



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA TELECOMUNICACIONES

“ANÁLISIS COMPARATIVO DE MODELOS DE PROPAGACIÓN EN LA TELEFONÍA MOVIL EN LA BANDA 1900 MHZ (LTE) A TRAVÉS DE MEDICIONES DEL CAMPO ELÉCTRICO EN LA CIUDAD DE AMBATO”

Trabajo de Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto De Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

AUTOR: ANTHONNY MARCELO FLORES NÚÑEZ

DIRECTOR: ING. HUGO OSWALDO MORENO AVILES, PhD.

Riobamba – Ecuador

2023

©2023, Anthony Marcelo Flores Núñez

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

Yo, Anthony Marcelo Flores Núñez, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 06 de marzo de 2023

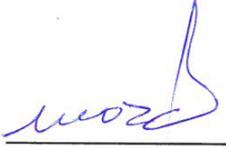
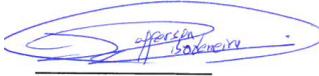


Anthony Marcelo Flores Núñez

180496224-7

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA TELECOMUNICACIONES

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **ANÁLISIS COMPARATIVO DE MODELOS DE PROPAGACIÓN EN LA TELEFONÍA MOVIL EN LA BANDA 1900 MHZ (LTE) A TRAVÉS DE MEDIICONES DEL CAMPO ELECTRÓNICO EN LA CIUDAD DE AMBATO**, realizado por el señor: **ANTHONY MARCELO FLORES NÚÑEZ**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Franklin Moreno Montenegro PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-03-17
Ing. Hugo Moreno Aviles PhD. DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-03-17
Ing. Jefferson Ribadeneira Ramirez PhD. ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-03-17

DEDICATORIA

Queridos padres Rocio Núñez y Marcelo Flores, con este trabajo de Trabajo de Integración Curricular, quiero dedicarles a ustedes todo el esfuerzo y dedicación que me han inculcado a lo largo de mi vida. Gracias por su constante apoyo y motivación, por sus consejos y enseñanzas, por ser mis principales modelos a seguir. Gracias por haberme dado las herramientas y la confianza para perseguir mis metas y por creer en mí, incluso cuando yo mismo no lo hacía. Este logro no hubiera sido posible sin su amor incondicional y su incansable apoyo. Espero que este trabajo les haga sentir orgullosos de mí, como yo lo estoy de tenerlos como mis padres. Les agradezco por todo lo que han hecho por mí, y espero que esta dedicatoria pueda transmitir una pequeña muestra de gratitud y amor hacia ustedes. Con todo mi cariño.

Anthony

AGRADECIMIENTO

A mis abuelos paternos Carlos y Blanca, que desde el cielo me han guiado en esta etapa universitaria. Los amo siempre estarán en mi corazón y espero que estén orgullosos de mí.

A mis padres y hermano, por todo el apoyo y amor que me han brindado a lo largo de mi vida. Ustedes han sido mis guías, mis modelos a seguir y mi fuente constante de motivación. Desde mi nacimiento, han estado a mi lado, brindándome su amor incondicional, enseñándome el valor del trabajo duro y la perseverancia. Sin su presencia invariable, no hubiera podido alcanzar este punto de mi vida. Les agradezco profundamente por todos sus sacrificios, su dedicación y su firme apoyo en mi formación académica y personal. Los amo con todo mi corazón y siempre estaré agradecido por todo lo que han hecho por mí.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por permitirme entrar a sus aulas donde los docentes con su experiencia y sabiduría me han proporcionado todas las herramientas para formarme como profesional.

A Sara mi compañera de vida y de todo este trayecto académico que fue una pieza fundamental para que pueda culminar mis estudios por todo su apoyo moral, su cariño y su comprensión en los peores momentos.

A mis amigos, en especial a Francisco por su amistad sincera, además del apoyo incondicional y que siempre estuvo para apoyarme.

A mi tutor el Ing. Hugo Moreno PhD y el Ing. David Moreno PhD por brindarme su tiempo, apoyarme con sus conocimientos y paciencia durante el desarrollo de este Trabajo de Integración Curricular.

Anthony

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	x
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
SUMMARY.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPITULO I

1.	MARCO REFERENCIAL.....	2
1.1.	ANTECEDENTES.....	2
1.2.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.3.	JUSTIFICACIÓN.....	3
1.3.1.	<i>Justificación teórica.....</i>	3
1.3.2.	<i>Justificación aplicativa.....</i>	4
1.4.	OBJETIVOS.....	5
1.4.1.	<i>Objetivo general.....</i>	5
1.4.2.	<i>Objetivos específicos.....</i>	5

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO.....	6
2.1.	Introducción a los sistemas móviles.....	6
2.2.	Estudio de la red LTE 4G.....	9
2.3.	Análisis de los modelos de propagación móviles.....	14
2.3.1.	<i>Modelo de propagación Okumura-Hata.....</i>	16
2.3.2.	<i>Modelo de propagación Ericson 9999.....</i>	19
2.3.3.	<i>Modelo de propagación SUI.....</i>	20

2.4.	Caracterización del Espectro Radio Eléctrico en SMA	22
2.4.1.	<i>Análisis del Espectro Radioeléctrico en el Ecuador</i>	24
2.4.2.	<i>Telefonía móvil en el Ecuador</i>	26
2.5.	Equipos de medición.....	29
2.5.1.	<i>Equipo NARDA SRM-3006</i>	29
2.5.2.	<i>Spectra Mobile Mapper 50</i>	31

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	33
3.1.	Tipos de investigación	33
3.1.1.	<i>Investigación documental (ID)</i>	33
3.1.2.	<i>Investigación descriptiva</i>	33
3.2.	Metodología de desarrollo	34
3.2.1.	<i>Fase planificar</i>	35
3.2.2.	<i>Fase hacer</i>	39
3.2.3.	<i>Fase verificar</i>	43
3.2.4.	<i>Fase Actuar</i>	44

CAPITULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	45
4.1.	Parámetros en cada modelo de propagación	45
4.1.1.	<i>Parámetros para EB3</i>	45
4.2.	Pérdidas de propagación	51
4.3.	Calculo teórico del campo eléctrico	54
4.4.	Cálculo del campo eléctrico	55
4.5.	Pruebas de normalidad	59
4.5.1.	<i>Pruebas de normalidad EB3</i>	59
4.5.2.	<i>Pruebas de normalidad EB5</i>	61

4.6.	Comparación estadística del RMSE de los datos medidos con los datos teóricos	
	62
	CONCLUSIONES.....	64
	RECOMENDACIONES.....	65
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Evolución de los sistemas móviles.....	8
Tabla 2-2:	Valores constantes del modelo Ericson 9999.....	19
Tabla 3-2:	Tipos de terreno en escenarios de propagación.....	20
Tabla 4-2:	Valores constantes del modelo SUI.....	22
Tabla 5-2:	Asignación de bandas de frecuencia para telefonía móvil.....	25
Tabla 6-2:	Radio Base por provincias.....	27
Tabla 7-2:	Especificaciones equipo SRM-306.....	31
Tabla 1-3:	Ubicación de las estaciones base.....	36
Tabla 2-3:	Coordenadas geográficas de los puntos de medición de EB3.....	41
Tabla 3-3:	Coordenadas geográficas de los puntos de medición de EB5.....	42
Tabla 1-4:	Parámetros de Hata extendido.....	45
Tabla 2-4:	Parámetros de SUI con factor de corrección.....	46
Tabla 3-4:	Parámetros de Ericsson 9999.....	47
Tabla 4-4:	Parámetros de Okumura-Hata.....	47
Tabla 5-4:	Parámetros con Hata extendido.....	48
Tabla 6-4:	Parámetros de SUI con factor de corrección.....	49
Tabla 7-4:	Parámetros de Ericsson 9999.....	50
Tabla 8-4:	Parámetros Okumura-Hata.....	50
Tabla 9-4:	Pérdidas de propagación de EB3.....	51
Tabla 10-4:	Pérdidas de propagación para EB5.....	53
Tabla 11-4:	Campo eléctrico de los puntos de medición de EB3.....	56
Tabla 12-4:	Campo eléctrico de los puntos de medición de EB5.....	57
Tabla 13-4:	Cuadro comparativo de RMSE de los modelos para EB3 y EB5.....	63

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-2:	Primera versión del sistema móvil.....	6
Ilustración 2-2:	Estaciones base de la red celular	7
Ilustración 3-2:	Evolución de sistemas móviles.....	10
Ilustración 4-2:	Arquitectura red LTE 4G.....	12
Ilustración 5-2:	Fenómeno de reflexión.....	15
Ilustración 6-2:	Fenómeno de refracción	15
Ilustración 7-2:	Asignación de bandas por servicio	24
Ilustración 8-2:	Asignación de bandas para SMA.....	28
Ilustración 9-2:	Asignación de espectro radioeléctrico para SMA	29
Ilustración 10-2:	Equipo SRM-3006.....	30
Ilustración 11-2:	Equipo Spectra Mobile Mapper 50	32
Ilustración 1-3:	Estructura del ciclo de Deming	34
Ilustración 2-3:	Selección de estaciones base	35
Ilustración 3-3:	Espectro de Downlink, modo espectro del Narda SRM-3006	36
Ilustración 4-3:	Ubicaciones de las 5 estaciones base	37
Ilustración 5-3:	Estación Base 3	37
Ilustración 6-3:	Estación Base 5	38
Ilustración 7-3:	Límites Estación EB3.....	38
Ilustración 8-3:	Límites Estación EB5.....	39
Ilustración 9-3:	Diagrama de medición EB.....	40
Ilustración 10-3:	Puntos de medición de EB3.....	41
Ilustración 11-3:	Puntos de medición de EB5.....	42
Ilustración 12-3:	Modo analizador de espectro.....	43
Ilustración 13-3:	Equipo Narda SRM-3006 en P15 correspondiente a la EB5.....	44
Ilustración 1-4:	Pérdidas de propagación EB3.....	52
Ilustración 2-4:	Pérdidas de propagación EB5.....	54
Ilustración 3-4:	Campo eléctrico EB3.....	57
Ilustración 4-4:	Campo eléctrico EB5.....	58
Ilustración 5-4:	Test de Shapiro-Wilk (EB3).....	59
Ilustración 6-4:	Histograma (EB3)	60
Ilustración 7-4:	Gráfico QQ (EB3).....	60
Ilustración 8-4:	Test de Shapiro-Wilk (EB5).....	61
Ilustración 9-4:	Histograma (EB5)	61
Ilustración 10-4:	Gráfico QQ (EB3).....	62

Ilustración 11-4:	Cálculo de RMSE (EB3)	62
Ilustración 12-4:	Cálculo de RMSE (EB5)	62

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: LEVANTAMIENTO DE COORDENADAS

ANEXO B: PUNTOS DE MEDICIÓN EB3 DE PE1 A PE24

ANEXO C: PUNTOS DE MEDICIÓN EB5 DE P1 A P24

RESUMEN

El objetivo del estudio fue analizar y comparar los modelos de propagación en la telefonía móvil en la banda 1900 MHz (LTE) a través de mediciones del campo eléctrico dentro del casco urbano de la ciudad de Ambato. Para ello, inicialmente se analizó de cuatro modelos de propagación utilizados en los servicios móviles: Okumura-Hata, Hata-Extendido(COST-231), SUI con factor de corrección y Ericsson 9999, acto seguido se ejecutó la identificación de las estaciones que trabajen con 1900MHz en la tecnología LTE de la operadora claro. Para este proceso, se usó el *software* 'Información de red', donde se puede apreciar la banda en la cual estaban trabajando las estaciones a la cual se conectó el dispositivo móvil posteriormente se realizaron 4 mediciones de 6 minutos, en cada punto seleccionado de la ciudad. En la investigación se utilizó la metodología de *Deming*, la cual constó de cuatro fases (Planificar, Hacer, Verificar, Actuar), mismas que permitieron la comparación de los resultados teóricos con los reales, y de este modo comprender la variación que tiene cada uno de los modelos con respecto a los resultados obtenidos. Una vez que se analizó las medidas reales tomadas y comparadas con los valores calculados, se determinó mediante la prueba estadística RMSE que, el modelo más adaptativo es el Modelo SUI con factor de corrección propuesto por la IEEE, mismo que se adecua para trabajar con frecuencias cercanas a los 2 GHz. Por lo tanto, el modelo de propagación que más se acerca a las características urbanas de la ciudad de Ambato es el modelo SUI con factor de corrección. Es recomendable incrementar la campaña de mediciones ya que, la ciudad de Ambato no es una zona demográficamente plana, de modo que se podría obtener resultados más amplios, si se considera para las mediciones parámetros como: rango de frecuencias, alturas de edificaciones, entre otros.

Palabras clave: <MODELOS DE PROPAGACIÓN >, <TELEFONÍA MÓVIL >, <MEDICIONES >, < CAMPO ELÉCTRICO >, <CASCO URBANO >



SUMMARY

The objective of the study was to analyze and compare the propagation models in mobile telephony in the 1900 MHz band (LTE) through the detection of the electric field within the urban area of Ambato city. For this, initially four propagation models used in mobile services were analyzed: Okumura-Hata, Hata-Extended (COST-231), SUI with correction factor and Ericsson 9999, later the identification of the stations that work with 1900MHz was carried out. in the LTE technology of Claro operator. For this process, the 'Network Information' software was used, where the frequency band in which the stations operate was identified, and to which the mobile device was connected; Subsequently, 4 measurements of 6 minutes were carried out in each selected point of the city.

In the investigation, Deming methodology was used, which consisted of four phases (Planning, Doing, Verifying, Acting), which allowed the comparison of the theoretical results with the real ones, and thus understand the variation that each one has. of the models with respect to the results obtained. Once the real measurements taken and compared with the calculated values were analyzed, through the RMSE statistical test it was determined that the most adaptive model is SUI Model with correction factor proposed by the IEEE, which is adequate to work with close frequencies. at 2GHz. Therefore, the propagation model that is closest to the urban characteristics of Ambato city is SUI model with correction factor. It is advisable to increase the measurement campaign since Ambato city is not a demographically flat area, so that broader results could be obtained, if parameters such as: frequency range, building heights, among others are considered for the measurements.

Keywords: <MOBILE TELEPHONY>, <PROPAGATION MODELS>, <MEASUREMENTS>, <ELECTRIC FIELD>, <URBAN AREA>.



MSc. Wilson G. Rojas

C.I 0602361842

INTRODUCCIÓN

La telefonía móvil desde sus inicios ha sufrido varios cambios tecnológicos para cumplir con el aumento de demanda de servicios que este tipo de comunicaciones requerían, es así como, desde el inicio de las primeras redes celulares desplegadas por la compañía de telecomunicaciones AT&T se han agregado diversas tecnologías que hasta la actualidad han hecho que la comunicación móvil sea el medio más utilizado a nivel mundial.

A mediados del siglo pasado y en las primeras pruebas del desarrollo de la tecnología móvil, esta era tratada de forma análoga, sin embargo, desde su segunda generación dicha comunicación es de tipo digital por la prestación de servicios que ofrece como es el caso de incluir mensajes de texto en las comunicaciones 2G, hasta la navegación en ultra altas velocidades de navegación en las redes 5G.

Por su parte la Red LTE de cuarta generación, conocida como red 4G introdujo a su servicio el envío y recepción de contenido multimedia y video *streaming*, está completamente basada en IP, puede ofrecer velocidades de transmisión que van desde 100 Mbps en movimiento y hasta 1 Gbps en reposo. Dicha tecnología surge bajo la necesidad de agrupar estándares y así delimitar el ámbito de funcionamiento y poder incluir todo tipo de comunicación (voz, video y datos), en un mismo dispositivo.

Una arquitectura simplificada de 4G LTE se compone generalmente del *Packet Core* evolucionado, el eNodeB y el equipo de usuario. El usuario se conecta a la red a través de la interfaz aérea inalámbrica al eNodeB. Este medio inalámbrico está mejorado por MIMO que permite transmitir y recibir múltiples flujos de datos recibir simultáneamente a través de múltiples antenas.

La ventaja competitiva de LTE es, por tanto, su capacidad de proporcionar un rendimiento muy alto y una mayor cobertura para los usuarios finales. Cuando un usuario se conecta a una red 4G LTE está conectado a una red con una arquitectura plana basada en IP que utiliza acceso múltiple OFDMA y SC-FDMA acceso múltiple OFDMA y SC-FDMA en el enlace descendente y ascendente, respectivamente, y emplea MIMO en el medio inalámbrico. Esto permite a la tecnología proporcionar acceso inalámbrico a Internet de banda ancha a sus usuarios finales incluso en zonas remotas.

CAPITULO I

1. MARCO REFERENCIAL

1.1. ANTECEDENTES

En el ámbito internacional, en un estudio realizado en Nigeria se comparó los modelos de comunicación para las redes de comunicación móvil desplegando un equipo Infinix X650B con el *software* 'RF signal tracker' con el cual, se obtuvo la información de la fuerza de la señal recibida, latitud y longitud. Para determinar la frecuencia de operación de la red móvil se utilizó el *software* 'cellular pro' y para el estudio comparativo se consideró cuatro operadores móviles y los siguientes modelos de propagación: Modelo de espacio libre, Modelo Hata y el Modelo COST 231. Los resultados obtenidos de la comparación mostraron que la variación entre el modelo Hata y el modelo COST 231 es de 2.07dB, mientras que la del modelo Hata y el modelo de propagación en el espacio libre es de 34.11dB. El resultado obtenido de este trabajo ayudara a mejorar la planificación de la red de comunicaciones móviles y la Calidad de Servicio (QoS) (Austin & E., 2021).

El trabajo de Román (2021) realizado en Colombia analizó las pérdidas por propagación obtenidas a partir de campañas de medidas en la banda de 3.5 GHz que se llevaron a cabo en una plantación de cítricos con el objetivo analizar las pérdidas de propagación en este tipo de entornos, además se define que se utilizara los modelos teóricos Walfisch-Bertoni y COST 231 que habitualmente son utilizados para entornos urbanos, de esta forma dando paso al análisis comparativo sobre la aplicabilidad de estos modelos de propagación en el entorno de la plantación de cítricos, se determinó que los dos modelos tienen aplicabilidad en este entorno, además que el modelo COST 231 se ajusta mejor a las condiciones del entorno (Román, 2021).

Según Camacho (2021) en Ecuador se realiza un estudio se enfoca en estudiar los diferentes comportamientos que toma un sistema de comunicación 4G al utilizar los modelos de propagación Cost 231 Hata, Ericsson 9999 y JTG-6. Para obtener mejores resultados se estableció que la distancia entre el Tx y Rx fue variada de 200m a 2000m, con el objetivo de observar el comportamiento del BER vs la distancia, de igual forma se trabajó con valores de SNR de 1dB-15dB, para determinar la tasa de error de bits (BER) en cada uno de los escenarios y con cada uno de los modelos, de esta forma dando paso al objetivo de determinar qué modelo de propagación

permite que el sistema 4G presenta la menor tasa de error de bis (BER) en cada uno de los escenarios (Camacho, 2021).

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Qué modelos de propagación se analizará para realizar la comparación en la telefonía móvil en la banda 1900 MHz (LTE)?

¿Cuáles son los parámetros para utilizar en cada modelo de propagación que afectarán al canal de comunicaciones en la telefonía móvil en la banda 1900 MHz (LTE)?

¿Cómo se va a obtener las mediciones experimentales para comparar los modelos de propagación en la telefonía móvil en la banda 1900 MHz (LTE)?

¿Cómo seleccionar las estaciones base para realizar las medidas del campo eléctrico en la telefonía móvil en la banda 1900 MHz (LTE) dentro del casco urbano de la ciudad de Ambato?

¿Cómo y cuántos puntos seleccionar alrededor de las estaciones base para realizar las medidas del campo eléctrico en la telefonía móvil en la banda 1900 MHz (LTE)?

¿Cómo es el comportamiento con respecto a las pérdidas básicas de propagación en cada uno de los modelos de propagación analizados para los diferentes puntos de medición alrededor de las estaciones base en la ciudad de Ambato?

¿Cómo se determinará los resultados que permitan comparar cuál de los modelos de propagación analizados es el que mejor se ajusta al casco urbano de la ciudad Ambato en la telefonía móvil en la banda 1900 MHz (LTE)?

1.3. JUSTIFICACIÓN

1.3.1. Justificación teórica

Según Osornio (2002) desde la introducción de telefonía móvil en la banda UHF (300 MHz – 3GHz) en la ciudad ha surgido la necesidad de pronosticar la propagación de las ondas de radio en circunstancias tales como una antena elevada y una antena de un móvil a nivel de la calle, con

esta necesidad se aplican los modelos de predicción empíricos basados en mediciones de las amplitudes de intensidad de la señal recibida.

Además, las redes de telefonía móvil celular vienen funcionando desde mediados de la década de los noventa y desde esa época se vienen realizando estudios de propagación para el diseño de estos sistemas, pero sus resultados son poco conocidos debido a que forman parte de la información privada de las empresas del sector. También es importante resaltar que, los estándares y tecnologías evolucionan constantemente y en un principio los operadores con licencias para prestar servicios móviles celulares iniciaron con tecnologías análogas, y posteriormente evolucionaron a tecnologías digitales como TDMA, CDMA, GSM, HSPA, HSPA+ y LTE. Cada uno de ellos con diferencias entre sí, por lo cual el comportamiento de las señales en el medio y las pérdidas por trayectoria sufren cambios con respecto a los estudios iniciales (Barrios, 2015).

Con la evolución ya antes mencionada Camacho (2021) enfatiza que, las redes de telefonía móvil han sufrido un gran desarrollo, en cuanto a la velocidad de la red para que se pueda realizar una óptica transmisión de los datos y que esto abre paso a que estas tecnologías sean importantes para los usuarios ya que, les permite tener una mejor experiencia en los diferentes aspectos que resalta la transmisión de datos tales como: los servicios de video, voz, entre otros. Cabe señalar que, los modelos de propagación tradicional utilizados puede que no cubran las necesidades y características de las nuevas tecnologías como LTE.

En los estudios comparativos analizados dentro del Ecuador se puede resaltar la telefonía móvil en la banda 1900 MHz (LTE) a través de mediciones del campo eléctrico en la ciudad de Ambato para posteriormente poder realizar un análisis comparativo de los modelos de propagación

1.3.2. Justificación aplicativa

Para el presente trabajo de titulación se propone obtener las mediciones de intensidad de campo eléctrico con el equipo de medición Narda SRM-3006, en dos estaciones bases que estarán ubicadas dentro del casco urbano de la ciudad de Ambato que trabajarán en la banda de 1900 MHz con la tecnología LTE. Se realizarán dos campañas de mediciones en cada estación base con el fin de asegurar la fiabilidad de los datos obtenidos, durante las mediciones se recolectará la información necesaria para aplicar los modelos de propagación previamente seleccionados tales como distancia al transmisor, alturas de las antenas y distancia.

Con las mediciones se procederá a realizar el cálculo de las pérdidas básicas de propagación con cada uno de los modelos de propagación Okumura-Hata , Ericsson 9999 y Modelo SUI con factor

de corrección para poder estimar el valor del campo eléctrico esperado y poder realizar un análisis estadístico de los resultados teóricos con respecto a las mediciones con la finalidad de poder determinar qué modelo de propagación se ajusta más dentro del casco urbano de la ciudad de Ambato que trabajarán en la banda de 1900 MHz con la tecnología LTE.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Analizar y comparar los modelos de propagación en la telefonía móvil en la banda 1900 MHz (LTE) a través de mediciones del campo eléctrico dentro del casco urbano de la ciudad de Ambato.

1.4.2. Objetivos específicos

- Analizar y elaborar el estado del arte de trabajos relacionados con el tema de investigación preexistentes.
- Analizar las características de los modelos de propagación Okumura-Hata, Ericsson 9999, Modelo SUI con factor de corrección.
- Determinar los parámetros más importantes en cada modelo de propagación para las comunicaciones en la telefonía móvil.
- Identificar dos estaciones base dentro del casco urbano de la ciudad de Ambato y definir los puntos para las campañas de medición de campo eléctrico con el equipo NARDA SRM-3006.
- Realizar el cálculo de las pérdidas de propagación con cada uno de los modelos de propagación propuestos con la finalidad de obtener el valor del campo eléctrico esperado.
- Comparar mediante un análisis estadístico los resultados teóricos de cada modelo propagación con respecto a las mediciones obtenidas.
- Sugerir que modelo de propagación tiene mejor ajuste a las condiciones del casco urbano de la ciudad de Ambato en la telefonía móvil en la banda 1900 MHz (LTE).

C APÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Introducción a los sistemas móviles

Las comunicaciones móviles se prestan mediante la utilización de ondas radioeléctricas, por lo que son un subconjunto de las radiocomunicaciones. El Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) define el servicio móvil como un servicio de radiocomunicaciones entre estaciones móviles y estaciones fijas, o entre estaciones móviles únicamente. Los sistemas móviles se clasifican, en función del entorno por el que se desplacen los terminales móviles, como pertenecientes al servicio móvil terrestre, marítimo y aeronáutico. Cada uno de estos servicios puede prestarse mediante medios terrenales exclusivamente o utilizando satélites para establecer la comunicación con los terminales móviles (Cerasa, 2022, p.1).

A diferencia de los diversos sistemas de radiocomunicaciones, las comunicaciones móviles brindan una movilidad completa, en otras palabras, es un sistema el cual permite la comunicación con cualquier dispositivo ubicado en cualquier zona con cobertura, sin importar si este se encuentra fijo o se mantiene en movimiento, siempre y cuando estos no superen la velocidad de desplazamiento del diseño del equipo. En la Ilustración 1-2 se aprecia las primeras pruebas realizadas de un sistema de comunicación móvil.



Ilustración 1-1: Primera versión del sistema móvil

Fuente: (Jiménez, 2015, p. 1)

La telefonía móvil comercial es uno de los servicios más completos de dicho sistema, el cual apareció por primera vez en el año de 1946 y fue desarrollado por la compañía de telecomunicaciones AT&T, en la ciudad de San Luis, y debido a la gran aceptación de esta, dos años después se expendería en más de 100 ciudades. Sin embargo, este sistema poseía muchas limitaciones para su propagación en el espectro radio eléctrico, debido al máximo de seis canales para la comunicación, lo que producía demasiado tiempo de espera para establecer una llamada, es así que, una década después, se expendería a 44 canales por ciudad para así poder ofrecer servicio hasta a 1.5 millones de usuarios.

Las telecomunicaciones móviles, en especial la telefonía celular, están revolucionando la industria de las telecomunicaciones. Desde su irrupción en el ámbito comercial a principios de los ochenta, la industria celular en el mundo ha venido creciendo en forma acelerada, con especial dinamismo en la década de los noventa y primeros años del siglo XXI, donde su crecimiento ha sido espectacular. A pesar de que la telefonía celular fue concebida para la voz únicamente, debido a las limitaciones tecnológicas de esa época, la tecnología celular de hoy en día es capaz de brindar otros tipos de servicios tales como datos, audio y video con algunas limitaciones, pero la telefonía inalámbrica del mañana hará posibles aplicaciones que requieran un mayor consumo de ancho banda (Rodríguez et al., 2005, p. 3).

Dichos sistemas tienen por objetivo conectar dos usuarios mediante la red del operador, quien es el responsable de gestionar el servicio, a diferencia de la telefonía fija desarrollada por Graham Bell, esta comunicación no posee pares de cobre ni fibra óptica para la transmisión de la información, el equipo móvil se conecta por el espectro radioeléctrico mediante una antena conectada con la central de la operadora, esta se encarga de encaminar la comunicación mediante el uso de otras antenas. En la Ilustración 2-2 se aprecia la distribución de las antenas:



Ilustración 2-1: Estaciones base de la red celular

Fuente: (Amplificadordesenal, 2020, p.1)

Cada antena posee un alcance limitado y cubre una pequeña área denominada Celda, el cual da el nombre de 'red de celdas' o 'red celular', es así que, se puede definir a la red móvil como aquella tecnología de telecomunicaciones diseñada para que el usuario pueda mantener la comunicación con libertad de movimiento dentro de la zona de cobertura, inclusive la tecnología móvil permite la comunicación a grandes velocidades de desplazamiento superiores a los 300 km/h. Esta tecnología ha tenido varias modificaciones desde su invención a fin de satisfacer las necesidades de los usuarios en conjunto con el avance tecnológico. En la Tabla 1-2 se muestran las generaciones de la telefonía móvil:

Tabla 1-1: Evolución de los sistemas móviles

Generación	Definición
GPRS <i>(General Packet Radio Service)</i>	Es el tipo de red más básico y lento que existe, posee 80 Kbps de velocidad teórica, en la cual solo se pueden enviar SMS y realizar llamadas con navegación muy baja que funciona en pocas aplicaciones que requieren escaso uso de red como WhatsApp o Telegram.
EDGE <i>(Enhanced Data Rates for GSM Evolution)</i>	Se trata de una evolución del GPRS, teniendo como velocidad máxima teórica de 236 kbps, por lo que, algunas aplicaciones más pesadas pueden ser usadas en este tipo de red. También es conocida como 2G, donde la velocidad es menor y la voz tiene preferencia sobre los datos, no pudiendo funcionar estos dos servicios a la vez.
UMTS <i>(Universal Mobile Telecommunications System)</i>	Basa su funcionamiento en antenas UMTS, con una velocidad máxima teórica de 2 Mbps, también conocida como 3G.
HSDPA <i>(High Speed Downlink Packet Access)</i>	Este tipo de red permite una velocidad máxima teórica de 14 Mbps. También es conocida como 3.5 G
HSPA+ <i>(Evolved HSPA)</i>	Es el tipo de red más rápido entre las antenas UMTS, actualmente es la más veloz dentro de su tipo, teniendo velocidades teóricas de hasta 84 Mbps de bajada y 22 Mbps de subida, también conocida como 3.9 G
LTE <i>(Long Term Evolution)</i>	Este tipo de red permite una velocidad máxima teórica de 15 Mbps de bajada y 50 Mbps de subida, conocida comúnmente como 4G, lo que la posiciona como el tipo de red más rápida actualmente a alta de implementación de las redes 5G.
5G	Aún en fase de pruebas y con una espera de implementación en 2020, ofrece velocidades de 1 Gbps, siendo superior a la obtenida por la fibra óptica y redes ADSL.

Fuente: (Brito, 2019, pp. 3-4)

Cabe señalar que, la red 3G incorpora ciertas características (Huidobro, 2006; citado en Brito, 2019), así tenemos:

- Transmisión simétrica/asimétrica de alta fiabilidad.

- Hasta 384 kbit/s en espacios abiertos y 2Mbit/s con baja movilidad.
- Uso de ancho de banda dinámico, en función de la aplicación.
- Soporte de conmutación de paquetes y de circuitos.
- Acceso a Internet (navegación WWW), videojuegos, comercio electrónico, vídeo y audio en tiempo real.
- Diferentes servicios simultáneos en una sola conexión.
- Calidad de voz como la red fija.
- Mayor capacidad y uso eficiente del espectro.
- Personalización de los servicios, según el perfil del usuario.
- Servicios dependientes de la posición.
- Incorporación gradual en coexistencia con los sistemas actuales de 2G.
- Itinerancia (*Roaming*), incluido el internacional, entre diferentes operadores.
- Economías de escala y un estándar global y abierto que cubra las necesidades de un mercado de masas.

Por otro lado, al respecto de LTE 4G estará basada totalmente en IP, siendo un sistema de sistemas y una red de redes, no es una tecnología o estándar definido, sino una colección de tecnologías y protocolos para permitir el máximo rendimiento de procesamiento, alcanzándose después de la convergencia entre las redes de cables e inalámbricas así como en ordenadores, dispositivos eléctricos y en tecnologías de la información así como con otras convergencias para brindar velocidades de acceso entre 100 Mbps en movimiento y 1 Gbps en reposo, manteniendo un servicio de punto a punto con alta seguridad y permitiendo ofrecer servicios de cualquier clase en cualquier momento, con un mínimo coste (Pérez, 2009, p. 1).

2.2. Estudio de la red LTE 4G

El acceso a Internet y la gama de servicios brindados a través de redes de datos, ha revolucionado el estilo de vida moderno del ser humano. El contenido de texto, audio, video, multimedia y servicios en general han encontrado en Internet la plataforma para desplegarse masivamente, exigiendo a la vez un alto requerimiento de banda ancha para el acceso a información. Por otra parte, las redes móviles de datos, particularmente las redes celulares, se han expandido desde su introducción en los años 90, hasta convertirse en el principal medio de acceso a servicios de telefonía y datos (Jaramillo, 2015, p. 1).

De acuerdo con las necesidades generadas por los usuarios de la telefonía móvil y acceso de alta velocidad a servicio multimedia, se desarrolló la tecnología móvil denominada LTE 4G, cuyo

sistema de comunicación está orientado a los datos. Fue implementado en Sudamérica por las principales operadoras móviles a inicios del 2012, y su despliegue se realizó sobre las redes existentes de GSM/WCDMA. Es así que, 4G posee una mayor eficiencia el espectro, esto permite aumentar la cantidad de usuarios por cada canal de radio, además de poseer una arquitectura basada en el modelo IP, esto permite disminuir los costos de despliegue.

De acuerdo con Grau (2019) la red 4G posee las siguientes premisas:

- Tasas de datos de 100 Mbps en DL y 50Mbps en UL.
- Tecnología all IP.
- Alta flexibilidad Espectral.
- Velocidades de usuario de 120 km/h.
- Radios de celda de hasta 30 km.
- Reducción número de nodos de la red.
- Latencia de paquetes IP de 10ms.
- Ancho de Banda escalable de 1,4 a 20 MHz.

LTE se introdujo a partir del Release 8 de la 3GPP, como una evolución a las redes HSPA e I-HSPA Las soluciones para redes LTE están basadas en una arquitectura plana, de baja latencia, y con una tecnología de radio de alta capacidad. LTE es una tecnología de radio acceso con canales o portadoras de ancho de banda en un rango de 1.4MHz hasta 20MHz. Las bandas de frecuencia estándares en que se implementa esta tecnología, incluyen las bandas 700MHz, 850MHz, 1700MHz, 1800MHz, 1900MHz, 2100MHz, 2600MHz (Jaramillo, 2015, p. 2). En la Ilustración 3-2 se encuentra la evolución de los sistemas móviles.

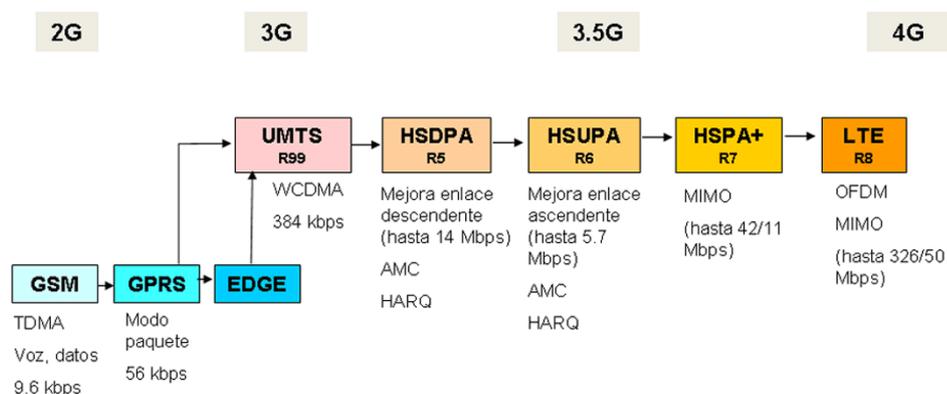


Ilustración 3-1: Evolución de sistemas móviles

Fuente: (CMNCBlog, 2010, p. 1)

2.2.1. Arquitectura de LTE 4G

La interfaz de aire comprende tecnologías FDD (*Frequency División Duplexing*) y TDD (*Time División Duplexing*). Dependiendo de la tecnología y el ancho de banda de la portadora LTE, el sistema permite tasas de *throughput* de 150Mbps en *downlink* y de 50Mbps en *uplink*. El término *downlink* en redes móviles se conoce a la comunicación en sentido radio base hacia la terminal móvil, mientras que, el *uplink* refiere a la comunicación del terminal móvil hacia la radio base. LTE utiliza como método de acceso OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). El OFDM es una tecnología de acceso basada en división de frecuencia en conjunto con subportadoras ortogonales (Jaramillo, 2015, p. 2).

LTE posee funciones avanzadas como la agregación de portadoras y MIMO (*Multiple Input Multiple Output*), esto permite mejorar la capacidad de usuarios, así como también el aumento de las tasas de comunicación. De acuerdo con el criterio de Grau (2019) posee dos aspectos fundamentales los cuales son:

a) E-UTRAN

- **User Equipment (UE):** El terminal de usuario (Grau, 2019, p .11).
- **Evolved Node B (eNodeB):** La estación que proporciona la interfaz radio. Se dota de mayor inteligencia a la estación base. Están conectadas entre sí, para que se realicen con mayor facilidad los traspasos entre ellas o *handovers* (Grau, 2019, p .11).

b) EPC

- **Mobility Management Entity (MME):** Nodo principal de control que tiene asignadas multitud de funciones como procedimientos de seguridad (cifrado y autenticación), gestión de la sesión terminal-red, gestión de la localización en estado idle (*paging*), establecimiento y liberación de portadoras (*bearers*) (Grau, 2019, p .10).
- **Serving gateway (SGW):** Funciones de *routing* local para los paquetes IP de datos y enrutado al PDN GW para las redes externas. Conexión entre núcleo de red y la red de transporte (Grau, 2019, p .11).
- **Packet Data Network (PDN) gateway:** Servicio y conectividad a redes de paquete externas. Envío de datos necesarios a PCRF (Grau, 2019, p .11).
- **Policy and Charging Rules Function (PCRF):** Refiere al servicio y control de tarificación (Grau, 2019, p .11).

La nueva red de acceso E-UTRAN y el nuevo dominio de paquetes EPC de la red troncal (red troncal EPC), y por otro, la evolución del subsistema IMS concebido inicialmente en el contexto de los sistemas UMTS. Los diferentes componentes han sido diseñados para soportar todo tipo de servicios de telecomunicación mediante mecanismos de conmutación de paquetes, por lo que no resulta necesario disponer de un componente adicional para la provisión de servicios en modo circuito (en el sistema LTE los servicios con restricciones de tiempo real se soportan también mediante conmutación de paquetes). En este sentido, EPC constituye una versión evolucionada del sistema GPRS (Segales, 2014, p. 18).

La red E-UTRAN conjuntamente con la red troncal EPC provee del envío y recepción de paquetes IP entre los usuarios internos y externos del servicio. Por otra parte, la calidad de servicio en la comunicación se puede configurar de acuerdo con las necesidades del servicio, el cual se lleva a cabo mediante las plataformas externas IMS, y esta es transparente frente a la red troncal, a este servicio de comunicación IP, se denomina servicio portador.

La Ilustración 4-2 se muestra la arquitectura de la red LTE 4G.

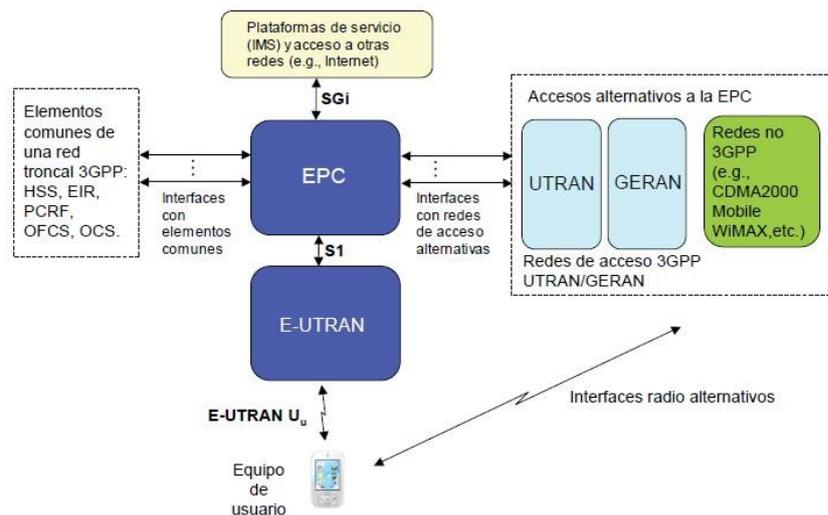


Ilustración 4-1: Arquitectura red LTE 4G

Fuente: (Segales, 2014, p. 6)

Como se evidencia, las principales interfaces entre E-UTRAN y EPC se la conoce como S1, es quien brinda a la EPC, los componentes para gestionar la dirección del dispositivo móvil a la E-UTRAN. Además, la interfaz de radio que conecta el equipo del usuario final con el E-UTRAN se denomina E-UTRAN Uu. La interfaz SGI es la que permite la conexión a redes IP externas, esta es análoga y se define por la red GPRS/UMTS también se encarga de hacer visible los terminales mediante la dirección del protocolo de internet entregado por el sistema de

comunicación. Finalmente, los mecanismos de control del servicio no son exclusivos de LTE sino que, también puede otorgar soporte a los dominios en 3GPP.

El estándar E-UTRAN se basa en la operación de enlace descendente OFDM, OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access*) y la operación de enlace ascendente de acceso múltiple de dominio de una sola portadora (SC-FDMA). Estas opciones soportan una gran flexibilidad de espectro con un número de despliegue posible de seis tipos de canalizaciones desde 1,4 MHz hasta 20 MHz de asignaciones de espectro. Soporta ambos nodos de operación FDD y TDD y apunta tanto a una asignación de espectro emparejada con enlace ascendente como a enlace descendente que operan en la misma frecuencia (García, 2019, p. 5).

A fin de obtener comunicación mundial, LTE está desplegada en varias bandas con diversas frecuencias, estas bandas van desde los 700 MHz hasta los 2.7 GHz. Cabe señalar que, LTE soporta la tecnología por división de tiempo (TDD) con 15 bandas dedicadas, así como la división por frecuencia (FDD) con 8 bandas, esto ha permitido a los proveedores como Huawei y Ericson aprovechar los recursos de velocidad y servicio al usuario final.

En la red troncal, el PDN *Gateway* está conectado con el SGW mediante la interfaz S5 si es del mismo operador o S8 si es de un operador diferente. En este interfaz se implementa el protocolo GTP-U (*GPRS Tunneling Protocol-User*) para transportar datos del PDN *Gateway* al SGW. En EPC existe una entidad llamada *Home Subscriber Service* (HSS), que reúne funcionalidades de los sistemas predecesores como el *Home Location Register* (HLR) y el *Authentication Center* (AuC). El HSS está conectado con el MME para el mantenimiento de la información de gestión de la información o la autorización de acceso a la red LTE entre otras. La interfaz S6a que se utiliza para conectar el MME con el HSS, usa el protocolo *diameter* orientado a conexión (como TCP) (Grau, 2019, p. 21).

LTE es una tecnología desarrollada con el fin de mejorar 2G y 3G, sin embargo, esta no cumple con los estándares de velocidad establecidos por la UIT los cuales son 100 Mbps en alta movilidad y hasta 1 Gbps en baja movilidad. Debido a la considerable mejora de la tecnología se permitió denominarla como 4G LTE, y posteriormente paso a ser llamado *LTE Advanced*, sistema de comunicación móvil que se acerca a los estándares planteados por la Unión Internacional de Telecomunicaciones, mediante la agregación de operadores el uso de diversas bandas de frecuencia y antenas, permitió la transferencia de información sin que exista demasiada congestión en el tráfico de datos. Además, esta red emplea el uso de repetidores más eficaces e inteligentes de forma que puedan reducir la latencia en la comunicación.

Tanto los dispositivos LTE como LTE-A tienen varias antenas (omnidireccionales, direccionales y sectoriales) y conectores, que se utilizan dependiendo de que se desea ejecutar. Aunque las preferidas son las MIMO para LTE-A. Debido a la variación en las bandas de frecuencia en diferentes países, sólo los dispositivos con radios de banda dual podrán funcionar. La recepción LTE-A requiere más potencia que el LTE, siendo ineficiente en terminales con una capacidad de potencia muy limitada. A modo de ejemplo, para distinguir entre LTE y 4G, al descargar una película de 1Gbyte, LTE tardaría medio minuto, mientras que 4G tardaría 6 o 7 segundos (Grau, 2019, p. 22).

2.3. Análisis de los modelos de propagación móviles

Existen diversos modelos de propagación, los cuales han ido variando con el paso de los años y de acuerdo con las necesidades y los avances tecnológicos, es así como han cambiado desde el uso de métodos empíricos hasta el desarrollo de los complejos sistemas informáticos que emplean la teoría geométrica de la difracción en mapas digitales.

Desde la introducción del concepto de sistemas celulares se hizo imprescindible la reutilización de frecuencias a la hora de diseñar los sistemas móviles, debido a que se trata de un recurso espectral finito. Esto llevó a la necesidad de mejorar la precisión en el cálculo de la cobertura de cada transmisor, y así poder optimizar el uso del espectro de frecuencia. Para poder llevar a cabo este cometido se requería de procesos complejos y cálculos tediosos cuya resolución se convertía en una tarea cuanto menos improductiva, por lo que se comenzó a informatizar estos procesos de predicción (García, 2016, p. 14).

En este punto cabe resaltar que, el modelo del canal de propagación es una descripción numérica determinística o estocástica de los entornos de propagación física basados en la medición de canales o análisis y simulación sobre la base de teorías de propagación (Vilchez, 2018, p. 12). En una transmisión las ondas milimétricas son afectadas por:

- **Reflexión**

Es el cambio de trayectoria que experimenta una onda cuando choca contra una superficie lisa y pulimentada, sin afectar el medio de propagación. Mientras que, si la reflexión se produce sobre una superficie rugosa, la onda se verá reflejada en varias direcciones y se la denomina Difusión. Se compone de cinco elementos: rayo incidente, línea normal y rayo reflejado, ángulo de incidencia y ángulo de reflexión. La Ilustración 5-2 muestra el ejemplo de la reflexión.

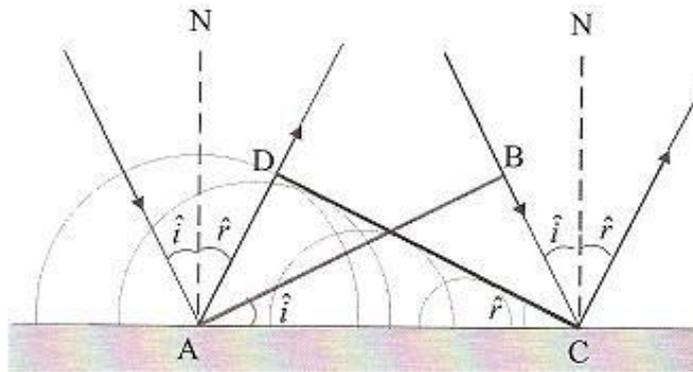


Ilustración 5-1: Fenómeno de reflexión

Fuente: (Rsefalicante, 2022, p. 1)

De acuerdo con el principio de Huygens, cuando el frente de ondas empieza a 'tocar' la superficie, el punto A se convierte en un nuevo foco que emite ondas secundarias y según transcurre el tiempo y el frente AB va incidiendo, repiten este comportamiento todos los puntos de la superficie comprendidos entre A y C. El frente de ondas reflejado, DC, es el envolvente de las ondas secundarias que se han ido emitiendo durante un tiempo igual al periodo desde el tramo AC de la pared (Rsefalicante, 2022, p. 1).

- **Refracción**

La refracción en sí, es un fenómeno que se produce cuando la luz choca con un material, cambiando de dirección. Se puede decir que los rayos de luz sufren un doblamiento en la frontera entre dos medios. La refracción se puede estudiar analizando las trayectorias que sigue la luz cuando varía el ángulo de incidencia. Por su parte, estos ángulos se miden con respecto a la horizontal de la superficie, que se espera se extienda dentro del material. El ángulo de refracción se mide con respecto a la normal extendida (González, 2020, p. 36). El fenómeno de refracción se aprecia en la Ilustración 6-2:

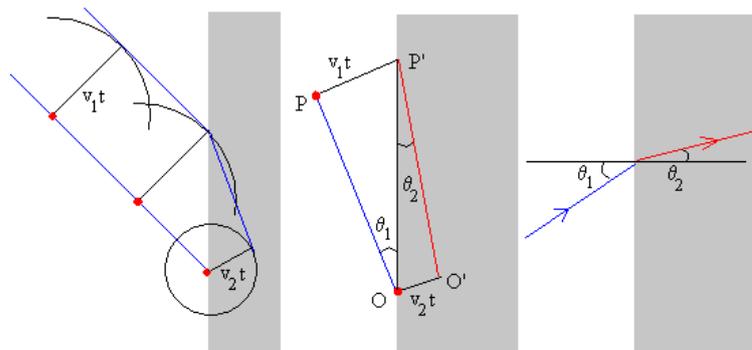


Ilustración 6-1: Fenómeno de refracción

Fuente: (Rsefalicante, 2022, p. 1)

La refracción se origina en el cambio de velocidad de propagación de la onda, cuando pasa de un medio a otro, este cambio se denomina índice de refracción, y está determinado por la fórmula:

$$n = \frac{c}{v}$$

Ecuación 1-2: Índice de refracción

Donde:

c = Velocidad de la luz en el vacío

v = Velocidad de la luz en el medio

n = Índice de refracción

Dicho valor ayuda a diferenciar medios más refringentes, es decir mientras n sea más pequeño, el material es menos refringente. De acuerdo con García (2016), los modelos de propagación intentan caracterizar cuatro aspectos de la propagación:

- a) Determinación de la pérdida básica de propagación o de la intensidad de campo.
- b) Análisis de la propagación multitrajecto y dispersiones temporal y frecuencial.
- c) Desarrollo de modelos de simulación de canal (modulación y protección).
- d) Realización de medidas reales para comprobar los resultados.

2.3.1. Modelo de propagación Okumura-Hata

El modelo de Hata es una formulación empírica de las curvas de pérdidas proporcionadas por Okumura. Hata estableció una serie de relaciones numéricas que describen el método gráfico propuesto por Okumura con el objetivo de hacer que éste fuera más fácil de aplicar. Dichas expresiones son conocidas bajo el nombre de modelo de Okumura-Hata. Este modelo se ajusta bien al anterior conforme la distancia crece por encima de 1 km, por lo que, es adecuado para celdas grandes, pero no para microceldas (Morales, 2012, p. 2).

Fue desarrollado por Masaharu Hata en el año de 1980 y su estudio surgió desde las mediciones realizadas por Yoshihisa Okumura, dicho modelo posee ciertas ecuaciones las cuales ayudan a estimar las pérdidas de propagación en zonas ya sea urbana, abierta, o rural. En la actualidad es uno de los modelos más utilizados en los estudios de planificación para el dimensionamiento del segmento de propagación de sistemas inalámbricos de telecomunicaciones al igual que los sistemas TDA. De acuerdo con Medina (2013), el modelo clasifica las zonas de la siguiente forma:

- **Área urbana:** Corresponde a las grandes ciudades con altas edificaciones y casas con 2 o más pisos, o donde existen una gran concentración de casas (Medina, 2013, p.1).
- **Área suburbana:** Ciudades o carreteras en donde hay árboles y casas en forma dispersa, existen obstáculos cerca del usuario, pero no provocan congestión (Medina, 2013, p.1).
- **Área abierta:** Son los espacios abiertos sin grandes árboles o edificaciones en el camino de la señal (Medina, 2013, p.1).

Este modelo de propagación se basa en un modelo empírico para la obtención de los valores de las pérdidas de propagación dentro de zonas urbanas, sus primeras mediciones fueron desarrolladas en Japón las cuales dieron como resultado líneas de atenuación similares a las perdidas por espacio libre en base a la frecuencia de operación y la distancia que tenía el móvil respecto a la estación base, este valor viene determinado por la fórmula:

$$L_b = 69,55 + 26,16 \log(f) - 13,82 \log(g(h_t)) - a(h_r) + (44,9 - 6,55 \log(h_t)) \cdot \log(d) \text{ (dB)}$$

Ecuación 2-2: Modelo Okumura-Hata pérdidas de propagación

Donde:

ht (m)= Altura de la antena transmisora

f (MHz)= Frecuencia de la onda

d (Km)= Distancia entre las antenas transmisora y receptora.

El modelo es aplicable en un rango de frecuencias de 150 a 1 500 MHz, para alturas de las antenas transmisoras entre 30 y 1 000 m. Las distancias pueden variar de 1 a 100 km y la altura de la antena del móvil debe estar entre 1 y 10 m. El modelo de Okumura es considerado uno de los más simples y eficaces en términos de precisión para sistemas celulares en entornos de naturaleza irregular. Su efectividad es mayor cuando se aplica para ciudades densas de edificios altos, como aquellas en las que se realizaron las mediciones que dieron origen al modelo (Bordón et al., 2012, p. 7).

Okumura-Hata es un modelo de propagación simple que no requiere de información cartográfica para la estimación de las pérdidas de propagación. Por esta razón, una de las limitaciones del modelo de Hata es que no tiene en cuenta la difracción producida por los obstáculos situados en el camino de propagación entre transmisor y receptor. Para solventar esta limitación, las pérdidas de difracción son calculadas y añadidas a las pérdidas estimadas por el modelo de propagación de Hata. Estas pérdidas por difracción son calculadas mediante el método de difracción de

Deygout que considera que los efectos producidos por los edificios pueden ser aproximados por múltiples aristas de filo de cuchillo y estima las pérdidas producidas por los obstáculos más altos entre transmisor y receptor (Giménez et al., 2011, p.13).

El objetivo principal del modelo es la obtención del valor mediano de la pérdida básica de propagación, en base a la frecuencia, la distancia, y la altura que posee las antenas de la estación base y el móvil, a pesar de carecer del factor de corrección por tipo de trayecto que posee el modelo de Okumura, el presente modelo posee un importante valor práctico (Medina, 2013, p.1).

El estudio planteado por Pinto et al. (2016) manifiesta que, dado que el modelo Okumura-Hata es válido hasta 1500 MHz, el comité de trabajo COST-231 de la EURO-COST (*European Cooperative for Scientific and Technical*) desarrolló una versión extendida del mencionado modelo conocida como modelo COST-231 Hata o modelo Hata Extendido (Pinto et al., 2016), en la cual las pérdidas de propagación se calculan a través de:

$$L = 46,3 + 33,9 \log f - 13,82 \log h_t - a(h_r) + [44,9 - 6,55 \log h_t] \log d + CM$$

Ecuación 3-2: Modelo Hata Extendido pérdidas de propagación

Donde f está comprendida en 1500 MHz y 2000 MHz, CM es igual a 0 dB para ciudades medianas y áreas suburbanas e igual a 3 dB para áreas metropolitanas (Pinto et al., 2016, p. 69).

Las alturas efectivas del transmisor y el receptor, así como la distancia entre transmisor y receptor están en los mismos rangos del modelo Okumura-Hata (Pinto et al., 2016, p. 69). Del mismo modo, el factor $a(h_t)$ se calcula así:

$$a(h_r) = (1,1 \log f - 0,7) h_r - 1,56 \log f + 0,8$$

Ecuación 4-2: Factor $a(h_r)$ para ciudades medianas y pequeñas

$$a(h_r) = \begin{cases} 8,29[\log (1,54 h_r)]^2 - 1,1; & f < 300 \text{ MHz} \\ 3,2[\log (11,75 h_r)]^2 - 4,97; & f \geq 300 \text{ MHz} \end{cases}$$

Ecuación 5-2: Factor $a(h_r)$ para ciudades grandes

2.3.2. Modelo de propagación Ericson 9999

Dicho modelo fue desarrollado por la compañía de Telecomunicaciones denominada Ericson, está basada en el modelo extendido de Hata, su principal ventaja es que los parámetros son ajustables de acuerdo con el escenario de propagación en el cual se desee utilizar dicho modelo. Originalmente el modelo fue creado en el rango de frecuencia de 150 a 1500MH. Se trata de un modelo muy sencillo, donde se puede determinar su exactitud según el correcto ajuste de los parámetros libres en base a mediciones para cada región (Ruiz & Flores, 2014, p. 41).

Está definido por la fórmula:

$$PLU = a0 + a1 \cdot \log(d) + a2 \cdot \log(hB) + a3 \cdot \log(hB) \cdot \log(d) - 3.2 (\text{Log}10(11.75hr)^2) + g(f)$$

Ecuación 6-2: Modelo Ericson 9999

Donde:

g(f) es igual a:

$$g(f) = 44.49 \cdot \log(f) - 4.78(\log(f))^2$$

Ecuación 7-2: Definición de g(f)

Donde:

f: frecuencia

hr: altura del dispositivo móvil. d, distancia

hb: antena Transmisora

hr: altura del dispositivo móvil

Los valores de a0, a1, a2 y a3 son constantes, mismo que, pueden ser reformadas para mejor preparación según el tipo de terreno específico. En la Tabla 2-2 se presenta los valores de las constantes:

Tabla 2-1: Valores constantes del modelo Ericson 9999

Terreno	a0	a1	a2	a3
<i>Urbano</i>	36.2	30.2	12.0	0.1
<i>Suburbano</i>	43.20	68.93	12.0	0.1
<i>Rural</i>	45.95	100.6	12.0	0.1

Fuente: (Ruiz & Flores, 2014, p. 41)

El estudio realizado por Beciez et al. (2011), describe las siguientes restricciones para el modelo estudiado, así:

- Frecuencia (150-2000 MHz)
- Distancia (0.2-100km)
- Altura antena estación base (20-200m)
- Altura antena estación móvil (1-5m)

De la misma manera, el modelo puede ser explicado por cuatro contribuciones a las pérdidas (Beciez et al., 2011, p. 58), así tenemos:

- 1) Ecuaciones de Okumura-Hata con parámetros modificables A0-A3 (Beciez et al., 2011, p. 58).
- 2) Pérdidas adicionales que se presentan cuando la propagación es modificada debido a picos de montaña, entre otros aspectos (pérdidas por filo de cuchillo) (Beciez et al., 2011, p. 58).
- 3) Para distancias mayores a 10 km surgen pérdidas adicionales debido a los disturbios producidos por la curvatura de la tierra (Beciez et al., 2011, p. 58).
- 4) Pérdidas por la topografía de la zona (Beciez et al., 2011, p. 58).

2.3.3. Modelo de propagación SUI

Dicho modelo de propagación fue desarrollado por la Universidad de Stanford, es un modelo empírico que se basa en la caracterización de cada zona de la ciudad. Es decir, debe ir de acuerdo con el tipo de terreno en el cual se pretende realizar el análisis. De acuerdo con Barrios (2021) el modelo SUI se deriva del modelo Hata y es válido para alturas de la EM entre 2m y 3m, además de la EB entre 10m y 80m. El rango de frecuencia para el modelo va desde los 0 MHz hasta los 2000 MHz. La formulación empírica de este modelo clasificó los escenarios de propagación en tres tipos de terreno (A, B, C), como se muestra en la Tabla 3-2.

Tabla 3-1: Tipos de terreno en escenarios de propagación

<i>Terreno Tipo A</i>	Escenario con las mayores pérdidas donde predomina el terreno montañoso y densidad promedio de vegetación.
<i>Terreno Tipo B</i>	Se atribuye a un terreno donde las pérdidas son intermedias, de relieve plano y con densidad promedio de árboles.
<i>Terreno Tipo C</i>	Caracterizado por la menor cantidad de pérdidas, terreno plano y densidad ligera de la vegetación.

Fuente: (Barrios, 2021, p. 34)

El modelo estudiado, está definido por la expresión:

$$PL = A + 10\gamma \log \frac{d}{d_0} + X_f + X_h + s$$

Ecuación 8-2: Modelo SUI

Los valores de A, γ , X_f y X_h se obtiene mediante:

$$A = 20 \log \left(\frac{\pi d_0}{\gamma} \right)$$

$$\gamma = a + bh_b + \frac{c}{hb}$$

$$x_f = 6 \log \frac{f}{2000}$$

$$x_h = -H \log \frac{h_r}{2000}$$

Ecuación 9-2: Obtención de valores de A, γ , X_f y X_h

Donde:

d (m): es la distancia entre transmisor y receptor

d_0 : 100 metros,

hb : es la altura de la estación base

hr : la altura promedio del receptor en metros,

f (MHz): es la frecuencia en MHz

λ : es la amplitud de onda,

s: es el efecto de desvanecimiento,

X_f y X_h : corresponde a los factores de corrección para la frecuencia y la altura del receptor

γ : es el exponente de pérdidas por dispersión.

La Tabla 4-2 muestra las constantes utilizadas para el modelo de propagación SUI:

Tabla 4-1: Valores constantes del modelo SUI

Parámetros del modelo SUI	Tipos de terreno		
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
a	4.6	0.0075	12.6
b	4	0.0065	17.1
c	3.6	0.005	20
S	10.6	9,6	8,2
H	10.8	10,8	20

Fuente: (Barrios, 2021, p. 35)

La principal novedad y ventaja de este modelo es que el exponente de pérdidas por trayectos y la desviación estándar del desvanecimiento varían aleatoriamente al salir de una celda y entrar a otra, y esto se modela estadísticamente por medio de variables gaussianas aleatorias cuyos parámetros dependen del tipo de terreno y de la altura del móvil. Además, este modelo se desvía un poco de los modelos tradicionales al no considerar escenarios urbanos o suburbanos y enfocarse en los tipos de terreno. Se presenta una aproximación menor de las pérdidas para celdas con tamaños mayores a 10 kilómetros (Barrios et al., 2018, p. 81).

2.4. Caracterización del Espectro Radio Eléctrico en SMA

Para la implementación de la Tecnología Móvil Avanzada (SMA) existe ciertos factores que posibilitan el desarrollo para que esta realice comunicación de texto, multimedia, voz. Una de las características es los espectros, instalación de antenas y celdas pequeñas a distancias más cortas, necesarias para proporcionar servicios.

De acuerdo con el concepto establecido por la Arcotel se define al Espectro Radio-Eléctrico como, un subconjunto de ondas electromagnéticas u ondas hertzianas fijadas convencionalmente por debajo de 3000 GHz, que se propagan por el espacio sin necesidad de una guía artificial (Arcotel, 2022, p. 1). A través del espectro radioeléctrico es posible brindar una variedad de servicios de telecomunicaciones que tienen una importancia creciente para el desarrollo social y económico de un país (Arcotel, 2022, p. 1).

El espectro radioeléctrico es considerado por la Constitución de la República como un sector estratégico, por tanto, el Estado se reserva el derecho de su administración, regulación, control y gestión. Dentro de este contexto, La legislación de telecomunicaciones ecuatoriana lo define

como un recurso natural limitado, perteneciente al dominio público del Estado, inalienable e imprescriptible (Arcotel, 2022, p. 1).

Desde el punto de vista de Suárez (2021), el Espectro radioeléctrico, es el recurso natural, limitado, por el cual las ondas de radio se propagan y constituye un subconjunto de ondas electromagnéticas u ondas hertzianas, fijado convencionalmente por debajo de 3000 GHz, permite el envío de señales electromagnéticas sin necesidad de una guía artificial permitiendo la comunicación inalámbrica de largas distancias. Por medio de este es posible brindar una variedad de servicios de telecomunicaciones que tienen una importancia creciente para el desarrollo social y económico de un país (Suárez, 2021, p. 25).

De acuerdo con los conceptos planteados se puede definir al espectro radioeléctrico como, el conjunto de frecuencias a las que se produce radiación electromagnética, el límite inferior del mismo es 0 (es importante resaltar que no existe frecuencias negativas), y en teoría el valor superior es ∞ (Luque, 2012, p. 18). Sin embargo, en la práctica se ha detectado frecuencias electromagnéticas de entre 30 Hz hasta $2.9 \cdot 10^{27}$ Hz.

Aunque formalmente el espectro es infinito y continuo, se cree que la longitud de onda electromagnética (distancia entre dos valores de amplitud máxima de la onda) más pequeña posible es la longitud de Planck ($l_p \approx 1,616252 \cdot 10^{-35}$ m), distancia o escala de longitud por debajo de la cual se espera que el espacio deje de tener una geometría clásica (medidas inferiores no pueden ser tratadas en los modelos de física actuales debido a la aparición de efectos de gravedad cuántica). Igualmente, se piensa que el límite máximo para la longitud de una onda electromagnética sería el tamaño del universo (Luque, 2012, p. 28).

No todas las ondas electromagnéticas poseen el mismo comportamiento de propagación, el mismo medio o la interacción con la materia, por tal motivo el espectro radioeléctrico está dividido en segmentos o bandas de frecuencia, la clasificación más típica del espectro según Luque (2012) es:

- Ondas subradio.
- Ondas radioeléctricas.
- Microondas.
- Rayos T.
- Rayos infrarrojos.
- Luz visible.
- Rayos ultravioletas.

- Rayos X.
- Rayos gamma.
- Rayos cósmicos (Luque, 2012, p. 18).

En la Ilustración 7-2, se presenta la asignación de las bandas de frecuencia por el servicio:

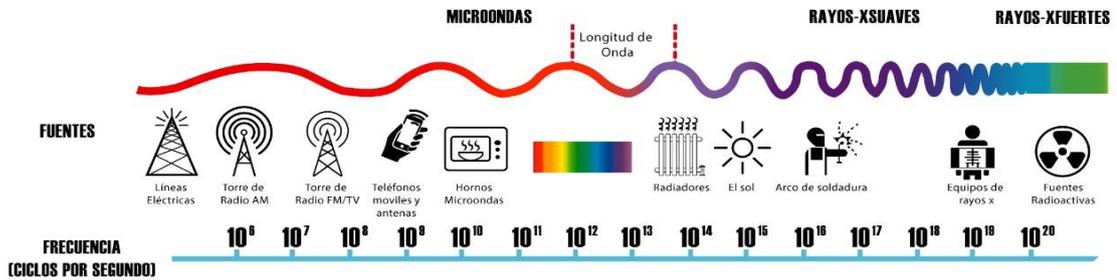


Ilustración 7-1: Asignación de bandas por servicio

Fuente: (ANE, 2022, p. 1)

2.4.1. Análisis del Espectro Radioeléctrico en el Ecuador

Hasta el año 2018, en el territorio ecuatoriano se tenía alrededor de 15,5 millones de dispositivos con conectividad móvil a través de CLARO, CNT y MOVISTAR, para una población de aproximadamente 91,6% dentro de los 283.560 Km². En la actualidad no se tiene cifras nuevas reales, pero si se considera un incremento sustancial en la demanda del servicio móvil debido a la situación de modalidad virtual por el confinamiento obligatorio a causa de la pandemia del SARS-COV II.

Según Chaves (2021), la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL) ha propuesto entre 2017 y 2018 la asignación del espectro radioeléctrico de las bandas de 900 MHz, AWS y el rango 3,3-3,6 GHz, que podrían ser objeto de nuevas licitaciones. Debido a su licitación, las bandas de 900 MHz y AWS, generarían 100 MHz adicionales para servicios adicionales y la banda de 3,3-3,4 GHz no está en uso. En el caso de 3,4-3,6 GHz hay asignados 50 MHz a CNT a nivel nacional y 21,5 MHz a ETAPA con cobertura en Cuenca, por lo que quedan disponibles 128,5 MHz para Telecomunicaciones Móviles. La banda de 2500-2686 MHz está atribuida servicios fijos y móviles, aunque está ocupada con sistemas de TV codificada (Chávez, 2021, p. 52).

Según, la UIT desde el punto de vista de la atribución de bandas, ha dividido al mundo en tres Regiones: Región 1, Región 2 y Región 3., Ecuador pertenece a la Región 2 (Arcotel, 2012, p. 13).

De acuerdo con el Plan Nacional de Frecuencias aprobado en el 2012, la asignación de espectro se encuentra planteado como se muestra a continuación:

Tabla 5-1: Asignación de bandas de frecuencia para telefonía móvil

Región 2	Ecuador	
Banda MHz	Banda MHz	Rango MHz
450 – 455 FIJO MÓVIL ADD 5.286AA 5.209 5.286A 5.286B 5.286C 5.286D	450 – 455 FIJO MÓVIL ADD 5.286AA 5.209 5.286A 5.286B 5.286C	Nota EQA (resumen): Servicio (Sistema/ Uso) 450 – 455 EQA.55: FIJO y MOVIL (radio de dos vías) 452,5 – 455 EQA.60: FIJO (FWA)
455 – 456 FIJO MÓVIL 5.286AA MÓVIL POR SATÉLITE (Tierra – espacio)	455 – 456 FIJO MÓVIL 5.286AA	455 – 456 EQA.55: FIJO y MOVIL (radio de dos vías) 455 – 456 EQA.60: FIJO (FWA)
5.286A 5.286B 5.286C 5.209		
456 – 459 FIJO MÓVIL 5.286AA	456 – 459 FIJO MÓVIL ADD 5.286AA	456 – 459 EQA.55: FIJO y MOVIL (radio de dos vías) 456 – 457, 475 EQA.60: FIJO (FWA)
5.287 5.288	5.287	
459 – 460 FIJO MÓVIL 5.286AA MÓVIL POR SATÉLITE (Tierra –espacio)	459 – 460 FIJO MÓVIL 5.286AA MÓVIL POR SATÉLITE (Tierra – espacio)	459 – 460 EQA.55: FIJO y MOVIL (radio de dos vías)
5.286A 5.286B 5.286C 5.209	5.286A 5.286B 5.286C 5.209	

Fuente: (Ponce, 2019, pp. 21-22)

Debido a las grandes exigencias de calidad de servicio (QoS) del servicio de telefonía móvil, es necesario la gestión del espectro para lo cual Ponce (2019), en su proyecto de investigación lo plantea en 4 aspectos principales:

- a) **Monitoreo para detección de espectro:** En las bandas licenciadas los US, solo pueden ser asignados a huecos espectrales, para que no interfieran con los UP. Por tanto, es necesario que los US estén monitorizando las bandas de espectro disponibles, capturando su información y después detectando dichos huecos espectrales. Actualmente existen varias técnicas para la detección de espectro, siendo la detección de energía la más básica de ellas (Ponce, 2019, p. 22).
- b) **Políticas de Decisión de espectro:** Luego que los huecos espectrales han sido identificados, los US acuerdan sus requerimientos de QoS, políticas internas y posiblemente externas, seleccionan el hueco espectral más adecuado. Para la toma de esta decisión existen algoritmos que tienen en cuenta las características de canal de radio y el comportamiento estadístico de los UP (Ponce, 2019, p. 23).
- c) **Acceso al espectro:** La función de compartición de espectro tiene la capacidad que múltiples US accedan al espectro de una forma coordinada para evitar colisiones e interferencias (Ponce, 2019, p. 23).
- d) **Movilidad de usuario secundario:** Los US son 'visitantes' en el espectro radioeléctrico. Si los UP necesitan utilizar el espectro o las condiciones del canal se deterioran. Los US tienen que dejar el canal de frecuencia que están utilizando y continuar en otro hueco espectral (Ponce, 2019, p. 23).

2.4.2. Telefonía móvil en el Ecuador

Las telecomunicaciones constituyen un servicio público garantizado por el Estado ecuatoriano, y su historia en el país está planteada por varios hitos importantes desde el año 1884 cuando se instaló en Quito el servicio de Telégrafo, hasta el año 2015 en el cual se expidió la Ley Orgánica de Telecomunicaciones y se suprimen organizaciones como: Senatel, Supertel y Conatel, lo que dio inicio a la ARCOTEL.

De acuerdo con la ARCOTEL, el Servicio Móvil Terrestre (SMA), es un servicio final de telecomunicaciones, mismo que permite toda transmisión, emisión y recepción de signos, señales, escritos, imágenes, sonidos, voz, datos o información de cualquier naturaleza (Estupiñán, 2019, p.

41). En el Ecuador, actualmente el servicio de telefonía móvil es proporcionado por dos empresas de régimen privado (Consortio Ecuatoriano de Telecomunicaciones CONECEL S.A. y OTECEL S.A. conocida como Movistar) y además por una empresa de régimen público (CNT EP) (Estupiñán, 2019, p. 41).

Respecto de la población del país que tiene acceso al servicio móvil avanzado, se menciona que el 89,54% lo tiene; y, que el prestador CONECEL S.A. posee la mayor participación del mercado con el 59,82%. Un análisis de líneas activas del SMA por modalidad prepago y pospago, presenta sendos incrementos respecto al año 2017, cuyos porcentajes actuales son de 70,04% y 29,72% respectivamente (Arcotel, 2018, p.3).

En el reporte entregado por la ARCOTEL se analiza la infraestructura del SMA mediante el despliegue de aproximadamente 16485 Radio Bases repartidos en todo el territorio ecuatoriano, de las cuales el 52.05% corresponde a Conecel, 32.71 a Otecel y el 13.24 a CNT EP. En la Tabla 6-2 se muestra la repartición de las RBS por provincias:

Tabla 6-1: Radio Base por provincias

Provincia	Cantidad
Esmeraldas	396
Manabí	1171
Guayas	4519
Azuay	719
Pichincha	5114
Morona Santiago	64
Zamora Chinchipe	54
TOTAL	16485

Realizado por: Flores Anthony, 2023

La ARCOTEL en uso de sus atribuciones establecidas en la Ley Orgánica de Telecomunicaciones y su Reglamento General, actualiza el Plan Nacional de Frecuencias (PNF) tomando en cuenta las Resoluciones aprobadas desde el año 2012 por el Ex- CONATEL y ARCOTEL en materia de gestión del espectro radioeléctrico, las modificaciones de atribución de bandas de frecuencias radioeléctricas de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) aprobadas en las Conferencias Mundiales de Radiocomunicaciones del año 2015 (CMR-2015) y la situación actual del sector de telecomunicaciones en el Ecuador (Arcotel, 2018, p. 9).

Dicho documento expresa la soberanía del Estado en cuanto a la administración del espectro radioeléctrico, además establece las normas para la concesión de bandas y canales para los diversos servicios de Telecomunicaciones, y de esta forma tener una referencia para la normalización del uso del espectro. A continuación, se presenta la asignación de bandas para el servicio de SMA:

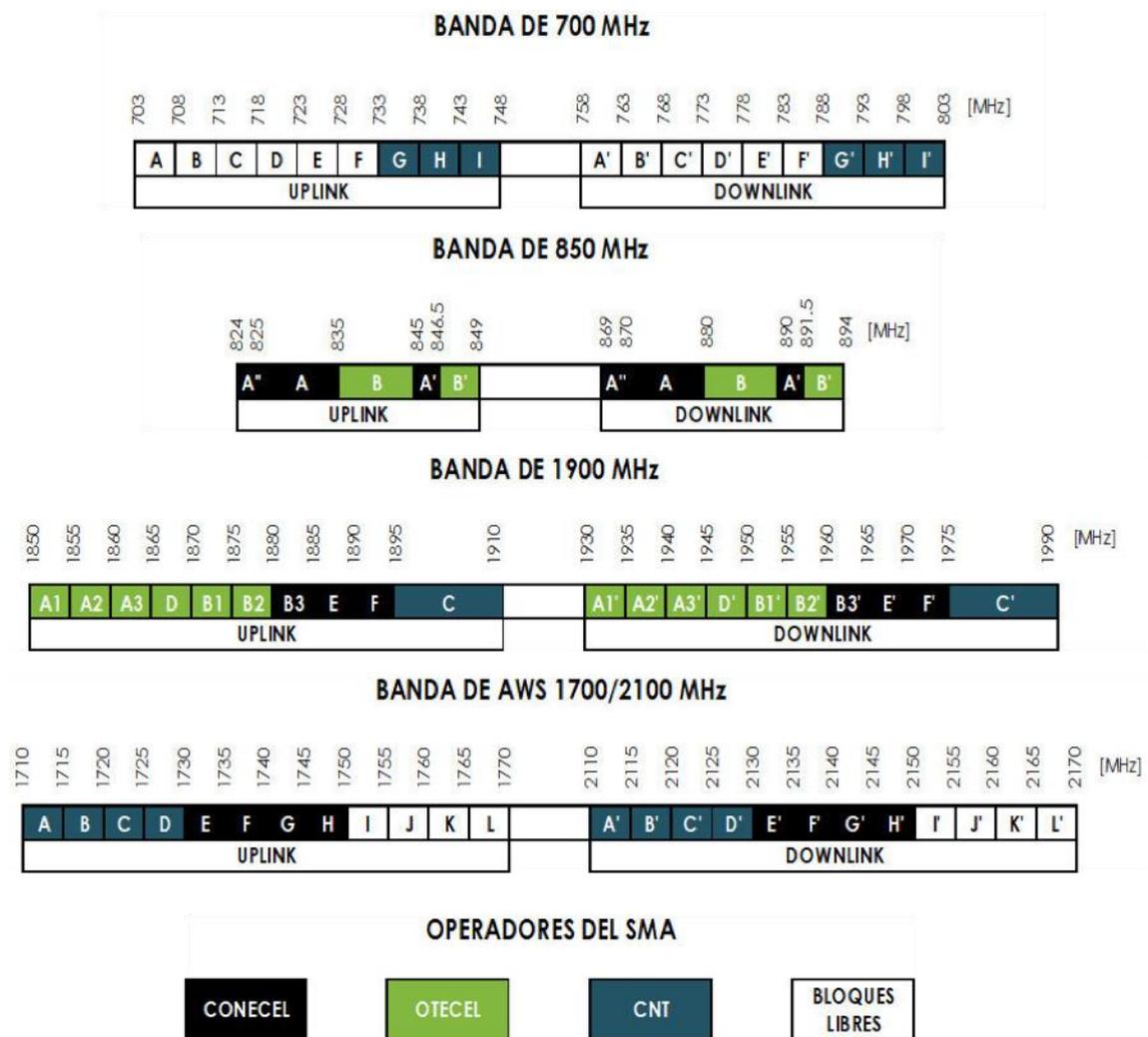


Ilustración 8-1: Asignación de bandas para SMA

Fuente: (Arcotel, 2018, p. 7)

Por otra parte, la Ilustración 9-2 muestra cómo se encuentra asignado el espectro radioeléctrico para SMA, así:

ANCHO DE BANDA CONCESIONADO (MHZ)

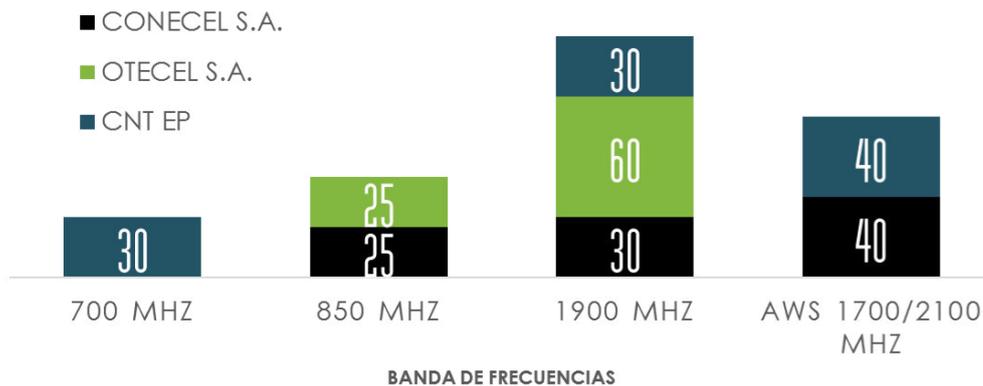


Ilustración 9-1: Asignación de espectro radioeléctrico para SMA

Fuente: (ARCOTEL, 2018, p. 8)

Se puede observar que del total asignado el 30,4% le pertenece a OTECEL S.A., el 33,9% a CONECEL S.A. y 35,7% a CNT EP. La mayor asignación otorgada a CNT EP se debe a que al ser un operador público, cumple con el objetivo de brindar servicio a toda la población y cubrir las áreas donde los operadores privados no brindan servicio (ARCOTEL, 2018, p.10).

2.5. Equipos de medición

Uno de los riesgos en las mediciones, es la exposición a radiaciones electromagnéticas en diversos entornos laborales. En el sector de la comunicación móvil a fin de precautar la salud del personal, se han desarrollado diversos dispositivos, mismos que faciliten realizar comprobaciones en la red. Los equipos de medición utilizados permiten la obtención de los valores necesarios para el análisis comparativo del presente estudio, existen diferentes equipos de medición, sin embargo, en el estudio se utilizó los descritos a continuación:

2.5.1. Equipo NARDA SRM-3006

El SRM 3006 es un medidor selectivo en frecuencia de campos electromagnéticos. Posee aplicaciones especializadas para realizar tareas como el análisis espectral para una rápida y confiable comprobación de diferentes estándares de seguridad (Ayscomdatec, 2020, p.1). A continuación, se muestra el equipo:



Ilustración 10-1: Equipo SRM-3006

Fuente: (Instrukart, 2015, p.1)

Según Ayscomdatec (2020) entre las capacidades del dispositivo se tiene:

- Permite separar la grabación de canales de comunicaciones móviles de distintas operadoras y evaluar el caso más desfavorable a través de decodificación de señales de control en UMTS y LTE (Ayscomdatec, 2020, p. 1).
- Configuración de rutinas de medida predefinidas y configuraciones automáticas (Ayscomdatec, 2020, p. 1).
- Modos de operación LTE – FDD/TDD y UMTS para evaluar la información de la señal piloto y extrapolar los niveles de exposición máximos (Ayscomdatec, 2020, p. 1).
- Modo osciloscopio para análisis a corto plazo de señales pulsadas y a largo plazo para registrar niveles de exposición variables (Ayscomdatec, 2020, p. 1).
- Tablas editables para correlación automática de resultados con servicios de telecomunicaciones (broadcasting, GSM, WiMAX...) (Ayscomdatec, 2020, p. 1).
- Preparación individual de campañas de campo con la subsecuente evaluación y manejo de grandes cantidades de datos (Ayscomdatec, 2020, p. 1).
- Permite el uso en el exterior gracias a su protección frente a la radiación, resistencia a salpicaduras y diseño ergonómico. Uso con baterías recargables e intercambiables y GPS y grabador de voz integrados (Ayscomdatec, 2020, p. 1).

El medidor selectivo de radiación SRM-3006 obtiene la información LTE específica, demodulando los canales de control e información que forman parte de la señal LTE. El instrumento extrae automáticamente el Cell ID de las señales de sincronismo primaria y secundaria (PSS, SSS) y determina las antenas transmisoras analizando la señal de referencia

(RS). El SRM-3006 es capaz de mostrar simultáneamente los valores de todas estas señales, así como los valores asociados a cada antena. Los factores de extrapolación, ajustables por el usuario, permiten calcular la exposición al campo electromagnético cuando la carga de transmisión es máxima (Conelectronica, 2012, p. 1).

Como analizador de espectro, el SRM-3006 cubre todos los anchos de banda LTE, desde 1.4 MHz hasta 20 MHz, pero también permite seleccionar canales individuales, hasta 15 kHz. En el modo Scope, el equipo muestra las características de las señales en función del tiempo, facilitando la identificación de los niveles de las señales PSS y SSS, aunque sólo estén presentes en algunos intervalos de tiempo (Conelectronica, 2012, p. 1).

En la Tabla 7-2 se aprecia las especificaciones técnicas del equipo.

Tabla 7-1: Especificaciones equipo SRM-306

Dimensiones	213 x 297x 77 mm (unidad básica)
Peso con antena 3300 g	Con antena 3300 g
Pantalla	A color TFT-LCD de 7 pulgadas, 800 x 480 píxeles
Rango de frecuencia	9 kHz a 6 GHz
Rango de temperatura	-10 ° a + 50 ° C
Tiempo de funcionamiento de la batería	3 horas +/- 15 minutos

Fuente: (Ayscomdatatec, 2020, p. 1)

2.5.2. *Spectra Mobile Mapper 50*

El *Mobile Mapper 50* es un colector de datos GIS de nueva generación para Android que ofrece la vanguardista practicidad de un *smartphone* combinada con una calidad profesional robusta y un mejor rendimiento de GNSS. El *Mobile Mapper 50* es muy compacto, ligero y único al ser un colector de datos de pendiente profesional en forma de *smartphone*. El receptor es fino, aunque muy robusto y potente (procesador de cuatro núcleos de 1,2 GHz, 16 GB de memoria y pantalla de 13,4 cm) (Geosysteming, 2020, p. 1). Además, ofrece una precisa localización GNSS (GPS + GLO o GPS + Beidou) y posprocesamiento. Los usuarios profesionales de campo dependen mucho del espacio y, al mismo tiempo, necesitan maximizar la eficiencia operativa. Con el *Mobile Mapper 50* se cubren ambos requisitos con una conectividad total (dependiendo de la versión), una precisión superior, una gran memoria y pantalla en un diseño fino y compacto (Geosysteming, 2020, p. 1).

En la Ilustración 11-2 se presenta el diseño del equipo:



Ilustración 11-1: Equipo Spectra Mobile Mapper 50

Fuente: (Instrumentalyoptica, 2019, p.1)

Según Instrumentalyoptica (2019), las especificaciones del equipo son:

- Memoria Ram: 512 MB
- Memoria interna: 16 GB expansible hasta 32 GB
- Dimensiones pantalla: 10,9 cm
- Comunicaciones: Bluetooth, Wi-Fi, Radio GSM
- Accesorios: cámara (8MP), GPS, brújula, acelerómetro
- Compatibilidad: Trimble R4, Trimble R8s y Trimble R10 (Instrumentalyoptica, 2019, p. 1).

Mobile Mapper Field es una aplicación de *software* de campo que recopila datos SIG. Antes de poder registrar datos SIG con *Mobile Mapper Field*, debe crear un trabajo y al menos una capa. El bloque básico de datos SIG que puede recoger con *Mobile Mapper Field* se denomina entidad. Al recopilar una entidad, normalmente tendrá que introducir valores para sus atributos. Cada vez que se desea registrar una nueva entidad, primero se debe seleccionar la capa en la que se guardará la entidad (Spectrageospatia, 2017, p. 1).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se detalla la metodología que se utilizó en las campañas de mediciones de campo eléctrico en dos estaciones base dentro del casco urbano de la ciudad de Ambato. Para poder obtener las pérdidas básicas de propagación de cada uno de los modelos, se usó las fórmulas que determina el modelo, así como también *MatLab*, y posteriormente se ejecutaron comparaciones a través del *software* estadístico R de los valores medidos con los teóricos.

3.1. Tipos de investigación

Dentro de un estudio es necesario identificar el tipo de investigación, así como el alcance de esta, es decir lo que el investigador conseguirá en la aplicación de los diversos procesos y que determina el método utilizado, como la extracción de la información y la descripción del fenómeno de estudio.

3.1.1. Investigación documental (ID)

También denominada investigación bibliográfica, permite examinar la información recopilada referente al tema de estudio, de modo que tenga estructura y coherencia. Reyes y Carmona (2020) indican que la investigación documental se encarga de recolectar, recopilar y seleccionar información de las lecturas de documentos, revistas, libros, grabaciones, filmaciones, periódicos, artículos resultados de investigaciones, memorias de eventos, entre otros. En ella la observación está presente en el análisis de datos, su identificación, selección y articulación con el objeto de estudio (Reyes & Carmona, 2020). De esta forma se identificó y analizó la información para dar contexto a la investigación.

La presente metodología fue utilizada para realizar el análisis de los diversos modelos de propagación utilizados dentro de la red 4G, así como también ver cuál de ellos es el que más se adapta al estudio comparativo planteado dentro de los objetivos.

3.1.2. Investigación descriptiva

Una investigación de tipo descriptiva consiste en detallar las principales particularidades del fenómeno de estudio. Es decir, es el tipo de investigación que tiene como objetivo describir algunas características fundamentales de conjuntos homogéneos de fenómenos, utiliza criterios

sistemáticos que permiten establecer la estructura o el comportamiento de los fenómenos en estudio, proporcionando información sistemática y comparable con la de otras fuentes (Guevara et al., 2020, p. 166). Por lo tanto, dicha investigación se realiza para describir todos los componentes fundamentales de una realidad donde, se orienta a describir el fenómeno e identificar las características de su estado actual. Lleva a las caracterizaciones y diagnóstico descriptivos (Sánchez et al., 2018, p. 80).

A través de esta investigación se obtuvo las principales características en cada uno de los modelos de propagación, y de esta forma poder realizar el análisis comparativo de los valores reales en conjunto con los teóricos de los modelos estudiados y así obtener la variación en cada uno de estos.

3.2. Metodología de desarrollo

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación se utilizó la metodología de *Deming*, la cual consta de cuatro fases (Planificar, Hacer, Verificar, Actuar), es además conocido como la espiral de mejora continua o PDCA. Es un proceso de planificación y optimización diseñado para que las Empresas o Instituciones que lo usan puedan incrementar constantemente sus estándares de calidad y ser más eficaces.

En la Ilustración 1-3 se muestra la estructura del ciclo de Deming de acuerdo a las necesidades de la investigación:

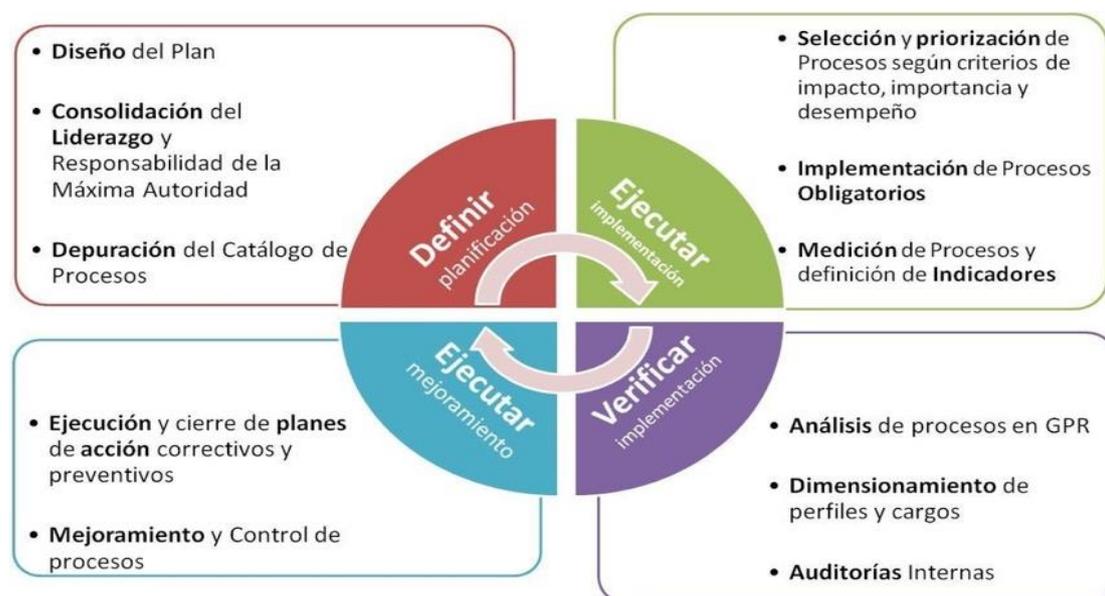


Ilustración 1-2: Estructura del ciclo de Deming

Fuente: (Aquino, 2022, p.1)

La metodología de *Deming* permitió desarrollar la investigación de forma ordenada y estructurada a fin de cumplir con los objetivos planteados. Por otra parte, ayudó a la comparación de los resultados teóricos con los reales, y de este modo comprender la variación que tiene cada uno de los modelos con respecto a los resultados obtenidos.

3.2.1. Fase planificar

Dentro de la opción planificar y de acuerdo con las recomendaciones planteadas por Benítez (2021) se realizaron 4 mediciones de 6 minutos, en cada punto seleccionado. Dichas mediciones fueron tomadas en un horario de 09:00 am hasta las 13:00 pm, se debe tomar en cuenta que el clima debe estar soleado. Seguidamente se ejecuta la identificación de las estaciones que trabajen con 1900MHz en la tecnología LTE de la operadora claro, para este proceso se usó el *software* 'Información de red', el cual se encuentra disponible en Android, dentro del mismo se puede apreciar la banda en la cual están trabajando las estaciones a la cual se ha conectado el dispositivo móvil, el uso del *software* se aprecia en la Ilustración 2-3 a continuación:



Ilustración 2-2: Selección de estaciones base

Realizado por: Flores Anthony, 2023

Dicho *software* suministró el valor de *LTE Earfcn Downlink* de 950 lo que corresponde a la frecuencia 1965 MHz. Para el presente estudio se trabajó con las frecuencias para *Downlink*, las mismas que van desde 1960 a 1970 MHz. Cabe señalar que, en la banda de 1900 MHz, Claro tiene las tecnologías UMTS y LTE, con la finalidad de comprobar los límites de la banda de LTE se utilizó el modo analizador de espectro del Narda SRM-3006 (ver Ilustración 3-3).

Battery: 30.04.22 GPS: 15:52:08 GPS: 1°14'16.8" S Ant: 78°37'24.1" W Cable: 3AX 27M-3G SrvTbl: --- Stnd: LTE ICNIRP GP

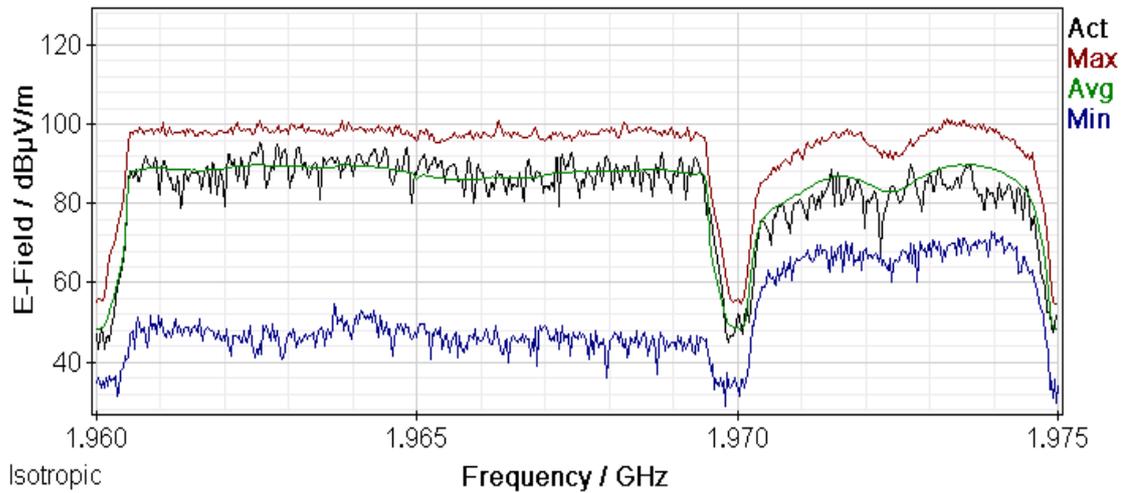


Ilustración 3-2: Espectro de Downlink, modo espectro del Narda SRM-3006

Realizado por: Flores Anthony, 2023

De acuerdo con los registros administrativos de Arcotel con fecha de diciembre de 2021 existen 45 estaciones base de la operadora claro pertenecientes al Consorcio Ecuatoriano de Telecomunicaciones S.A. CONECEL y en la ciudad de Ambato trabajan con tecnología LTE en la banda de 1900MHz (Arcotel, 2022). De esta forma, se ubicó las 5 estaciones base que operan en la banda 1900 MHz con la tecnología LTE dentro del casco urbano de la ciudad de Ambato las cuales se denominaron EB.

Tabla 1-2: Ubicación de las estaciones base

Estación Base	Dirección	Latitud	Longitud	Altura del terreno	Altura
EB1	Diez de Agosto y Av. Batalla del Pichincha	1° 16' 4,117" S	78° 36' 49,679" W	2669,883 m s.n.m	18 m
EB2	Asunción y Puerto Príncipe	1° 14' 36,831" S	78° 36' 18,862" W	2510,488 m s.n.m	25 m
EB3	Antonio Clavijo Y Celiano Monge	1° 15' 52,906" S	78° 38' 13,636" W	2728,467 m s.n.m	15 m
EB4	C. García Moreno y Fernández	1°14'7.94" S	78°37'37.58"W	2548,365 m s.n.m	25m
EB5	Av. Cevallos y Calle Joaquín Ayllon	1° 14' 16,76" S	78° 37' 24,03" W	2563,950 m s.n.m	27m

Realizado por: Flores Anthony, 2023

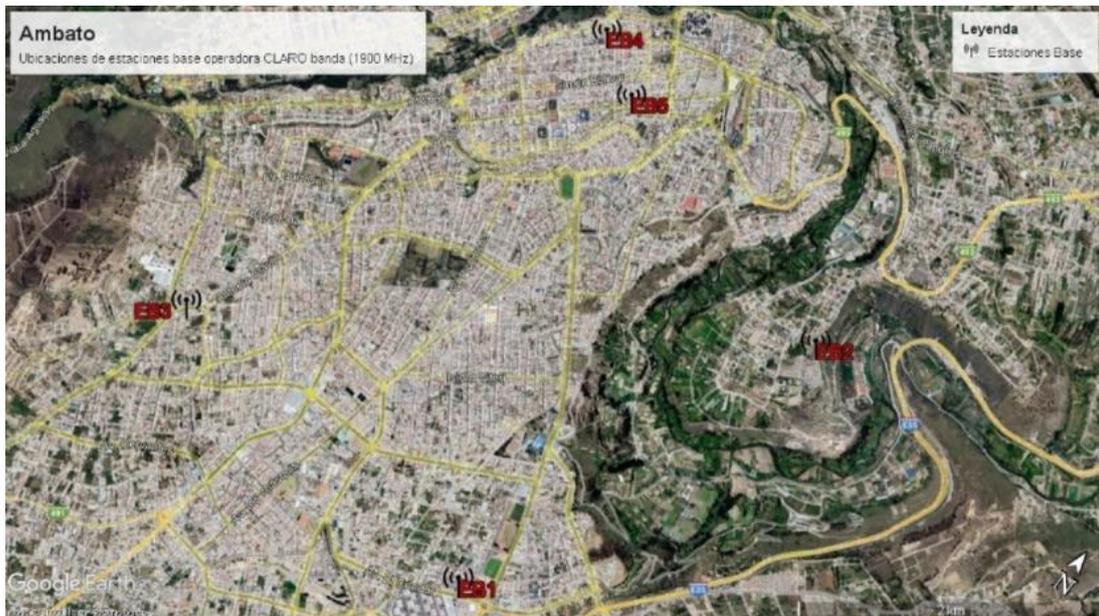


Ilustración 4-2: Ubicaciones de las 5 estaciones base

Realizado por: Flores Anthony, 2023

Una vez que se analizó las estaciones que están trabajando a la frecuencia solicitada, se procedió con la selección de 2 estaciones base para las mediciones respectivas, por lo que, se eligió la Estación Base 3 que se denominará EB3 y Estación Base 5 que se denominará EB5, considerando que los entornos de las estaciones base cuentan con las características de un ambiente urbano. En la Ilustración 5-3 se muestra la EB3, ubicada en Av. Antonio Clavijo y Celiano Monje, la ubicación de dicha radio base es en una zona residencial de la ciudad, cuya altura de la antena es aproximadamente de 15 metros. De acuerdo con la recomendación vigente P.1411-11 de la UIT-R para la EB3 se considera un entorno urbano de construcción baja, contando con casas inferiores a tres pisos y calles anchas.



Ilustración 5-2: Estación Base 3

Realizado por: Flores Anthony, 2023

Del mismo modo, se evidencia en la Ilustración 6-3 la EB5 cuya altura de la antena es aproximadamente de 27 metros. Dicha estación está ubicada en la Av. Cevallos y Joaquín Ayllon, dicha ubicación se encuentra en el centro de la ciudad, lugar formado por edificaciones altas y con gran afluencia de personas. De acuerdo a la recomendación P.1411-11 de la UIT-R para la EB5 se considera un entorno urbano de construcción alta, avenidas con edificios altos de varios pisos e hileras de edificios altos.



Ilustración 6-2: Estación Base 5

Realizado por: Flores Anthony, 2023

Una vez obtenidas las ubicaciones de las antenas se procedió a trazar límites dentro de la zona de cobertura de cada radio base, estos deben ser 4 en forma radial, como se muestra en la Ilustración 7-3 y 8-3 respectivamente:



Ilustración 7-2: Límites Estación EB3

Realizado por: Flores Anthony, 2023

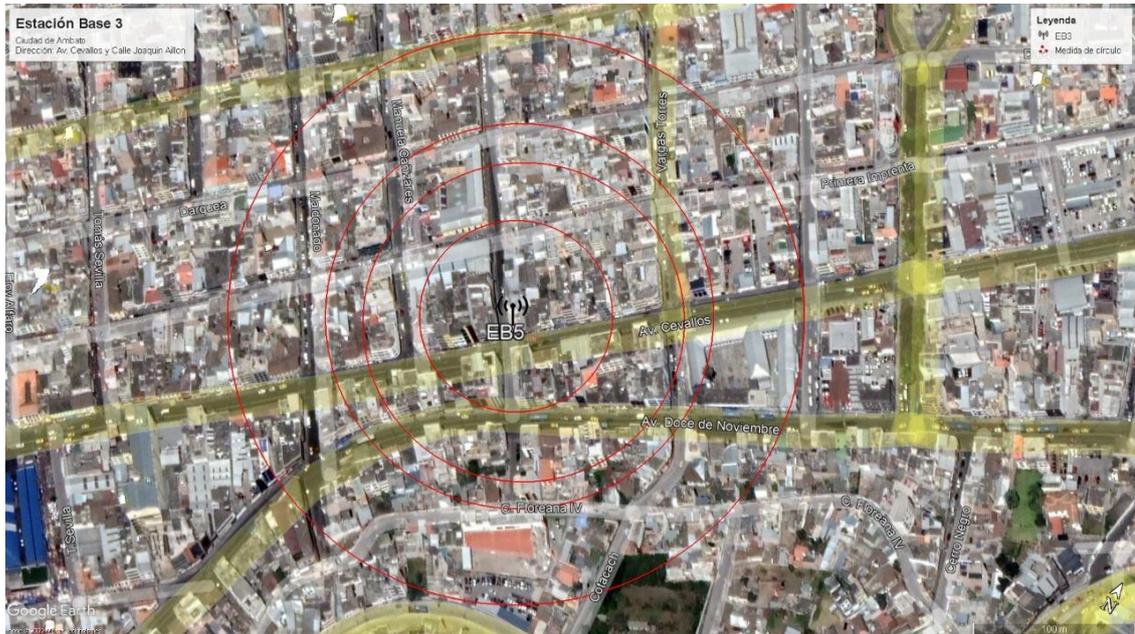


Ilustración 8-2: Límites Estación EB5

Realizado por: Flores Anthony, 2023

3.2.2. Fase hacer

Una vez que se ha definido los parámetros necesarios para la investigación se procedió con la fase hacer, la cual consta de los puntos físicos en donde se tomó las medidas de campo eléctrico en cada estación base, estos puntos fueron elegidos considerando dos requisitos esenciales:

- a) Ubicación dentro del radio límite trazado.
- b) Fácil accesibilidad para el equipo de medición Narda SRM-3006.

Una vez ejecutado ello, se realizó el levantamiento de las coordenadas UTM y las alturas utilizando el equipo *Spectra Mobile Mapper 50*, que es un colector de datos GIS de nueva generación, ofrece la vanguardista practicidad de un *smartphone* combinada con una calidad profesional robusta y un mejor rendimiento de GNSS. El *Mobile Mapper 50* es muy compacto, ligero y único al ser un colector de datos de pendiente profesional en forma de *smartphone* (Geosysteming, 2020, p.1). El receptor es fino, aunque muy robusto y potente (procesador de cuatro núcleos de 1,2 GHz, 16 GB de memoria y pantalla de 13,4 cm). Además, ofrece una precisa localización GNSS (GPS + GLO o GPS + Beidou) y posprocesamiento. Con el *Mobile Mapper 50* se cubren los requisitos de espacio y maximizar la eficiencia operativa, con una conectividad total (dependiendo de la versión), una precisión superior, una gran memoria y una gran pantalla en un diseño fino y compacto (Geosysteming, 2020, p.1).

Cabe señalar que, los requisitos anteriormente mencionados, son indicados por el manual de Telecomunicaciones desarrollado por la UIT (2002) el cual indica que para comparaciones de mediciones y predicciones “Se efectúa generalmente mediante mediciones de la intensidad de campo en 3-5 rutas radiales” (UIT, 2002, p. 48). Las mediciones fueron realizadas en intervalos de 6 minutos de acuerdo a las recomendaciones establecidas por la *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection* (ICNIRP), a fin de limitar cualquier tipo de exposición a ondas de radiación que puedan afectar la salud.

En la Ilustración 9-3 se aprecia el diagrama utilizado para la toma de medidas de las estaciones base, donde se encuentra la distancia que existe entre la antena base y el equipo de medición denominado *Narda SRM-3006*, que es un medidor selectivo en frecuencia de campos electromagnéticos. Posee aplicaciones especializadas para realizar tareas como el análisis espectral para una rápida y confiable comprobación de diferentes estándares de seguridad (Ayscomdatatec., 2020, p.1). Constituye un sistema de pruebas completo y de fácil uso, consiste en una unidad base junto a las antenas de medición, para la detección de campos no direccionales y sus fuentes en el rango de frecuencias que va desde los 9 kHz hasta los 6 GHz. Este medidor de campos electromagnéticos de alta frecuencia está preparado para su uso en exteriores, se encuentra protegido contra radiaciones (Instrumentacionhoy, 2017, p.1).

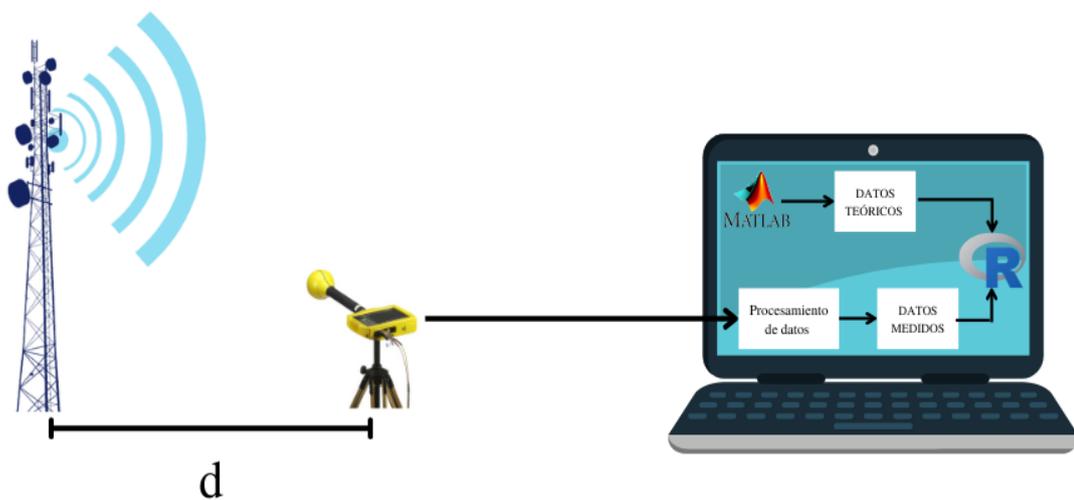


Ilustración 9-2: Diagrama de medición EB

Realizado por: Flores Anthony, 2023

Por otro lado, con el equipo *Spectra Mobile Mapper 50* se realizaron tomas de las coordenadas y alturas sobre el nivel del mar de los puntos. Cabe destacar que, una de las ventajas de dicho equipo de medición es que, permite obtener las coordenadas UTMS exactas, debido a que se conecta a los satélites y triangula las posiciones. Además de que, proporciona la altura de metros sobre el

mar, esto se ejecutó en los puntos que van a ser medidos para poder obtener las distancias de forma más precisa.

En la Ilustración 10-3 se observa el levantamiento de las coordenadas donde se obtuvieron los puntos de medición de la EB3, se trabajó con la altura efectiva, para poder utilizarlo en el modelo de Hata-Extendido y el de Ericsson 9999. Las coordenadas para la toma de medidas de campo eléctrico de la EB3 denominados PE (puntos) se muestran en la Tabla 2-3.

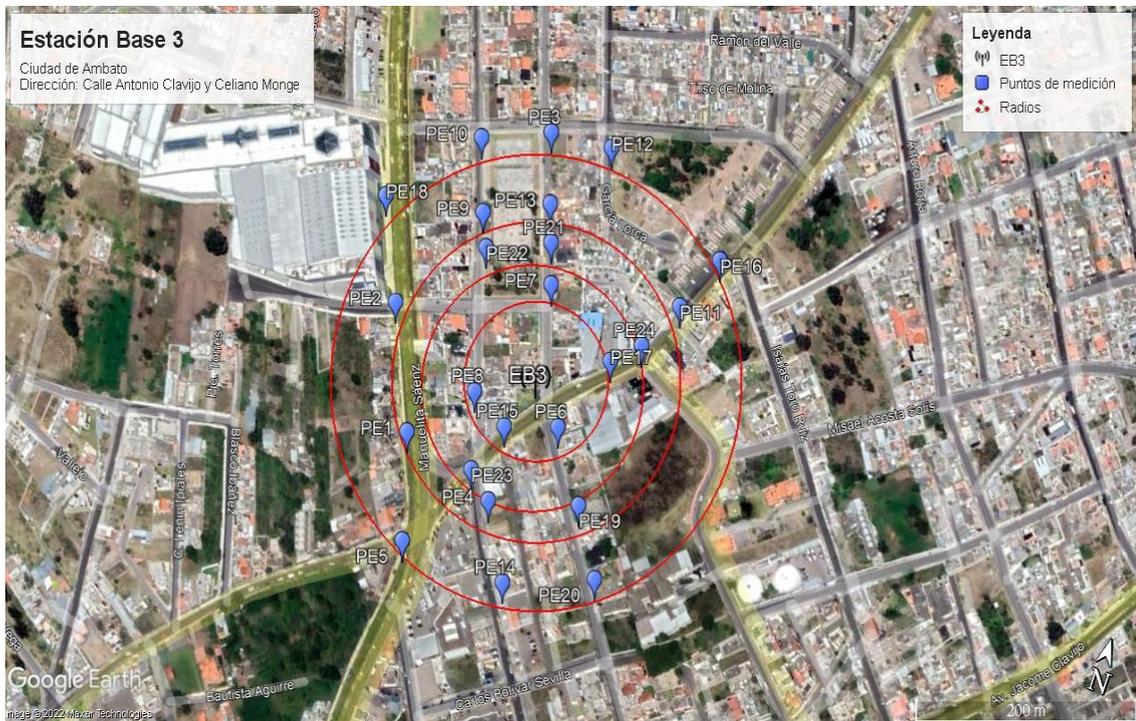


Ilustración 10-2: Puntos de medición de EB3

Realizado por: Flores Anthony, 2023

Tabla 2-2: Coordenadas geográficas de los puntos de medición de EB3

Puntos	Coordenadas		Altura (m.s.n.m)
	Latitud	Longitud	
PE1	1° 15' 55,979" S	78° 38' 16,681" W	2731,252148
PE2	1° 15' 52,891" S	78° 38' 18,18" W	2721,327148
PE3	1° 15' 47,112" S	78° 38' 15,444" W	2711,624033
PE4	1° 15' 56,858" S	78° 38' 13,818" W	2738,331361
PE5	1° 15' 58,719" S	78° 38' 15,817" W	2739,666033
PE6	1° 15' 54,332" S	78° 38' 12,57" W	2732,911836
PE7	1° 15' 50,876" S	78° 38' 14,062" W	2724,028656
PE8	1° 15' 54,289" S	78° 38' 15,194" W	2730,733344
PE9	1° 15' 49,782" S	78° 38' 16,595" W	2716,961623
PE10	1° 15' 47,955" S	78° 38' 17,311" W	2711,286852
PE11	1° 15' 50,124" S	78° 38' 10,322" W	2717,886328
PE12	1° 15' 46,891" S	78° 38' 13,648" W	2711,635705

PE13	1° 15' 48,886" S	78° 38' 14,819" W	2717,665377
PE14	1° 15' 58,744" S	78° 38' 12,678" W	2742,363967
PE15	1° 15' 54,857" S	78° 38' 14,055" W	2733,006443
PE16	1° 15' 48,568" S	78° 38' 9,638" W	2714,648262
PE17	1° 15' 52,174" S	78° 38' 11,736" W	2724,719066
PE18	1° 15' 50,348" S	78° 38' 19,419" W	2714,500623
PE19	1° 15' 56,056" S	78° 38' 11,289" W	2735,895885
PE20	1° 15' 57,725" S	78° 38' 10,07" W	2737,109656
PE21	1° 15' 49,691" S	78° 38' 14,443" W	2720,950066
PE22	1° 15' 50,617" S	78° 38' 16,165" W	2720,765623
PE23	1° 15' 56,431" S	78° 38' 14,369" W	2736,199098
PE24	1° 15' 51,303" S	78° 38' 10,771" W	2721,360328

Realizado por: Flores Anthony, 2023

Del mismo modo, las ubicaciones de los puntos denominados P, donde se realizaron las mediciones para la EB5 con el equipo mencionado, se los aprecian en la Ilustración 11-3 y en la Tabla 3-3 presentadas a continuación:

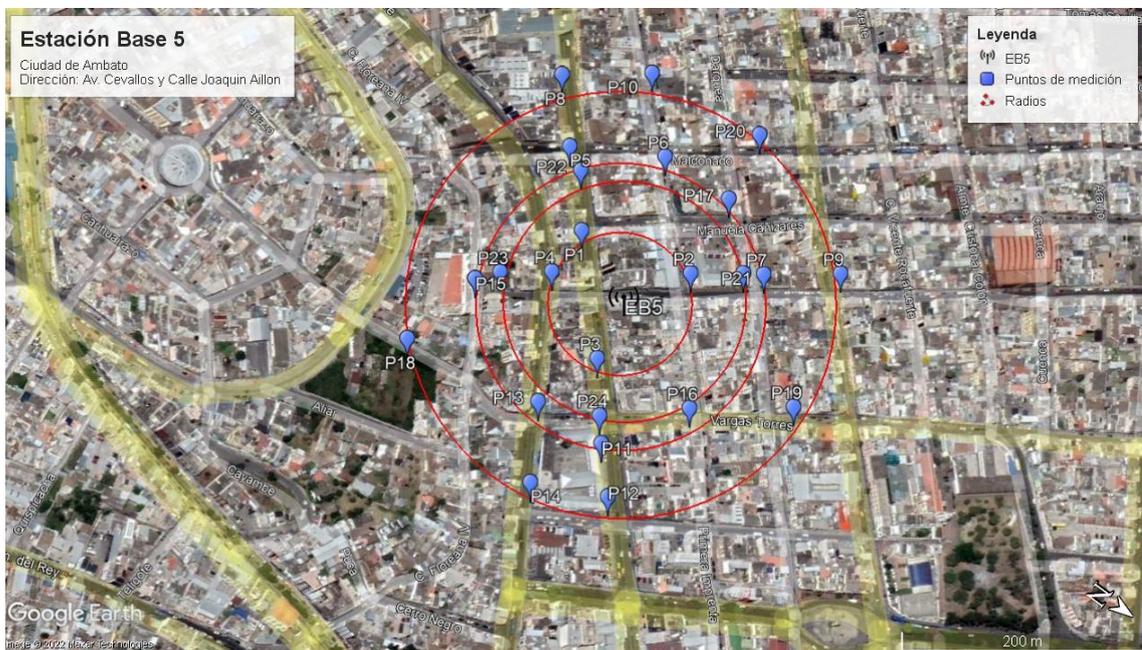


Ilustración 11-2: Puntos de medición de EB5

Realizado por: Flores Anthony, 2023

Tabla 3-2: Coordenadas geográficas de los puntos de medición de EB5

	Coordenadas		Altura (m.s.n.m)
	Latitud	Longitud	
P1	1° 15' 55,979" S	78° 38' 16,681" W	2731,252148
P2	1° 15' 52,891" S	78° 38' 18,18" W	2721,327148
P3	1° 15' 47,112" S	78° 38' 15,444" W	2711,624033
P4	1° 15' 56,858" S	78° 38' 13,818" W	2738,331361

P5	1° 15' 58,719" S	78° 38' 15,817" W	2739,666033
P6	1° 15' 54,332" S	78° 38' 12,57" W	2732,911836
P7	1° 15' 50,876" S	78° 38' 14,062" W	2724,028656
P8	1° 15' 54,289" S	78° 38' 15,194" W	2730,733344
P9	1° 15' 49,782" S	78° 38' 16,595" W	2716,961623
P10	1° 15' 47,955" S	78° 38' 17,311" W	2711,286852
P11	1° 15' 50,124" S	78° 38' 10,322" W	2717,886328
P12	1° 15' 46,891" S	78° 38' 13,648" W	2711,635705
P13	1° 15' 48,886" S	78° 38' 14,819" W	2717,665377
P14	1° 15' 58,744" S	78° 38' 12,678" W	2742,363967
P15	1° 15' 54,857" S	78° 38' 14,055" W	2733,006443
P16	1° 15' 48,568" S	78° 38' 9,638" W	2714,648262
P17	1° 15' 52,174" S	78° 38' 11,736" W	2724,719066
P18	1° 15' 50,348" S	78° 38' 19,419" W	2714,500623
P19	1° 15' 56,056" S	78° 38' 11,289" W	2735,895885
P20	1° 15' 57,725" S	78° 38' 10,07" W	2737,109656
P21	1° 15' 49,691" S	78° 38' 14,443" W	2720,950066
P22	1° 15' 50,617" S	78° 38' 16,165" W	2720,765623
P23	1° 15' 56,431" S	78° 38' 14,369" W	2736,199098
P24	1° 15' 51,303" S	78° 38' 10,771" W	2721,360328

Realizado por: Flores Anthony, 2023

3.2.3. Fase verificar

Una vez realizada la toma de las mediciones en los puntos planificados en el ítem anterior y obtenidas las alturas sobre el nivel del mar y las coordenadas UTM, con el equipo antes mencionado, se procedió con la configuración del equipo *Narda SRM-3006*, como se muestra en la Ilustración 12-3 a continuación:

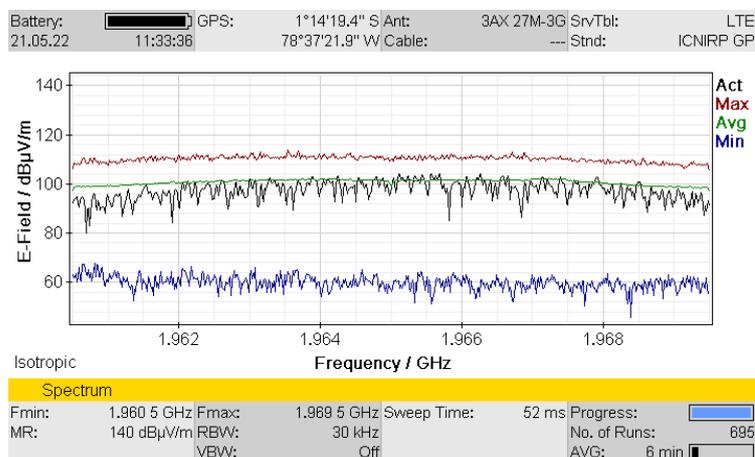


Ilustración 12-1: Modo analizador de espectro

Realizado por: Flores Anthony, 2023

La configuración del equipo se basó en el trabajo de investigación de Benítez (2021) quien manifiesta que: “El ancho de banda del canal a medir es de 10 MHz en dicho valor el ancho de banda real ocupado es de 9 MHz dejando 1 MHz como banda de guarda repartido a 0.5 MHz en cada extremo. Las subportadoras están separadas 15 kHz entre ellas, con el fin de que la medición concuerde con las frecuencias subportadoras se estableció un RBW de 30kHz” (Benítez, 2021, p. 68). A juicio de Infante et al. (2022) para evitar acoplamiento capacitivos en el equipo de medición en los puntos de medición, el equipo tiene que estar a una distancia mínima de 20 cm de cualquier objeto.

En la Ilustración 13-3 se aprecia la toma de mediciones con el equipo configurado:



Ilustración 13-1: Equipo Narda SRM-3006 en P15 correspondiente a la EB5

Realizado por: Flores Anthony, 2023

3.2.4. Fase Actuar

Finalmente se procedió con el análisis y comparación de los resultados obtenidos en las mediciones realizadas con los cálculos de cada uno de los modelos, estos se evidencian en el Capítulo IV presentado a continuación.

CAPITULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En el Capítulo IV se detalla el análisis de los resultados obtenidos en las mediciones realizadas en cada una de las estaciones base seleccionadas, frente a los cálculos realizados con cada uno de los modelos estudiados en el Capítulo III.

4.1. Parámetros en cada modelo de propagación

En las tablas a continuación se muestran los parámetros de los modelos de propagación Hata extendido, Modelo SUI con factor de corrección frecuencia y Modelo Ericsson 9999, para la EB3 y la EB5. Cabe señalar que, para el cálculo de las distancias se utilizó la siguiente ecuación:

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

Ecuación 1-4: Distancia entre 2 puntos

Donde:

d: distancia entre la estación base y el equipo de medición

4.1.1. Parámetros para EB3

a) Parámetros del modelo de propagación Hata extendido

Tabla 1-3: Parámetros de Hata extendido

Puntos	Distancia (m)	hef (m)	Lb(dB)
PE6	57,503	10,556	96,426
PE15	60,083	10,461	97,176
PE8	60,456	12,734	96,780
PE7	63,372	19,439	96,454
PE17	67,529	18,748	97,556
PE21	101,261	22,517	103,408
PE22	101,993	22,702	103,495
PE24	105,768	22,107	104,149
PE23	109,354	7,268	108,307
PE4	121,008	5,136	111,212
PE19	123,585	7,572	110,253
PE13	127,977	25,802	106,602
PE9	129,711	26,506	106,717
PE1	129,729	12,215	109,414

PE2	135,786	22,140	108,060
PE11	137,434	25,581	107,736
PE14	182,241	1,103	124,364
PE12	185,331	31,832	111,513
PE16	185,408	28,819	111,909
PE3	185,673	31,843	111,539
PE20	187,185	6,358	117,997
PE10	187,455	32,181	111,643
PE5	188,917	3,801	120,184
PE18	191,199	28,967	112,360

Realizado por: Flores Anthony, 2023

b) Parámetros del modelo de propagación SUI con factor de corrección de frecuencia

Tabla 2-3: Parámetros de SUI con factor de corrección

Puntos	Distancia (m)	ΔLbf	ΔLbh	γ	a	b	c	Lb(dB)
PE6	57,503	-0,046	33,749	5,328	4,6	0,0075	12,6	99,210
PE15	60,083	-0,046	33,749	5,328	4,6	0,0075	12,6	100,225
PE8	60,456	-0,046	33,749	5,328	4,6	0,0075	12,6	100,369
PE7	63,372	-0,046	33,749	5,328	4,6	0,0075	12,6	101,459
PE17	67,529	-0,046	33,749	5,328	4,6	0,0075	12,6	102,928
PE21	101,261	-0,046	33,749	5,328	4,6	0,0075	12,6	112,302
PE22	101,993	-0,046	33,749	5,328	4,6	0,0075	12,6	112,469
PE24	105,768	-0,046	33,749	5,328	4,6	0,0075	12,6	113,310
PE23	109,354	-0,046	33,749	5,328	4,6	0,0075	12,6	114,081
PE4	121,008	-0,046	33,749	5,328	4,6	0,0075	12,6	116,424
PE19	123,585	-0,046	33,749	5,328	4,6	0,0075	12,6	116,912
PE13	127,977	-0,046	33,749	5,328	4,6	0,0075	12,6	117,720
PE9	129,711	-0,046	33,749	5,328	4,6	0,0075	12,6	118,031
PE1	129,729	-0,046	33,749	5,328	4,6	0,0075	12,6	118,034
PE2	135,786	-0,046	33,749	5,328	4,6	0,0075	12,6	119,090
PE11	137,434	-0,046	33,749	5,328	4,6	0,0075	12,6	119,369
PE14	182,241	-0,046	33,749	5,328	4,6	0,0075	12,6	125,898
PE12	185,331	-0,046	33,749	5,328	4,6	0,0075	12,6	126,287
PE16	185,408	-0,046	33,749	5,328	4,6	0,0075	12,6	126,297
PE3	185,673	-0,046	33,749	5,328	4,6	0,0075	12,6	126,330
PE20	187,185	-0,046	33,749	5,328	4,6	0,0075	12,6	126,518
PE10	187,455	-0,046	33,749	5,328	4,6	0,0075	12,6	126,551
PE5	188,917	-0,046	33,749	5,328	4,6	0,0075	12,6	126,731
PE18	191,199	-0,046	33,749	5,328	4,6	0,0075	12,6	127,009

Realizado por: Flores Anthony, 2023

c) **Parámetros del modelo de propagación Ericsson 9999**

Tabla 3-3: Parámetros de Ericsson 9999

Puntos	Distancia (m)	hef (m)	a0	a1	a2	a3	g(f)	Lb(dB)
PE6	57,503	10,556	36,2	30,2	12	0,1	94,676	100,605
PE15	60,083	10,461	36,2	30,2	12	0,1	94,676	101,136
PE8	60,456	12,734	36,2	30,2	12	0,1	94,676	102,232
PE7	63,372	19,439	36,2	30,2	12	0,1	94,676	105,035
PE17	67,529	18,748	36,2	30,2	12	0,1	94,676	105,685
PE21	101,261	22,517	36,2	30,2	12	0,1	94,676	111,968
PE22	101,993	22,702	36,2	30,2	12	0,1	94,676	112,105
PE24	105,768	22,107	36,2	30,2	12	0,1	94,676	112,446
PE23	109,354	7,268	36,2	30,2	12	0,1	94,676	107,135
PE4	121,008	5,136	36,2	30,2	12	0,1	94,676	106,671
PE19	123,585	7,572	36,2	30,2	12	0,1	94,676	108,955
PE13	127,977	25,802	36,2	30,2	12	0,1	94,676	115,757
PE9	129,711	26,506	36,2	30,2	12	0,1	94,676	116,073
PE1	129,729	12,215	36,2	30,2	12	0,1	94,676	112,068
PE2	135,786	22,140	36,2	30,2	12	0,1	94,676	115,745
PE11	137,434	25,581	36,2	30,2	12	0,1	94,676	116,652
PE14	182,241	1,103	36,2	30,2	12	0,1	94,676	104,089
PE12	185,331	31,832	36,2	30,2	12	0,1	94,676	121,724
PE16	185,408	28,819	36,2	30,2	12	0,1	94,676	121,214
PE3	185,673	31,843	36,2	30,2	12	0,1	94,676	121,750
PE20	187,185	6,358	36,2	30,2	12	0,1	94,676	113,511
PE10	187,455	32,181	36,2	30,2	12	0,1	94,676	121,931
PE5	188,917	3,801	36,2	30,2	12	0,1	94,676	110,968
PE18	191,199	28,967	36,2	30,2	12	0,1	94,676	121,646

Realizado por: Flores Anthony, 2023

d) **Parámetros del modelo de propagación Okumura-Hata**

Tabla 4-2: Parámetros de Okumura-Hata

Puntos	Distancia (m)	hef (m)	Lb(dB)
PE6	57,503	10,556	94,138
PE15	60,083	10,461	94,889
PE8	60,456	12,734	94,493
PE7	63,372	19,439	94,167
PE17	67,529	18,748	95,269
PE21	101,261	22,517	101,121
PE22	101,993	22,702	101,208
PE24	105,768	22,107	101,862

PE23	109,354	7,268	106,020
PE4	121,008	5,136	108,925
PE19	123,585	7,572	107,966
PE13	127,977	25,802	104,315
PE9	129,711	26,506	104,430
PE1	129,729	12,215	107,127
PE2	135,786	22,140	105,773
PE11	137,434	25,581	105,449
PE14	182,241	1,103	122,077
PE12	185,331	31,832	109,226
PE16	185,408	28,819	109,622
PE3	185,673	31,843	109,252
PE20	187,185	6,358	115,710
PE10	187,455	32,181	109,356
PE5	188,917	3,801	117,897
PE18	191,199	28,967	110,073

Realizado por: Flores Anthony, 2023

Para la EB5 se encuentran los siguientes parámetros para cada modelo de propagación:

4.1.2. Parámetros para EB5

a) Parámetros del modelo de propagación Hata extendido

Tabla 5-2: Parámetros con Hata extendido

Puntos	Distancia (m)	hef (m)	Lb(dB)
P1	56,196	26,668	93,778
P2	56,228	28,972	93,584
P4	60,975	22,611	95,458
P3	67,770	29,388	96,410
P21	100,066	23,094	103,143
P23	104,951	17,501	104,779
P22	107,233	25,207	103,939
P6	112,372	26,618	104,486
P17	113,164	31,537	104,033
P24	113,901	29,521	104,351
P7	117,096	30,062	104,714
P16	118,795	30,928	104,838
P13	123,496	25,110	106,143
P5	123,723	25,012	106,185
P15	124,274	10,093	109,363
P11	136,846	30,260	107,074

P20	169,914	29,856	110,434
P19	175,049	29,845	110,892
P10	179,422	24,974	111,960
P12	180,433	31,761	111,113
P9	181,284	31,166	111,259
P8	183,768	23,675	112,541
P14	185,443	26,752	112,203
P18	187,188	1,146	124,735

Realizado por: Flores Anthony, 2023

b) Parámetros del modelo de propagación SUI con factor de corrección

Tabla 6-2: Parámetros de SUI con factor de corrección

Puntos	Distancia (m)	ΔLbf	ΔLbh	γ	a	b	c	Lb(dB)
PE6	56,196	-0,046	33,7493	4,8642	4,6	0,0075	12,6	98,678
PE15	56,228	-0,046	33,7493	4,8642	4,6	0,0075	12,6	98,691
PE8	60,975	-0,046	33,7493	4,8642	4,6	0,0075	12,6	100,566
PE7	67,770	-0,046	33,7493	4,8642	4,6	0,0075	12,6	103,011
PE17	100,066	-0,046	33,7493	4,8642	4,6	0,0075	12,6	112,028
PE21	104,951	-0,046	33,7493	4,8642	4,6	0,0075	12,6	113,130
PE22	107,233	-0,046	33,7493	4,8642	4,6	0,0075	12,6	113,628
PE24	112,372	-0,046	33,7493	4,8642	4,6	0,0075	12,6	114,711
PE23	113,164	-0,046	33,7493	4,8642	4,6	0,0075	12,6	114,874
PE4	113,901	-0,046	33,7493	4,8642	4,6	0,0075	12,6	115,024
PE19	117,096	-0,046	33,7493	4,8642	4,6	0,0075	12,6	115,664
PE13	118,795	-0,046	33,7493	4,8642	4,6	0,0075	12,6	115,997
PE9	123,496	-0,046	33,7493	4,8642	4,6	0,0075	12,6	116,895
PE1	123,723	-0,046	33,7493	4,8642	4,6	0,0075	12,6	116,938
PE2	124,274	-0,046	33,7493	4,8642	4,6	0,0075	12,6	117,041
PE11	136,846	-0,046	33,7493	4,8642	4,6	0,0075	12,6	119,270
PE14	169,914	-0,046	33,7493	4,8642	4,6	0,0075	12,6	124,278
PE12	175,049	-0,046	33,7493	4,8642	4,6	0,0075	12,6	124,967
PE16	179,422	-0,046	33,7493	4,8642	4,6	0,0075	12,6	125,538
PE3	180,433	-0,046	33,7493	4,8642	4,6	0,0075	12,6	125,668
PE20	181,284	-0,046	33,7493	4,8642	4,6	0,0075	12,6	125,776
PE10	183,768	-0,046	33,7493	4,8642	4,6	0,0075	12,6	126,091
PE5	185,443	-0,046	33,7493	4,8642	4,6	0,0075	12,6	126,301
PE18	187,188	-0,046	33,7493	4,8642	4,6	0,0075	12,6	98,678

Realizado por: Flores Anthony, 2023

c) Parámetros del modelo de propagación Ericsson 9999

Tabla 7-2: Parámetros de Ericsson 9999

Puntos	Distancia (m)	hef (m)	a0	a1	a2	a3	g(f)	Lb(dB)
PE6	56,196	26,668	36,2	30,2	12	0,1	94,676	105,082
PE15	56,228	28,972	36,2	30,2	12	0,1	94,676	105,517
PE8	60,975	22,611	36,2	30,2	12	0,1	94,676	105,306
PE7	67,770	29,388	36,2	30,2	12	0,1	94,676	108,051
PE17	100,066	23,094	36,2	30,2	12	0,1	94,676	111,942
PE21	104,951	17,501	36,2	30,2	12	0,1	94,676	111,136
PE22	107,233	25,207	36,2	30,2	12	0,1	94,676	113,306
PE24	112,372	26,618	36,2	30,2	12	0,1	94,676	114,204
PE23	113,164	31,537	36,2	30,2	12	0,1	94,676	115,174
PE4	113,901	29,521	36,2	30,2	12	0,1	94,676	114,918
PE19	117,096	30,062	36,2	30,2	12	0,1	94,676	115,376
PE13	118,795	30,928	36,2	30,2	12	0,1	94,676	115,713
PE9	123,496	25,110	36,2	30,2	12	0,1	94,676	115,147
PE1	123,723	25,012	36,2	30,2	12	0,1	94,676	115,150
PE2	124,274	10,093	36,2	30,2	12	0,1	94,676	110,515
PE11	136,846	30,260	36,2	30,2	12	0,1	94,676	117,464
PE14	169,914	29,856	36,2	30,2	12	0,1	94,676	120,247
PE12	175,049	29,845	36,2	30,2	12	0,1	94,676	120,638
PE16	179,422	24,974	36,2	30,2	12	0,1	94,676	120,040
PE3	180,433	31,761	36,2	30,2	12	0,1	94,676	121,359
PE20	181,284	31,166	36,2	30,2	12	0,1	94,676	121,323
PE10	183,768	23,675	36,2	30,2	12	0,1	94,676	120,079
PE5	185,443	26,752	36,2	30,2	12	0,1	94,676	120,831
PE18	187,188	1,146	36,2	30,2	12	0,1	94,676	104,636

Realizado por: Flores Anthony, 2023

d) Parámetros del modelo de propagación Okumura-Hata

Tabla 8-1: Parámetros Okumura-Hata

Puntos	Distancia (m)	hef (m)	Lb(dB)
P1	56,196	26,668	91,491
P2	56,228	28,972	91,297
P4	60,975	22,611	93,171
P3	67,770	29,388	94,123
P21	100,066	23,094	100,856
P23	104,951	17,501	102,492
P22	107,233	25,207	101,652
P6	112,372	26,618	102,199

P17	113,164	31,537	101,746
P24	113,901	29,521	102,064
P7	117,096	30,062	102,427
P16	118,795	30,928	102,551
P13	123,496	25,110	103,859
P5	123,723	25,012	103,898
P15	124,274	10,093	107,076
P11	136,846	30,260	104,787
P20	169,914	29,856	108,147
P19	175,049	29,845	108,605
P10	179,422	24,974	109,673
P12	180,433	31,761	108,826
P9	181,284	31,166	108,972
P8	183,768	23,675	108,972
P14	185,443	26,752	109,916
P18	187,188	1,146	122,448

Realizado por: Flores Anthony, 2023

4.2. Pérdidas de propagación

En la Tabla 9-4 e Ilustración 1-4 se muestra las pérdidas de propagación de la EB3 calculadas mediante las ecuaciones de cada modelo.

Tabla 9-1: Pérdidas de propagación de EB3

Puntos	Distancia (m)	Perdidas Lb (dB)			
		Modelo Hata Extendido	Modelo SUI con factor de corrección	Modelo Ericsson 9999	Modelo Okumura-Hata
PE6	57,503	96,426	99,21	100,605	94,138
PE15	60,083	97,176	100,2253	101,136	94,889
PE8	60,456	96,780	100,3685	102,232	94,493
PE7	63,372	96,454	101,4586	105,035	94,167
PE17	67,529	97,556	102,9284	105,685	95,269
PE21	101,261	103,408	112,3023	111,968	101,121
PE22	101,993	103,495	112,4689	112,105	101,208
PE24	105,768	104,149	113,3099	112,446	101,862
PE23	109,354	108,307	114,0812	107,135	106,020
PE4	121,008	111,212	116,4243	106,671	108,925
PE19	123,585	110,253	116,9118	108,955	107,966
PE13	127,977	106,602	117,7199	115,757	104,315
PE9	129,711	106,717	118,0311	116,073	104,430
PE1	129,729	109,414	118,0344	112,068	107,127
PE2	135,786	108,060	119,0902	115,745	105,773

PE11	137,434	107,736	119,3694	116,652	105,449
PE14	182,241	124,364	125,8982	104,089	122,077
PE12	185,331	111,513	126,2873	121,724	109,226
PE16	185,408	111,909	126,2969	121,214	109,622
PE3	185,673	111,539	126,3299	121,750	109,252
PE20	187,185	117,997	126,5176	113,511	115,710
PE10	187,455	111,643	126,551	121,931	109,356
PE5	188,917	120,184	126,7307	110,968	117,897
PE18	191,199	112,360	127,0085	121,646	110,073

Realizado por: Flores Anthony, 2023

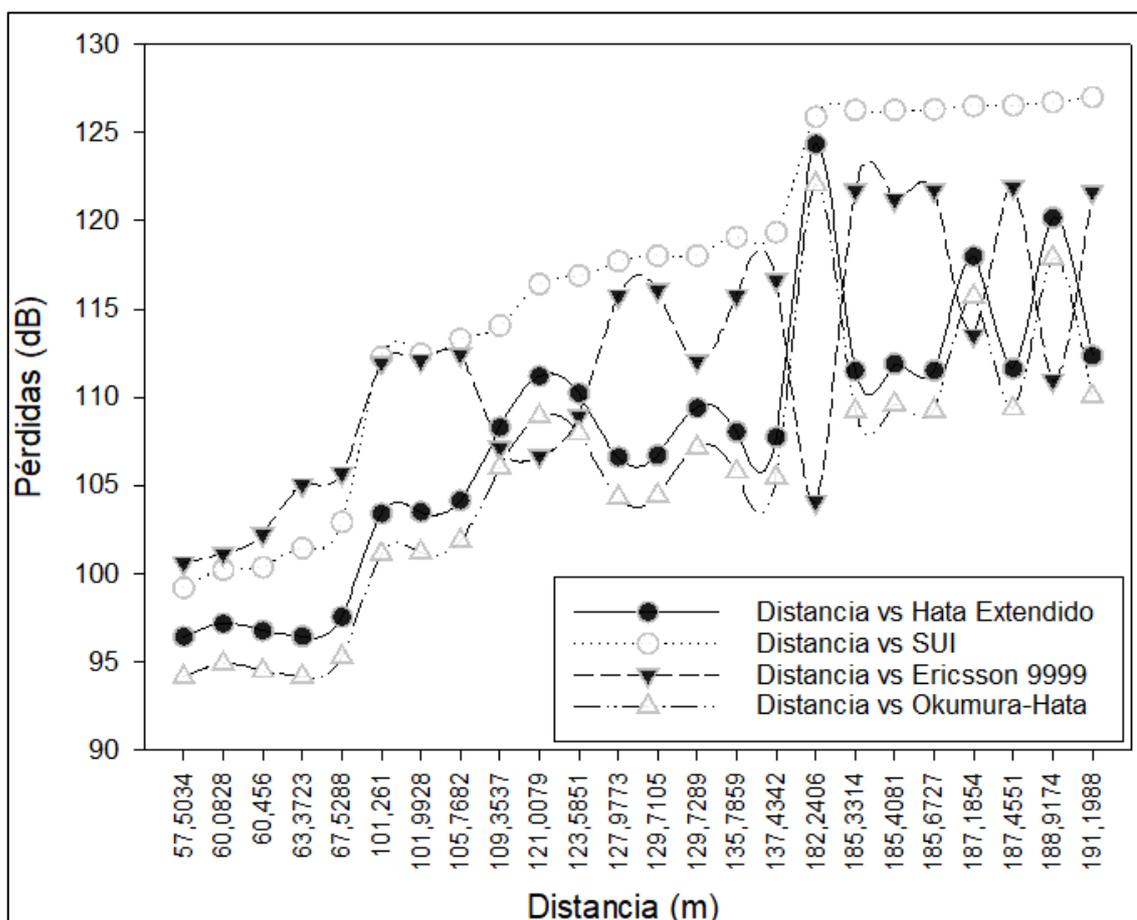


Ilustración 1-3: Pérdidas de propagación EB3

Realizado por: Flores Anthony, 2023

Del mismo modo, en la Tabla 10-4 e Ilustración 2-4 se observan las pérdidas de propagación de EB3 calculadas con las ecuaciones que lo determina cada modelo.

Tabla 10-1: Pérdidas de propagación para EB5

Puntos	Distancia (m)	Perdidas Lb (dB)			
		Modelo Hata Extendido	Modelo SUI con factor de corrección	Modelo Ericsson 9999	Modelo Hokumura-Hata
P1	56,196	93,778	98,678	105,082	91,491
P2	56,228	93,584	98,691	105,517	91,297
P4	60,975	95,458	100,566	105,306	93,171
P3	67,770	96,410	103,011	108,051	94,123
P21	100,066	103,143	112,028	111,942	100,856
P23	104,951	104,779	113,130	111,136	102,492
P22	107,233	103,939	113,628	113,306	101,652
P6	112,372	104,486	114,711	114,204	102,199
P17	113,164	104,033	114,874	115,174	101,746
P24	113,901	104,351	115,024	114,918	102,064
P7	117,096	104,714	115,664	115,376	102,427
P16	118,795	104,838	115,997	115,713	102,551
P13	123,496	106,143	116,895	115,147	103,859
P5	123,723	106,185	116,938	115,150	103,898
P15	124,274	109,363	117,041	110,515	107,076
P11	136,846	107,074	119,270	117,464	104,787
P20	169,914	110,434	124,278	120,247	108,147
P19	175,049	110,892	124,967	120,638	108,605
P10	179,422	111,960	125,538	120,040	109,673
P12	180,433	111,113	125,668	121,359	108,826
P9	181,284	111,259	125,776	121,323	108,972
P8	183,768	112,541	126,091	120,079	108,972
P14	185,443	112,203	126,301	120,831	109,916
P18	187,188	124,735	126,518	104,636	122,448

Realizado por: Flores Anthony, 2023

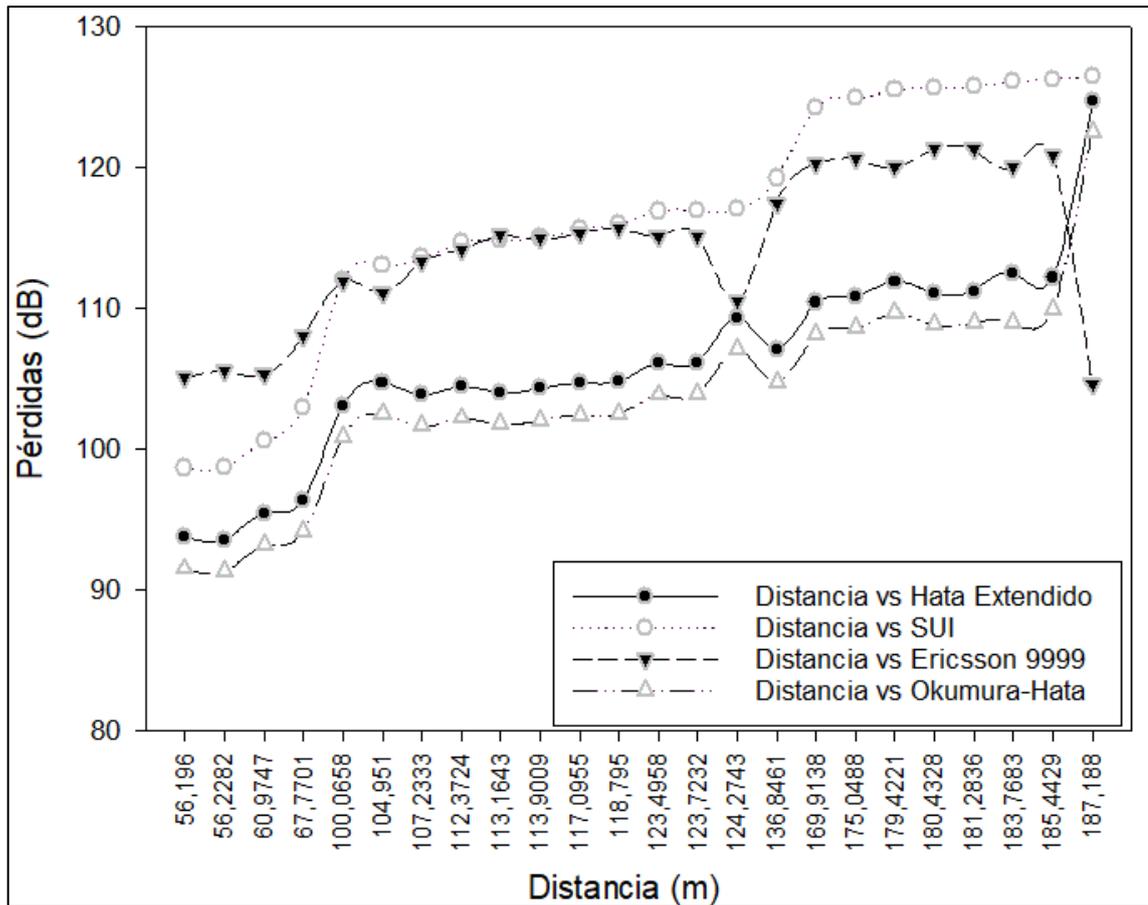


Ilustración 2-3: Pérdidas de propagación EB5

Realizado por: Flores Anthony, 2023

4.3. Cálculo teórico del campo eléctrico

Una vez que se conocen las pérdidas de cada modelo de propagación se procedió al cálculo de la intensidad del campo eléctrico E mediante la siguiente ecuación:

$$E = P_t - L_b + 20 \log f + 107,2$$

Ecuación 2-4: Cálculo teórico del campo eléctrico

Donde

E : intensidad de campo eléctrico (dBu)

P_t : potencia radiada PIRE (dBW)

L_b : pérdida básica (dB)

f : frecuencia (MHz)

Asimismo, la potencia isotrópica radiada aparente PIRE se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$PIRE = P_t - L_{con} - L_{cable} + G_{ant}$$

Ecuación 3-4: Cálculo del Pire

Donde

PIRE: potencia isotrópica radiada aparente (dBW)

P_t : potencia de transmisión (dBW)

L_{con} : pérdidas por conectores (dB)

L_{cable} : pérdidas por el cable (dB)

G_{ant} : ganancia de la antena transmisora (dB)

Para el cálculo de PIRE se usaron datos generales utilizados en las antenas típicas de telefonía móvil y se obtuvo un resultado aproximado de 30 dBW como lo menciona Benítez (2021) en su estudio.

4.4. Cálculo del campo eléctrico

La presente investigación está basada en el estudio ejecutado por Benítez en el año 2021 donde, para el cálculo del campo eléctrico se deben tomar en cuenta las ecuaciones presentadas a continuación:

$$E_t = E + 10 \log (BW/RBW)$$

Ecuación 4-4: Cálculo del campo eléctrico

Donde

E_t : intensidad de campo eléctrico total (dBuV/m)

E : intensidad de campo eléctrico promedio (dBuV/m)

BW : ancho de banda de señal (Hz)

RBW : ancho de banda de resolución (Hz)

Cabe señalar que, se realizaron 4 campañas de medición en cada estación base. Para el cálculo del campo eléctrico se utilizó la frecuencia de 1965 MHz que corresponde a la frecuencia central de *Dowlink*. Una vez obtenido el cálculo del campo eléctrico se procedió a comparar los valores de los modelos con los resultados de las mediciones. La Tabla 11-4 muestra los valores comparativos en la EB3:

Tabla 11-1: Campo eléctrico de los puntos de medición de EB3

Punto de medición	Distancia (m)	Campo eléctrico (dB μ V/m)				
		Medido	Modelo Hata extendido	Modelo SUI con factor de corrección	Modelo ERICSSON 9999	Modelo Okumura-Hata
PE6	57,503	94,620	106,642	103,857	102,462	108,929
PE15	60,083	93,375	105,891	102,842	101,931	108,178
PE8	60,456	80,755	91,424	102,699	100,835	108,574
PE7	63,372	88,590	96,351	101,609	98,033	108,901
PE17	67,529	84,955	105,511	100,139	97,383	107,798
PE21	101,261	78,900	99,659	90,765	91,100	101,946
PE22	101,993	77,518	99,572	90,5983	90,963	101,859
PE24	105,768	73,708	95,296	89,3372	95,691	101,205
PE23	109,354	91,468	94,760	88,986	95,933	97,047
PE4	121,008	83,235	91,856	86,643	96,396	94,143
PE19	123,585	87,668	92,814	86,15554	94,112	95,101
PE13	127,977	85,185	96,465	85,3474	87,310	98,752
PE9	129,711	80,213	96,351	85,0361	86,994	98,638
PE1	129,729	84,403	93,653	85,0329	91,000	95,941
PE2	135,786	82,008	95,007	83,9771	87,322	97,294
PE11	137,434	69,918	95,331	83,6979	86,416	97,618
PE14	182,241	71,690	78,703	77,169	98,978	80,990
PE12	185,331	65,370	91,555	76,780	81,343	93,842
PE16	185,408	69,290	91,159	76,770	81,853	93,446
PE3	185,673	73,340	91,528	76,7373	81,317	93,815
PE20	187,185	81,510	85,070	76,0588	89,556	87,357
PE10	187,455	80,368	91,424	76,5163	81,137	93,711
PE5	188,917	98,388	82,883	76,3365	92,099	85,170
PE18	191,199	80,243	90,707	76,0588	81,421	92,994

Realizado por: Flores Anthony, 2023

La Ilustración 3-4 muestra en campo eléctrico de EB3 con respecto a la distancia de las mediciones y el campo eléctrico esperado de los modelos de propagación, cabe destacar que en el punto PE5 de medición (ver Anexo B) a pesar de la distancia de medición de 188,917 metros existe una intensidad de campo eléctrico de 98,388 dB μ V/m; debido a la influencia de la altura efectiva en el punto que es 3,801 metros recalando que Ambato es una ciudad ubicada geográficamente en un valle montañoso.

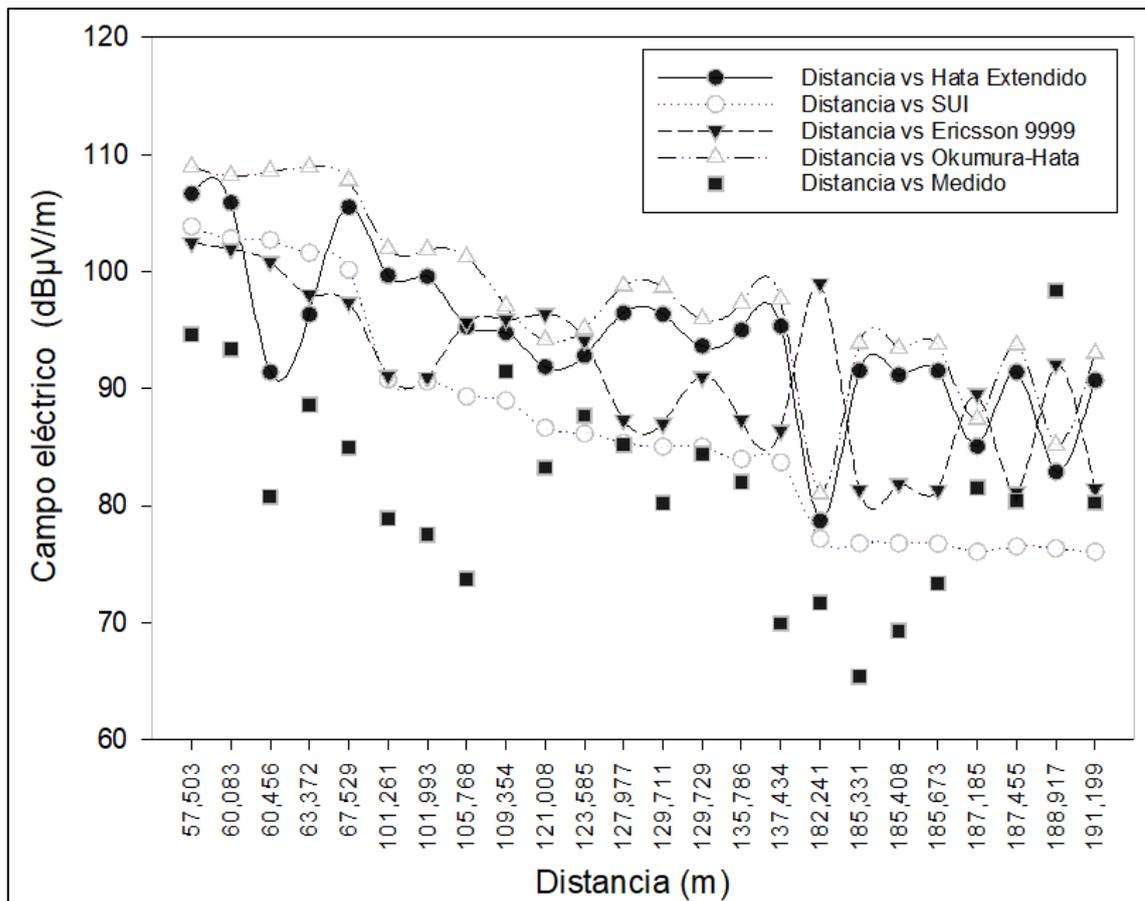


Ilustración 3-3: Campo eléctrico EB3

Realizado por: Flores Anthony, 2023

Del mismo modo, en la Tabla 12-4 se aprecia los resultados comparativos de la EB5.

Tabla 12-1: Campo eléctrico de los puntos de medición de EB5

Punto de medición	Distancia (m)	Campo eléctrico (dBµV/m)				
		Medido	Modelo Hata extendido	Modelo SUI con factor de corrección	Modelo ERICSSON 9999	Modelo Okumura-Hata
P1	56,196	95,097	109,290	103,230	97,985	100,868
P2	56,228	82,562	109,484	103,218	97,550	95,992
P4	60,975	86,607	107,609	101,506	97,761	92,813
P3	67,770	102,227	106,657	99,274	95,010	100,641
P21	100,066	78,960	99,925	91,041	91,125	101,322
P23	104,951	99,860	98,288	90,034	91,931	102,212
P22	107,233	84,950	99,128	89,580	89,761	101,415
P6	112,372	68,990	98,582	88,591	88,863	101,003
P17	113,164	73,330	99,229	88,442	87,894	100,575
P24	113,901	85,557	98,716	88,305	88,150	109,896
P7	117,096	80,735	98,354	87,721	87,691	94,463
P16	118,795	80,050	98,229	87,417	87,354	99,211

P13	123,496	81,535	96,924	86,597	87,921	94,096
P5	123,723	77,100	96,882	86,558	87,917	111,577
P15	124,274	97,187	93,705	86,464	92,552	111,771
P11	136,846	86,577	95,993	84,428	85,603	98,280
P20	169,914	65,695	92,633	79,856	82,820	93,151
P19	175,049	73,292	92,176	79,227	82,429	94,241
P10	179,422	68,260	91,107	78,706	83,027	100,516
P12	180,433	93,887	91,954	78,587	81,708	108,944
P9	181,284	93,642	91,809	78,488	81,744	94,920
P8	183,768	79,262	90,526	78,200	82,988	93,393
P14	185,443	72,572	90,864	78,009	82,236	99,169
P18	187,188	70,700	78,333	77,811	98,431	80,620

Realizado por: Flores Anthony, 2023

En la Ilustración 4-4 se observa el campo eléctrico de EB5 con respecto a la distancia de las mediciones, con el resultado de las mediciones, se puede observar en el punto de medición P15 (ver Anexo C) la influencia de la altura efectiva de 10.093 metros, con una intensidad de campo 97.187 dB μ V/m a una distancia de la estación base EB5 de 124.274 metros.

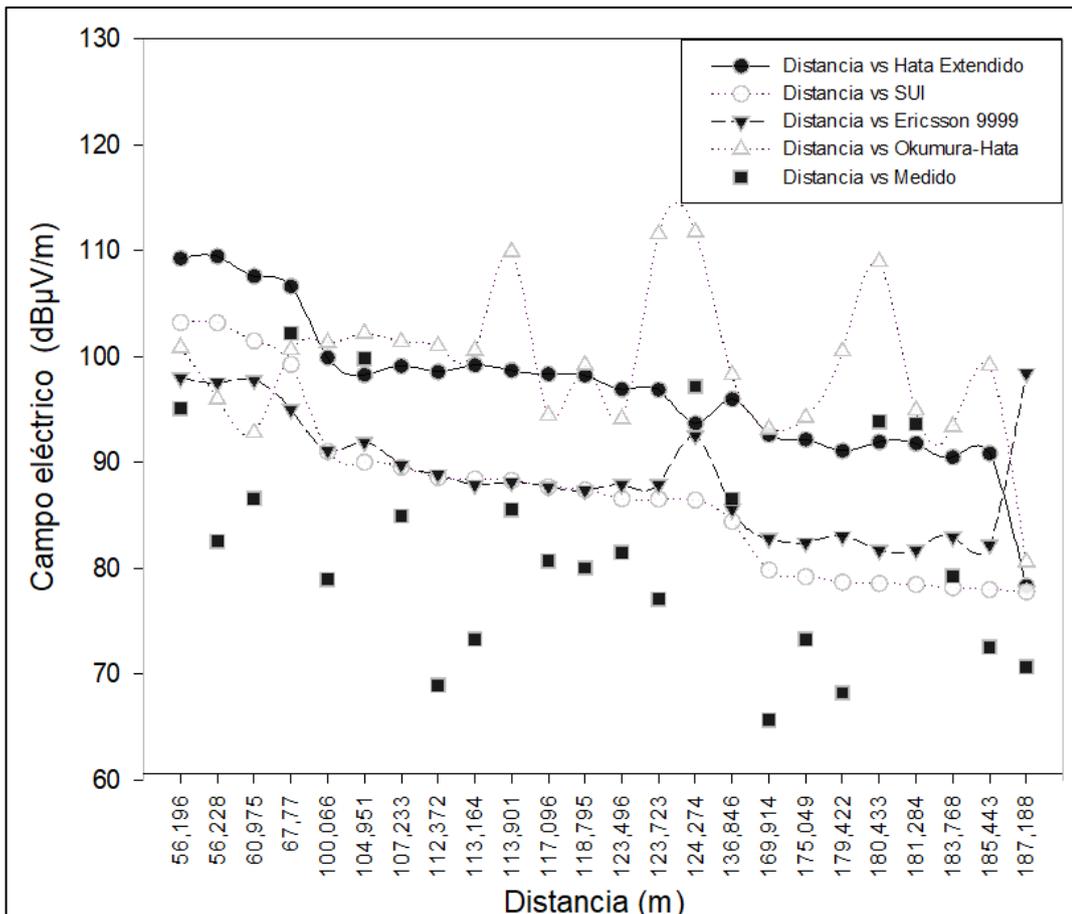


Ilustración 4-3: Campo eléctrico EB5

Realizado por: Flores Anthony, 2023

A fin de obtener resultados más exactos de la comparativa realizada se procedió con la aplicación de técnicas estadísticas en este caso el con el *software* R Studio.

4.5. Pruebas de normalidad

Los análisis de normalidad, también llamados contrastes de normalidad tienen como objetivo analizar cuánto difiere la distribución de los datos observados respecto a lo esperado si procediesen de una distribución normal con la misma media y desviación típica. Pueden diferenciarse tres estrategias: las basadas en representaciones gráficas, en métodos analíticos y en test de hipótesis (Amat, 2016, p.1). Para ejecutar las pruebas de normalidad, se utilizó el *software* de código abierto R (R estudio) mediante la prueba de Shapiro- Wilk, el Gráfico de comparación de cuantiles (QQ-plot) y también un histograma.

4.5.1. Pruebas de normalidad EB3

a) Test de Shapiro-Wilk

Una prueba estadística formal para determinar si un conjunto de datos se distribuye normalmente es el Test de Shapiro-Wilk siempre y cuando el tamaño de la muestra es menor a 50, en esta prueba se plantea la Hipótesis nula (H_0) que indica que el conjunto de datos se ajusta a una distribución normal si el valor $p > 0,05$ (es mayor); y la Hipótesis alterna (H_1) donde indica que los datos no se ajustan a una distribución normal, si el valor de $p < 0,05$ (es menor).

```
> shapiro.test(DATAfeb3$MEDIDOEb3)
      shapiro-wilk normality test
data:  DATAfeb3$MEDIDOEb3
W = 0.98353, p-value = 0.9509
```

Ilustración 5-3: Test de Shapiro-Wilk (EB3)

Realizado por: Flores Anthony, 2023

Por lo tanto, en la Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, el estadístico de prueba (p-value) indica que, $p > 0,05$ (es mayor) en consecuencia se rechaza la H_1 y se acepta la H_0 , esto indica que los datos siguen una distribución normal.

b) Histograma

Estos gráficos nos permiten describir la forma de la distribución de variables cuantitativas (Collatón, 2014, p. 64). Como se puede observar en el histograma los datos muestran la curva de una

distribución normal, sin embargo para mayor comprobación se ejecutará el Gráfico de comparación de cuantiles (QQ-plot).

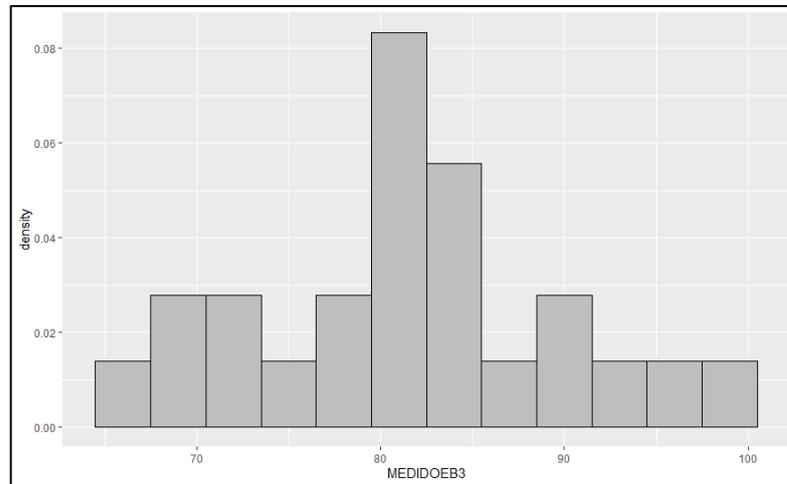


Ilustración 6-3: Histograma (EB3)

Realizado por: Flores Anthony, 2023

c) Gráfico de comparación de cuantiles (QQ-plot)

El gráfico QQ, sirve para comparar los datos observados a los datos que se debería tener si estos siguieran perfectamente una cierta distribución, a menudo una distribución normal. Los valores observados y los ideales (cuantiles) son comparados sobre un gráfico x-y que muestra una tendencia lineal en caso de normalidad (Collatón, 2014, p. 71). Como se aprecia en la Ilustración 7-4 los cuantiles de muestra se encuentran muy cercanos a los cuantiles teóricos, así como también los datos siguen una distribución normal.

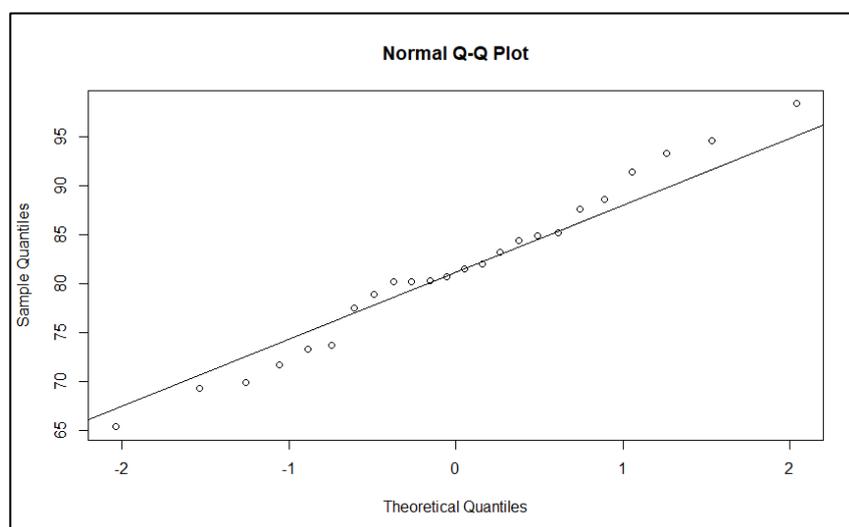


Ilustración 7-3: Gráfico QQ (EB3)

Realizado por: Flores Anthony, 2023

4.5.2. Pruebas de normalidad EB5

a) Test de Shapiro-Wilk

Del mismo modo, se realizó una prueba estadística formal para determinar si los datos se distribuyen de forma normal. Donde se plantea la Hipótesis nula (H_0) que indica que el conjunto de datos se ajusta a una distribución normal si el valor $p > 0,05$ (es mayor); y la Hipótesis alterna (H_1) donde indica que los datos no se ajustan a una distribución normal, si el valor de $p < 0,05$ (es menor).

```
> shapiro.test(DATAfeb5$MEDIDOE5)

      shapiro-wilk normality test

data:  DATAfeb5$MEDIDOE5
w = 0.96204, p-value = 0.4808
```

Ilustración 8-3: Test de Shapiro-Wilk (EB5)

Realizado por: Flores Anthony, 2023

Como resultado se obtuvo que $p\text{-value } p = ,4808$. Por lo tanto, p es mayor a 0,05 (significativo), en consecuencia, se rechaza la H_1 y se toma la H_0 , es decir el conjunto de datos siguen una distribución normal.

b) Histograma

Como se aprecia en la Ilustración 9-3 los datos muestran la curva de una distribución normal, para una mayor corroboración se utilizará el grafico QQ presentado en el siguiente epígrafe.

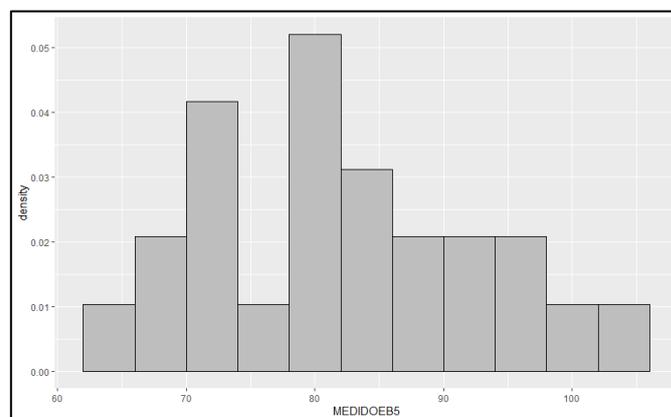


Ilustración 9-3: Histograma (EB5)

Realizado por: Flores Anthony, 2023

c) Gráfico de comparación de cuantiles (QQ-plot)

En el gráfico QQ se aprecia como los cuantiles del conjunto de datos se encuentran muy cercanos a los cuantiles teóricos, así como también la tendencia lineal de las variables de seguir una distribución de normalidad.

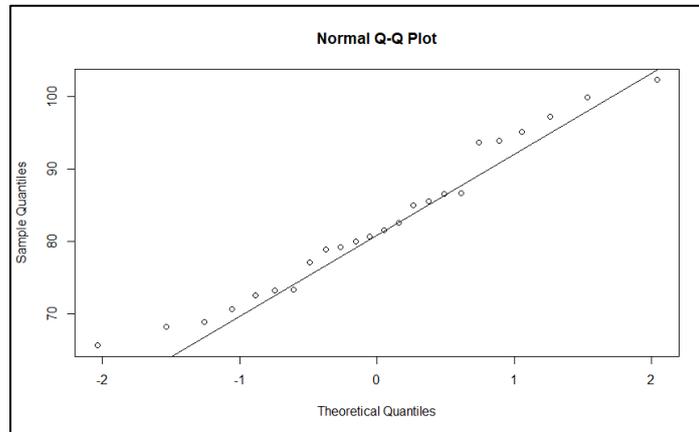


Ilustración 10-3: Gráfico QQ (EB3)

Realizado por: Flores Anthony, 2023

4.6. Comparación estadística del RMSE de los datos medidos con los datos teóricos

Finalmente procedió con el cálculo de la desviación estándar de los valores residuales (RMSE), para saber cuál de los cuatro modelos es el más aproximado a los valores reales obtenidos, en la Ilustración 11-4 se aprecia el cálculo del RMSE de la EB3.

```
> rmse(EB3$MEDIDOE3,EB3$`HATA EXTENDIDO`)  
[1] 15.42377  
> rmse(EB3$MEDIDOE3,EB3$SUI)  
[1] 10.4605  
> rmse(EB3$MEDIDOE3,EB3$ERICSSON)  
[1] 12.16363  
> rmse(EB3$MEDIDOE3,EB3$HATA)  
[1] 18.62349
```

Ilustración 11-3: Cálculo de RMSE (EB3)

Realizado por: Flores Anthony, 2023

En la Ilustración 12-4 se aprecia los valores obtenidos del RMSE de la EB5.

```
> rmse(EB5$MEDIDOE5,EB5$`HATA EXTENDIDO`)  
[1] 17.38116  
> rmse(EB5$MEDIDOE5,EB5$SUI)  
[1] 10.86895  
> rmse(EB5$MEDIDOE5,EB5$ERICSSON)  
[1] 11.72659  
> rmse(EB5$MEDIDOE5,EB5$HATA)  
[1] 19.48256
```

Ilustración 12-2: Cálculo de RMSE (EB5)

Realizado por: Flores Anthony, 2023

Por lo tanto, el modelo de propagación que tiene bajo RMSE y se acerca a los datos reales es el Modelo SUI con factor de corrección con un valor (RMSE) de 10,4605 para la EB3 y para la EB5 un valor (RMSE) de 10,86895. Los resultados globales se muestran en la Tabla 13-4 a continuación:

Tabla 13-1: Cuadro comparativo de RMSE de los modelos para EB3 y EB5

Estaciones Base	RMSE			
	<i>Modelo Hata extendido</i>	<i>Modelo Okumura-Hata</i>	<i>Modelo SUI con factor de corrección</i>	<i>Modelo Ericsson 9999</i>
EB3	15,42377	18,62349	10,4605	12,16363
EB5	17,38116	19,48256	10,86895	11,72659

Realizado por: Flores Anthony, 2023

Una vez analizado las medidas reales tomadas y compararlas con los valores calculados, se ha determinado que el modelo más adaptativo es el Modelo SUI con factor de corrección propuesto por la IEEE, el cual se adecua para trabajar con frecuencias cercanas a los 2 GHz. Otro de los aspectos más importantes de este modelo es que, recomienda que la altura de las antenas receptoras sea menor que los 2m de altura, si se considera que, las mediciones fueron realizadas a 1.5m se puede afirmar la teoría establecida por el modelo mencionado.

CONCLUSIONES

- Se realizó un análisis de investigaciones similares permitiendo de esta manera tomar en cuenta las recomendaciones de Benítez que fueron una guía para la metodología de la selección de las estaciones base y el cálculo del campo eléctrico.
- El estudio de los diferentes modelos de propagación determina los parámetros más importantes generalizados que son: entorno (urbano, rural), altura de las antenas transmisoras, frecuencia de operación y distancia entre transmisor y receptor, cada uno de estos modelos plantea sus fórmulas en base a dichos parámetros.
- Las estaciones base utilizadas para la toma de datos fueron establecidas de acuerdo a dos criterios fundamentales, el primero la frecuencia de operación 1900 MHz, y el segundo, es que, estos se encuentren dentro del área urbana, para de esta forma correlacionar los valores de propagación obtenidos, y compararlos con los modelos planteados.
- El cálculo del campo eléctrico comparado con los cuatro modelos planteados permitió analizar cuál es el modelo más próximo a los resultados reales, esto combinado con el modelo estadístico para obtener el RMSE evidenció que el modelo más adaptativo es el SUI con factor de corrección.
- El modelo de propagación que más se acerca a las características urbanas de la ciudad de Ambato es el modelo SUI con factor de corrección. A pesar de que el modelo Ericson 9999 recomienda que sea mayor de 200 metros y se acerca a las medidas reales, tiene un bajo RMS aproximado a 10 en las dos estaciones base, por lo tanto, el modelo SUI es el más adecuado.
- El modelo Okumura-Hata recomienda un rango de frecuencias de 150 MHz a 1500 MHz por esta razón los resultados de este modelo se alejan de los datos obtenidos por las mediciones.

RECOMENDACIONES

- Analizar que modelos de propagación no estudiados en el proyecto, podrían adaptarse a la comparación de resultados obtenidos y así corroborar si solo SUI con factor de corrección puede acoplarse a los valores comparados.
- Tomar en cuenta investigaciones relacionadas con la finalidad de tener en cuenta datos que ayuden a la obtención correcta de los datos y su comparación.
- Hay que considerar que la franja de horario establecida para la toma de mediciones permite la obtención de valores en horas pico de consumo, además que al tomar las medidas en un día despejado disminuye las interferencias en la propagación.
- Realizar pruebas estadísticas a los resultados obtenidos a fin de corroborar de una forma más exacta y dar mayor validez a la comparación de los valores calculados frente a los adquiridos en las pruebas físicas reales.
- Incrementar la campaña de mediciones, debido a que, la ciudad de Ambato no es una zona demográfica completamente plana, de modo que se podría obtener resultados más amplios, si se considera para las mediciones parámetros como: rango de frecuencias, alturas de edificaciones, entre otros.
- Realizar estudios basados en la nueva tecnología móvil de quinta generación 5G, puesto que, a pesar de aún no estar desplegada en el país ya existen pruebas de operación en ciertas ciudades y esto podría ayudar a contribuir con datos reales del comportamiento de la red en nuestro país.
- Al cambiar de punto de medición NARDA SRM-3006 colocar en 'cero' los valores de medición para evitar los errores con las mediciones de los puntos anteriores.
- Realizar una bitácora de los puntos de medición para ejecutar las mediciones de forma ordenada y poder exportar los valores medidos de forma correcta, además señalar los puntos de medición en donde se va a colocar el equipo NARDA SRM-3006, con el fin de que el equipo este colocado en el mismo sitio del punto de medición en las diferentes campañas de medición

BIBLIOGRAFÍA

- AMAT, Joaquín.** *Análisis de normalidad: gráficos y contrastes de hipótesis* [En línea]. 2016 [Consulta: 2022-06-06]. Disponible en: https://www.cienciadedatos.net/documentos/8_analisis_normalidad#:~:text=Los%20an%C3%A1lisis%20de%20normalidad%2C%20tambi%C3%A9n,misma%20media%20y%20desviaci%C3%B3n%20t%C3%ADpica.
- AMPLIFICADORDESENAL.** *Estaciones base de telefonía móvil y la cobertura de señal.* [En línea]. 2020 [Consulta: 2022-04-08]. Disponible en: <https://www.amplificadordesenal.es/estaciones-base-telefonía-móvil-y-cobertura-senal/>
- ANE.** *¿Qué es el espectro radioeléctrico?* [En línea]. 2022 [Consulta: 2022-04-21]. Disponible en: https://portalespectro.ane.gov.co/Style%20Library/ane_master/que-es-el-espectro-radioelectrico.aspx
- AQUINO, Genaro.** *William Edwards Deming.* [En línea]. 2022 [Consulta: 2022-06-06]. Disponible en: <https://mejoras-para-la-calidad-avg.weebly.com/deming.html>
- ARCOTEL.** *Radiobases por prestador y tecnología.* [En línea]. 2022 [Consulta: 2022-06-06]. Disponible en: https://www.arcotel.gob.ec/servicio-movil-avanzado-sma_3/
- ARCOTEL.** *Plan nacional de frecuencias.* [En línea]. 2012 [Consulta: 2022-04-21]. Disponible en: https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/plan_nacional_frecuencias_2012.pdf
- ARCOTEL.** *Servicio móvil avanzado.* [En línea]. 2018 [Consulta: 2022-05-12]. Disponible en: https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2015/01/BOLETIN-ESTADISTICO-Junio-2018_f.pdf
- ARCOTEL.** *Espectro Radioeléctrico.* [En línea]. 2022 [Consulta: 2022-04-21]. Disponible en: <https://www.arcotel.gob.ec/espectro-radioelectrico-3/#:~:text=El%20espectro%20radioel%C3%A9ctrico%20constituye%20un,necesidad%20de%20una%20gu%C3%ADa%20artificial.>
- AYSCOMDATATEC.** *Soluciones frente a la Exposición a campos electromagnéticos: SRM-3006 de Narda* [En línea]. 2020 [Consulta: 2022-06-11]. Disponible en: <https://ayscomdatatec.com/es/solu-expo-campo-electromagnetic-srm-3006-narda/#:~:text=El%20SRM%203006%20es%20un,de%20diferentes%20est%C3%A1ndares%20de%20seguridad.>
- BARRIOS, Alexis.** *Análisis comparativo de modelos de propagación para el enlace descendente en redes HSPA+ en áreas urbanas y suburbanas. Caso Estudio: Barranquilla* [En línea] (Tesis de posgrado). Universidad Tecnológica de Bolívar, Cartagena- Ecuador. 2015. pp. 1-1329. [Consulta: 2021-07-05]. Disponible en: <https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0068812.pdf>

- BARRIOS, Alexis., ARJONA, Ricardo.; & ÁLVAREZ, Ramón.** Comparación de modelos de radiopropagación en el área suburbana de la ciudad de Barranquilla. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, [en línea], 2018, (Colombia) 2 (32), pp. 78-85. [Consulta: 2021-04-21]. ISSN: 1692-7257. Disponible en: https://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portaIG/home_40/recursos/05_v31_35/revista32/documentos/08112018/revista32_10.pdf
- BARRIOS, Alexis.** Comparación de modelos de propagación de ondas de radio de un canal inalámbrico en un entorno urbano de la ciudad de Barranquilla. *J. Comput. Electron. Sci.: Theory Appl*, [en línea], 2021, (Barranquilla) 2 (1), pp. 31-38. [Consulta: 2021-04-13]. ISSN: 2745-0090. Disponible en: <https://revistascientificas.cuc.edu.co/CESTA/article/view/3380/3660>
- BECIEZ, Selene., FLORES, Nestor.; & PEREZ, Cristian.** Aplicación de modelos de propagación en sistemas inalámbricos de área extendida WWAN [En línea] (Tesis de pregrado). Instituto Politécnico Nacional, México. 2013. pp. 1-98. [Consulta: 2022-04-13]. Disponible en: <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/12163/aplicacionmodelos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- BENÍTEZ, Paola.** Estudio de propagación de sistemas de telefonía móvil en la banda 1900 MHz (LTE) mediante mediciones de campo eléctrico para establecer una recomendación de un modelo de propagación existente [En línea] (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador. 2021. pp. 1-55. [Consulta: 2022-06-06].
- BORDÓN, Raikel., ALONSO, Reinier.; & MONTEJO, Samuel.** Evaluación de modelos de propagación de canal inalámbrico. *Revista Cubana de Ingeniería* [en línea], 2012, (Cuba) 1 (3), pp. 1-14. [Consulta: 2021-04-09]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Samuel-Montejo-Sanchez/publication/277791795_Evaluacion_de_modelos_de_propagacion_de_canal_inalambri-co/links/55f3291d08ae1d9803948601/Evaluacion-de-modelos-de-propagacion-de-canal-inalambri-co.pdf
- BRITO, Jesús.** Evolución de las redes móviles hasta hoy en día y el impacto de la red móvil de quinta generación. *Revista ReDTiS* [en línea], 2019, (México) 3 (3), pp. 1-6. [Consulta: 2022-04-08]. Disponible en: <https://redtis.org/index.php/Redtis/article/view/36/49>
- CAMACHO, Diana.** Análisis del desempeño de modelos de propagación utilizados en 4g [En línea] (Tesis de pregrado). Pontificia ESPE Universidad de las Fuerzas Armadas, Quito- Ecuador. 2021. pp. 1-134. [Consulta: 2021-07-05]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/23986/1/T-ESPE-044360.pdf>
- CERASA.** *Introducción a los sistemas de comunicaciones móviles* [En línea]. 2022 [Consulta: 2022-04-08]. Disponible en: <https://www.cerasa.es/media/areces/files/book-attachment-2725.pdf>

CMNCBLOG. *Conceptos básicos de Telecom: del GSM al LTE.* [En línea]. 2010 [Consulta: 2022-04-08]. Disponible en: <https://blog.cnmc.es/2010/05/21/conceptos-basicos-del-telecos-evolucion-de-las-comunicaciones-moviles-del-gsm-al-lte/#>

COLLATÓN, Rosario. Introducción al uso de R y R Commander para el análisis estadístico de datos en ciencias sociales [En línea]. 2014 [Consulta: 2022-06-06]. Disponible en: https://cran.r-project.org/doc/contrib/Chicana-Introduccion_al_uso_de_R.pdf

CONECTRONICA. *SRM-3006 de Narda Safety Test Slutions ahora con opción LTE* [En línea]. 2012 [Consulta: 2022-07-20]. Disponible en: <https://www.conectronica.com/wireless/equipos-de-test-y-medida-para-rfrf/medidores-de-campo/srm-3006-de-narda-safety-test-slutions-ahora-con-opcion-lte>

CHÁVEZ, Diana. *Estudio del espectro radioeléctrico para el servicio de acceso inalámbrico fijo (FWA) de la corporación nacional de telecomunicaciones del Ecuador, proyectado en redes de quinta generación (5G)* [En línea] (Tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra-Ecuador. 2021. pp. 1-111. [Consulta: 2022-04-21]. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/10382/8/04%20RED%20247%20TRABAJO%20GRADO.pdf>

ESTUPIÑÁN, Verónica. Análisis de la situación actual del servicio público de telefonía fija frente al servicio de telefonía móvil en el Ecuador. *Revista INGENIO*, [en línea], 2019, (Ecuador) 1 (2), pp. 34-56. [Consulta: 2021-05-12]. Disponible en: <https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/INGENIO/article/view/1628/1589>

GARCÍA, Javier. *Modelos de propagación para comunicaciones móviles 4G y 5G* [En línea] (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica de Madrid, Madrid- España. 2016. pp. 1-93. [Consulta: 2022-04-09]. Disponible en: https://oa.upm.es/44152/1/TFG_FRANCISCO_JAVIER_GARCIA_RUEDA.pdf

GARCÍA, Bárbara. Introducción de Tecnología 4G en Cuba. *Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas* [en línea], 2019, (Cuba), pp. 1-15. [Consulta: 2022-04-08]. Disponible en: <https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/12064/B%c3%a1rbara%20Garc%c3%a1da%20Rosell.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

GEOSYSTEMING. *Spectra Mobile Mapper 50* [En línea]. 2020 [Consulta: 2022-06-11]. Disponible en: <https://www.geosysteming.com/producto/spectra-mobile-mapper-50/>

GIMÉNEZ, Jordi., LÓPEZ, Jaime., GÓMEZ, David.; & CARDONA, Narcís. Modelos de propagación radio para redes de TDT móvil en la banda UHF. *Revista S&T* [en línea], 2011, (Colombia) 9 (18), pp. 9-27. [Consulta: 2021-04-09]. Disponible en: https://www.icesi.edu.co/revistas/index.php/sistemas_telematica/article/view/1077/1098

GUEVARA ALBÁN, Gladys., VERDESOTO ARGUELLO, Alexis.; & CASTRO

GONZÁLEZ, Alma. La ley de Snell. *Revista ConCiencia Estudiantil* [en línea], 2020, (México) 7 (1), pp. 1-40. [Consulta: 2021-04-09]. Disponible en: <https://www.fcfm.buap.mx/assets/docs/publicaciones/revistas/RevistaConciencia-06.pdf#page=36>

GRAU, Sara. *Medición y Análisis de las Redes de Comunicaciones Móviles 4G LTE en Cullera* [En línea] (Tesis de pregrado). Universitat Politècnica de València, Gandía- España. 2019. pp. 1-50. [Consulta: 2022-04-08]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/124879/Grau%20-%20Medici%C3%B3n%20y%20An%C3%A1lisis%20de%20las%20Redes%20de%20Comunicaciones%20M%C3%B3viles%204G%20LTE%20en%20Cullera.pdf?sequence=1>

ICNIRP. *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Recomendaciones para limitar la exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos (hasta 300 GHz).* [En línea]. 2022 [Consulta: 2022-06-06]. Disponible en: <http://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdlesp.pdf>

INFANTE MOREIRA, Pedro Severo., HUILCA LOGROÑO, Jordan Sebastián., FLORES ARROBA, Alexandra Macarena., CARRASCO CAYAMBE, Daniela Rocío., GILART GONZÁLEZ, Fidel. Mediciones espaciales en la banda de frecuencia de 944 MHz a 951 MHz en la ciudad de Riobamba. *Revista Perspectivas*, [en línea], 2022, (Ecuador) 4 (1), pp. 33-41. [Consulta: 2021-05-12]. e-ISSN:2661-6688. Disponible en: http://45.184.102.148:8081/index.php/RCP_ESPOCH/article/view/147/130

INSTRUMENTACIONHOY. *Medidor de campos electromagnéticos de alta frecuencia* [En línea]. 2017 [Consulta: 2022-06-11]. Disponible en: <https://www.instrumentacionhoy.com/medidor-campos-electromagneticos-de-alta-frecuencia/>

INSTRUMENTALYOPTICA. *MobileMapper 50 – Alquiler* [En línea]. 2019 [Consulta: 2022-07-20]. Disponible en: <https://instrumentalyoptica.com.ec/product/mobilemapper-50-alquiler/>

INSTRUKART. *Narda SRM-3006 Selective Radiation Meter* [En línea]. 2015 [Consulta: 2022-07-20]. Disponible en: <https://www.instrukart.com/product/narda-srm-3006-selective-radiation-meter/>

JARAMILLO, Miguel. Implementación de Red Móvil con Tecnología 4G LTE. *Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)* [en línea], 2015, (Ecuador), pp. 1-6. [Consulta: 2022-04-08]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/33706073.pdf>

JIMÉNEZ, Luis. *Historia del teléfono móvil.* [En línea]. 2015 [Consulta: 2022-04-08]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/268032139/TELEFONIA>

LUQUE, Javier. Espectro electromagnético y espectro radioeléctrico. *Manual Formativo de Acta*, [en línea], 2012, (España) (62), pp. 17-31. [Consulta: 2021-04-21]. ISSN: 1888-6051. Disponible en: https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/062017.pdf

MEDINA. *Modelos y leyes de propagación.* [En línea]. 2022 [Consulta: 2022-04-13]. Disponible en: <https://modelosleyespropagacion.wordpress.com/author/dmedina1593/>

MOLINA, Nelly. Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *RECIMUNDO*, [en línea], 2020, (Ecuador) 4 (3), pp. 17-31. [Consulta: 2021-05-12]. ISSN: 2588-073X. Disponible en: <http://recimundo.com/index.php/es/article/view/860>

MORALES, Juan Ignacio. Cálculo de Radio Enlace en la banda GSM-850 utilizando Modelo de Propagación Okumura-Hata. *Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba* [en línea], 2012, (España), pp. 1- 3. [Consulta: 2021-04-09]. Disponible en: https://www.academia.edu/5051509/C%C3%A1culo_de_Radio_Enlace_en_la_banda_GSM-850_utilizando_Modelo_de_Propagaci%C3%B3n_Okumura-Hata

OSAHENVEMWEN, Austin.; & OKHAIFOH, J. E. Comparative Study of Path Loss Models for Mobile Communication Networks. *ATBU Journal of Science Technology and Education* [en línea], 2021, (Nigeria) 9 (2), pp. 153- 163. [Consulta: 2021-07-05]. ISSN: 2277-0011. Disponible en: <http://www.atbuftejoste.com/index.php/joste/article/view/1194>

OSORNIO, Alberto. *Modelo de propagación de ondas electromagnéticas para comunicaciones móviles en banda UHG en la ciudad de México* [En línea] (Tesis de posgrado). Instituto Politécnico Nacional, México. 2002. pp. 1-99. [Consulta: 2021-07-05]. Disponible en: <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/15553/1/Modelo%20de%20propagacion%20de%20ondas%20electromagneticas%20para%20comunicaciones.pdf>

PÉREZ, F. *Redes móviles terrestres: 4G.* [En línea]. 2009 [Consulta: 2022-04-08]. Disponible en: <http://www.tierradelazaro.com/wp-content/uploads/2016/04/4G.pdf>

PINTO, Ángel., TORRES, Juan., GARCÍA, Alberto., PÉREZ, Nelson.; & UZCÁTEGUI, José. Modelo para Estimación de Pérdidas de Propagación en Sistema de Televisión Digital Abierta. *RIELAC*, [en línea], 2016, (Cuba) 37 (2), pp. 67-81. [Consulta: 2021-04-13]. ISSN: 1815-5928. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/eac/v37n2/eac06216.pdf>

PONCE, Jacqueline. *Evaluación de ocupación de la banda UHF (450 – 512 MHz) en la ciudad de Riobamba, para su optimización por medio de radio cognitiva* [En línea] (Tesis de posgrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador. 2019. pp. 1-55. [Consulta: 2022-04-21]. Disponible en: <http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/9439/1/20T01133.pdf>

REYES, L., & CARMONA, F. A. *La investigación documental para la comprensión ontológica del objeto de estudio.* [En línea]. 2020 [Consulta: 2022-05-12]. Disponible en: <https://bonga.unisimon.edu.co/bitstream/handle/20.500.12442/6630/La%20investigaci%C3%B3n%20documental%20para%20la%20comprensi%C3%B3n%20ontol%C3%B3gica%20del%20objeto%20de%20estudio.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ROMÁN, Clara. *Análisis de las pérdidas por propagación en la banda de 3.5 GHz en una plantación de cítricos a partir de medidas experimentales* [En línea] (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena- Colombia. 2021. pp. 1-52. [Consulta: 2021-07-05]. Disponible en: <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/10089/tfg-romana.pdf?sequence=1>

RODRÍGUEZ, Orlando., HERNÁNDEZ, Reynaldo., TORNO, Leonardo., GARCÍA, Leonid.; & RODRÍGUEZ, Roland. Telefonía móvil celular: origen, evolución, perspectivas. *Ciencias Holguín* [en línea], 2005, (Cuba) 11 (1), pp. 1-18. [Consulta: 2022-04-08]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/1815/181517913002.pdf>

RSEFALICANTE. *Reflexión y Refracción* [En línea]. 2022 [Consulta: 2022-04-09]. Disponible en: <http://rsefalicante.umh.es/TemasOndas/Ondas09.htm>

RUÍZ, Omar. & FLORES, Mauricio. *Análisis comparativo de modelos de propagación en un sistema WIMAX 2.3 GHz y 3.5 Ghz* [En línea] (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Managua-Nicaragua. 2014. pp. 1-86. [Consulta: 2022-04-13]. Disponible en: <https://ribuni.uni.edu.ni/1252/1/39821.pdf>

SÁNCHEZ, Hugo., REYES, Carlos. & MEJÍA, Katia. *Manual de términos en investigación científica, tecnológica y humanística* 1ª ed. Perú: Universidad Ricardo Palma, 2018, pp. 1-144

SEGALES, Fredy. *Diseño y simulación de red de transporte IPRAN, en la ciudad de Arequipa para una red LTE (4G)* [En línea] (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa- Perú. 2014. pp. 1-110. [Consulta: 2022-04-08]. Disponible en: <http://190.119.145.154/bitstream/handle/UNSA/3146/IEsepefja.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

SPECTRAGEOSPATIA. *MobileMapper® Field Android* [En línea]. 2017 [Consulta: 2022-07-20]. Disponible en: https://spectrageospatial.com/wp-content/uploads/MMF_Andr_GSG_es_B.pdf

SUÁREZ, Wilman. *Observatorio de radio comunicaciones para el análisis del espectro radio eléctrico en la zona 1 del Ecuador* [En línea] (Tesis de posgrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra-Ecuador. 2021. pp. 1-100. [Consulta: 2022-04-21]. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/11917/2/PG%20994%20TRABAJO%20GRADO.pdf>

UIT. *Manual Propagación de las ondas radioeléctricas en sistemas terrenales móviles terrestres en las bandas de ondas métricas/Decimétricas.* Ginebra: Oficina de Radiocomunicaciones, 2002, pp. 1-107

VILCHEZ, Víctor. *Implementación de los modelos de propagación de gran escala entre 0.5 GHz y 100 GHz de acuerdo a las especificaciones del 3GPP para aplicaciones móviles 5G* [En línea] (Tesis de posgrado). Pontificia Universidad Católica Del Perú, Lima- Perú. 2018. pp. 1- 88. [Consulta: 2022-04-09]. Disponible en:

https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/11864/VILCHEZ_VICTOR_PROPAGACION_MOVILES_5G.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

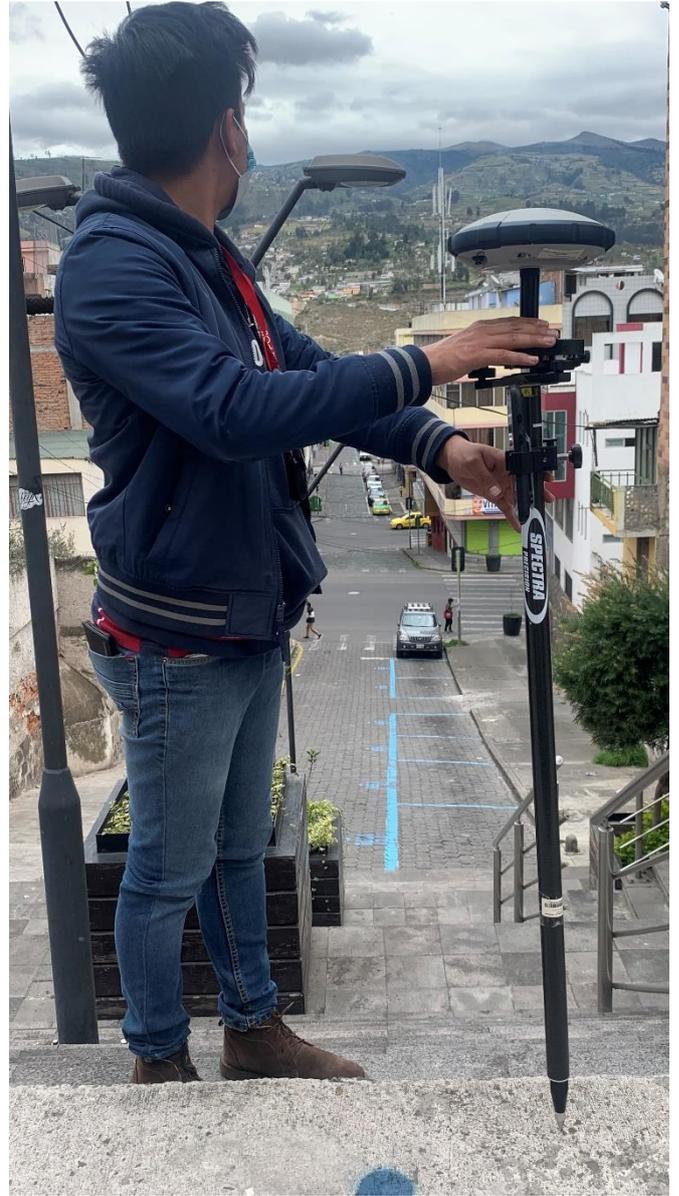
ANEXOS

ANEXO A: LEVANTAMIENTO DE COORDENADAS









ANEXO B: PUNTOS DE MEDICIÓN EB3 DE PE1 A PE24

PE1



PE2



PE3



PE4



PE5



PE6



PE7



PE8



PE9



PE10



PE11



PE12



PE13



PE14



PE15



PE16



PE17



PE18



PE19



PE20



PE21



PE22



PE23



PE24



ANEXO C: PUNTOS DE MEDICIÓN EB5 DE P1 A P24

P1



P2



P3



P4



P5



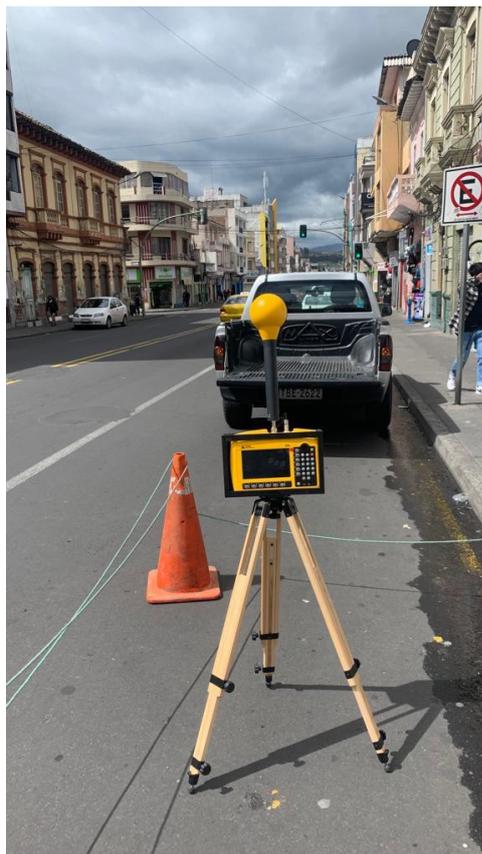
P6



P7



P8



P9



P10



P11



P12



P13



P14



P15



P16



P17



P18



P19



P20



P21



P23







**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL
APRENDIZAJE**



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

Fecha de entrega: 17/03/2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Nombres – Apellidos: Anthony Marcelo Flores Núñez
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Informática y Electrónica
Carrera: Telecomunicaciones
Título a optar: Ingeniero en Telecomunicaciones
f. Analista de Biblioteca responsable: <p style="text-align: right;">Ing. Fernanda Arévalo M.</p>