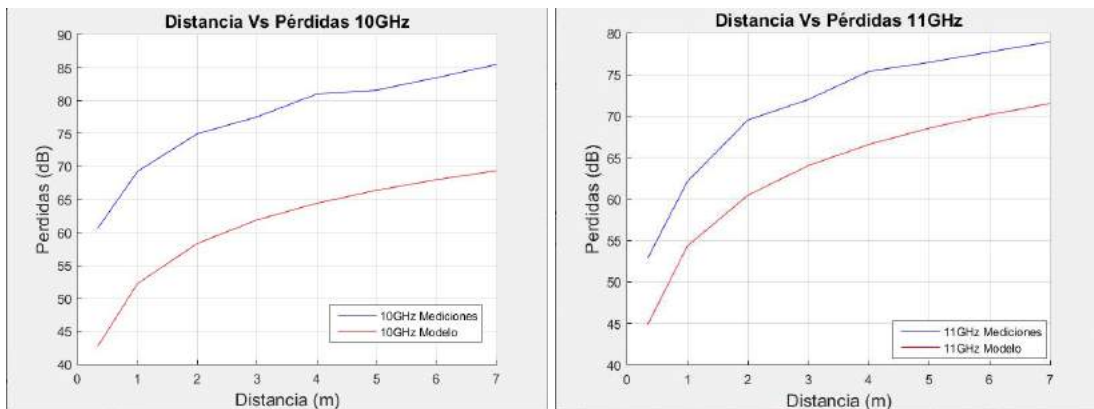
Donde n es el primer valor analizado y $n + 1$ es el segundo valor dentro de la misma frecuencia, pero a la subsiguiente distancia. Los valores de A y B serán equivalentes al resultado de L_n y así sucesivamente hasta el máximo valor analizado.

Los valores resultantes de A y B resolviendo el sistema de ecuaciones se muestran en el anexo E. Obteniendo los siguientes valores promedio:

$$A = 20.3121$$

$$B = 52.1979$$

Se procedió a reemplazar los valores de A y B en la ecuación 21-3, obteniendo las primeras aproximaciones como muestra en el anexo F.



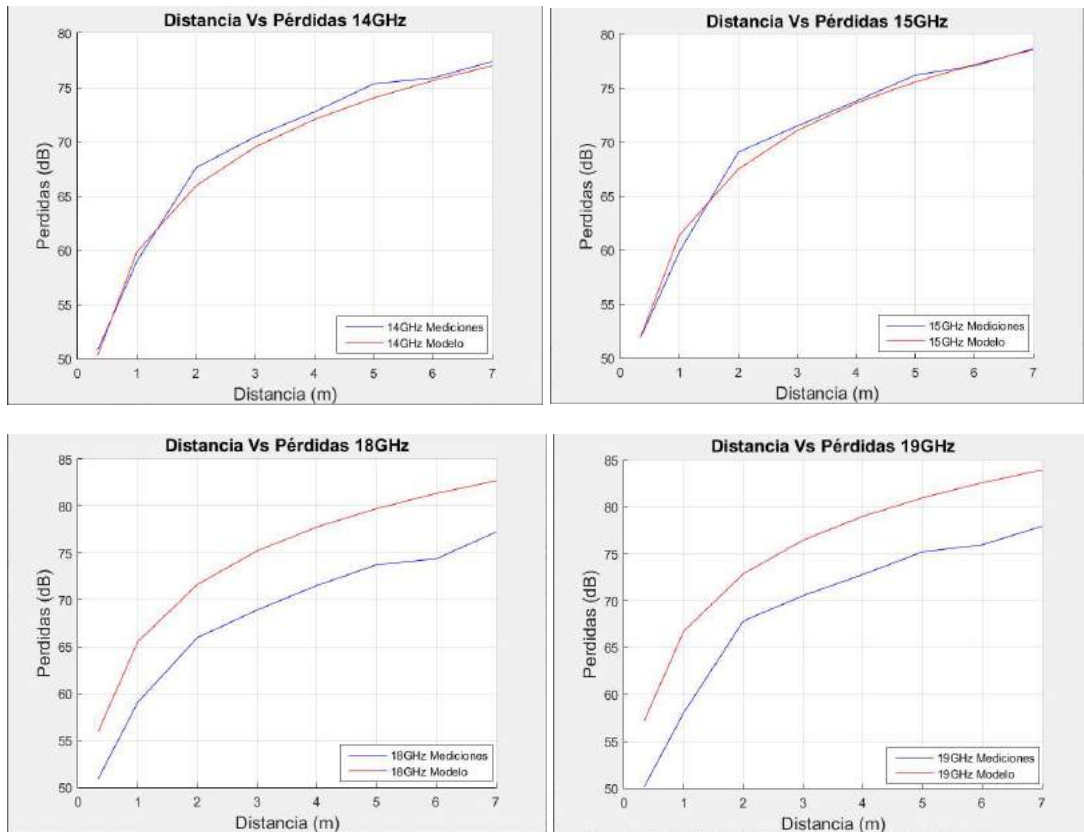


Figura 24-3. Primeras aproximaciones de modelo de propagación

Realizado por: Rivera C. y Zambrano J. (2020)

En la figura 24-3 se puede observar la comparación entre la primera aproximación del modelo de propagación y las mediciones realizadas, es así que en las frecuencias de 10 y 11 GHz los valores del modelo son menores a las medidas reales oscilando entre 8 y 15 dB de diferencia. En las frecuencias de 18 y 19 GHz los valores del modelo en comparación con los reales son mayores, oscilando entre 5 y 7 dB de diferencia. En las frecuencias intermedias de 14 y 15 GHz el modelo se aproxima significativamente a las mediciones realizadas con una diferencia de pérdidas mínima de 0.1 a 0.5 dB.

Como el modelo de propagación se aproximó mayoritariamente en frecuencias intermedias de 13 a 16 GHz se adicionó un factor de corrección que tome en cuenta las primeras aproximaciones, como se muestra en la ecuación 22-3

$$L = 20.3121 \log(d) + 52.1979 \log(f) + C \log\left(\frac{f_m}{f}\right)$$

Ecuación 22-3: Modelo de propagación con factor de corrección

Donde:

C : es la variable por determinar

f_m : frecuencia media ($f_m = 15\text{GHz}$)

Siendo C la única variable por determinar, se procede a despejar esta variable de la ecuación 22-3 para así analizarla según la variación de frecuencia y distancia. Los resultados se muestran en el anexo E, dando un promedio de:

$$C = 47.5222$$

Como se muestra en la ecuación 23-3, para expresión final del modelo de propagación se incluyó las pérdidas por penetración en las i-ésimas paredes, considerando que en un entorno *indoor* la señal puede atravesar varias paredes.

$$L = 20.3121 \log(d) + 52.1979 \log(f) + 47.5222 \log\left(\frac{15}{f}\right) + \sum_{i=0}^n \delta_i$$

$$L = 20.3121 \log(d) + 52.1979 \log(f) + 55.8904 - 47.5222 \log(f) + \sum_{i=0}^n \delta_i$$

$$L = 55.8904 + 20.3121 \log(d) + 52.1979 \log(f) - 47.5222 \log(f) + \sum_{i=0}^n \delta_i$$

$L = 55.8904 + 20.3121 \log(d) + 4.6757 \log(f) + \sum_{i=0}^n \delta_i$ $\delta = \begin{cases} 0 & LOS \\ 90.0056 \log(f) - 84.0647 & NLOS \end{cases}$

Ecuación 23-3: Ecuación del modelo de propagación empírico para entornos *indoor*

Donde:

d: distancia entre Tx y Rx en metros

f: frecuencia en GHz

$\sum_{i=0}^n \delta_i$: pérdidas de inserción debido a las n paredes que la señal atraviesa

n: número de paredes penetradas

3.6 Comprobación del modelo de propagación empírico para entornos LOS

En las figuras 25-3, 26-3 y 27-3 se hace una comparación de las mediciones tomadas y los valores calculados del modelo de propagación empírico. En el anexo G se muestran los valores obtenidos del nuevo modelo de propagación.

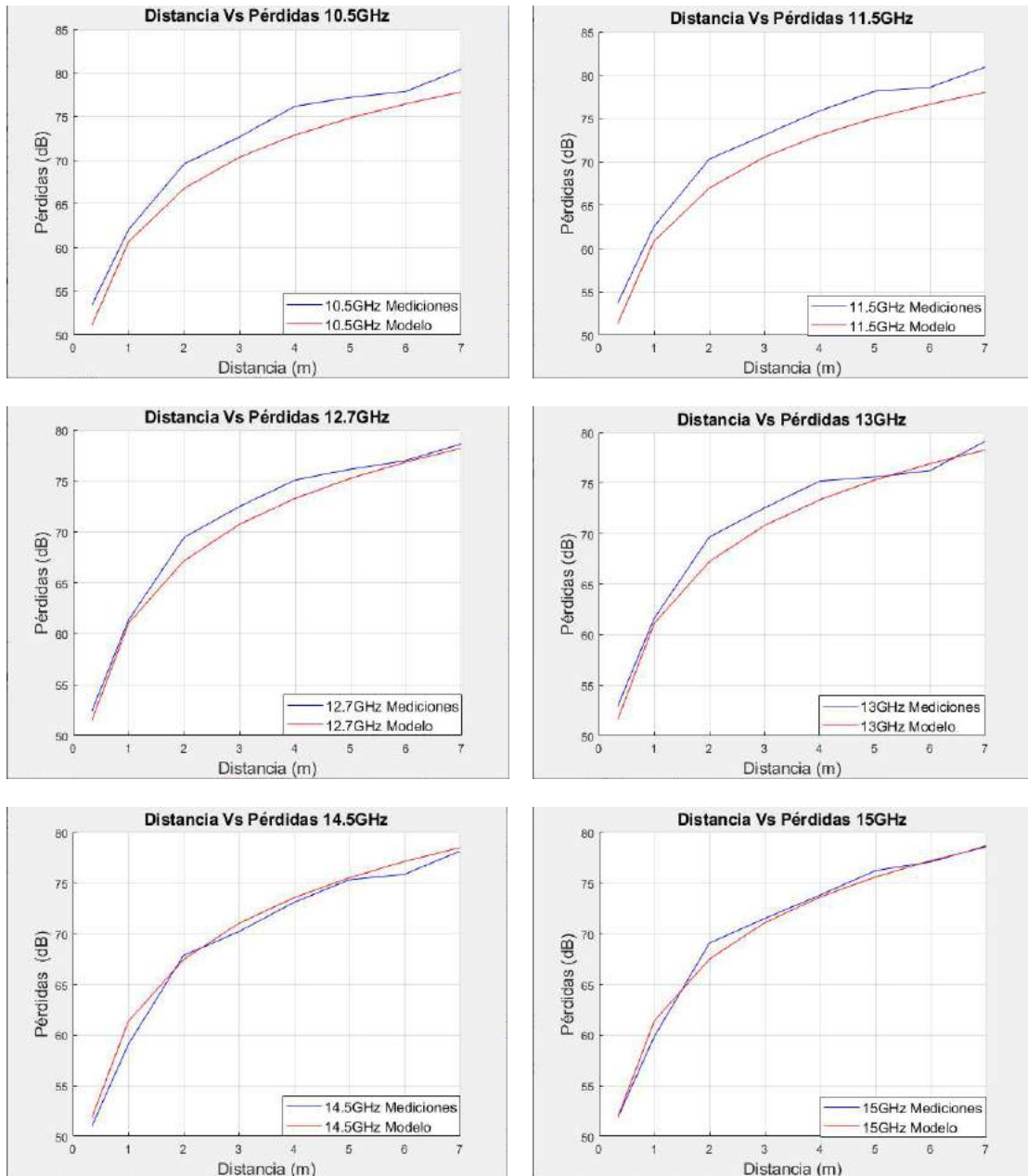


Figura 25-3. Modelo de propagación empírico de 10 a 15 GHz

Realizado por: Rivera C. y Zambrano J. (2020)

En la figura 25-3 se observa que las pérdidas medidas se asemejan a las obtenidas en el modelo de propagación empírico. Con errores cuadráticos de 2.39dB, 2.64dB, 1.3dB, 1.4dB, 1.04dB y 0.83dB para 10.5 GHz, 11.5 GHz, 12.7 GHz, 13 GHz, 14.5 GHz y 15 GHz respectivamente. Lo que indica que el modelo se puede utilizar en entornos *indoor* para frecuencias de 10 a 15 GHz ya que es una aproximación bastante cercana a las mediciones reales.

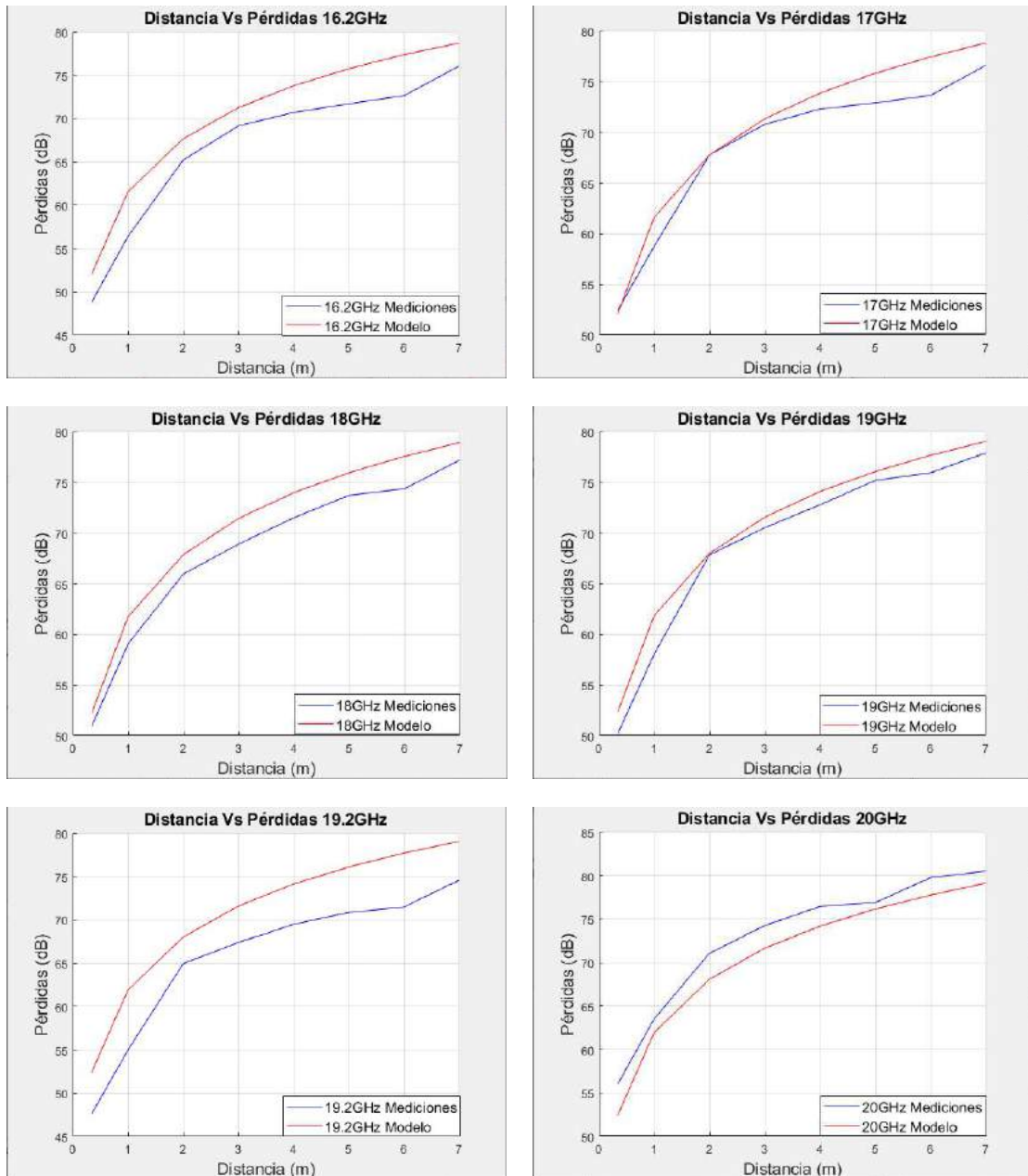


Figura 26-3. Modelo de propagación empírico de 16 a 20 GHz

Realizado por: Rivera C. y Zambrano J. (2020)

En la figura 26-3 se observa que las pérdidas medidas se asemejan a las obtenidas en el modelo de propagación empírico. Con errores cuadráticos de 3.58dB, 2.21dB, 2.32dB, 1.83dB, 5.07dB y 2.3dB para 16.2 GHz, 17 GHz, 18 GHz, 19 GHz, 19.2 GHz y 20 GHz respectivamente. Lo que indica que el modelo se puede utilizar en entornos *indoor* para frecuencias de 16 a 20 GHz ya que es una aproximación bastante cercana a las mediciones reales.

En el rango de 15.7 a 17.1 GHz se obtuvo un mayor error cuadrático que varía de 2.2 a 18.6 dB debido a la absorción mínima de oxígeno dentro de este rango de frecuencias.

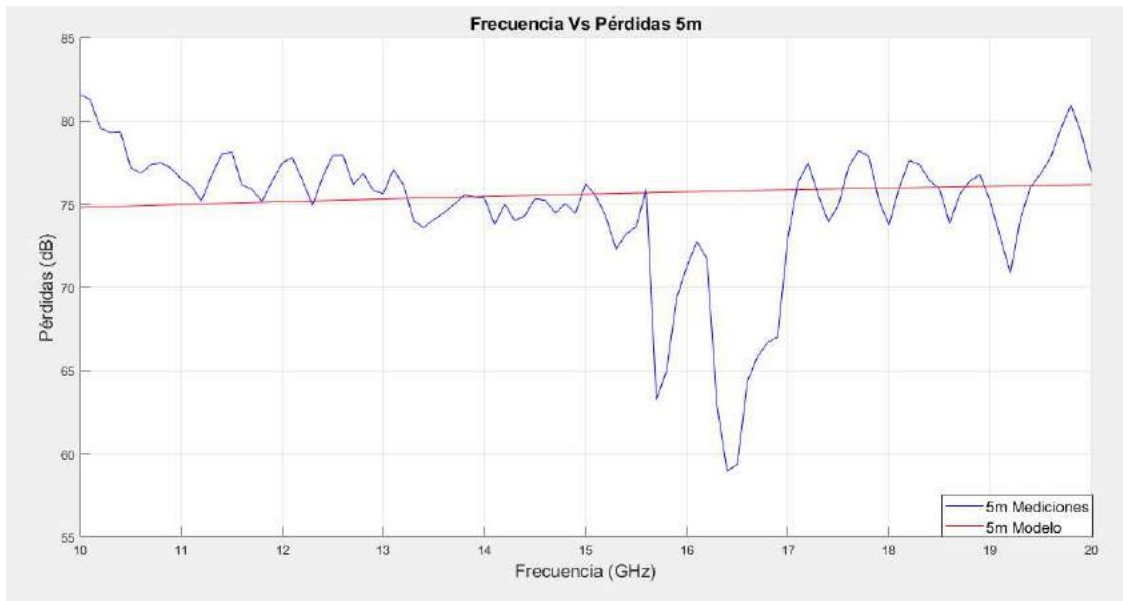


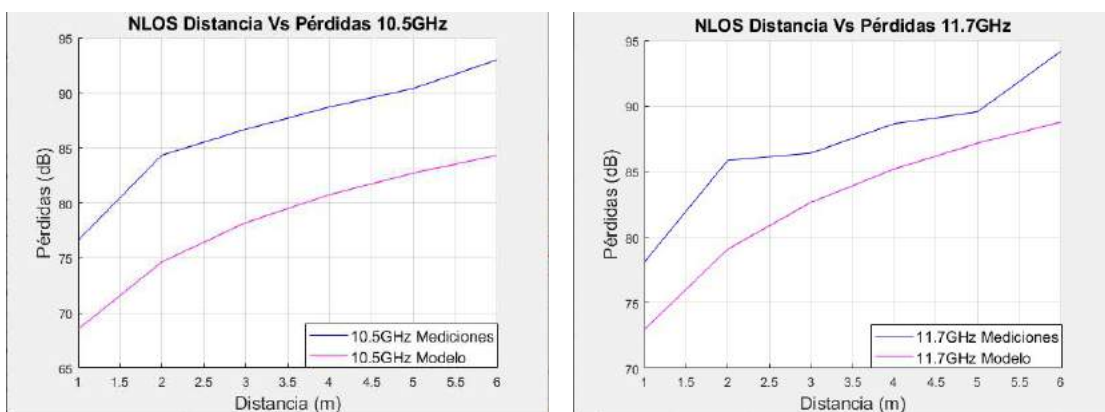
Figura 27-3. Modelo de propagación empírico 5m

Realizado por: Rivera C. y Zambrano J. (2020)

En la figura 27-3 se observa que las pérdidas medidas en función de la frecuencia se asemejan a las obtenidas en el modelo de propagación empírico, ya que los valores calculados se van ajustando en la mayoría de las frecuencias.

3.7 Comprobación del modelo de propagación empírico para entornos NLOS

En las figuras 28-3, 29-3 y 30-3 se hace una comparación de las mediciones tomadas y los valores calculados del modelo de propagación empírico. En el anexo G se muestran los valores obtenidos del nuevo modelo de propagación.



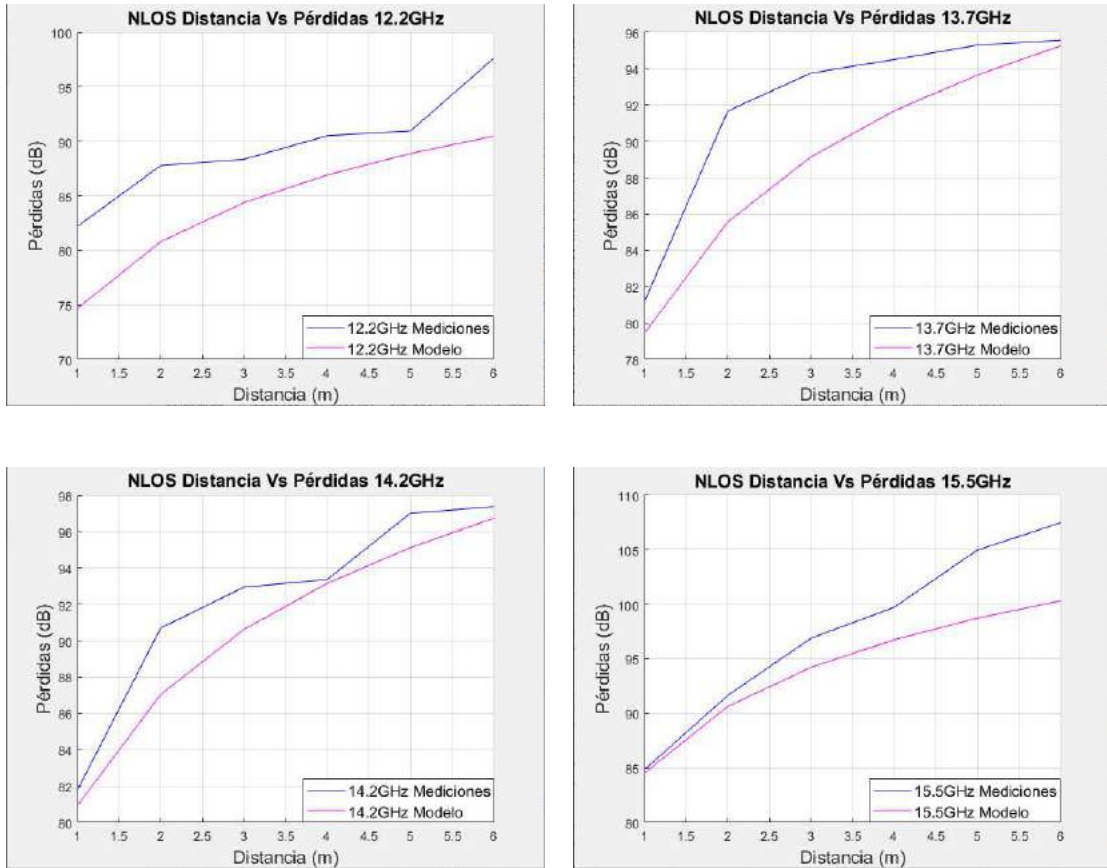
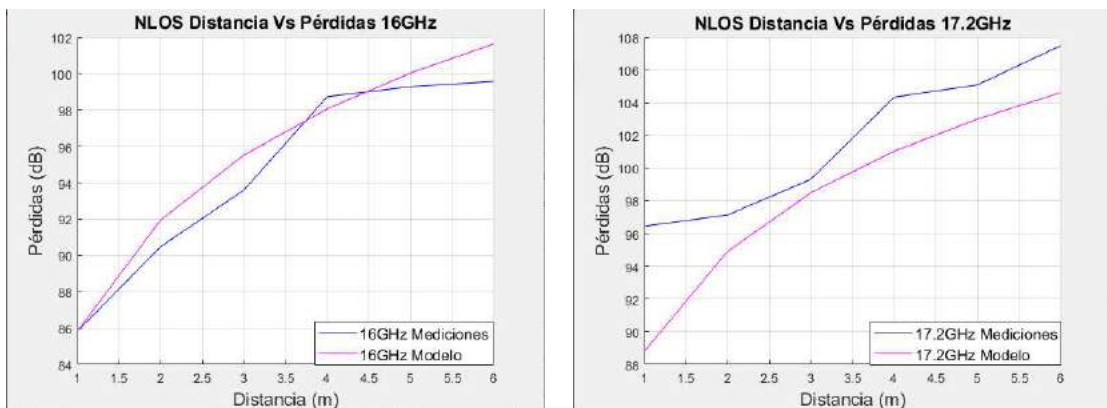


Figura 28-3. Modelo de propagación empírico de 10 a 15 GHz

Realizado por: Rivera C. y Zambrano J. (2020)

En la figura 28-3 se observa que las pérdidas medidas se asemejan a las obtenidas en el modelo de propagación empírico. Con errores cuadráticos de 7.32dB, 4.08dB, 4.86dB, 3dB, 1.71 dB y 3.66dB para 10.5 GHz, 11.7 GHz, 12.2 GHz, 13.7 GHz, 14.2 GHz y 15.5 GHz respectivamente. Lo que indica que el modelo se puede utilizar en entornos *indoor* para frecuencias de 10 a 15 GHz ya que es una aproximación bastante cercana a las mediciones reales.



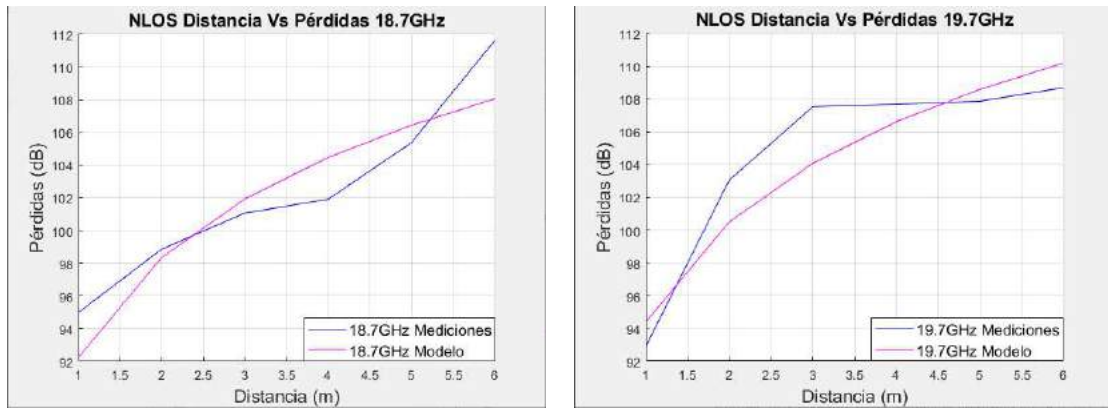


Figura 29-3. Modelo de propagación empírico de 16 a 20 GHz

Realizado por: Rivera C. y Zambrano J. (2020)

En la figura 29-3 se observa que las pérdidas medidas se asemejan a las obtenidas en el modelo de propagación empírico. Con errores cuadráticos de 1.18dB, 3.31dB, 1.9dB y 1.75dB para 16 GHz, 17.2 GHz, 18.7 GHz, y 19.7 GHz respectivamente. Lo que indica que el modelo se puede utilizar en entornos *indoor* para frecuencias de 15 a 20 GHz ya que es una aproximación bastante cercana a las mediciones reales.

En el rango de 15.7 a 17.1 GHz se obtuvo un mayor error cuadrático que varía de 1.17 a 16.32 dB debido a la absorción mínima de oxígeno dentro de este rango de frecuencias.

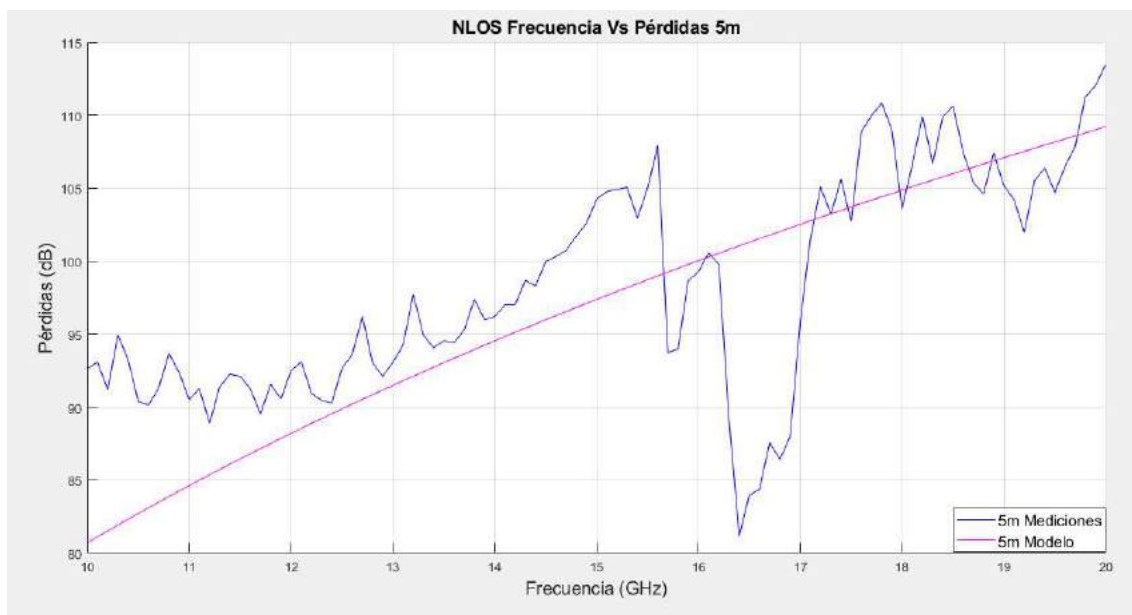


Figura 30-3. Modelo de propagación empírico 5m

Realizado por: Rivera C. y Zambrano J. (2020)

En la figura 30-3 se observa que las pérdidas medidas en función de la frecuencia se asemejan a las obtenidas en el modelo de propagación empírico, ya que los valores calculados se van ajustando en la mayoría de las frecuencias.

CONCLUSIONES

Las pérdidas de propagación dentro del entorno LOS para el rango de frecuencias de 10 a 20 GHz oscilan de 51 a 53 dB aproximadamente considerando la distancia del *far field* y de 77 a 79 dB aproximadamente para 7 metros de distancia, con un promedio de 1.98 de error cuadrático medio. Sin embargo, para las frecuencias de 15.7 a 17.1 GHz son significativamente menores debido a la absorción por oxígeno dentro de este rango de frecuencias, con un promedio 8.54 de error cuadrático medio.

Las pérdidas de propagación dentro del entorno NLOS para el rango de frecuencias de 10 a 20 GHz oscilan de 66 a 95 dB aproximadamente considerando la distancia de 1 metro y de 82 a 110 dB aproximadamente para 7 metros de distancia, con un promedio de 4.27 de error cuadrático medio. Sin embargo, para las frecuencias de 15.7 a 17.1 GHz son significativamente menores debido a la absorción por oxígeno dentro de este rango de frecuencias, con un promedio 7.4 de error cuadrático medio.

Se analizó las pérdidas de inserción en paredes de 20cm de grosor para el rango de 10 a 20 GHz, a mayor frecuencia se observaron mayores pérdidas debido a que las pérdidas de inserción aumentan en altas frecuencias. El estudio de pérdidas de inserción en paredes es primordial, ya que a menor longitud de onda, mayor será la pérdida de propagación producida por el material. La ecuación $\delta_i = 90.0056 \log(f) - 84.0647$ describe de forma general dicho comportamiento.

Se determinó la ecuación general para el modelo de propagación empírico $L = 55.8904 + 20.3121 \log(d) + 4.6757 \log(f) + \sum_{i=0}^n \delta_i$, en el cual las pérdidas calculadas son cercanas a las reales considerando la distancia y frecuencia en el rango de 10 a 20 GHz con un error cuadrático medio máximo de 18.6 para la frecuencia de 16.4 GHz. El modelo planteado en el trabajo de titulación es acertado ya que su comportamiento es similar al entorno real.

Las pérdidas de propagación dentro de entornos NLOS incrementan de manera significativa frente a escenarios LOS debido a que en este tipo de escenarios además de existir las pérdidas básicas de propagación que aumentan en función de la frecuencia también aumentan las pérdidas por penetración en paredes, lo que hace que en el escenario NLOS las pérdidas sean considerablemente mayores.

RECOMENDACIONES

Seleccionar y verificar el correcto funcionamiento de cada uno de los equipos con el propósito de obtener mayor precisión al momento de realizar las mediciones.

Revisar el entorno en el cual se van a realizar las mediciones para cumplir con los parámetros establecidos en el proyecto de investigación.

Se debe colocar las antenas con una distancia mínima del far field (desde la antena hacia el obstáculo) ya que al no considerar esta distancia se van a obtener mayores pérdidas.

Utilizar variaciones de frecuencias y distancia pequeños para obtener mayor precisión al momento de realizar el análisis de resultados.

Calibrar los equipos a utilizarse ya que sin la adecuada calibración de estos es común que existan errores de medición, lo que se vería reflejado en la calidad y eficiencia de la investigación.

GLOSARIO

Difracción: Desviación de una onda al chocar con el borde de un cuerpo opaco o al atravesar una abertura

Dispersión: Descomposición de una radiación en sus diferentes longitudes de onda por la acción del medio de propagación, como la luz cuando atraviesa las gotas de lluvia formando el arco iris

Empírico: Perteneciente o relativo a la experiencia

Espectro radioeléctrico: Medio por el cual se transmiten las frecuencias de ondas de radio electromagnéticas que permiten las telecomunicaciones

Gbps: Gigabits por segundo

LOS: Línea de visión directa

MMSE: Error cuadrático medio mínimo

mmWave: Ondas milimétricas

M2M: Comunicaciones masivas máquina a máquina

Multitrayecto: Es un fenómeno consistente en la propagación de una onda por varios caminos diferentes

NLOS: Línea de visión obstruida

Reflexión: Acción y efecto de reflejar o reflejarse

RF: Radio frecuencia

VH: Polarización cruzada

BIBLIOGRAFIA

ADAMCZYK, B. *S-Parameters Tutorial – Part I: Fundamental Background*. [blog]. [Consulta: 12 de agosto 2020]. Disponible en: <https://incompliancemag.com/article/s-parameters-tutorial-part-i-fundamental-background/>

AGREN, F. *Indoor Radio Propagation Modelling with Antena Placement Optimization* (Trabajo de titulación) (Maestría). Lund University, Lund – Suecia (ciudad-país). 2017. p 11. [Consulta: 14 de agosto 2020]. Disponible en: <https://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=8905160&fileId=8905161>

AHMAD, H., OBEIDAT, O., ASIF, R., & ALI, N. “An *Indoor* Path Loss Prediction Model using Wall Correction Factors for WLAN and 5G *Indoor* Networks”. *IEEE* [en línea], 2018, (USA), (1), pp. 1-28. [Consulta: 15 de agosto 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/324169232_An_Indoor_Path_Loss_Prediction_Model_using_Wall_Correction_Factors_for_WLAN_and_5G_Indoor_Networks

ALFIN, M., SETIA, E., & KURNIANTO, D. “Analysis of Wireless Sensor Network-based *Indoor* COST-231 Multiwall Path Loss Model on Student Attendance Application with RFID Tag using RPS (Radiowave Propagation Simulator)”. *BPOSTEL* [En línea], 2018, 16(1), pp. 17-26. [Consulta: 20 de agosto 2020]. Disponible en: <https://online.bpostel.com/index.php/bpostel/article/view/160102/322>

ALLOULAH, M., & HUANG, H. “Future Millimeter-Wave *Indoor* Systems: A Blueprint for Joint Communication and Sensing”. *IEEE* [en línea], 2019, (USA), 52(7), pp. 16-24. [Consulta: 22 de febrero 2020]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8747215>

ANRITSU. Spectrum Master High Performance Handheld Spectrum Analyzer [blog]. [Consulta: 25 de agosto 2020]. Disponible en: <https://www.anritsu.com/en-us/test-measurement/products/ms2724c>

AWAIS, M., RIAZ, A., & TANVEER, W. “An Ultra-wideband (16 40 GHz) mmWave Antenna for Automotive Radar and 5G Applications” *IEEE* [en línea], 2019, (Pakistan), (1), pp. 1-2. [Consulta: 20 de febrero 2020]. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/331523529_An_Ultra-wideband_16-40_GHz_mmWave_Antenna_for_Automotive_Radar_and_5G_Applications

BATALHA, I, & LOPES, A. “*Indoor Corridor and Office Propagation Measurements and Channel Models at 8, 9, 10 and 11 GHz*”. *IEEE* [en línea], 2019, (Brasil), (1), pp. 1-17. [Consulta: 20 de febrero 2020]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8703718>

BAYAS, R., *Diseño e implementación de un método de Ray Tracing para determinar la influencia de vehículos en un enlace de comunicaciones en la banda de 28 Ghz.* (Tesis de grado). Escuela Superior Politécnica Del Litoral, Guayaquil-Ecuador. 2017. pp. 5-15 [Consulta: 20-08-15]. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/44434>

BHATTARAI, A., KHWAKHALI, U., PAUDEL, S., HOM, N., & YANG, F. “Antenna Parameters Analysis of Patch Arrays at 2.4GHz Using ADS and TTR500 VNA”. *IEEE* [en línea], 2020, (China), (1), pp. 217-221. [Consulta: 13 de agosto 2020]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9123257>

CAMARGO, J. *Modelo de Cobertura para Redes Inalámbricas de Interiores.* (Proyecto de fin de carrera). Universidad de Sevilla, Sevilla-España. 2009. pp 148-152. [Consulta: 2020-08-12]. Disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11761/fichero/Volumen2%252F11-Cap%C3%ADtulo6+-+Modelos+de+propagaci%C3%B3n+en+interiores.pdf>

CASTELLANOS, E., TALERO, J., RUGELES, J. “Análisis de propagación electromagnética en espacios cerrados: Herramienta software en Matlab para predicción y simulación”. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada* [en línea], 2005, (Colombia), 2(6), pp. 1-8. [Consulta: 19 de agosto 2020]. Disponible en: http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_40/recursos/01_general/revista_6/13102011/21.pdf

CHAI, P., & ZHANG, L. “*Indoor radio propagation models and wireless network planning*”. *IEEE International Conference on Computer Science and Automation Engineering* [en línea], 2012, (China). pp 1-4. [12 de agosto 2020]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6272872/figures#figures>

CHANG, Y., BAEK, S., HUR, S., MOK, Y., & LEE Y. “A novel dual-slope mm-Wave channel model based on 3D ray-tracing in urban environments”. *IEEE* [en línea], 2014, (USA), (1), pp. 1-5. [Consulta: 15 de agosto 2020]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7136164>

CHEN, Y., QIAN, G., & CHEN, Y. “Modeling and Simulation of Broadband Coaxial Cable Network for WIFI Signal”. *IEEE* [en línea], 2016, (China), (1), pp. 1-4. [Consulta: 25 de febrero 2020]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7790584>

en: <https://www.redeszone.net/reportajes/tecnologias/que-es-espectro-radioelectrico/>

ENACOM. *¿Qué es el espectro radioeléctrico?*. [blog]. [Consulta: 22 de febrero 2020]. Disponible en: https://www.enacom.gov.ar/-que-es-el-espectro-radioelectrico-_p117

ESPINOSA, O. *Qué es el espectro radioeléctrico.* [blog]. [Consulta: 22 de febrero 2020]. Disponible en: <https://www.redeszone.net/reportajes/tecnologias/que-es-espectro-radioelectrico/>

GARCÍA, F. Modelo de propagación para Comunicaciones móviles 4G y 5G (Trabajo de titulación) (Grado). Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación, Madrid – España (ciudad-país). 2009. p 25. [Consulta: 30 de julio 2020]. Disponible en: <http://oa.upm.es/44152/>

GUNGOR, V., & KORKMAZ, M. . “Wireless Link-Quality Estimation in Smart Grid Environments”. *International Journal of Distributed Sensor Networks*. [en línea], 2012, (Turquía), 2012(1), pp. 1-11. [Consulta: 20 de agosto 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/258382630_Wireless_Link-Quality_Estimation_in_Smart_Grid_Environments

INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION. “*Datos De Propagación Y Modelos De Predicción Para La Planificación De Sistemas De Radiocomunicaciones De Interiores Y Redes De Radiocomunicaciones De Área Local En La Gama De Frecuencias De 900 Mhz A 100 Ghz*”. *ITU* [en línea], 2001, (Suiza), (1), pp. 1-10. [Consulta: 20 de agosto 2020]. Disponible en: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.1238-2-200102-S!!PDF-S.pdf

INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION. *5G – Quinta generación de tecnologías móviles.* *ITU* [blog]. [Consulta: 22 de febrero 2020]. Disponible en: <https://www.itu.int/es/mediacentre/backgrounders/Pages/5G-fifth-generation-of-mobile-technologies.aspx>.

JARGON, J., WILLIAMS, D., & SANDERS, A. “The Relationship Between Switch-Term-Corrected Scattering-Parameters and Wave-Parameters Measured With a Two-Port Vector

Network Analyzer”. *IEEE* [en línea], 2019, (USA), 28(10), pp. 951-953. [Consulta: 13 de agosto 2020]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8470059>

JUNGSUEK O., THIEL, M., & SARABANDI, K. “Wave-propagation management in *indoor* environments using micro-radio-repeater systems”. *IEEE* [en línea], 2014, (USA), (1), pp. 76-88. [Consulta: 20 de febrero 2020]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6837067>

KEYSIGHT. *E5071C ENA Vector Network Analyzer* [blog]. [Consulta: 25 de agosto 2020]. Disponible en: <https://www.keysight.com/en/pdx-x202270-pn-E5071C/ena-vector-network-analyzer?pm=rsc&nid=32496.1150429&cc=US&lc=eng>

LEVINE, E., & MATZNER, H. “A relatively flat dual-horn antenna. 2017.”. *IEEE* [en línea], 2017, (Israel), (1), pp. 1-4. [Consulta: 25 de agosto 2020]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8244793>

LOOPER, C. *What is 5G?*. [blog]. [Consulta: 22 de febrero 2020]. Disponible en: <https://www.digitaltrends.com/mobile/what-is-5g/>

LOPEZ, R., QUINTANA, R., & SANCHEZ, S. “*Evaluacion de modelos de propagacion de canal inalambrico*”. *Revista Cubana de ingenieria* [en línea], 2012, (Cuba). 1(III), pp 1-9. [Consulta: 12 de agosto 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/277791795_Evaluacion_de_modelos_de_propagacion_de_canal_inalambrico

LOTT, M., & FORKEL, R. “*A Multi-Wall-and-Floor Model for indoor Radio Propagation*”. *Vehicular Technology Conference* [en línea], 2001, (Alemania). 1(53), pp 464-468. [Consulta: 29 de agosto 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/3911506_A_multi-wall-and_floor_model_for_indoor_radio_propagation

LU, Y., *Propagation Modeling and Performance Evaluation in an Atrium Building*. (Proyecto de grado). KTH Royal Institute of Technology, Estocolmo-Suecia. 2014. pp 1-41 [Consulta: 2020-08-12]. Disponible en: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:872561/FULLTEXT01.pdf>

MAMUN, H. *Empirical Modeling and Its Applications*. [en línea]. Pilsen-Czech: InTech, 2016. [Consulta: 22 de febrero 2020]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=hG->

QDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR9&dq=Empirical+Modeling+and+Its+Applications+Mamun&ots=7qLYCxsZLk&sig=zbWmn4110U1_aO2Mfvgan8TrVk#v=onepage&q=Empirical%20Modeling%20and%20Its%20Applications%20Mamun&f=false

MILANOVIĆ, J., ŠIMAC, G., & MAZOR K. “Radio wave propagation mechanisms and empirical models for fixed wireless access systems”. *IEEE* [en línea], 2016, (Croacia), (1), pp. 69-74. [Consulta: 20 de febrero 2020]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7765635>

OYIE, N., & AFULLO, T. “Measurements and Analysis of Large-Scale Path Loss Model at 14 and 22 GHz in *Indoor Corridor*”. *IEEE* [en línea], 2018, (Sudáfrica). pp. 1-11. [Consulta: 20 de febrero 2020]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8281114>

POLJAK, D., & CVETKOVIĆ, M. “Theoretical Background: an Outline of Computational Electromagnetics (CEM)”. *IEEE* [en línea], 2019, (Croacia), (1), pp. 21-52. [Consulta: 13 de agosto 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/334405106_Theoretical_Background_an_Outline_of_Computational_Electromagnetics_CEM

RÁBANOS, J. “*Transmisión por Radio*”. [En línea], Madrid: Centro De Estudios Ramón Areces S.A, 2013, pp. 75-85. [Consulta: 25 de agosto 2020]. Disponible en: <https://books.google.com.co/books?id=eHCnDAAAQBAJ&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false>

RAPPAPORT, T. “*Wireless Communications Principles and Practice*”. [En línea], USA: Assistant Michelle Vincenti, 2002, pp. 70-73. [Consulta: 20 de agosto 2020]. Disponible en: <http://ee.sharif.edu/~wireless.comm.net/references/Rappaport%20-%20Wireless%20Communications,Principles%20and%20Practice-ISBN%200130422320.pdf>

RAPPAPORT T. S., MACCARTNEY G. R., SAMIMI & SUN S. “*Wideband millimeter-wave propagation measurements and channel models for future wireless communication system design*”. *IEEE Trans Commun* [En línea], 2015, (USA), 63(9), pp.3029-3056. [Consulta: 22 de febrero 2020]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7109864>

SCHWENGLER, T., *Wireless and Cellular Communications*. [en línea]. EEUU. 2019. [Consulta: 12 de agosto 2020]. Disponible en: <http://morse.colorado.edu/~tlen5510/text/classwebch3.html>

UMIT, C., KRISTEM, V., WANG, R., & MOLISCH, A. (2019). "Real-Time Ultra-Wideband Channel Sounder Design for 3-18 GHz", *IEEE* [en línea], 2019, (Pakistan), (1), pp. 1-14. [Consulta: 21 de febrero 2020]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8587221>

YEPEZ, L. & GRAGIRENA, M. "Corroboración del modelo de propagación "indoor" Log-Normal *Shadowing* Path Loss Model y caracterización de los edificios de Eléctrica/Electrónica y de Aulas.". *UNEXPO* [en línea], 2012, (Venezuela), (1), pp. 64-66. [Consulta: 20 de agosto 2020]. Disponible en: http://www.usfx.bo/nueva/vicerrectorado/citas/TECNOLOGICAS_20/Ingenieria%20Electrica/78.pdf

ANEXOS

ANEXO A: GANANCIA DE LAS ANTENAS

Frecuencia (GHz)	S21	Ganancia (dBi)	Frecuencia (GHz)	S21	Ganancia (dBi)	Frecuencia (GHz)	S21	Ganancia (dBi)
10	-22.1399	21.0522	13.4	-23.1107	22.4832	16.8	-41.8467	5.7153
10.1	-22.3063	20.8858	13.5	-23.3166	22.3871	16.9	-39.3900	8.2160
10.2	-22.2061	21.0585	13.6	-23.5933	22.1648	17	-33.4175	14.2756
10.3	-22.3556	20.9809	13.7	-23.5552	22.2569	17.1	-30.4780	17.2583
10.4	-22.2352	21.1726	13.8	-23.7201	22.1457	17.2	-28.1669	19.6125
10.5	-22.1823	21.2963	13.9	-23.5766	22.3425	17.3	-27.3976	20.4247
10.6	-22.0103	21.5384	14	-23.7877	22.1845	17.4	-26.2443	21.6205
10.7	-21.8902	21.7282	14.1	-23.8561	22.1688	17.5	-25.9078	21.9995
10.8	-22.0662	21.6897	14.2	-23.8340	22.2954	17.6	-25.1470	22.8444
10.9	-21.8569	21.9670	14.3	-23.8604	22.3208	17.7	-25.0546	22.9787
11	-21.9975	21.8938	14.4	-23.9792	22.2534	17.8	-24.9245	23.1503
11.1	-21.7933	22.1649	14.5	-24.2432	22.0405	17.9	-24.9706	23.1457
11.2	-21.9795	22.1111	14.6	-24.5804	21.8048	18	-24.7026	23.4549
11.3	-21.8806	22.2754	14.7	-24.9058	21.5296	18.1	-24.1973	24.0420
11.4	-22.1509	22.0699	14.8	-24.9034	21.5820	18.2	-24.1148	24.1652
11.5	-22.1073	22.1781	14.9	-24.9611	21.5740	18.3	-24.3082	24.0122
11.6	-22.1444	22.2049	15	-25.4624	21.1221	18.4	-24.4757	23.8850
11.7	-22.2530	22.1597	15.1	-25.2953	21.3383	18.5	-24.7075	23.6931
11.8	-22.8166	21.7218	15.2	-25.7015	21.0296	18.6	-26.1373	22.3430
11.9	-22.9462	21.6544	15.3	-25.9787	20.8006	18.7	-27.0052	21.5146
12	-23.0356	21.6266	15.4	-26.7004	20.1270	18.8	-27.7245	20.8346
12.1	-23.1462	21.5773	15.5	-27.3818	19.4934	18.9	-28.0609	20.5374
12.2	-22.9245	21.8598	15.6	-29.5659	17.3568	19	-28.6293	20.0079
12.3	-23.2720	21.5727	15.7	-37.9615	9.0085	19.1	-28.9668	19.7093
12.4	-23.0866	21.8777	15.8	-31.9365	15.0804	19.2	-32.3823	16.3709
12.5	-23.0082	22.0152	15.9	-27.3110	19.7992	19.3	-35.4848	13.3067
12.6	-22.5795	22.5027	16	-28.0822	19.0742	19.4	-38.4697	10.3599
12.7	-22.6153	22.5253	16.1	-29.1294	18.0730	19.5	-40.1852	8.6824
12.8	-22.4143	22.7842	16.2	-30.7759	16.4723	19.6	-40.4167	8.4887
12.9	-22.2768	23.0366	16.3	-39.6392	7.6998	19.7	-39.0964	9.8467
13	-22.1537	23.2165	16.4	-47.1417	0.2424	19.8	-35.8843	13.1335
13.1	-22.3218	23.1050	16.5	-46.9032	0.5257	19.9	-34.8712	14.1837
13.2	-22.3539	23.1289	16.6	-45.0303	2.4432	20	-33.3545	15.7375
13.3	-22.7957	22.7428	16.7	-43.8083	3.7095			

ANEXO B: MEDICIONES DE PÉRDIDAS DE INSERCIÓN POR PENETRACIÓN EN PARED

Frecuencia (GHz)	PR (dBm) con material	PR (dBm) sin material	Pérdidas de inserción (dB)	Frecuencia (GHz)	PR (dBm) con material	PR (dBm) sin material (dB)	Pérdidas de inserción
10	-35.93	-23.23	12.7	15.1	-47.23	-20.07	27.16
10.1	-34.6	-21.48	13.12	15.2	-46.25	-17.85	28.4
10.2	-33.99	-20.56	13.43	15.3	-47.4	-19.46	27.94
10.3	-35.45	-21.79	13.66	15.4	-45.88	-17.83	28.05
10.4	-35.67	-21.86	13.81	15.5	-45.58	-18.17	27.41
10.5	-33.2	-20.74	12.46	15.6	-48.99	-21.18	27.81
10.6	-33.18	-19.56	13.62	15.7	-56.31	-29.34	26.97
10.7	-35.5	-21.66	13.84	15.8	-48.2	-20.43	27.77
10.8	-34.4	-21.2	13.2	15.9	-45.28	-17.22	28.06
10.9	-33.54	-20.11	13.43	16	-40.93	-17.73	23.2
11	-37.19	-23.88	13.31	16.1	-45.33	-21.92	23.41
11.1	-35.81	-21.7	14.11	16.2	-45.54	-21.95	23.59
11.2	-33.84	-19.41	14.43	16.3	-49.36	-26.06	23.3
11.3	-33.72	-19.03	14.69	16.4	-47.76	-22.16	25.6
11.4	-35.06	-21.97	13.09	16.5	-36.46	-18.62	17.84
11.5	-37.19	-23	14.19	16.6	-41.37	-20.13	21.24
11.6	-35.23	-18.8	16.43	16.7	-42.08	-20.46	21.62
11.7	-37	-20.58	16.42	16.8	-44.26	-22.29	21.97
11.8	-35.73	-18.57	17.16	16.9	-41.06	-18.06	23
11.9	-39.9	-21	18.9	17	-35.47	-16.46	19.01
12	-40.33	-22.13	18.2	17.1	-41.26	-21.18	20.08
12.1	-40.57	-20.76	19.81	17.2	-49.18	-22.9	26.28
12.2	-39.65	-21.02	18.63	17.3	-53.6	-24.36	29.24
12.3	-40.82	-22.61	18.21	17.4	-50.11	-20.94	29.17
12.4	-38.34	-19.86	18.48	17.5	-53.67	-19.44	34.23
12.5	-40.01	-20.13	19.88	17.6	-51.71	-17.5	34.21
12.6	-38.69	-19.2	19.49	17.7	-56.79	-20.89	35.9
12.7	-37.23	-17.33	19.9	17.8	-58.12	-22.81	35.31
12.8	-42.44	-22.5	19.94	17.9	-54.68	-23.1	31.58
12.9	-36.24	-16.69	19.55	18	-53.28	-19.06	34.22
13	-38.58	-17.63	20.95	18.1	-53.72	-19.43	34.29
13.1	-37.86	-18.81	19.05	18.2	-53.82	-19.94	33.88
13.2	-39.27	-18.04	21.23	18.3	-55.21	-20.85	34.36
13.3	-42.16	-20.38	21.78	18.4	-54	-21.28	32.72
13.4	-40.24	-18.31	21.93	18.5	-56.58	-22.17	34.41
13.5	-40.72	-19.06	21.66	18.6	-53.75	-20.25	33.5
13.6	-39.92	-18.54	21.38	18.7	-51.92	-18.66	33.26
13.7	-40.42	-18.16	22.26	18.8	-52.02	-18.71	33.31
13.8	-40.01	-18.64	21.37	18.9	-53.74	-20.64	33.1
13.9	-39.22	-17.71	21.51	19	-53.03	-21.07	31.96
14	-42.52	-19.79	22.73	19.1	-54.38	-22.24	32.14
14.1	-41.47	-18.66	22.81	19.2	-55.08	-21.25	33.83
14.2	-40.72	-18.01	22.71	19.3	-52.03	-19.71	32.32
14.3	-41.48	-19.79	21.69	19.4	-58.05	-23.78	34.27
14.4	-40	-18.21	21.79	19.5	-61.93	-25.83	36.1
14.5	-40.06	-19.69	20.37	19.6	-65.93	-26.35	39.58
14.6	-39.62	-18.48	21.14	19.7	-63.86	-26.16	37.7
14.7	-37.15	-17.14	20.01	19.8	-64.64	-28.23	36.41
14.8	-42.34	-20.86	21.48	19.9	-64.02	-28.36	35.66
14.9	-45.15	-17.26	27.89	20	-67.75	-29.6	38.15
15	-47.37	-18.29	29.08				

ANEXO C: MEDICIONES REALIZADAS EN CONDICIONES DE LOS Y NLOS

Laboratorio de Microondas (LOS)

Frecuencia (GHz)	Distancia (m)							
	0.34	1	2	3	4	5	6	7
10	-21.57	-30.17	-35.91	-38.47	-41.95	-42.54	-44.44	-46.43
10.1	-18.01	-27.42	-34.38	-37.56	-41.16	-42.38	-44.07	-45.97
10.2	-16.36	-26.1	-32.44	-35.56	-38.88	-40.5	-41.36	-45.71
10.3	-16.48	-25.73	-32.31	-35.3	-38.28	-40.3	-40.8	-43.28
10.4	-16.9	-25.29	-32.9	-35.97	-38.36	-40.16	-42.6	-44.16
10.5	-14.14	-22.77	-30.28	-33.38	-36.9	-37.9	-38.6	-41.14
10.6	-13.38	-22.25	-29.72	-32.55	-34.01	-37.3	-37.71	-39.51
10.7	-14.03	-27.5	-30.06	-33.29	-35.55	-37.63	-38.14	-41.18
10.8	-14.36	-23.9	-30.91	-33.74	-36.76	-37.77	-39.66	-41.52
10.9	-14.32	-23.35	-30.56	-33.12	-35.71	-37.18	-40	-40.35
11	-12.94	-22.26	-29.64	-32.12	-35.51	-36.6	-37.86	-39.09
11.1	-12.1	-21.28	-28.92	-31.43	-33.76	-35.92	-37.9	-38.75
11.2	-11.9	-21.17	-29.54	-31.09	-33.72	-35.07	-37.03	-39.14
11.3	-12.74	-22.2	-29.6	-32.56	-34.58	-36.41	-38.9	-40.62
11.4	-13.72	-22.94	-30.28	-35.44	-36.19	-37.91	-38.92	-41.72
11.5	-13.5	-22.37	-30.12	-32.91	-35.7	-37.96	-38.41	-40.76
11.6	-12.57	-21.37	-28.81	-31.79	-34.64	-35.94	-37.56	-39.7
11.7	-12.29	-21.21	-28.51	-31.36	-34.4	-35.72	-37.13	-40.28
11.8	-12.06	-21.15	-28.03	-31.42	-33.71	-35.42	-36.16	-40.4
11.9	-13.47	-22.26	-29.27	-32.72	-34.9	-36.71	-37.34	-40.98
12	-14.58	-23.09	-30.61	-33.88	-35.65	-37.84	-38.79	-42.13
12.1	-14.71	-23.02	-30.81	-34.32	-36.06	-38.2	-38.75	-41.68
12.2	-12.86	-21.5	-29.13	-32.78	-34.74	-36.54	-37.77	-39.8
12.3	-12.01	-20.66	-28.15	-31.14	-33.28	-35.34	-35.78	-38.5
12.4	-13.72	-21.92	-29.59	-32.26	-34.42	-36.73	-37.18	-38.7
12.5	-14.57	-23.08	-30.92	-33.66	-35.77	-37.9	-38.42	-39.17
12.6	-13.72	-22.44	-30.45	-33.2	-35.52	-37.42	-38.9	-39.78
12.7	-11.92	-20.83	-28.93	-31.96	-34.56	-35.62	-36.47	-38.12
12.8	-11.28	-20.14	-28.26	-31.04	-33.4	-36.04	-35.92	-37.49
12.9	-11.21	-19.88	-27.7	-30.53	-33.61	-34.77	-35.09	-37.54
13	-11.7	-20.37	-28.43	-31.31	-33.97	-34.4	-35	-37.91
13.1	-12.64	-20.97	-29.02	-31.56	-34.68	-35.96	-36.02	-39.07
13.2	-11.54	-19.69	-27.75	-30.62	-33.77	-34.98	-35.06	-37.9
13.3	-10.8	-19.1	-26.7	-30.32	-32.84	-33.24	-34.1	-37.83
13.4	-10.3	-18.6	-26.19	-29.78	-32.18	-33.09	-34.04	-36.14
13.5	-10.48	-18.8	-26.6	-29.89	-32.38	-33.68	-34.28	-37.8
13.6	-11.43	-19.59	-27.46	-30.82	-33.05	-34.3	-35.15	-38.11
13.7	-11.84	-19.77	-27.83	-30.89	-33.03	-34.71	-35.42	-37.82
13.8	-11.37	-19.35	-27.84	-30.66	-32.88	-35.4	-35.81	-38.02
13.9	-10.55	-18.92	-27.35	-30.4	-32.47	-35.08	-35.17	-36.57
14	-10.61	-18.77	-27.42	-30.28	-32.56	-35.15	-35.68	-37.2
14.1	-10.76	-19.01	-27.37	-30.3	-32.72	-33.58	-34.95	-36.88
14.2	-11.1	-19.2	-27.92	-30.51	-32.96	-34.69	-35.01	-37.07
14.3	-10.96	-19.04	-27.98	-30.61	-32.75	-33.67	-34.86	-36.97
14.4	-10.82	-18.75	-27.65	-30.61	-33.02	-34.04	-34.76	-37.97
14.5	-10.92	-19.01	-27.81	-30.15	-33.05	-35.28	-35.82	-38.1
14.6	-11.51	-19.6	-28.26	-30.71	-33.92	-35.41	-35.92	-39.15
14.7	-11.53	-19.1	-28.22	-30.48	-33.08	-34.92	-35.95	-39.57
14.8	-11.32	-18.6	-28.11	-30.68	-32.82	-35.44	-35.82	-38.7

14.9	-12.17	-19.54	-29.13	-31.72	-33.92	-34.85	-36	-36.8
15	-12.73	-20.72	-29.96	-32.38	-34.68	-37.1	-37.95	-39.53
15.1	-12.18	-20.44	-26.8	-31.81	-34.55	-36.15	-37.58	-40.09
15.2	-11.48	-19.5	-28.9	-30.94	-33.15	-35.2	-36.6	-38.31
15.3	-11.19	-18.77	-28.51	-31.06	-32.66	-33.48	-35.04	-37.63
15.4	-11.73	-19.35	-29.39	-32.18	-33.94	-35.07	-35.7	-38.31
15.5	-12.69	-20.71	-30.81	-33.48	-35.75	-36.14	-37.98	-39.55
15.6	-15.7	-24.54	-34.9	-37.06	-39.82	-40.52	-41.6	-43.43
15.7	-12.735	-20.98	-30.545	-33.04	-35.525	-36.205	-37.09	-39.265
15.8	-9.77	-17.42	-26.19	-29.02	-31.23	-31.89	-32.58	-35.1
15.9	-10.07	-17.7	-26.34	-29.59	-31.24	-31.56	-32.4	-35.34
16	-11.78	-19.51	-27.9	-31.14	-33.8	-34.15	-34.98	-38.17
16.1	-13.56	-21.44	-29.85	-33.4	-35.85	-36.67	-37.3	-39.79
16.2	-14.32	-21.92	-30.73	-34.66	-36.22	-37.23	-38.14	-41.58
16.3	-13.46	-21.44	-31.52	-35.24	-36.67	-37.19	-37.32	-41.38
16.4	-13.94	-21.85	-33.6	-36.54	-38.81	-40.69	-37.19	-41.9
16.5	-15.86	-23.92	-35.92	-39.09	-40.1	-40.82	-41.12	-45.39
16.6	-18.21	-26.27	-38.41	-41.84	-43.02	-43.89	-44.1	-46.92
16.7	-18.45	-26.64	-38.44	-41.92	-43.4	-44.12	-44.81	-49.3
16.8	-17.66	-25.8	-37.9	-41.5	-42.4	-42.94	-43.78	-47.66
16.9	-16.87	-24.21	-35.42	-39.13	-40.52	-40.81	-41.5	-44.62
17	-20.16	-26.5	-35.5	-38.52	-40.02	-40.63	-41.38	-44.33
17.1	-20.3	-27.95	-36.11	-38.92	-40.44	-41.04	-41.67	-44.08
17.2	-17.78	-25.61	-33.66	-36.24	-38.3	-39.84	-40.06	-41.92
17.3	-13.94	-21.92	-30.13	-32.96	-34.98	-37.11	-37.42	-38.97
17.4	-11.43	-19.42	-27.48	-30.36	-32.53	-34.3	-35.28	-36.92
17.5	-12.54	-20.13	-27.7	-30.58	-32.66	-34.91	-35.29	-37.44
17.6	-13.84	-21.48	-28.93	-31.99	-34.47	-36.36	-37.36	-39.45
17.7	-14.25	-22.08	-29.44	-32.88	-35.17	-37.22	-38.01	-40.33
17.8	-13.07	-20.92	-28.4	-31.57	-34.14	-36.72	-37.7	-39.86
17.9	-10.31	-18.35	-25.76	-28.71	-31.5	-34.06	-34.8	-37.4
18	-9.5	-17.62	-24.51	-27.46	-30.06	-32.27	-32.91	-35.75
18.1	-11.76	-19.7	-26.26	-29.44	-31.89	-33.9	-34.9	-37.49
18.2	-13.04	-20.86	-27.81	-31.06	-33.05	-35.44	-36.54	-38.16
18.3	-12.37	-20.47	-27.92	-31.09	-33.02	-35.36	-36.32	-38.06
18.4	-11.01	-19.18	-27.01	-29.95	-32	-34.54	-35.54	-36.6
18.5	-10.4	-18.01	-26.44	-29.33	-31.52	-34.2	-34.6	-36.06
18.6	-10.1	-17.7	-26.23	-28.88	-31.08	-33.48	-33.62	-35.02
18.7	-13.4	-20.02	-28.72	-31.31	-33.46	-36.06	-36.51	-37.7
18.8	-14.02	-21.68	-30.49	-33.36	-35.41	-37.54	-38.28	-39.29
18.9	-13.77	-21.6	-31.01	-34	-35.6	-38.22	-39.1	-41.03
19	-12.2	-20.06	-29.83	-32.52	-34.77	-37.18	-37.94	-39.9
19.1	-10.63	-18.35	-28.23	-31.16	-33.13	-35.3	-35.95	-37.72
19.2	-13.22	-20.61	-30.56	-33.01	-35.1	-36.48	-37.1	-40.19
19.3	-18.56	-26.08	-36.82	-38.71	-40.78	-42.8	-42.86	-45.22
19.4	-23.3	-30.32	-41.99	-43.49	-45.73	-47.65	-48.04	-51.7
19.5	-26.2	-33.57	-45.62	-47.39	-49.9	-50.12	-50.3	-54.72
19.6	-28.22	-35.66	-43.62	-46.22	-50.57	-51.3	-51.7	-54.7
19.7	-29.2	-37.3	-40.7	-43.81	-47.19	-51.69	-49.44	-51.35
19.8	-29.38	-36.51	-41.28	-43.73	-46.13	-49.8	-50.63	-51.42
19.9	-26.2	-33.36	-39.4	-42.33	-45.22	-47.1	-48.49	-49.71
20	-22.28	-29.8	-37.34	-40.54	-42.72	-43.18	-46.04	-46.8

Aula 302 vs Aula 303 (NLOS)

Frecuencia (GHz)	Distancia (m)					
	1	2	3	4	5	6
10	-39.49	-45.75	-48.19	-49.19	-53.58	-54.03
10.1	-38.15	-44.79	-46.95	-47.33	-54.2	-54.94
10.2	-38.37	-45.3	-48.36	-48.48	-52.14	-52.88
10.3	-39.12	-47.22	-49.31	-50.8	-55.95	-56.15
10.4	-39.38	-46.87	-49.83	-50.42	-54.06	-55.52
10.5	-37.29	-45.03	-47.38	-49.41	-51.09	-53.7
10.6	-37.49	-45.37	-47.16	-48.04	-50.6	-51.53
10.7	-39.92	-46.24	-48.53	-50.39	-51.56	-54.61
10.8	-39.86	-48.65	-49.67	-51.35	-53.99	-56.12
10.9	-40.32	-48.6	-49.4	-50.81	-52.43	-55.78
11	-39.01	-47.7	-47.97	-49.92	-50.62	-53.53
11.1	-37.62	-45.35	-46.96	-47.43	-51.12	-52.51
11.2	-36.73	-45.54	-44.83	-47.41	-48.78	-52.75
11.3	-37.97	-45.27	-47	-47.4	-51.13	-52.49
11.4	-39.48	-47.4	-47.76	-49.85	-52.19	-55.03
11.5	-38.42	-46.62	-46.98	-48.72	-51.94	-53.82
11.6	-38.22	-46.58	-47.08	-48.18	-51.04	-53.6
11.7	-37.94	-45.69	-46.25	-48.49	-49.39	-54
11.8	-39.16	-47.09	-47.66	-48.38	-51.85	-53.21
11.9	-40.06	-45.04	-46.9	-50.32	-50.92	-55.26
12	-42.13	-48.01	-49.28	-51.41	-52.86	-56.43
12.1	-43.31	-48.85	-49.5	-51.76	-53.52	-56.99
12.2	-42.35	-47.91	-48.49	-50.66	-51.08	-57.75
12.3	-41.16	-46.42	-47.95	-49.22	-50.89	-54.01
12.4	-42.55	-47.3	-48.74	-49.94	-50.39	-55.36
12.5	-43.22	-49.56	-50.97	-52.44	-52.66	-58.65
12.6	-44.04	-49.84	-50.58	-52.99	-53.08	-58.54
12.7	-43.24	-48.36	-49.64	-54.64	-55.7	-58.88
12.8	-43.81	-49.52	-51.03	-51.39	-52.27	-56.85
12.9	-42.8	-47.81	-48.36	-50.53	-51.09	-57.37
13	-41.84	-49.06	-50.34	-50.93	-51.84	-57.39
13.1	-42.02	-49.3	-52.64	-52.71	-53.17	-57.83
13.2	-40.24	-50.74	-51.53	-54.43	-56.58	-57.1
13.3	-39.9	-50.54	-52.47	-53.34	-54.18	-55.72
13.4	-38.84	-51.09	-51.94	-52.75	-53.58	-54.15
13.5	-39.9	-51.66	-53.1	-53.27	-54.16	-55.2
13.6	-40.5	-51.97	-53.02	-53.36	-54.25	-54.35
13.7	-40.92	-51.41	-53.5	-54.24	-55.04	-55.31
13.8	-40.78	-51.88	-53.29	-54.19	-57.23	-54.68
13.9	-40.64	-50.3	-51.52	-52.68	-55.64	-55.84
14	-40.97	-49.96	-51.67	-52.01	-56.02	-56.44
14.1	-41.28	-50.58	-51	-51.61	-56.84	-57.66
14.2	-41.49	-50.4	-52.65	-53.07	-56.72	-57.08
14.3	-41.29	-50.02	-51.7	-52.31	-58.37	-58.9
14.4	-40.8	-52.03	-54.11	-55.43	-58.06	-58.41
14.5	-41.07	-51.47	-52.04	-53.88	-59.92	-60.14
14.6	-41.8	-52.98	-54.51	-54.8	-60.52	-61.62
14.7	-42.31	-51.99	-55	-56.15	-61.21	-62.1
14.8	-42.67	-51.95	-54.7	-55.72	-62.13	-63.15
14.9	-43.28	-52.22	-55.26	-56.72	-63.02	-63.59
15	-45.88	-54.11	-58.82	-58.51	-65.13	-68.78
15.1	-46.4	-52.72	-58.02	-58.91	-65.43	-67.45

15.2	-46.58	-52.84	-57.84	-60.03	-65.88	-67.6
15.3	-45.35	-51.54	-55.08	-57.72	-66.26	-66.54
15.4	-44.87	-52.46	-57.02	-59.28	-64.82	-67.22
15.5	-47.35	-54.15	-59.39	-62.24	-67.49	-69.99
15.6	-50.4	-55.61	-63.89	-67.79	-72.56	-74.35
15.7	-48.56	-53.73	-59.81	-63.315	-66.73	-68.18
15.8	-46.72	-51.85	-55.73	-58.84	-60.9	-62.01
15.9	-46.4	-52.19	-55.31	-60.74	-60.85	-62.37
16	-48.76	-53.41	-56.52	-61.66	-62.21	-62.5
16.1	-53.6	-57.73	-61.53	-63.76	-64.5	-66.23
16.2	-54.4	-57.58	-59.68	-64.11	-65.3	-68.26
16.3	-56.91	-58.43	-58.93	-63.26	-63.55	-66.7
16.4	-59.04	-56.36	-57.32	-59.31	-62.92	-64.34
16.5	-57.31	-58.24	-60.25	-61.12	-65.45	-66.6
16.6	-59.47	-60.47	-61	-62.87	-63.93	-64.52
16.7	-57.55	-58.88	-61.38	-63.79	-65.86	-67.43
16.8	-57.84	-58.48	-59.18	-60.84	-62.7	-64.73
16.9	-55.32	-56.65	-57.66	-61.54	-61.75	-64.19
17	-56.44	-56.54	-57.64	-60.78	-63.55	-65.38
17.1	-58.83	-60.66	-61.72	-65.33	-66.3	-67.36
17.2	-58.84	-59.53	-61.71	-66.73	-67.48	-69.88
17.3	-59.8	-60.98	-61.38	-64.55	-64.78	-65.38
17.4	-58.04	-59.66	-60.82	-64.12	-65.98	-67.02
17.5	-58.78	-59.49	-60.52	-61.16	-62.76	-64.18
17.6	-54.4	-55.11	-60.98	-67.72	-68.02	-69.47
17.7	-56.21	-58.04	-66.12	-68.56	-69.01	-70.54
17.8	-57.33	-58.96	-64.53	-69	-69.68	-71.65
17.9	-56.45	-58.2	-62.9	-63.34	-67.82	-68.27
18	-55.38	-56.97	-57.61	-58.78	-62.13	-64.67
18.1	-57.14	-59.07	-63.16	-63.95	-64.59	-66.38
18.2	-56.07	-59.67	-64.82	-65.77	-67.77	-70.48
18.3	-56.3	-61.24	-61.7	-62.04	-64.68	-75.25
18.4	-54.06	-59.07	-66.39	-66.91	-68.02	-76.78
18.5	-53.48	-58.84	-65.78	-66.5	-68.94	-73.57
18.6	-52.7	-57.06	-63.4	-64.21	-67.15	-69.08
18.7	-55.48	-59.35	-61.56	-62.4	-65.86	-72.1
18.8	-56.96	-59.88	-64.16	-64.92	-65.79	-71.98
18.9	-59.45	-61.61	-65.67	-66.11	-68.87	-73.68
19	-58.58	-60.72	-64.78	-65.63	-67.14	-72.42
19.1	-56.77	-58.74	-63.31	-63.61	-66.5	-70.25
19.2	-55.14	-60.48	-64.1	-63.14	-67.62	-69.11
19.3	-61.14	-65.18	-69.24	-70.3	-74.2	-75.08
19.4	-66.75	-67.84	-72.44	-73.61	-78.02	-79.49
19.5	-68.41	-71.34	-76.56	-77.04	-78.03	-79.14
19.6	-69.98	-70.61	-79.06	-79.83	-80.02	-80.54
19.7	-65.04	-75.21	-79.68	-79.84	-80.02	-80.84
19.8	-64.28	-76.17	-78.68	-79.1	-80.15	-80.98
19.9	-66.45	-76.31	-77.18	-79.04	-79.84	-80.1
20	-64.53	-77.06	-78.32	-79.15	-79.76	-80.96

ANEXO D: CÁLCULO DE PÉRDIDAS MEDIANTE LA ECUACIÓN DEL BALANCE DE ENLACE

Laboratorio de microondas (LOS)

Frecuencia (GHz)	Distancia (m)							
	0.34	1	2	3	4	5	6	7
10	60.6222	69.2222	74.9622	77.5222	81.0022	81.5922	83.4922	85.4822
10.1	56.8958	66.3058	73.2658	76.4458	80.0458	81.2658	82.9558	84.8558
10.2	55.4185	65.1585	71.4985	74.6185	77.9385	79.5585	80.4185	84.7685
10.3	55.4609	64.7109	71.2909	74.2809	77.2609	79.2809	79.7809	82.2609
10.4	56.0726	64.4626	72.0726	75.1426	77.5326	79.3326	81.7726	83.3326
10.5	53.4363	62.0663	69.5763	72.6763	76.1963	77.1963	77.8963	80.4363
10.6	52.9184	61.7884	69.2584	72.0884	73.5484	76.8384	77.2484	79.0484
10.7	53.7582	67.2282	69.7882	73.0182	75.2782	77.3582	77.8682	80.9082
10.8	54.0497	63.5897	70.5997	73.4297	76.4497	77.4597	79.3497	81.2097
10.9	54.2870	63.3170	70.5270	73.0870	75.6770	77.1470	79.9670	80.3170
11	52.8338	62.1538	69.5338	72.0138	75.4038	76.4938	77.7538	78.9838
11.1	52.2649	61.4449	69.0849	71.5949	73.9249	76.0849	78.0649	78.9149
11.2	52.0111	61.2811	69.6511	71.2011	73.8311	75.1811	77.1411	79.2511
11.3	53.0154	62.4754	69.8754	72.8354	74.8554	76.6854	79.1754	80.8954
11.4	53.7899	63.0099	70.3499	75.5099	76.2599	77.9799	78.9899	81.7899
11.5	53.6781	62.5481	70.2981	73.0881	75.8781	78.1381	78.5881	80.9381
11.6	52.7749	61.5749	69.0149	71.9949	74.8449	76.1449	77.7649	79.9049
11.7	52.4497	61.3697	68.6697	71.5197	74.5597	75.8797	77.2897	80.4397
11.8	51.7818	60.8718	67.7518	71.1418	73.4318	75.1418	75.8818	80.1218
11.9	53.1244	61.9144	68.9244	72.3744	74.5544	76.3644	76.9944	80.6344
12	54.2066	62.7166	70.2366	73.5066	75.2766	77.4666	78.4166	81.7566
12.1	54.2873	62.5973	70.3873	73.8973	75.6373	77.7773	78.3273	81.2573
12.2	52.7198	61.3598	68.9898	72.6398	74.5998	76.3998	77.6298	79.6598
12.3	51.5827	60.2327	67.7227	70.7127	72.8527	74.9127	75.3527	78.0727
12.4	53.5977	61.7977	69.4677	72.1377	74.2977	76.6077	77.0577	78.5777
12.5	54.5852	63.0952	70.9352	73.6752	75.7852	77.9152	78.4352	79.1852
12.6	54.2227	62.9427	70.9527	73.7027	76.0227	77.9227	79.4027	80.2827
12.7	52.4453	61.3553	69.4553	72.4853	75.0853	76.1453	76.9953	78.6453
12.8	52.0642	60.9242	69.0442	71.8242	74.1842	76.8242	76.7042	78.2742
12.9	52.2466	60.9166	68.7366	71.5666	74.6466	75.8066	76.1266	78.5766
13	52.9165	61.5865	69.6465	72.5265	75.1865	75.6165	76.2165	79.1265
13.1	53.7450	62.0750	70.1250	72.6650	75.7850	77.0650	77.1250	80.1750
13.2	52.6689	60.8189	68.8789	71.7489	74.8989	76.1089	76.1889	79.0289
13.3	51.5428	59.8428	67.4428	71.0628	73.5828	73.9828	74.8428	78.5728
13.4	50.7832	59.0832	66.6732	70.2632	72.6632	73.5732	74.5232	76.6232
13.5	50.8671	59.1871	66.9871	70.2771	72.7671	74.0671	74.6671	78.1871
13.6	51.5948	59.7548	67.6248	70.9848	73.2148	74.4648	75.3148	78.2748
13.7	52.0969	60.0269	68.0869	71.1469	73.2869	74.9669	75.6769	78.0769
13.8	51.5157	59.4957	67.9857	70.8057	73.0257	75.5457	75.9557	78.1657
13.9	50.8925	59.2625	67.6925	70.7425	72.8125	75.4225	75.5125	76.9125
14	50.7945	58.9545	67.6045	70.4645	72.7445	75.3345	75.8645	77.3845
14.1	50.9288	59.1788	67.5388	70.4688	72.8888	73.7488	75.1188	77.0488
14.2	51.3954	59.4954	68.2154	70.8054	73.2554	74.9854	75.3054	77.3654
14.3	51.2808	59.3608	68.3008	70.9308	73.0708	73.9908	75.1808	77.2908
14.4	51.0734	59.0034	67.9034	70.8634	73.2734	74.2934	75.0134	78.2234
14.5	50.9605	59.0505	67.8505	70.1905	73.0905	75.3205	75.8605	78.1405
14.6	51.3148	59.4048	68.0648	70.5148	73.7248	75.2148	75.7248	78.9548
14.7	51.0596	58.6296	67.7496	70.0096	72.6096	74.4496	75.4796	79.0996
14.8	50.9020	58.1820	67.6920	70.2620	72.4020	75.0220	75.4020	78.2820

14.9	51.7440	59.1140	68.7040	71.2940	73.4940	74.4240	75.5740	76.3740
15	51.8521	59.8421	69.0821	71.5021	73.8021	76.2221	77.0721	78.6521
15.1	51.5183	59.7783	66.1383	71.1483	73.8883	75.4883	76.9183	79.4283
15.2	50.5096	58.5296	67.9296	69.9696	72.1796	74.2296	75.6296	77.3396
15.3	49.9906	57.5706	67.3106	69.8606	71.4606	72.2806	73.8406	76.4306
15.4	49.8570	57.4770	67.5170	70.3070	72.0670	73.1970	73.8270	76.4370
15.5	50.1834	58.2034	68.3034	70.9734	73.2434	73.6334	75.4734	77.0434
15.6	51.0568	59.8968	70.2568	72.4168	75.1768	75.8768	76.9568	78.7868
15.7	39.7435	47.9885	57.5535	60.0485	62.5335	63.2135	64.0985	66.2735
15.8	42.8504	50.5004	59.2704	62.1004	64.3104	64.9704	65.6604	68.1804
15.9	47.8692	55.4992	64.1392	67.3892	69.0392	69.3592	70.1992	73.1392
16	48.8542	56.5842	64.9742	68.2142	70.8742	71.2242	72.0542	75.2442
16.1	49.6330	57.5130	65.9230	69.4730	71.9230	72.7430	73.3730	75.8630
16.2	48.7923	56.3923	65.2023	69.1323	70.6923	71.7023	72.6123	76.0523
16.3	39.1598	47.1398	57.2198	60.9398	62.3698	62.8898	63.0198	67.0798
16.4	32.1824	40.0924	51.8424	54.7824	57.0524	58.9324	55.4324	60.1424
16.5	34.3857	42.4457	54.4457	57.6157	58.6257	59.3457	59.6457	63.9157
16.6	38.6532	46.7132	58.8532	62.2832	63.4632	64.3332	64.5432	67.3632
16.7	40.1595	48.3495	60.1495	63.6295	65.1095	65.8295	66.5195	71.0095
16.8	41.3753	49.5153	61.6153	65.2153	66.1153	66.6553	67.4953	71.3753
16.9	43.0860	50.4260	61.6360	65.3460	66.7360	67.0260	67.7160	70.8360
17	52.4356	58.7756	67.7756	70.7956	72.2956	72.9056	73.6556	76.6056
17.1	55.5583	63.2083	71.3683	74.1783	75.6983	76.2983	76.9283	79.3383
17.2	55.3925	63.2225	71.2725	73.8525	75.9125	77.4525	77.6725	79.5325
17.3	52.3647	60.3447	68.5547	71.3847	73.4047	75.5347	75.8447	77.3947
17.4	51.0505	59.0405	67.1005	69.9805	72.1505	73.9205	74.9005	76.5405
17.5	52.5395	60.1295	67.6995	70.5795	72.6595	74.9095	75.2895	77.4395
17.6	54.6844	62.3244	69.7744	72.8344	75.3144	77.2044	78.2044	80.2944
17.7	55.2287	63.0587	70.4187	73.8587	76.1487	78.1987	78.9887	81.3087
17.8	54.2203	62.0703	69.5503	72.7203	75.2903	77.8703	78.8503	81.0103
17.9	51.4557	59.4957	66.9057	69.8557	72.6457	75.2057	75.9457	78.5457
18	50.9549	59.0749	65.9649	68.9149	71.5149	73.7249	74.3649	77.2049
18.1	53.8020	61.7420	68.3020	71.4820	73.9320	75.9420	76.9420	79.5320
18.2	55.2052	63.0252	69.9752	73.2252	75.2152	77.6052	78.7052	80.3252
18.3	54.3822	62.4822	69.9322	73.1022	75.0322	77.3722	78.3322	80.0722
18.4	52.8950	61.0650	68.8950	71.8350	73.8850	76.4250	77.4250	78.4850
18.5	52.0931	59.7031	68.1331	71.0231	73.2131	75.8931	76.2931	77.7531
18.6	50.4430	58.0430	66.5730	69.2230	71.4230	73.8230	73.9630	75.3630
18.7	52.9146	59.5346	68.2346	70.8246	72.9746	75.5746	76.0246	77.2146
18.8	52.8546	60.5146	69.3246	72.1946	74.2446	76.3746	77.1146	78.1246
18.9	52.3074	60.1374	69.5474	72.5374	74.1374	76.7574	77.6374	79.5674
19	50.2079	58.0679	67.8379	70.5279	72.7779	75.1879	75.9479	77.9079
19.1	48.3393	56.0593	65.9393	68.8693	70.8393	73.0093	73.6593	75.4293
19.2	47.5909	54.9809	64.9309	67.3809	69.4709	70.8509	71.4709	74.5609
19.3	49.8667	57.3867	68.1267	70.0167	72.0867	74.1067	74.1667	76.5267
19.4	51.6599	58.6799	70.3499	71.8499	74.0899	76.0099	76.3999	80.0599
19.5	52.8824	60.2524	72.3024	74.0724	76.5824	76.8024	76.9824	81.4024
19.6	54.7087	62.1487	70.1087	72.7087	77.0587	77.7887	78.1887	81.1887
19.7	57.0467	65.1467	68.5467	71.6567	75.0367	79.5367	77.2867	79.1967
19.8	60.5135	67.6435	72.4135	74.8635	77.2635	80.9335	81.7635	82.5535
19.9	58.3837	65.5437	71.5837	74.5137	77.4037	79.2837	80.6737	81.8937
20	56.0175	63.5375	71.0775	74.2775	76.4575	76.9175	79.7775	80.5375

Aula 302 vs Aula 303 (NLOS)

Frecuencia (GHz)	Distancia (m)					
	1	2	3	4	5	6
10	78.5422	84.8022	87.2422	88.2422	92.6322	93.0822
10.1	77.0358	83.6758	85.8358	86.2158	93.0858	93.8258
10.2	77.4285	84.3585	87.4185	87.5385	91.1985	91.9385
10.3	78.1009	86.2009	88.2909	89.7809	94.9309	95.1309
10.4	78.5526	86.0426	89.0026	89.5926	93.2326	94.6926
10.5	76.5863	84.3263	86.6763	88.7063	90.3863	92.9963
10.6	77.0284	84.9084	86.6984	87.5784	90.1384	91.0684
10.7	79.6482	85.9682	88.2582	90.1182	91.2882	94.3382
10.8	79.5497	88.3397	89.3597	91.0397	93.6797	95.8097
10.9	80.2870	88.5670	89.3670	90.7770	92.3970	95.7470
11	78.9038	87.5938	87.8638	89.8138	90.5138	93.4238
11.1	77.7849	85.5149	87.1249	87.5949	91.2849	92.6749
11.2	76.8411	85.6511	84.9411	87.5211	88.8911	92.8611
11.3	78.2454	85.5454	87.2754	87.6754	91.4054	92.7654
11.4	79.5499	87.4699	87.8299	89.9199	92.2599	95.0999
11.5	78.5981	86.7981	87.1581	88.8981	92.1181	93.9981
11.6	78.4249	86.7849	87.2849	88.3849	91.2449	93.8049
11.7	78.0997	85.8497	86.4097	88.6497	89.5497	94.1597
11.8	78.8818	86.8118	87.3818	88.1018	91.5718	92.9318
11.9	79.7144	84.6944	86.5544	89.9744	90.5744	94.9144
12	81.7566	87.6366	88.9066	91.0366	92.4866	96.0566
12.1	82.8873	88.4273	89.0773	91.3373	93.0973	96.5673
12.2	82.2098	87.7698	88.3498	90.5198	90.9398	97.6098
12.3	80.7327	85.9927	87.5227	88.7927	90.4627	93.5827
12.4	82.4277	87.1777	88.6177	89.8177	90.2677	95.2377
12.5	83.2352	89.5752	90.9852	92.4552	92.6752	98.6652
12.6	84.5427	90.3427	91.0827	93.4927	93.5827	99.0427
12.7	83.7653	88.8853	90.1653	95.1653	96.2253	99.4053
12.8	84.5942	90.3042	91.8142	92.1742	93.0542	97.6342
12.9	83.8366	88.8466	89.3966	91.5666	92.1266	98.4066
13	83.0565	90.2765	91.5565	92.1465	93.0565	98.6065
13.1	83.1250	90.4050	93.7450	93.8150	94.2750	98.9350
13.2	81.3689	91.8689	92.6589	95.5589	97.7089	98.2289
13.3	80.6428	91.2828	93.2128	94.0828	94.9228	96.4628
13.4	79.3232	91.5732	92.4232	93.2332	94.0632	94.6332
13.5	80.2871	92.0471	93.4871	93.6571	94.5471	95.5871
13.6	80.6648	92.1348	93.1848	93.5248	94.4148	94.5148
13.7	81.1769	91.6669	93.7569	94.4969	95.2969	95.5669
13.8	80.9257	92.0257	93.4357	94.3357	97.3757	94.8257
13.9	80.9825	90.6425	91.8625	93.0225	95.9825	96.1825
14	81.1545	90.1445	91.8545	92.1945	96.2045	96.6245
14.1	81.4488	90.7488	91.1688	91.7788	97.0088	97.8288
14.2	81.7854	90.6954	92.9454	93.3654	97.0154	97.3754
14.3	81.6108	90.3408	92.0208	92.6308	98.6908	99.2208
14.4	81.0534	92.2834	94.3634	95.6834	98.3134	98.6634
14.5	81.1105	91.5105	92.0805	93.9205	99.9605	100.1805
14.6	81.6048	92.7848	94.3148	94.6048	100.3248	101.4248
14.7	81.8396	91.5196	94.5296	95.6796	100.7396	101.6296
14.8	82.2520	91.5320	94.2820	95.3020	101.7120	102.7320
14.9	82.8540	91.7940	94.8340	96.2940	102.5940	103.1640
15	85.0021	93.2321	97.9421	97.6321	104.2521	107.9021
15.1	85.7383	92.0583	97.3583	98.2483	104.7683	106.7883
15.2	85.6096	91.8696	96.8696	99.0596	104.9096	106.6296
15.3	84.1506	90.3406	93.8806	96.5206	105.0606	105.3406

15.4	82.9970	90.5870	95.1470	97.4070	102.9470	105.3470
15.5	84.8434	91.6434	96.8834	99.7334	104.9834	107.4834
15.6	85.7568	90.9668	99.2468	103.1468	107.9168	109.7068
15.7	75.5685	80.7385	86.8185	90.3235	93.7385	95.1885
15.8	79.8004	84.9304	88.8104	91.9204	93.9804	95.0904
15.9	84.1992	89.9892	93.1092	98.5392	98.6492	100.1692
16	85.8342	90.4842	93.5942	98.7342	99.2842	99.5742
16.1	89.6730	93.8030	97.6030	99.8330	100.5730	102.3030
16.2	88.8723	92.0523	94.1523	98.5823	99.7723	102.7323
16.3	82.6098	84.1298	84.6298	88.9598	89.2498	92.3998
16.4	77.2824	74.6024	75.5624	77.5524	81.1624	82.5824
16.5	75.8357	76.7657	78.7757	79.6457	83.9757	85.1257
16.6	79.9132	80.9132	81.4432	83.3132	84.3732	84.9632
16.7	79.2595	80.5895	83.0895	85.4995	87.5695	89.1395
16.8	81.5553	82.1953	82.8953	84.5553	86.4153	88.4453
16.9	81.5360	82.8660	83.8760	87.7560	87.9660	90.4060
17	88.7156	88.8156	89.9156	93.0556	95.8256	97.6556
17.1	94.0883	95.9183	96.9783	100.5883	101.5583	102.6183
17.2	96.4525	97.1425	99.3225	104.3425	105.0925	107.4925
17.3	98.2247	99.4047	99.8047	102.9747	103.2047	103.8047
17.4	97.6605	99.2805	100.4405	103.7405	105.6005	106.6405
17.5	98.7795	99.4895	100.5195	101.1595	102.7595	104.1795
17.6	95.2444	95.9544	101.8244	108.5644	108.8644	110.3144
17.7	97.1887	99.0187	107.0987	109.5387	109.9887	111.5187
17.8	98.4803	100.1103	105.6803	110.1503	110.8303	112.8003
17.9	97.5957	99.3457	104.0457	104.4857	108.9657	109.4157
18	96.8349	98.4249	99.0649	100.2349	103.5849	106.1249
18.1	99.1820	101.1120	105.2020	105.9920	106.6320	108.4220
18.2	98.2352	101.8352	106.9852	107.9352	109.9352	112.6452
18.3	98.3122	103.2522	103.7122	104.0522	106.6922	117.2622
18.4	95.9450	100.9550	108.2750	108.7950	109.9050	118.6650
18.5	95.1731	100.5331	107.4731	108.1931	110.6331	115.2631
18.6	93.0430	97.4030	103.7430	104.5530	107.4930	109.4230
18.7	94.9946	98.8646	101.0746	101.9146	105.3746	111.6146
18.8	95.7946	98.7146	102.9946	103.7546	104.6246	110.8146
18.9	97.9874	100.1474	104.2074	104.6474	107.4074	112.2174
19	96.5879	98.7279	102.7879	103.6379	105.1479	110.4279
19.1	94.4793	96.4493	101.0193	101.3193	104.2093	107.9593
19.2	89.5109	94.8509	98.4709	97.5109	101.9909	103.4809
19.3	92.4467	96.4867	100.5467	101.6067	105.5067	106.3867
19.4	95.1099	96.1999	100.7999	101.9699	106.3799	107.8499
19.5	95.0924	98.0224	103.2424	103.7224	104.7124	105.8224
19.6	96.4687	97.0987	105.5487	106.3187	106.5087	107.0287
19.7	92.8867	103.0567	107.5267	107.6867	107.8667	108.6867
19.8	95.4135	107.3035	109.8135	110.2335	111.2835	112.1135
19.9	98.6337	108.4937	109.3637	111.2237	112.0237	112.2837
20	98.2675	110.7975	112.0575	112.8875	113.4975	114.6975

ANEXO E: CÁLCULO DE CONSTANTES

Valores pertenecientes a la constante A de la ecuación del modelo de propagación

Distancia (m)							
0.34	1	2	3	4	5	6	7
18.3539	19.0706	14.5379	27.8537	6.0881	23.9956	29.7251	18.9248
20.0826	23.1240	18.0588	28.8141	12.5890	21.3434	28.3807	21.2847
20.7869	21.0641	17.7181	26.5730	16.7165	10.8612	64.9770	22.3429
19.7411	21.8614	16.9798	23.8517	20.8441	6.3146	37.0443	20.4017
17.9058	25.2835	17.4341	19.1294	18.5739	30.8154	23.3021	20.7518
18.4180	24.9513	17.6045	28.1738	10.3189	8.8405	37.9406	20.5539
18.9302	24.8184	16.0712	11.6857	33.9490	5.1780	26.8870	19.8916
28.7474	8.5054	18.3428	18.0889	21.4632	6.4409	45.4092	20.6681
20.3601	23.2901	16.0712	24.1718	10.4220	23.8693	27.7833	20.6757
19.2716	23.9546	14.5379	20.7302	15.1687	35.6145	5.2280	19.8155
19.8905	24.5194	14.0836	27.1333	11.2475	15.9129	18.3728	19.9068
19.5918	25.3832	14.2540	18.6491	22.2887	25.0059	12.6967	20.2875
19.7838	27.8085	8.8023	21.0503	13.9304	24.7533	31.5176	20.7366
20.1893	24.5858	16.8095	16.1679	18.8835	31.4468	25.6920	21.2238
19.6771	24.3865	29.3030	6.0029	17.7484	12.7555	41.8243	21.3152
18.9302	25.7487	15.8441	22.3309	23.3206	5.6832	35.1025	20.7518
18.7808	24.7187	16.9230	22.8112	13.4145	20.4594	31.9657	20.6529
19.0369	24.2536	16.1848	24.3319	13.6209	17.8072	47.0523	21.3075
19.3997	22.8582	19.2514	18.3290	17.6452	9.3456	63.3339	21.5740
18.7594	23.2901	19.5921	17.4486	18.6771	7.9564	54.3715	20.9421
18.1619	24.9845	18.5699	14.1669	22.5983	11.9978	49.8904	20.9726
17.7350	25.8816	19.9328	13.9268	22.0823	6.9461	43.7661	20.5311
18.4393	25.3500	20.7279	15.6877	18.5739	15.5340	30.3226	20.5082
18.4606	24.8848	16.9798	17.1284	21.2568	5.5569	40.6293	20.1657
17.5003	25.4829	15.1626	17.2885	23.8365	5.6832	22.7046	19.0162
18.1619	26.0477	15.5601	16.8883	21.9792	6.5672	11.2029	18.7269
18.6100	26.6125	15.6169	18.5691	19.6058	18.6913	13.1448	19.8383
19.0155	26.9115	17.2070	20.8102	10.9380	10.7349	24.6464	19.9449
18.9088	26.9779	15.7873	18.8893	27.2418	-1.5155	23.4515	19.9525
18.5033	25.9812	16.0712	24.6521	11.9699	4.0414	36.5962	20.0439
18.5033	26.7786	16.3552	21.2904	4.4371	7.5776	43.4674	19.9525
17.7777	26.7454	14.4243	24.9722	13.2081	0.7578	45.5586	20.1200
17.3935	26.7786	16.2984	25.2124	12.4858	1.0103	42.4218	20.0667
17.7137	25.2503	20.5575	20.1699	4.1275	10.8612	55.7159	20.5767
17.7137	25.2171	20.3872	19.2094	9.3902	11.9978	31.3682	19.6708
17.7564	25.9148	18.6835	19.9298	13.4145	7.5776	52.5791	20.7975
17.4149	26.1473	19.0810	17.8487	12.8986	10.7349	44.2142	20.3103
16.9240	26.7786	17.3774	17.1284	17.3357	8.9668	35.8494	19.7774
17.0307	28.2072	16.0144	17.7687	26.0035	5.1780	33.0113	20.2875
17.8631	28.0079	17.3206	16.5681	26.9322	1.1366	20.9121	19.8079
17.4149	28.7388	16.2416	18.2489	26.7258	6.6935	22.7046	20.2418
17.6070	27.7753	16.6391	19.3695	8.8742	17.3021	28.8289	19.8840
17.2868	28.9714	14.7083	19.6096	17.8516	4.0414	30.7707	19.7698
17.2442	29.7023	14.9354	17.1284	9.4933	15.0288	31.5176	19.8003
16.9240	29.5694	16.8095	19.2895	10.5252	9.0931	47.9485	20.6681
17.2655	29.2372	13.2886	23.2114	23.0110	6.8198	34.0569	20.6909
17.2655	28.7720	13.9132	25.6926	15.3751	6.4409	48.2473	21.0411
16.1557	30.3004	12.8343	20.8102	18.9867	13.0081	54.0728	21.3456
15.5368	31.5961	14.5947	17.1284	27.0354	4.7991	43.0192	20.8432

15.7289	31.8619	14.7083	17.6086	9.5965	14.5236	11.9498	18.7497
17.0521	30.6990	13.7429	18.4090	24.9716	10.7349	23.6008	20.4017
17.6283	21.1305	28.4512	21.9307	16.5102	18.0598	37.4925	21.2466
17.1161	31.2306	11.5849	17.6887	21.1536	17.6810	25.5427	20.4245
16.1771	32.3602	14.4811	12.8063	8.4615	19.7016	38.6874	20.1276
16.2624	33.3570	15.8441	14.0869	11.6603	7.9564	38.9862	20.2342
17.1161	33.5563	15.1626	18.1689	4.0244	23.2378	23.4515	20.4473
18.8661	34.4201	12.2664	22.0908	7.2232	13.6396	27.3351	21.1096
17.5963	31.7788	14.1688	19.8897	7.0168	11.1769	32.4885	20.1961
16.3265	29.1375	16.0712	17.6887	6.8104	8.7142	37.6418	19.2826
16.2838	28.7056	18.4563	13.2065	3.3020	10.6086	43.9155	19.2369
16.4972	27.8750	18.3996	21.2904	3.6116	10.4823	47.6498	20.0895
16.8173	27.9414	20.1600	19.6096	8.4615	7.9564	37.1937	19.9677
16.2198	29.2704	22.3180	12.4861	10.4220	11.4926	51.3841	20.7518
17.0307	33.4899	21.1254	11.4456	5.3658	1.6418	60.6452	21.2543
16.8813	39.0383	16.6959	18.1689	19.3994	-44.2024	70.3544	21.2847
17.2015	39.8689	18.0020	8.0840	7.4296	3.7888	63.7820	22.4799
17.2015	40.3340	19.4785	9.4446	8.9774	2.6521	42.1230	21.8557
17.4789	39.2044	19.7625	11.8458	7.4296	8.7142	67.0682	23.4847
17.3722	40.2011	20.4439	7.2035	5.5722	10.6086	57.9565	22.8377
15.6649	37.2442	21.0686	11.1255	2.9925	8.7142	46.6042	21.1248
13.5307	29.9017	17.1502	12.0059	6.2945	9.4719	44.0648	18.3995
16.3265	27.1108	15.9576	12.1660	6.1913	7.9564	35.9987	18.1027
16.7106	26.7454	14.6515	16.4881	15.8910	2.7784	27.7833	18.3767
17.0307	27.2770	16.0712	16.1679	21.9792	3.9151	23.1527	19.0542
17.0521	26.7786	16.3552	17.3685	18.2644	12.3767	24.4971	19.4044
16.1984	25.1506	16.3552	16.6482	23.2174	4.7991	32.1151	18.9553
16.3051	24.7519	17.3774	19.8497	19.5026	12.6293	31.2188	19.4958
16.7106	24.4529	19.5353	18.3290	21.1536	9.9771	34.6544	19.8535
16.7533	24.8516	18.0020	20.5701	26.6226	12.3767	32.2644	20.3940
17.1588	24.6190	16.7527	22.3309	26.4163	9.3456	38.8368	20.6224
17.3295	22.8914	16.7527	20.8102	22.8047	8.0827	42.4218	19.9830
16.9454	21.7950	18.0588	19.6096	20.7409	12.6293	38.6874	19.5871
16.6893	23.0907	18.4563	15.9278	24.6621	13.8922	24.1983	19.1227
17.2868	24.7519	18.0020	15.4476	24.1461	12.1241	25.9908	19.5567
17.4362	26.0144	16.6959	16.4080	26.2099	12.6293	15.8335	19.4805
16.2411	28.0079	16.4119	17.5286	27.6545	5.0517	21.8084	19.5338
16.2198	28.3401	15.0490	17.6086	24.7652	1.7681	20.9121	18.9705
14.1283	28.9049	14.7083	17.2084	26.8290	5.6832	17.7753	18.4985
16.3478	29.2704	16.2984	16.4080	21.9792	9.3456	15.0866	19.2369
16.7106	31.2639	16.9798	12.8063	27.0354	11.1137	28.8289	20.7518
16.7746	32.4599	15.2762	18.0088	24.8684	9.5982	29.2770	21.0868
16.4759	32.8254	16.6391	15.7677	22.3919	8.2090	26.4389	20.6224
15.7716	33.0580	13.9132	16.7282	14.2400	7.8301	46.1561	20.5311
16.0490	35.6827	10.7331	16.5681	20.8441	0.7578	35.2519	20.2951
14.9819	38.7725	8.5183	17.9288	19.8122	4.9254	54.6703	21.6197
15.7289	40.0350	10.0516	20.0898	2.2701	2.2733	66.0226	21.7110
15.8783	26.4464	14.7651	34.8171	7.5328	5.0517	44.8117	20.1581
17.2868	11.2962	17.6613	27.0533	46.4348	-28.4158	28.5301	16.8618
15.2167	15.8479	13.9132	19.2094	37.8702	10.4823	11.8004	16.7781
15.2807	20.0673	16.6391	23.1313	19.3994	17.5547	18.2234	17.8971
16.0490	25.0510	18.1724	17.4486	4.7467	36.1197	11.3523	18.6660

Valores pertenecientes a la constante B de la ecuación del modelo de propagación

Distancia (m)							
0.34	1	2	3	4	5	6	7
69.2214	69.2214	70.5859	64.2326	77.3368	64.8200	60.3616	69.4889
66.0196	66.0195	67.5377	62.4282	72.1547	66.0619	60.6094	66.5804
64.6020	64.6020	65.6006	61.4118	67.2954	71.3532	29.6020	65.3248
63.8899	63.8898	65.3407	62.1036	63.8914	73.9183	50.3090	64.1955
63.3822	63.3819	65.7052	64.9100	65.2388	56.8257	62.5742	64.6933
60.7777	60.7774	62.9431	58.0049	68.5316	69.5435	47.3691	61.7576
60.2626	60.2623	62.8305	64.8713	51.7983	71.4120	54.9360	60.7019
65.3079	65.3088	62.4319	62.5496	60.5761	70.7765	41.3188	61.6306
61.5322	61.5320	63.6349	59.8949	67.9053	58.8101	55.8630	61.6753
61.0319	61.0317	63.7642	60.9163	64.1438	50.3684	73.1606	61.2775
59.6825	59.6823	62.6989	56.7201	65.9041	62.7728	60.9347	59.6898
58.7800	58.7798	61.9847	59.9786	57.8824	56.0655	65.2287	59.0918
58.4056	58.4053	63.8583	58.2887	62.3742	55.1641	50.1475	58.8310
59.3256	59.3254	61.5483	61.8390	60.2864	51.9477	56.2000	59.7858
59.6166	59.6164	58.2161	68.7345	62.0437	65.3457	43.9437	60.3427
58.9680	58.9677	61.7787	58.8608	58.2990	69.9216	48.3389	59.7727
57.8455	57.8452	60.0499	57.4106	62.7254	58.0994	49.6880	58.6695
57.4515	57.4513	59.7252	56.0862	62.1232	59.3839	38.0794	58.4475
56.7889	56.7887	57.8017	58.2122	58.5963	64.0084	24.8147	57.7393
57.5647	57.5645	58.5995	59.5504	58.8627	65.8298	32.2488	58.5155
58.1142	58.1140	59.9033	61.8499	57.1462	64.0120	36.6892	59.3345
57.8107	57.8103	59.4642	62.1107	57.5760	67.3469	40.8859	59.0205
56.4813	56.4810	57.7618	59.9754	58.3759	60.3318	49.7388	57.3736
55.2634	55.2632	57.4465	57.3815	55.1009	65.1695	40.1291	55.9964
56.5170	56.5167	59.3580	58.4303	54.8248	66.4294	54.3158	57.1666
57.5201	57.5198	60.3980	59.8203	57.0260	66.8468	63.5582	57.7615
57.2006	57.2003	60.2084	58.9283	58.3611	58.9420	62.8643	57.7236
55.5846	55.5843	58.2309	56.6734	62.0581	62.1867	52.3794	55.9791
55.0243	55.0240	58.0665	56.7298	52.1880	70.3422	52.7953	55.4659
54.8499	54.8497	57.5358	53.8494	60.7245	65.7145	42.9044	55.4998
55.2862	55.2859	58.1027	55.9889	65.0977	63.1271	38.0561	55.8958
55.5587	55.5584	58.8781	54.3737	60.7130	68.5020	37.2994	56.5410
54.2741	54.2738	57.0892	53.2937	60.1314	67.2894	38.5324	55.3918
53.2473	53.2470	54.5040	54.6686	63.2626	59.0747	28.0174	54.4409
52.4197	52.4194	53.7094	54.2079	59.4530	57.8359	44.4626	53.2332
52.3618	52.3615	54.2874	53.7613	57.2316	60.8410	29.8608	53.6224
52.7146	52.7143	54.5909	55.1095	57.7387	59.0729	36.0900	53.9114
52.8065	52.8061	55.2958	55.4003	55.2905	60.4365	42.0338	53.9826
52.1941	52.1937	55.4137	54.6794	50.3299	63.1001	44.0994	53.5327
51.8469	51.8465	54.6612	54.9753	49.5162	65.2905	51.8276	52.6441
51.4373	51.4369	54.7193	53.8836	49.4307	61.6475	50.7769	52.5929
51.4941	51.4937	54.4108	53.2772	58.7755	53.6496	45.8447	52.4224
51.6317	51.6313	55.3574	53.3280	54.2465	62.6237	44.5731	52.6413
51.3790	51.3785	55.2261	54.3205	58.2992	54.9503	43.8447	52.4156
50.9362	50.9358	54.2518	53.2303	57.7855	58.6497	32.5478	52.4506
50.8450	50.8446	54.9785	50.9019	51.0058	60.7505	42.5008	52.2269
51.0189	51.0185	54.8601	50.0332	55.3681	60.7314	32.7917	52.5382
50.2253	50.2248	54.7290	51.4690	52.4095	55.9893	28.6150	52.3084
49.7165	49.7159	54.0892	53.0562	47.9594	61.2406	35.8266	51.8409
50.3870	50.3864	54.7879	53.6083	57.7200	54.7845	56.4917	51.5934
50.8816	50.8811	55.2211	53.3282	49.9687	58.4298	49.9171	52.2159
50.7029	50.7028	48.8336	51.4724	54.2404	53.3217	40.4957	52.1408
49.5233	49.5228	54.5268	52.0627	50.2975	52.3514	47.1750	50.8349
48.5949	48.5943	53.1374	53.8119	56.0199	49.3882	36.9176	50.1572

48.4002	48.3996	52.8390	53.5450	54.7753	56.9554	36.6224	49.9672
48.8962	48.8956	53.5473	52.3423	59.4965	48.2142	48.0745	50.2074
50.2009	50.2004	55.7898	51.8611	59.3634	55.6045	46.6723	51.0819
40.1269	40.1264	44.5591	42.2767	48.7574	46.3260	32.4589	41.1454
42.1302	42.1298	45.4112	44.7674	50.2313	49.1212	30.3418	43.2857
46.1950	46.1945	48.7626	50.8476	55.8110	51.5601	29.9870	47.3466
46.9916	46.9912	49.3601	48.2146	57.0540	53.0657	29.0465	48.3894
47.6558	47.6554	49.5964	49.8140	55.3756	55.6681	36.8162	48.8789
46.6233	46.6229	48.3532	52.2316	53.2591	52.6404	26.9759	48.3789
38.8876	38.8870	41.9576	45.7676	48.7872	50.9346	13.0580	40.5200
33.0015	33.0007	38.5370	37.9584	37.3486	73.9424	0.5647	34.6997
34.8629	34.8621	40.2688	44.1556	44.4792	46.5694	8.2249	36.8941
38.2855	38.2847	43.4302	47.3540	47.5845	51.2081	26.0347	40.0727
39.5421	39.5413	44.3279	47.4171	49.5916	48.8573	11.7201	41.8434
40.4098	40.4090	45.2629	50.4186	51.2201	48.3472	18.2782	42.4997
41.0667	41.0660	45.0316	48.8952	52.8830	49.6259	25.6138	43.1501
47.7671	47.7665	50.8862	52.8809	55.6755	53.8705	31.9936	49.6210
51.2634	51.2631	53.9861	55.4533	58.3707	57.3700	39.6724	51.9384
51.1698	51.1695	54.1161	53.4068	53.6978	61.1159	45.3676	51.8016
48.7413	48.7409	51.4656	51.4283	48.6023	58.8008	46.7094	49.5070
47.5916	47.5913	50.1206	49.7309	49.2961	52.6135	45.0108	48.4800
48.3724	48.3721	50.5021	50.3897	47.2079	57.5646	40.4646	49.4115
50.0386	50.0383	51.8207	50.8736	51.0414	54.8986	43.2845	51.2388
50.5283	50.5280	51.7142	52.1754	50.8127	57.0725	41.6855	51.7082
49.6390	49.6387	51.2877	50.3078	47.3936	55.3569	42.9805	51.0032
47.4875	47.4873	49.3774	47.2530	45.2898	54.8136	36.4965	48.7828
47.0608	47.0606	48.5327	46.9905	46.0339	54.2315	32.9445	48.0512
49.0915	49.0913	49.9856	49.3972	48.8557	53.3638	37.2411	50.0756
50.0166	50.0164	51.1235	52.0809	47.9077	53.8818	47.5173	50.9214
49.4921	49.4919	51.1014	52.0668	47.9185	54.5746	46.0274	50.3345
48.2791	48.2788	50.4966	50.6052	45.9395	53.4444	51.4731	49.0363
47.1147	47.1143	49.8691	49.4486	44.6376	57.1052	46.8152	48.3322
45.7201	45.7197	48.8713	47.9093	44.5154	57.1772	45.4428	46.7353
46.8093	46.8088	50.1689	49.2310	44.6769	56.2981	48.8997	48.4192
47.4933	47.4928	50.5576	50.5165	47.8841	54.8145	51.3084	48.5556
47.1120	47.1115	50.4801	52.0401	45.3288	54.0472	43.2478	48.5953
45.4092	45.4087	49.4539	48.4343	45.2047	53.5514	41.5764	46.9891
43.7604	43.7599	47.5635	47.8880	44.7748	52.5134	41.4399	45.2770
42.8428	42.8422	47.3331	46.2865	47.4538	50.9451	27.7055	44.5804
44.6390	44.6383	50.4806	48.3150	46.3124	57.2336	36.3542	46.1865
45.5654	45.5646	52.6367	49.1502	48.2697	56.3497	26.2914	47.9803
46.7055	46.7047	53.7013	49.9887	58.3051	58.3035	19.8498	48.8781
48.0926	48.0923	50.8134	43.4099	56.1216	57.4636	33.5215	49.6443
50.3265	50.3267	48.8465	45.3847	36.3703	76.7872	42.5549	50.1726
52.1667	52.1667	52.6159	50.6671	42.0026	56.7661	55.9751	52.7309
50.4623	50.4621	51.2567	48.8718	50.6017	51.5944	51.1937	51.4061
48.8358	48.8355	50.4270	50.6925	56.5703	39.7154	54.5289	49.7782

Factor de corrección del modelo de propagación

Frecuencia (GHz)	Distancia (m)							
	0.34	1	2	3	4	5	6	7
10	101.8846	96.6790	94.5519	88.7777	94.1284	86.3004	87.9567	91.5353
10.1	81.4404	80.8195	85.7414	83.4314	89.6154	85.2581	85.7335	88.8782
10.2	73.3673	74.7008	76.0467	73.3195	77.9897	75.9093	71.4414	89.2941
10.3	74.1767	72.5433	75.3943	71.7999	74.5088	74.8245	68.0355	74.8970
10.4	78.6022	71.5188	80.9207	77.7345	76.8054	75.7464	80.9750	82.2335
10.5	62.2913	56.5672	65.5757	62.4977	68.8387	62.5866	56.7227	64.3415
10.6	59.1323	54.8437	63.8328	58.8802	51.7324	60.4969	52.5496	55.4687
10.7	65.0490	91.9960	67.7671	65.4033	63.5099	64.2703	56.7836	68.2361
10.8	67.4563	67.6199	73.8962	68.6618	72.0418	65.3238	67.2980	70.8038
10.9	69.6080	66.0983	73.9982	66.6655	67.0422	63.4475	72.1856	64.9030
11	59.3321	57.8721	67.2666	59.1241	65.4510	58.9294	56.3433	55.3795
11.1	55.1965	52.6220	64.2872	56.1293	54.5404	56.0052	58.8474	54.9486
11.2	53.2876	51.3434	69.1205	53.1455	53.8725	48.9979	51.7697	57.6824
11.3	61.4859	61.0253	71.4749	66.4608	62.2517	61.1262	68.2935	71.2213
11.4	68.2830	65.7939	76.0756	89.3591	74.3593	72.2747	67.2545	79.3379
11.5	67.8422	62.2382	76.4109	69.5926	71.7784	74.3049	64.2668	72.8475
11.6	60.2788	53.8590	65.7321	60.3861	63.1830	57.1951	57.2995	64.2882
11.7	57.5445	52.0149	63.0008	56.2654	60.9197	54.9103	53.0722	69.6624
11.8	51.3246	47.2303	54.5755	52.7830	50.4054	47.9253	39.5926	67.2309
11.9	64.6456	57.4183	66.3242	65.0631	61.5048	59.9288	50.1984	72.8766
12	76.2799	65.8923	80.3948	77.2290	69.3065	71.5926	64.7993	85.2324
12.1	78.0751	65.1427	83.0991	82.3833	73.8332	75.6718	64.3291	81.1573
12.2	61.6372	51.8674	68.7559	69.5718	63.1329	61.2556	57.0393	64.5079
12.3	48.8317	38.7760	54.7349	47.9265	43.3112	44.3735	30.8174	46.5992
12.4	73.0625	57.1357	75.9508	64.9819	60.4123	64.5438	50.5321	52.4695
12.5	86.4533	73.7398	95.5308	84.9628	79.5603	81.6006	67.8556	60.1539
12.6	83.2312	72.7100	97.7420	86.8230	83.9470	83.0431	81.3481	75.0113
12.7	60.1173	51.7249	79.1907	71.6266	72.4875	59.9203	49.4297	53.4438
12.8	54.9771	45.4438	74.5582	62.9906	60.4097	70.1591	45.0676	48.1187
12.9	57.9043	44.9785	71.0150	59.6139	67.8920	55.5496	35.8807	52.5241
13	68.9922	55.3688	86.6721	75.4603	77.4270	52.6723	36.4475	61.3907
13.1	84.0263	63.8518	96.7562	79.1297	89.0282	77.3238	51.0004	79.7350
13.2	66.5379	41.9210	76.9630	64.2320	75.2597	61.5982	34.0691	60.7304
13.3	45.8816	22.5915	51.0265	51.8537	51.5134	21.4893	7.1641	52.5352
13.4	29.9556	5.1189	35.2381	35.5078	32.6953	11.0883	-2.3509	12.7587
13.5	30.2196	4.0673	40.9014	34.6338	33.5897	18.9812	-3.0555	44.1536
13.6	45.6652	13.7829	55.0365	49.9418	42.7090	25.8251	8.0037	45.6084
13.7	57.8908	17.5901	67.0034	53.8771	43.7738	36.4473	13.6298	40.0497
13.8	42.3367	-0.0983	65.4994	44.6006	35.8253	51.0564	17.9642	41.4416
13.9	22.5614	-12.1057	57.8968	41.9704	27.8282	47.2242	1.3202	2.5346
14	16.2100	-29.0677	55.5506	31.6282	23.0253	43.7690	7.7802	13.1257
14.1	17.0673	-30.0694	53.4906	29.4214	25.0387	-16.2104	-25.0798	-3.8620
14.2	32.1404	-27.3761	82.0826	40.6259	36.9384	26.9207	-27.2046	2.2106
14.3	23.6726	-45.5469	90.5845	44.9675	25.8025	-24.7125	-44.8684	-8.7248
14.4	7.1051	-82.3916	74.7224	39.9320	32.7249	-20.7729	-70.8802	33.4794
14.5	-9.7650	-106.6638	75.7304	-8.2721	16.3303	34.0947	-38.4667	24.0308
14.6	4.6582	-116.8801	99.9668	3.9750	61.2423	20.4830	-73.0852	86.2353
14.7	-40.4868	-262.3563	80.1856	-69.8943	-62.8021	-77.4420	-143.3579	114.2427
14.8	-114.3406	-498.0183	84.4349	-88.2699	-156.5039	-44.7369	-255.4465	5.3230
14.9	7.8648	-731.0931	465.2745	125.5865	9.3131	-348.1578	-505.9348	-698.6488
15	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
15.1	175.0325	610.5147	525.4617	28.8004	-41.2789	86.4029	148.2046	-250.3719
15.2	289.1866	549.3710	-21.7780	245.3817	302.3626	288.1857	324.4042	263.5302
15.3	271.0488	496.2380	74.6841	194.0759	303.1171	436.6551	442.2760	299.2361

15.4	228.5671	394.5125	51.0635	119.9023	187.9522	261.3108	346.9089	237.5278
15.5	170.8311	275.9308	-3.9367	59.7404	78.5441	189.3869	173.1192	158.3607
15.6	100.1055	139.8315	-109.4113	-26.2338	-39.2804	35.1883	66.2063	38.6035
15.7	664.5293	728.7277	554.5370	609.1497	611.8139	676.8596	713.3764	672.2238
15.8	452.0225	534.7434	417.0683	450.1621	464.6873	522.6710	563.3671	511.9545
15.9	210.4058	284.9603	185.1638	198.0774	233.1591	298.3001	328.6623	266.2195
16	159.8933	223.6374	142.4551	154.4710	150.1102	207.8528	235.6221	170.3260
16.1	125.0726	178.3242	103.6385	104.5101	107.3660	144.7326	176.5645	139.7927
16.2	144.3626	201.7070	121.0627	110.4950	139.7489	168.4246	189.3181	127.0819
16.3	404.3938	446.9650	337.1080	333.1406	363.8299	403.9573	444.9127	370.1082
16.4	560.3046	601.7642	456.3433	472.7755	479.6853	481.9677	613.7870	527.3369
16.5	474.6656	509.8570	367.6716	377.4992	414.4084	444.5696	476.1776	405.8712
16.6	352.5287	385.6221	248.7327	252.0676	282.9142	307.8695	339.6378	306.4649
16.7	303.4199	331.8737	209.9346	212.0105	234.6972	261.4735	281.1697	214.0351
16.8	265.4838	293.4546	171.8439	171.3723	204.6482	233.6711	249.2821	198.0779
16.9	221.8428	263.8671	165.4909	162.9191	185.0788	217.4842	235.2143	201.2312
17	41.8451	100.2852	47.2028	57.4459	76.5375	101.5284	117.3190	88.0652
17.1	-12.5686	20.2347	-15.7102	-2.2352	15.6503	39.6984	56.8909	38.4361
17.2	-7.0189	21.3583	-11.2044	5.5661	13.6044	20.8128	44.1709	35.7559
17.3	44.2588	69.0618	35.2398	47.2936	55.6508	53.0433	73.9995	70.9301
17.4	64.9550	88.6397	58.4582	69.2682	74.9738	78.0526	87.8007	83.4541
17.5	42.2399	71.0189	49.2787	59.6869	66.5247	62.3191	80.6672	68.8642
17.6	11.6972	38.7301	19.4935	26.9377	27.7699	28.9000	37.6630	27.1451
17.7	5.5116	28.9760	11.6499	13.5528	16.9998	15.8653	27.2498	13.8922
17.8	20.6149	43.0378	24.6675	30.1404	29.7068	21.4792	29.9327	19.1674
17.9	57.6322	76.8692	59.9931	68.1585	64.8727	57.1664	68.4785	52.3225
18	63.7909	81.4297	71.6365	79.5524	78.7666	75.7160	87.9454	69.2520
18.1	28.5520	47.8769	42.4173	47.2807	48.3565	47.8472	55.3035	40.2256
18.2	12.5174	32.7205	22.7725	26.6638	33.1864	28.1668	34.2199	31.1219
18.3	23.1410	39.5452	24.0816	28.7920	35.8297	31.5274	39.0348	34.6327
18.4	40.6776	55.8553	36.5213	43.6983	49.1958	42.7541	49.6105	52.9897
18.5	49.7787	70.7126	45.2907	52.8312	56.6495	48.8372	62.1039	61.0041
18.6	67.5030	88.0192	62.1640	72.0845	75.7001	71.0807	86.7981	86.3681
18.7	41.3178	71.5701	44.5683	54.8741	58.9240	52.3282	64.4257	66.1994
18.8	42.1861	61.1188	33.6331	40.8403	45.8142	44.1669	53.0215	56.5887
18.9	47.8682	64.6725	31.8398	37.6861	47.0292	40.5377	47.7943	42.1136
19	68.4149	84.5519	48.9455	57.5835	60.3866	56.0856	64.3490	58.5029
19.1	85.8689	102.9894	67.1083	73.2716	78.6820	76.7614	85.8935	81.9850
19.2	92.1373	111.9738	76.1988	86.7089	90.8855	96.3742	105.5930	89.4549
19.3	70.5245	88.7646	46.5100	61.9193	66.1925	65.7216	79.8661	70.7293
19.4	54.1038	76.4532	26.7225	45.3134	47.9790	48.4127	59.3189	38.7285
19.5	43.3372	62.1769	10.0858	25.9427	26.1865	41.5314	54.0669	27.2100
19.6	27.7854	45.6623	29.7759	38.1846	22.5841	33.2453	43.6472	29.5279
19.7	8.4905	20.4581	43.3900	47.3333	40.2184	18.8325	51.4268	46.7791
19.8	-19.4649	0.3294	11.4807	20.8259	21.9686	7.8565	14.3118	19.0378
19.9	-0.8393	18.3578	18.9652	24.2338	21.3646	22.0851	23.8637	25.0028
20	19.0241	35.0052	23.5961	26.6119	29.4755	41.5490	31.5309	36.3319

Constantes de la ecuación de pérdidas de inserción

Frecuencia (GHz)	a	c	Frecuencia (GHz)	a	c	Frecuencia (GHz)	a	c
10	97.1913	-84.4913	13.4	-83.6180	116.1762	16.8	399.6240	-467.6930
10.1	72.4503	-59.6433	13.5	-87.3597	120.4056	16.9	-1557.2453	1935.1208
10.2	54.2830	-41.3199	13.6	276.5853	-292.1402	17	420.0709	-497.8658
10.3	35.7474	-22.5463	13.7	-281.7776	342.5624	17.1	2448.3318	-2998.7036
10.4	-324.8347	344.1777	13.8	44.6469	-29.5221	17.2	1175.6967	-1426.3267
10.5	281.7883	-275.2991	13.9	391.8753	-426.4092	17.3	-27.9648	63.8617
10.6	53.9492	-41.6944	14	25.8809	-6.9329	17.4	2033.1080	-2493.0006
10.7	-158.4167	176.9116	14.1	-32.5814	60.2532	17.5	-8.0821	44.2763
10.8	57.4606	-46.1812	14.2	-334.6794	408.3571	17.6	686.8248	-821.2389
10.9	-30.2558	44.8181	14.3	33.0420	-16.4846	17.7	-241.1376	336.8333
11	203.5471	-198.6625	14.4	-472.4655	569.0764	17.8	-1533.0687	1952.2897
11.1	82.1557	-71.7692	14.5	257.9691	-279.2271	17.9	1091.1462	-1335.4658
11.2	67.3502	-56.2350	14.6	-381.1800	464.9680	18	29.0931	-2.2998
11.3	-418.1467	455.0313	14.7	499.2561	-562.7803	18.1	-171.3464	249.7887
11.4	290.0087	-293.4217	14.8	2191.7879	-2543.4855	18.2	201.7059	-220.2839
11.5	595.7211	-617.6901	14.9	409.6399	-452.6939	18.3	-692.9382	909.1606
11.6	-2.6825	19.2854	15	-665.3525	811.5953	18.4	717.9558	-875.3633
11.7	200.2086	-197.4400	15.1	432.5621	-482.8207	18.5	-388.6869	526.9431
11.8	474.7672	-491.7344	15.2	-161.5258	219.2982	18.6	-103.0635	164.3404
11.9	-192.6101	226.0612	15.3	38.8790	-18.1196	18.7	21.5867	5.8052
12	446.7105	-463.8815	15.4	-227.6788	298.4233	18.8	-91.1476	149.4465
12.1	-330.1198	377.2588	15.5	143.2203	-143.0697	18.9	-497.4263	668.0457
12.2	-118.4673	147.3282	15.6	-302.6968	388.9650	19	78.9555	-69.0046
12.3	76.7793	-65.4721	15.7	290.1247	-319.9901	19.1	745.1954	-922.4802
12.4	401.3384	-420.3521	15.8	105.8380	-99.0934	19.2	-669.3024	892.7466
12.5	-112.6994	143.5011	15.9	-1784.8890	2172.4206	19.3	868.8210	-1084.5992
12.6	119.4230	-111.9195	16	77.6084	-70.2498	19.4	819.5688	-1021.1721
12.7	11.7431	6.9379	16.1	66.9359	-57.3700	19.5	1566.5373	-1984.7874
12.8	-115.3935	147.7048	16.2	-108.5090	154.8332	19.6	-850.6191	1138.7978
12.9	417.4566	-444.0730	16.3	865.8844	-1026.3144	19.7	-586.6399	797.0855
13	-570.9232	656.9261	16.4	-2939.2869	3596.3746	19.8	-342.7966	480.9025
13.1	660.0789	-718.4372	16.5	1295.6607	-1559.6061	19.9	1143.8183	-1449.9919
13.2	167.8001	-166.8024	16.6	145.6841	-156.5104	20	0.0000	0.0000
13.3	46.1091	-30.0397	16.7	134.9887	-143.4328			

ANEXO F: PRIMERAS APROXIMACIONES DEL MODELO DE PROPAGACIÓN

Frecuencia (GHz)	Distancia (m)							
	0.34	1	2	3	4	5	6	7
10	42.6812	52.1979	58.3124	61.8892	64.4270	66.3955	68.0038	69.3636
10.1	42.9068	52.4234	58.5380	62.1148	64.6526	66.6210	68.2294	69.5892
10.2	43.1301	52.6468	58.7614	62.3381	64.8759	66.8444	68.4527	69.8125
10.3	43.3513	52.8680	58.9825	62.5593	65.0971	67.0655	68.6739	70.0337
10.4	43.5703	53.0870	59.2015	62.7783	65.3161	67.2846	68.8929	70.2527
10.5	43.7873	53.3039	59.4185	62.9953	65.5330	67.5015	69.1098	70.4697
10.6	44.0021	53.5188	59.6334	63.2101	65.7479	67.7164	69.3247	70.6845
10.7	44.2150	53.7317	59.8462	63.4230	65.9608	67.9292	69.5376	70.8974
10.8	44.4259	53.9425	60.0571	63.6339	66.1717	68.1401	69.7484	71.1083
10.9	44.6348	54.1515	60.2660	63.8428	66.3806	68.3490	69.9574	71.3172
11	44.8418	54.3585	60.4731	64.0498	66.5876	68.5561	70.1644	71.5242
11.1	45.0470	54.5636	60.6782	64.2550	66.7928	68.7612	70.3696	71.7294
11.2	45.2503	54.7670	60.8815	64.4583	66.9961	68.9645	70.5729	71.9327
11.3	45.4518	54.9685	61.0830	64.6598	67.1976	69.1660	70.7744	72.1342
11.4	45.6515	55.1682	61.2828	64.8595	67.3973	69.3658	70.9741	72.3339
11.5	45.8495	55.3662	61.4807	65.0575	67.5953	69.5638	71.1721	72.5319
11.6	46.0458	55.5625	61.6770	65.2538	67.7916	69.7600	71.3684	72.7282
11.7	46.2404	55.7570	61.8716	65.4484	67.9862	69.9546	71.5630	72.9228
11.8	46.4333	55.9500	62.0645	65.6413	68.1791	70.1475	71.7559	73.1157
11.9	46.6246	56.1413	62.2558	65.8326	68.3704	70.3388	71.9472	73.3070
12	46.8143	56.3310	62.4455	66.0223	68.5601	70.5285	72.1369	73.4967
12.1	47.0024	56.5191	62.6337	66.2105	68.7482	70.7167	72.3250	73.6849
12.2	47.1890	56.7057	62.8202	66.3970	68.9348	70.9033	72.5116	73.8714
12.3	47.3741	56.8907	63.0053	66.5821	69.1199	71.0883	72.6967	74.0565
12.4	47.5576	57.0743	63.1889	66.7656	69.3034	71.2719	72.8802	74.2400
12.5	47.7397	57.2564	63.3709	66.9477	69.4855	71.4540	73.0623	74.4221
12.6	47.9203	57.4370	63.5516	67.1284	69.6661	71.6346	73.2429	74.6028
12.7	48.0995	57.6162	63.7308	67.3076	69.8453	71.8138	73.4221	74.7820
12.8	48.2773	57.7940	63.9086	67.4854	70.0231	71.9916	73.5999	74.9598
12.9	48.4538	57.9704	64.0850	67.6618	70.1996	72.1680	73.7763	75.1362
13	48.6288	58.1455	64.2600	67.8368	70.3746	72.3431	73.9514	75.3112
13.1	48.8025	58.3192	64.4338	68.0105	70.5483	72.5168	74.1251	75.4849
13.2	48.9749	58.4916	64.6061	68.1829	70.7207	72.6892	74.2975	75.6573
13.3	49.1460	58.6627	64.7772	68.3540	70.8918	72.8602	74.4686	75.8284
13.4	49.3158	58.8325	64.9470	68.5238	71.0616	73.0301	74.6384	75.9982
13.5	49.4844	59.0010	65.1156	68.6924	71.2302	73.1986	74.8069	76.1668
13.6	49.6517	59.1683	65.2829	68.8597	71.3975	73.3659	74.9742	76.3341
13.7	49.8177	59.3344	65.4490	69.0258	71.5635	73.5320	75.1403	76.5002
13.8	49.9826	59.4993	65.6138	69.1906	71.7284	73.6968	75.3052	76.6650
13.9	50.1463	59.6629	65.7775	69.3543	71.8921	73.8605	75.4689	76.8287
14	50.3088	59.8255	65.9400	69.5168	72.0546	74.0230	75.6314	76.9912
14.1	50.4701	59.9868	66.1014	69.6782	72.2159	74.1844	75.7927	77.1526
14.2	50.6303	60.1470	66.2616	69.8384	72.3761	74.3446	75.9529	77.3128
14.3	50.7894	60.3061	66.4207	69.9974	72.5352	74.5037	76.1120	77.4718
14.4	50.9474	60.4641	66.5786	70.1554	72.6932	74.6616	76.2700	77.6298
14.5	51.1043	60.6209	66.7355	70.3123	72.8501	74.8185	76.4269	77.7867
14.6	51.2601	60.7768	66.8913	70.4681	73.0059	74.9743	76.5827	77.9425
14.7	51.4148	60.9315	67.0461	70.6228	73.1606	75.1291	76.7374	78.0972
14.8	51.5685	61.0852	67.1997	70.7765	73.3143	75.2828	76.8911	78.2509
14.9	51.7212	61.2378	67.3524	70.9292	73.4670	75.4354	77.0438	78.4036
15	51.8728	61.3895	67.5040	71.0808	73.6186	75.5871	77.1954	78.5552
15.1	52.0234	61.5401	67.6547	71.2315	73.7692	75.7377	77.3460	78.7058
15.2	52.1731	61.6897	67.8043	71.3811	73.9189	75.8873	77.4956	78.8555
15.3	52.3217	61.8384	67.9529	71.5297	74.0675	76.0360	77.6443	79.0041

15.4	52.4694	61.9861	68.1006	71.6774	74.2152	76.1836	77.7920	79.1518
15.5	52.6161	62.1328	68.2474	71.8241	74.3619	76.3304	77.9387	79.2985
15.6	52.7619	62.2786	68.3931	71.9699	74.5077	76.4762	78.0845	79.4443
15.7	52.9068	62.4234	68.5380	72.1148	74.6526	76.6210	78.2293	79.5892
15.8	53.0507	62.5674	68.6819	72.2587	74.7965	76.7649	78.3733	79.7331
15.9	53.1937	62.7104	68.8249	72.4017	74.9395	76.9080	78.5163	79.8761
16	53.3358	62.8525	68.9671	72.5439	75.0816	77.0501	78.6584	80.0183
16.1	53.4771	62.9938	69.1083	72.6851	75.2229	77.1913	78.7997	80.1595
16.2	53.6175	63.1341	69.2487	72.8255	75.3632	77.3317	78.9400	80.2999
16.3	53.7570	63.2736	69.3882	72.9650	75.5027	77.4712	79.0795	80.4394
16.4	53.8956	63.4123	69.5268	73.1036	75.6414	77.6098	79.2182	80.5780
16.5	54.0334	63.5501	69.6646	73.2414	75.7792	77.7477	79.3560	80.7158
16.6	54.1704	63.6871	69.8016	73.3784	75.9162	77.8846	79.4930	80.8528
16.7	54.3065	63.8232	69.9378	73.5146	76.0523	78.0208	79.6291	80.9890
16.8	54.4419	63.9585	70.0731	73.6499	76.1877	78.1561	79.7645	81.1243
16.9	54.5764	64.0931	70.2076	73.7844	76.3222	78.2907	79.8990	81.2588
17	54.7102	64.2268	70.3414	73.9182	76.4560	78.4244	80.0327	81.3926
17.1	54.8431	64.3598	70.4743	74.0511	76.5889	78.5574	80.1657	81.5255
17.2	54.9753	64.4920	70.6065	74.1833	76.7211	78.6895	80.2979	81.6577
17.3	55.1067	64.6234	70.7379	74.3147	76.8525	78.8210	80.4293	81.7891
17.4	55.2374	64.7540	70.8686	74.4454	76.9832	78.9516	80.5600	81.9198
17.5	55.3673	64.8840	70.9985	74.5753	77.1131	79.0815	80.6899	82.0497
17.6	55.4965	65.0131	71.1277	74.7045	77.2422	79.2107	80.8190	82.1789
17.7	55.6249	65.1416	71.2561	74.8329	77.3707	79.3391	80.9475	82.3073
17.8	55.7526	65.2693	71.3838	74.9606	77.4984	79.4668	81.0752	82.4350
17.9	55.8796	65.3963	71.5108	75.0876	77.6254	79.5938	81.2022	82.5620
18	56.0059	65.5226	71.6371	75.2139	77.7517	79.7201	81.3285	82.6883
18.1	56.1315	65.6482	71.7627	75.3395	77.8773	79.8457	81.4541	82.8139
18.2	56.2564	65.7731	71.8876	75.4644	78.0022	79.9706	81.5790	82.9388
18.3	56.3806	65.8973	72.0118	75.5886	78.1264	80.0948	81.7032	83.0630
18.4	56.5041	66.0208	72.1354	75.7122	78.2499	80.2184	81.8267	83.1866
18.5	56.6270	66.1437	72.2582	75.8350	78.3728	80.3413	81.9496	83.3094
18.6	56.7492	66.2659	72.3804	75.9572	78.4950	80.4635	82.0718	83.4316
18.7	56.8708	66.3874	72.5020	76.0788	78.6166	80.5850	82.1934	83.5532
18.8	56.9917	66.5083	72.6229	76.1997	78.7375	80.7059	82.3143	83.6741
18.9	57.1119	66.6286	72.7432	76.3200	78.8577	80.8262	82.4345	83.7943
19	57.2316	66.7482	72.8628	76.4396	78.9774	80.9458	82.5541	83.9140
19.1	57.3506	66.8672	72.9818	76.5586	79.0964	81.0648	82.6731	84.0330
19.2	57.4689	66.9856	73.1002	76.6770	79.2147	81.1832	82.7915	84.1514
19.3	57.5867	67.1034	73.2179	76.7947	79.3325	81.3009	82.9093	84.2691
19.4	57.7039	67.2205	73.3351	76.9119	79.4496	81.4181	83.0264	84.3863
19.5	57.8204	67.3371	73.4516	77.0284	79.5662	81.5346	83.1430	84.5028
19.6	57.9364	67.4530	73.5676	77.1444	79.6822	81.6506	83.2589	84.6188
19.7	58.0517	67.5684	73.6830	77.2597	79.7975	81.7660	83.3743	84.7341
19.8	58.1665	67.6832	73.7977	77.3745	79.9123	81.8808	83.4891	84.8489
19.9	58.2807	67.7974	73.9119	77.4887	80.0265	81.9950	83.6033	84.9631
20	58.3943	67.9110	74.0256	77.6024	80.1401	82.1086	83.7169	85.0768

ANEXO G: CÁLCULO DE PÉRDIDAS MEDIANTE LA ECUACIÓN DEL MODELO DE PROPAGACIÓN

Laboratorio de microondas (LOS)

Frecuencia (GHz)	Distancia (m)							
	0.34	1	2	3	4	5	6	7
10	51.0495	60.5661	66.6807	70.2575	72.7953	74.7637	76.3720	77.7319
10.1	51.0697	60.5863	66.7009	70.2777	72.8155	74.7839	76.3922	77.7521
10.2	51.0897	60.6063	66.7209	70.2977	72.8355	74.8039	76.4123	77.7721
10.3	51.1095	60.6261	66.7407	70.3175	72.8553	74.8237	76.4321	77.7919
10.4	51.1291	60.6458	66.7603	70.3371	72.8749	74.8433	76.4517	77.8115
10.5	51.1485	60.6652	66.7798	70.3566	72.8943	74.8628	76.4711	77.8309
10.6	51.1678	60.6844	66.7990	70.3758	72.9136	74.8820	76.4904	77.8502
10.7	51.1868	60.7035	66.8181	70.3949	72.9326	74.9011	76.5094	77.8693
10.8	51.2057	60.7224	66.8370	70.4138	72.9515	74.9200	76.5283	77.8882
10.9	51.2245	60.7411	66.8557	70.4325	72.9702	74.9387	76.5470	77.9069
11	51.2430	60.7597	66.8742	70.4510	72.9888	74.9572	76.5656	77.9254
11.1	51.2614	60.7780	66.8926	70.4694	73.0072	74.9756	76.5840	77.9438
11.2	51.2796	60.7963	66.9108	70.4876	73.0254	74.9938	76.6022	77.9620
11.3	51.2976	60.8143	66.9289	70.5057	73.0434	75.0119	76.6202	77.9801
11.4	51.3155	60.8322	66.9468	70.5235	73.0613	75.0298	76.6381	77.9979
11.5	51.3333	60.8499	66.9645	70.5413	73.0791	75.0475	76.6558	78.0157
11.6	51.3508	60.8675	66.9821	70.5589	73.0966	75.0651	76.6734	78.0333
11.7	51.3683	60.8849	66.9995	70.5763	73.1141	75.0825	76.6909	78.0507
11.8	51.3856	60.9022	67.0168	70.5936	73.1313	75.0998	76.7081	78.0680
11.9	51.4027	60.9194	67.0339	70.6107	73.1485	75.1169	76.7253	78.0851
12	51.4197	60.9364	67.0509	70.6277	73.1655	75.1339	76.7423	78.1021
12.1	51.4365	60.9532	67.0678	70.6446	73.1823	75.1508	76.7591	78.1190
12.2	51.4532	60.9699	67.0845	70.6613	73.1990	75.1675	76.7758	78.1357
12.3	51.4698	60.9865	67.1011	70.6778	73.2156	75.1841	76.7924	78.1522
12.4	51.4863	61.0029	67.1175	70.6943	73.2321	75.2005	76.8089	78.1687
12.5	51.5026	61.0192	67.1338	70.7106	73.2484	75.2168	76.8252	78.1850
12.6	51.5188	61.0354	67.1500	70.7268	73.2646	75.2330	76.8413	78.2012
12.7	51.5348	61.0515	67.1660	70.7428	73.2806	75.2491	76.8574	78.2172
12.8	51.5507	61.0674	67.1820	70.7588	73.2965	75.2650	76.8733	78.2332
12.9	51.5665	61.0832	67.1978	70.7746	73.3123	75.2808	76.8891	78.2490
13	51.5822	61.0989	67.2135	70.7902	73.3280	75.2965	76.9048	78.2646
13.1	51.5978	61.1144	67.2290	70.8058	73.3436	75.3120	76.9204	78.2802
13.2	51.6132	61.1299	67.2445	70.8212	73.3590	75.3275	76.9358	78.2956
13.3	51.6285	61.1452	67.2598	70.8366	73.3743	75.3428	76.9511	78.3110
13.4	51.6438	61.1604	67.2750	70.8518	73.3896	75.3580	76.9663	78.3262
13.5	51.6589	61.1755	67.2901	70.8669	73.4046	75.3731	76.9814	78.3413
13.6	51.6738	61.1905	67.3051	70.8819	73.4196	75.3881	76.9964	78.3563
13.7	51.6887	61.2054	67.3199	70.8967	73.4345	75.4030	77.0113	78.3711
13.8	51.7035	61.2202	67.3347	70.9115	73.4493	75.4177	77.0261	78.3859
13.9	51.7181	61.2348	67.3494	70.9262	73.4639	75.4324	77.0407	78.4006
14	51.7327	61.2494	67.3639	70.9407	73.4785	75.4469	77.0553	78.4151
14.1	51.7472	61.2638	67.3784	70.9552	73.4930	75.4614	77.0697	78.4296
14.2	51.7615	61.2782	67.3927	70.9695	73.5073	75.4758	77.0841	78.4439
14.3	51.7758	61.2924	67.4070	70.9838	73.5216	75.4900	77.0983	78.4582
14.4	51.7899	61.3066	67.4211	70.9979	73.5357	75.5042	77.1125	78.4723
14.5	51.8040	61.3206	67.4352	71.0120	73.5498	75.5182	77.1265	78.4864
14.6	51.8179	61.3346	67.4491	71.0259	73.5637	75.5322	77.1405	78.5003

14.7	51.8318	61.3484	67.4630	71.0398	73.5776	75.5460	77.1544	78.5142
14.8	51.8455	61.3622	67.4768	71.0536	73.5913	75.5598	77.1681	78.5280
14.9	51.8592	61.3759	67.4905	71.0672	73.6050	75.5735	77.1818	78.5416
15	51.8728	61.3895	67.5040	71.0808	73.6186	75.5870	77.1954	78.5552
15.1	51.8863	61.4030	67.5175	71.0943	73.6321	75.6005	77.2089	78.5687
15.2	51.8997	61.4164	67.5309	71.1077	73.6455	75.6139	77.2223	78.5821
15.3	51.9130	61.4297	67.5442	71.1210	73.6588	75.6273	77.2356	78.5954
15.4	51.9262	61.4429	67.5575	71.1343	73.6720	75.6405	77.2488	78.6087
15.5	51.9394	61.4561	67.5706	71.1474	73.6852	75.6536	77.2620	78.6218
15.6	51.9524	61.4691	67.5837	71.1605	73.6982	75.6667	77.2750	78.6349
15.7	51.9654	61.4821	67.5967	71.1734	73.7112	75.6797	77.2880	78.6478
15.8	51.9783	61.4950	67.6095	71.1863	73.7241	75.6926	77.3009	78.6607
15.9	51.9911	61.5078	67.6224	71.1991	73.7369	75.7054	77.3137	78.6735
16	52.0039	61.5205	67.6351	71.2119	73.7497	75.7181	77.3264	78.6863
16.1	52.0165	61.5332	67.6477	71.2245	73.7623	75.7308	77.3391	78.6989
16.2	52.0291	61.5457	67.6603	71.2371	73.7749	75.7433	77.3517	78.7115
16.3	52.0416	61.5582	67.6728	71.2496	73.7874	75.7558	77.3642	78.7240
16.4	52.0540	61.5707	67.6852	71.2620	73.7998	75.7682	77.3766	78.7364
16.5	52.0663	61.5830	67.6976	71.2744	73.8121	75.7806	77.3889	78.7488
16.6	52.0786	61.5953	67.7098	71.2866	73.8244	75.7929	77.4012	78.7610
16.7	52.0908	61.6075	67.7220	71.2988	73.8366	75.8051	77.4134	78.7732
16.8	52.1029	61.6196	67.7342	71.3110	73.8487	75.8172	77.4255	78.7853
16.9	52.1150	61.6316	67.7462	71.3230	73.8608	75.8292	77.4376	78.7974
17	52.1270	61.6436	67.7582	71.3350	73.8728	75.8412	77.4495	78.8094
17.1	52.1389	61.6555	67.7701	71.3469	73.8847	75.8531	77.4615	78.8213
17.2	52.1507	61.6674	67.7819	71.3587	73.8965	75.8650	77.4733	78.8331
17.3	52.1625	61.6792	67.7937	71.3705	73.9083	75.8767	77.4851	78.8449
17.4	52.1742	61.6909	67.8054	71.3822	73.9200	75.8884	77.4968	78.8566
17.5	52.1858	61.7025	67.8171	71.3938	73.9316	75.9001	77.5084	78.8682
17.6	52.1974	61.7141	67.8286	71.4054	73.9432	75.9116	77.5200	78.8798
17.7	52.2089	61.7256	67.8401	71.4169	73.9547	75.9231	77.5315	78.8913
17.8	52.2203	61.7370	67.8516	71.4284	73.9661	75.9346	77.5429	78.9028
17.9	52.2317	61.7484	67.8629	71.4397	73.9775	75.9460	77.5543	78.9141
18	52.2430	61.7597	67.8743	71.4511	73.9888	75.9573	77.5656	78.9254
18.1	52.2543	61.7709	67.8855	71.4623	74.0001	75.9685	77.5769	78.9367
18.2	52.2655	61.7821	67.8967	71.4735	74.0113	75.9797	77.5881	78.9479
18.3	52.2766	61.7933	67.9078	71.4846	74.0224	75.9908	77.5992	78.9590
18.4	52.2877	61.8043	67.9189	71.4957	74.0335	76.0019	77.6102	78.9701
18.5	52.2987	61.8153	67.9299	71.5067	74.0445	76.0129	77.6213	78.9811
18.6	52.3096	61.8263	67.9408	71.5176	74.0554	76.0239	77.6322	78.9920
18.7	52.3205	61.8372	67.9517	71.5285	74.0663	76.0347	77.6431	79.0029
18.8	52.3313	61.8480	67.9626	71.5394	74.0771	76.0456	77.6539	79.0137
18.9	52.3421	61.8588	67.9733	71.5501	74.0879	76.0563	77.6647	79.0245
19	52.3528	61.8695	67.9841	71.5608	74.0986	76.0671	77.6754	79.0352
19.1	52.3635	61.8801	67.9947	71.5715	74.1093	76.0777	77.6861	79.0459
19.2	52.3741	61.8907	68.0053	71.5821	74.1199	76.0883	77.6967	79.0565
19.3	52.3846	61.9013	68.0159	71.5927	74.1304	76.0989	77.7072	79.0670
19.4	52.3951	61.9118	68.0264	71.6031	74.1409	76.1094	77.7177	79.0775
19.5	52.4056	61.9222	68.0368	71.6136	74.1514	76.1198	77.7282	79.0880
19.6	52.4160	61.9326	68.0472	71.6240	74.1617	76.1302	77.7385	79.0984
19.7	52.4263	61.9430	68.0575	71.6343	74.1721	76.1405	77.7489	79.1087
19.8	52.4366	61.9532	68.0678	71.6446	74.1824	76.1508	77.7592	79.1190
19.9	52.4468	61.9635	68.0780	71.6548	74.1926	76.1610	77.7694	79.1292
20	52.4570	61.9736	68.0882	71.6650	74.2028	76.1712	77.7796	79.1394

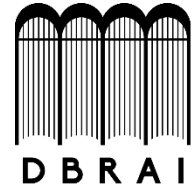
Aula 302 vs Aula 303 (NLOS)

Frecuencia (GHz)	Distancia (m)					
	1	2	3	4	5	6
10	66.5070	72.6216	76.1984	78.7362	80.7046	82.3129
10.1	66.9162	73.0307	76.6075	79.1453	81.1138	82.7221
10.2	67.3213	73.4359	77.0127	79.5504	81.5189	83.1272
10.3	67.7225	73.8370	77.4138	79.9516	81.9200	83.5284
10.4	68.1198	74.2343	77.8111	80.3489	82.3173	83.9257
10.5	68.5133	74.6278	78.2046	80.7424	82.7108	84.3192
10.6	68.9030	75.0176	78.5944	81.1321	83.1006	84.7089
10.7	69.2891	75.4037	78.9805	81.5182	83.4867	85.0950
10.8	69.6716	75.7862	79.3630	81.9008	83.8692	85.4775
10.9	70.0506	76.1652	79.7420	82.2797	84.2482	85.8565
11	70.4261	76.5407	80.1175	82.6553	84.6237	86.2321
11.1	70.7983	76.9128	80.4896	83.0274	84.9958	86.6042
11.2	71.1670	77.2816	80.8584	83.3962	85.3646	86.9730
11.3	71.5326	77.6471	81.2239	83.7617	85.7301	87.3385
11.4	71.8948	78.0094	81.5862	84.1240	86.0924	87.7008
11.5	72.2540	78.3685	81.9453	84.4831	86.4515	88.0599
11.6	72.6100	78.7246	82.3013	84.8391	86.8076	88.4159
11.7	72.9629	79.0775	82.6543	85.1921	87.1605	88.7689
11.8	73.3129	79.4275	83.0043	85.5420	87.5105	89.1188
11.9	73.6599	79.7745	83.3513	85.8890	87.8575	89.4658
12	74.0040	80.1186	83.6954	86.2331	88.2016	89.8099
12.1	74.3452	80.4598	84.0366	86.5744	88.5428	90.1512
12.2	74.6837	80.7982	84.3750	86.9128	88.8813	90.4896
12.3	75.0194	81.1339	84.7107	87.2485	89.2169	90.8253
12.4	75.3523	81.4669	85.0437	87.5814	89.5499	91.1582
12.5	75.6826	81.7972	85.3739	87.9117	89.8802	91.4885
12.6	76.0102	82.1248	85.7016	88.2394	90.2078	91.8162
12.7	76.3353	82.4499	86.0266	88.5644	90.5329	92.1412
12.8	76.6578	82.7724	86.3492	88.8869	90.8554	92.4637
12.9	76.9778	83.0924	86.6692	89.2069	91.1754	92.7837
13	77.2953	83.4099	86.9867	89.5245	91.4929	93.1012
13.1	77.6104	83.7250	87.3018	89.8395	91.8080	93.4163
13.2	77.9231	84.0377	87.6145	90.1522	92.1207	93.7290
13.3	78.2335	84.3480	87.9248	90.4626	92.4310	94.0394
13.4	78.5415	84.6560	88.2328	90.7706	92.7390	94.3474
13.5	78.8472	84.9618	88.5385	91.0763	93.0448	94.6531
13.6	79.1507	85.2652	88.8420	91.3798	93.3482	94.9566
13.7	79.4519	85.5665	89.1433	91.6810	93.6495	95.2578
13.8	79.7510	85.8655	89.4423	91.9801	93.9485	95.5569
13.9	80.0478	86.1624	89.7392	92.2770	94.2454	95.8538
14	80.3426	86.4572	90.0340	92.5717	94.5402	96.1485
14.1	80.6353	86.7498	90.3266	92.8644	94.8329	96.4412
14.2	80.9259	87.0404	90.6172	93.1550	95.1235	96.7318
14.3	81.2144	87.3290	90.9058	93.4436	95.4120	97.0204
14.4	81.5010	87.6156	91.1923	93.7301	95.6986	97.3069
14.5	81.7856	87.9001	91.4769	94.0147	95.9831	97.5915
14.6	82.0682	88.1827	91.7595	94.2973	96.2657	97.8741
14.7	82.3488	88.4634	92.0402	94.5780	96.5464	98.1548
14.8	82.6276	88.7422	92.3190	94.8567	96.8252	98.4335
14.9	82.9045	89.0191	92.5959	95.1336	97.1021	98.7104
15	83.1796	89.2941	92.8709	95.4087	97.3771	98.9855
15.1	83.4528	89.5674	93.1441	95.6819	97.6504	99.2587

15.2	83.7242	89.8388	93.4156	95.9533	97.9218	99.5301
15.3	83.9938	90.1084	93.6852	96.2230	98.1914	99.7998
15.4	84.2617	90.3763	93.9531	96.4909	98.4593	100.0676
15.5	84.5279	90.6424	94.2192	96.7570	98.7254	100.3338
15.6	84.7923	90.9069	94.4837	97.0214	98.9899	100.5982
15.7	85.0551	91.1696	94.7464	97.2842	99.2526	100.8610
15.8	85.3161	91.4307	95.0075	97.5453	99.5137	101.1220
15.9	85.5756	91.6901	95.2669	97.8047	99.7731	101.3815
16	85.8334	91.9479	95.5247	98.0625	100.0309	101.6393
16.1	86.0896	92.2041	95.7809	98.3187	100.2871	101.8955
16.2	86.3442	92.4587	96.0355	98.5733	100.5418	102.1501
16.3	86.5972	92.7118	96.2886	98.8263	100.7948	102.4031
16.4	86.8487	92.9633	96.5401	99.0778	101.0463	102.6546
16.5	87.0987	93.2132	96.7900	99.3278	101.2963	102.9046
16.6	87.3471	93.4617	97.0385	99.5763	101.5447	103.1531
16.7	87.5941	93.7087	97.2855	99.8232	101.7917	103.4000
16.8	87.8396	93.9542	97.5309	100.0687	102.0372	103.6455
16.9	88.0836	94.1982	97.7750	100.3128	102.2812	103.8895
17	88.3262	94.4408	98.0176	100.5553	102.5238	104.1321
17.1	88.5674	94.6820	98.2587	100.7965	102.7650	104.3733
17.2	88.8072	94.9217	98.4985	101.0363	103.0047	104.6131
17.3	89.0455	95.1601	98.7369	101.2747	103.2431	104.8515
17.4	89.2825	95.3971	98.9739	101.5117	103.4801	105.0885
17.5	89.5182	95.6327	99.2095	101.7473	103.7158	105.3241
17.6	89.7525	95.8670	99.4438	101.9816	103.9501	105.5584
17.7	89.9855	96.1000	99.6768	102.2146	104.1830	105.7914
17.8	90.2171	96.3317	99.9085	102.4462	104.4147	106.0230
17.9	90.4475	96.5620	100.1388	102.6766	104.6450	106.2534
18	90.6766	96.7911	100.3679	102.9057	104.8741	106.4825
18.1	90.9044	97.0189	100.5957	103.1335	105.1019	106.7103
18.2	91.1309	97.2455	100.8223	103.3600	105.3285	106.9368
18.3	91.3562	97.4708	101.0476	103.5854	105.5538	107.1621
18.4	91.5803	97.6949	101.2717	103.8094	105.7779	107.3862
18.5	91.8032	97.9177	101.4945	104.0323	106.0008	107.6091
18.6	92.0249	98.1394	101.7162	104.2540	106.2224	107.8308
18.7	92.2453	98.3599	101.9367	104.4745	106.4429	108.0513
18.8	92.4646	98.5792	102.1560	104.6938	106.6622	108.2706
18.9	92.6828	98.7973	102.3741	104.9119	106.8804	108.4887
19	92.8998	99.0143	102.5911	105.1289	107.0973	108.7057
19.1	93.1156	99.2302	102.8070	105.3447	107.3132	108.9215
19.2	93.3303	99.4449	103.0217	105.5595	107.5279	109.1363
19.3	93.5440	99.6585	103.2353	105.7731	107.7415	109.3499
19.4	93.7565	99.8710	103.4478	105.9856	107.9540	109.5624
19.5	93.9679	100.0824	103.6592	106.1970	108.1654	109.7738
19.6	94.1782	100.2928	103.8696	106.4073	108.3758	109.9841
19.7	94.3875	100.5020	104.0788	106.6166	108.5850	110.1934
19.8	94.5957	100.7102	104.2870	106.8248	108.7932	110.4016
19.9	94.8028	100.9174	104.4942	107.0319	109.0004	110.6087
20	95.0089	101.1235	104.7003	107.2381	109.2065	110.8148




ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO



DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS
PARA EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACIÓN

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 04 / 03 / 2021

INFORMACIÓN DE LOS AUTORES	
Nombres – Apellidos: CRISTHIAN DAVID RIVERA GAIBOR JENNY ESTHER ZAMBRANO PALACIO	
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL	
Facultad: INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA	
Carrera: INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES Y REDES	
Título a optar: INGENIERO EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y REDES	
f. Analista de Biblioteca responsable:	 Firmado electrónicamente por: ELIZABETH FERNANDA AREVALO MEDINA

