



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE TELECOMUNICACIONES

**“ANÁLISIS DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA PARA LA RED
4G DE CNT UTILIZANDO DISPOSITIVOS MÓVILES EN EL
CENTRO HISTÓRICO DE AMBATO”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

AUTOR:

BRYAN FRANCISCO MANZANO TORO

Riobamba – Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE TELECOMUNICACIONES

**“ANÁLISIS DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA PARA LA RED
4G DE CNT UTILIZANDO DISPOSITIVOS MÓVILES EN EL
CENTRO HISTÓRICO DE AMBATO”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

AUTOR: BRYAN FRANCISCO MANZANO TORO

DIRECTOR: ING. JEFFERSON ALEXANDER RIBADENEIRA RAMIREZ PhD.

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Bryan Francisco Manzano Toro

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

Yo, Bryan Francisco Manzano Toro, 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, 10 de noviembre del 2023



Bryan Francisco Manzano Toro

C.I: 210076156-4

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE TELECOMUNICACIONES

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, “ANÁLISIS DE COBERTURA RADIOELECTRICA PARA LA RED 4G DE CNT UTILIZANDO DISPOSITIVOS MOVILES EN EL CENTRO HISTORICO DE AMBATO”, realizado por los señor: **BRYAN FRANCISCO MANZANO TORO**, 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. Alberto Leopoldo Arellano Aucancela Mgtr. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 _____	10/11/2023 _____
Ing. Jefferson Alexander Ribadeneira Ramírez PhD. DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	 _____	10/11/2023 _____
Ing. Paúl David Moreno Avilés PhD. ASESOR DEL TRIBUNAL	 _____	10/11/2023 _____

DEDICATORIA

A Dios todopoderoso y a mi Virgencita de Agua Santa. A mi madre Elva quien con sus constantes enseñanzas y consejos me guió por el camino del bien. A mi padre Ángel quien con su fortaleza y lucha constante me permitió culminar tan anhelado sueño, a mis hermanos Hendry, Milena, Gaby, Merwin y Santiago quienes con cada aliento no dejaron desmayar el desarrollo de este trabajo. A mis tíos Luis, Nelly, Rosa, Carmita y Fernando por ser como segundos padres para mí cuando es de felicitarme, corregirme o aconsejarme. A mis primos Fabian, Fabricio por ser un apoyo en el transcurso de la universidad y Vinicio por ser un ejemplo a seguir como profesional y guiarme con su experiencia en esta última etapa. Finalmente, a todas las personas que confiaron en mí, sin desmayar ante las adversidades que presenta la vida. El tiempo de Dios es perfecto, no hay que temer.

Bryan

AGRADECIMIENTO

A Dios y mi Virgencita de Agua Santa por escuchar mis plegarias y permitirme cumplir este sueño. A mis padres, hermanos, tíos, primos y a toda mi familia por su constante e incondicional apoyo.

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

A mi tutor Ingeniero Jefferson Ribadeneira PhD y asesor Ingeniero David Moreno PhD, quienes con su amplia experiencia me han guiado durante la realización del presente trabajo de titulación para que pueda ser culminado con éxito.

A la familia Jami por acogerme y ayudarme a tener una última oportunidad cuando más lo necesitaba en la culminación de esta Ingeniería, en especial a mi novia Yomito quien ha sido un pilar y soporte enorme desde que llegó a mi vida.

Finalmente, a LGB Sistemas e Infinity Internet por darme la oportunidad de superarme, culminar mis estudios y trabajar al mismo tiempo, a mis compañeros de trabajo en especial al Ingeniero Sergio Toscano por sus consejos, paciencia y apoyo.

Bryan

INDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xiv
RESUMEN.....	xv
SUMMARY	xvi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1. Planteamiento del Problema	2
1.2. Objetivos.....	2
<i>1.2.1. Objetivo general</i>	<i>2</i>
<i>1.2.2. Objetivos específicos.....</i>	<i>2</i>
1.3. Justificación.....	3
<i>1.3.1. Justificación teórica</i>	<i>3</i>
<i>1.3.2. Justificación Práctica.....</i>	<i>3</i>
1.4. Hipótesis o pregunta de investigación.....	4
<i>1.4.1. Hipótesis general de investigación.....</i>	<i>4</i>
<i>1.4.2. Hipótesis específicas de investigación</i>	<i>4</i>
CAPÍTULO II	
2. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	5
2.1. Antecedentes de investigación.....	5
2.2. Cuarta Generación de Comunicaciones Móviles (4G)	6
<i>2.2.1. Conceptos básicos de 4G</i>	<i>6</i>
<i>2.2.1.1. Sub-Portadora</i>	<i>6</i>
<i>2.2.1.2. OFDM – Multiplexación por división de frecuencia ortogonal</i>	<i>7</i>
<i>2.2.1.3. OFDMA y SC-FDMA – Técnicas LTE de acceso</i>	<i>7</i>
<i>2.2.1.4. MIMO</i>	<i>7</i>
<i>2.2.2. Características de 4G.....</i>	<i>7</i>
<i>2.2.3. Evolución de LTE</i>	<i>9</i>
<i>2.2.4. Arquitectura LTE.....</i>	<i>10</i>
<i>2.2.4.1. Núcleo de red (EPC)</i>	<i>11</i>
<i>2.2.4.2. Red de acceso (E-UTRAN)</i>	<i>12</i>
<i>2.2.5. LTE Advanced (4G+)</i>	<i>13</i>

2.3.	Requerimientos definidos por la ITU	14
2.3.1.	<i>Tasa binaria pico.....</i>	14
2.3.2.	<i>Latencia.....</i>	14
2.3.3.	<i>Eficiencia espectral.....</i>	15
2.3.4.	<i>Throughput en la banda de la célula.....</i>	15
2.3.5.	<i>Movilidad</i>	15
2.3.6.	<i>Cobertura</i>	15
2.3.7.	<i>Flexibilidad espectral.....</i>	15
2.4.	Parámetros radioeléctricos en LTE.....	15
2.4.1.	<i>RSRP.....</i>	15
2.4.2.	<i>RSRQ.....</i>	16
2.4.3.	<i>RSSI.....</i>	16
2.4.4.	<i>SINR</i>	16
2.4.5.	<i>CQI.....</i>	17
2.5.	Servicio Móvil Avanzado Ecuador	17
2.5.1.	<i>Corporaciones Nacional de Telecomunicaciones – CNT.....</i>	17
2.5.2.	<i>Porcentaje de población con acceso al servicio móvil.....</i>	18
2.5.3.	<i>Penetración del SMA.....</i>	20
2.5.4.	<i>Participación de mercado.....</i>	23
2.5.5.	<i>Cobertura por provincia</i>	24
2.5.6.	<i>Cobertura de CNT en el Centro Histórico de Ambato</i>	25
2.6.	Análisis de Calidad de servicio por ARCOTEL.....	26
2.6.1.	<i>SMA-QoS-9 Zona de cobertura.....</i>	27
2.6.2.	<i>Valor objetivo y metodología de medición</i>	27
2.6.3.	<i>Tamaño de la muestra y variables que conforman el índice.....</i>	28
2.7.	Network Cell Info Lite	29
CAPÍTULO III		
3.	MARCO METODOLÓGICO	30
3.1.	Métodos técnicas e instrumentos de investigación	30
3.1.1.	<i>Investigación Documental.....</i>	30
3.1.2.	<i>Investigación Descriptiva</i>	30
3.2.	Metodología de desarrollo.....	31
3.2.1.	<i>Fase Planificar.....</i>	31
3.2.2.	<i>Fase Hacer.....</i>	36
3.2.3.	<i>Fase verificar</i>	41
3.2.4.	<i>Fase Actuar.....</i>	56
CAPÍTULO IV		
4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	57
4.1.	Procesamiento, análisis e interpretación de resultados	57

4.1.1.	<i>Organización de valores RSRP</i>	57
4.1.2.	<i>Histogramas</i>	58
4.1.3.	<i>Evaluación como usuario</i>	62
4.1.4.	<i>Evaluación basada en ARCOTEL</i>	64
4.1.5.	<i>Evaluación de simulación en el Software Profesional</i>	68
4.2.	<i>Discusión</i>	70

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	72
5.1.	CONCLUSIONES	72
5.2.	RECOMENDACIONES	73

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Características Generales de 4G	8
Tabla 2-2: Descripción elementos núcleo de red.....	12
Tabla 2-3: Parámetros de calidad de señal LTE	17
Tabla 2-4: Cobertura 2G+3G y 4G.....	19
Tabla 2-5: Porcentaje de cobertura poblacional 4G.....	20
Tabla 2-6: Nivel mínimo de señal en cobertura para tecnologías 2G, 3G y 4G.....	28
Tabla 3-1: Características Xiaomi Redmi Note 8 PRO.....	33
Tabla 3-2: Características TECNO CAMON 18P.....	33
Tabla 3-3: Parámetros de calidad de LTE en Network Cell Info Lite	38
Tabla 3-4: Ubicación, Altura y Potencia de radiobases simuladas	54
Tabla 4-1: Promedios de RSRP (dBm) de dispositivos móviles	57
Tabla 4-2: Datos organizados de RSRP en Av.12 de noviembre. Dia 1.....	58
Tabla 4-3: Datos organizados de RSRP en Unidad Nacional.Dia 1	59
Tabla 4-4: Porcentaje de valores RSRP en los 7 días de medición.....	61
Tabla 4-5: Nivel mínimo de señal en cobertura para tecnologías 2G, 3G y 4G	65
Tabla 4-6: Porcentaje de cobertura de la red 4G de CNT en el centro histórico de Ambato	67

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1: Generaciones Celulares.....	6
Ilustración 2-2: Diferentes diagramas de antenas.....	7
Ilustración 2-3: Funcionamiento de SIMO y MIMO.....	10
Ilustración 2-4: Elementos de Red UMTS evolucionada (EPC).....	11
Ilustración 2-5: Elementos que contituyen la Red Troncal (EPC)	11
Ilustración 2-6: Arquitectura Envolved Packet System.....	13
Ilustración 2-7: Densidad Anual SMA (%)	18
Ilustración 2-8: Líneas activas por tipo de servicio.....	21
Ilustración 2-9: Penetración del SMA en Ecuador.....	22
Ilustración 2-10: Penetración del SMA en Ecuador por tecnología.....	22
Ilustración 2-11: Participación promedio del mercado SMA	23
Ilustración 2-12: Cobertura del SMA por provincia y por tecnología 2G, 3G y 4G	24
Ilustración 2-13: Porcentaje RBS por tecnología y por provincia.....	25
Ilustración 2-14: Cobertura 4G de CNT en el centro histórico de Ambato	26
Ilustración 3-1: Estructura del ciclo de Deming.....	31
Ilustración 3-2: Área del centro histórico de Ambato	32
Ilustración 3-3: Configuración de medidas y configuración de base de datos en Network Cell Info Lite.....	34
Ilustración 3-4: Calles Principales del centro histórico de Ambato	35
Ilustración 3-5: Calles Secundarias del Centro Histórico de Ambato	35
Ilustración 3-6: Medidas tomadas en calles principales	36
Ilustración 3-7: Medidas tomadas en calles secundarias	37
Ilustración 3-8: Parámetros de calidad RSRP en Network Cell Info Lite	37
Ilustración 3-9: Mediciones en calles principales a caminando, día 1	39
Ilustración 3-10: Mediciones en calles principales en vehículo, día 1	40
Ilustración 3-11: Mediciones en calles secundarias caminando, día 1	40
Ilustración 3-12: Mediciones en calles secundarias en vehículo, día 1	40
Ilustración 3-13: Diagrama de flujo del diseño de una red LTE en el Software Profesional.....	41
Ilustración 3-14: Abrir un nuevo template y seleccionar LTE.....	42
Ilustración 3-15: Pagina de USGS	43
Ilustración 3-16: Archivo GRD cargado en el Software Profesional	43
Ilustración 3-17: Apartado GEO en el Software Profesional.....	43
Ilustración 3-18: Canalización y asignación de frecuencias SMA.....	44
Ilustración 3-19: Ancho de banda concesionado	45

Ilustración 3-20: Definición de las bandas de frecuencias	45
Ilustración 3-21: Configuración de ancho de banda.....	46
Ilustración 3-22: Modelos de propagación en el Software Profesional	46
Ilustración 3-23: Modelo de propagación SUI aplicado a los transmisores	47
Ilustración 3-24: Parámetros globales del sistema LTE	47
Ilustración 3-25: Parámetros de tráfico	48
Ilustración 3-26: Configuración de perfiles de usuario	48
Ilustración 3-27: Configuración de ambiente centro histórico de Ambato.....	49
Ilustración 3-28: Antena utilizada en radio network equipment	49
Ilustración 3-29: Creación de una nueva plantilla LTE.....	50
Ilustración 3-30: Configuración general en plantilla LTE.....	50
Ilustración 3-31: Configuración de celda en plantilla LTE	51
Ilustración 3-32: Ubicación de una radiobase en Network Cell Info Lite	52
Ilustración 3-33: Ubicación de transmisores en el Software Profesional	52
Ilustración 3-34: Medición de altura de Rb9 con Smart Meashure.....	53
Ilustración 3-35: Medición de altura de Rb1 con Smart Meashure.....	53
Ilustración 3-36: Tipos de predicciones en el Software Profesional	54
Ilustración 3-37: Parámetros de calidad de señal LTE configurados	55
Ilustración 3-38: Cobertura por nivel de señal en el Software Profesional	56
Ilustración 4-1: Histograma de las mediciones de RSRP del día 1 caminando	60
Ilustración 4-2: Histograma de las mediciones de RSRP del día 1 en vehículo	61
Ilustración 4-3: Promedio de valores RSRP (dBm) en el Centro Histórico de Ambato Caminando	62
Ilustración 4-4: Promedio de valores RSRP en el Centro Histórico de Ambato en Vehículo ...	62
Ilustración 4-5: Promedio de valores RSRP (dBm) de cada calle representado con colores. Caminando	63
Ilustración 4-6: Promedio de valores RSRP (dBm) de cada calle representado con colores. En vehículo.....	64
Ilustración 4-7: Histograma de cobertura por nivel de señal en Software Profesional	69
Ilustración 4-8: Histograma de cobertura por nivel de señal en Software Profesional en porcentajes.....	69

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** MEDICION DE RSRP (dBm) EN CALLES PRINCIPALES Y SECUNDARIAS
- ANEXO B:** MEDICION DE ALTURA DE RADIOBASES RB2, RB3, RB4, RB5, RB6, RB7, RB8, RB10, RB11
- ANEXO C:** HISTOGRAMA DE LAS MEDICIONES RSRP DEL DÍA 2 CAMINANDO
- ANEXO D:** HISTOGRAMA DE LAS MEDICIONES RSRP DEL DÍA 2 EN VEHÍCULO
- ANEXO E:** HISTOGRAMA DE LAS MEDICIONES RSRP DEL DÍA 3 CAMINANDO
- ANEXO F:** HISTOGRAMA DE LAS MEDICIONES RSRP DEL DÍA 3 EN VEHÍCULO
- ANEXO G:** HISTOGRAMA DE LAS MEDICIONES RSRP DEL DÍA 4 CAMINANDO
- ANEXO H:** HISTOGRAMA DE LAS MEDICIONES RSRP DEL DÍA 4 EN VEHÍCULO
- ANEXO I:** HISTOGRAMA DE LAS MEDICIONES RSRP DEL DÍA 5 CAMINANDO
- ANEXO J:** HISTOGRAMA DE LAS MEDICIONES RSRP DEL DÍA 5 EN VEHÍCULO
- ANEXO K:** HISTOGRAMA DE LAS MEDICIONES RSRP DEL DÍA 6 CAMINANDO
- ANEXO L:** HISTOGRAMA DE LAS MEDICIONES RSRP DEL DÍA 6 EN VEHÍCULO
- ANEXO M:** HISTOGRAMA DE LAS MEDICIONES RSRP DEL DÍA 7 CAMINANDO
- ANEXO N:** HISTOGRAMA DE LAS MEDICIONES RSRP DEL DÍA 7 EN VEHÍCULO
- ANEXO O:** TABLA CON PROMEDIOS TOTALES DE LOS VALORES RSRP CAMINANDO
- ANEXO P:** TABLA CON PROMEDIOS TOTALES DE LOS VALORES RSRP EN VEHÍCULO
- ANEXO Q:** TABLA CON PORCENTAJEJ DE COBERTURA (%C) DE CADA CALLE CAMINANDO
- ANEXO R:** TABLA CON PORCENTAJES DE COBERTURA (%C) DE CADA CALLE EN VEHÍCULO

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-1:	Calculo de RSRQ.....	16
Ecuación 2-1:	Porcentaje de cobertura.....	28
Ecuación 4-1:	Porcentaje de cobertura.....	65

RESUMEN

En la presente investigación, se realiza un análisis de cobertura radioeléctrica para la red 4G de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT) utilizando dispositivos móviles en el Centro Histórico de Ambato. Se realizó mediciones del parámetro radioeléctrico Señal de Referencia de Potencia Recibida (RSRP) en 13 calles principales y 20 calles secundarias durante 7 días utilizando la aplicación de pago Network Cell Info Lite versión 6.7.4. Además, se realizó la simulación de la red en un software profesional, tomando parámetros técnicos realistas. La campaña de recolección de datos se desarrolló caminando y en vehículo con dos dispositivos móviles, uno de gama media y otro de gama baja. Para evaluar la red se utilizó el parámetro SMA-QoS-9 establecido por la ARCOTEL para el cumplimiento de la calidad de servicio en la tecnología 4G, con lo cual se concluyó que el nivel de cobertura se encuentra por debajo del porcentaje exigido, ya que la red tiene un porcentaje de cobertura total (%C) de 84.71% para mediciones caminando y 76.24% para mediciones en vehículo, estos resultados se los atribuyó a que la ciudad de Ambato no es una zona demográfica completamente plana. Por otro lado, la red simulada cumple con el porcentaje requerido ($\geq 95\%$) de valores mayores o iguales al valor mínimo (≥ -100 dBm). Además, se evidenció un empeoramiento de 2.53 dBm en los valores RSRP de las mediciones en vehículo con un promedio de -94.14 dBm en comparación con las mediciones caminando que tienen -91.61 dBm, factores como el estar en un entorno indoor y el efecto Doppler, provocaron el deterioro de la señal recibida cuando se tomó las medidas en vehículo. Las calles Cuenca, Vicente Rocafuerte, Juan León Mera y Quito son las que presentan los promedios más bajos de RSRP (-103.08 dBm a -100.04 dBm).

Palabras clave: <RADIOCOMUNICACIONES>, <SEÑAL DE REFERENCIA DE POTENCIA RECIBIDA (RSRP)>, <ANÁLISIS DE COBERTURA>, <COBERTURA RADIOELÉCTRICA>, <CALIDAD DE SERVICIO>, < PARÁMETRO SMA-QOS-9>.



SUMMARY

In the present investigation, an analysis of radio coverage is carried out for the 4G network of the National Telecommunications Corporation (CNT) using mobile devices in the Historic Center of Ambato. Measurements of the Received Reference Power Signal (RSRP) radio parameter were carried out in 13 main streets and 20 secondary streets during 7 days using the paid application Network Cell Info Lite version 6.7.4. In addition, the simulation of the network was carried out in a professional software, taking realistic technical parameters. The data collection campaign was carried out on foot and by vehicle with two mobile devices, one mid-range and the other low-end. To evaluate the network, the SMA-QoS-9 parameter established by ARCOTEL for compliance with the quality of service in 4G technology was used, with which it was concluded that the level of coverage is below the required percentage, since the network has a total coverage percentage (%C) of 84.71% for walking measurements and 76.24% for vehicle measurements. These results were attributed to the fact that the city of Ambato is not a completely flat demographic area. On the other hand, the simulated network complies with the required percentage ($\geq 95\%$) of values greater than or equal to the minimum value (≥ -100 dBm). In addition, a worsening of 2.53 dBm was evidenced in the RSRP values of the vehicle measurements with an average of -94.14 dBm compared to the walking measurements that have -91.61 dBm, factors such as being in an indoor environment and the Doppler effect, caused the deterioration of the signal received when the measurements were taken in the vehicle. Cuenca, Vicente Rocafuerte, Juan León Mera and Quito streets are those with the lowest RSRP averages (-103.08 dBm to -100.04 dBm).

Keywords: <RADIO COMMUNICATIONS>, <REFERENCE POWER SIGNAL RECEIVED (RSRP)>, <COVERAGE ANALYSIS>, <RADIO COVERAGE>, <QUALITY OF SERVICE>, <SMA-QOS-9 PARAMETER>.



MSc. Wilson G. Rojas

NOMBRE Y FIRMA PROFESOR

C.I 0602361842

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las conexiones mediante dispositivos móviles se han vuelto indispensables para los seres humanos, siendo difícil imaginar momentos o situaciones en las que no se pueda estar conectado en cualquier lugar, ya sea para comunicación, entretenimiento, trabajo, información o cualquier otra utilidad que se le pueda dar a un celular. MINTEL en su plan de servicio universal 2022-2025, menciona que la ampliación de cobertura de redes de telecomunicaciones para el Servicio Móvil Avanzado permite aumentar el uso de teleeducación, telemedicina, teletrabajo, etc. Modalidades de uso de servicio que fueron desarrolladas debido a la crisis sanitaria por COVID-19. Por tanto, se establece el contar al menos con redes de cuarta generación (4G) o incluso superior, a lo largo de todo el territorio ecuatoriano, dando énfasis a distintas parroquias rurales que en la actualidad aun no cuentan con SMA o que lo disponen solamente con tecnologías de segunda generación. Al Servicio Móvil Avanzado (SMA) se lo define como el servicio de telecomunicaciones del servicio móvil terrestre, que permite toda transmisión, emisión y recepción de signos, señales, escritos, imágenes, sonidos, voz, datos o información de cualquier naturaleza.

El presente trabajo de titulación pretende analizar en primera instancia el estado del arte de la tecnología 4G LTE, además de la evolución y cobertura que tiene en Ecuador, específicamente de la Corporación Nacional de las Telecomunicaciones (CNT) en el centro histórico de la ciudad de Ambato capital de la provincia de Tungurahua. Los límites del polígono patrimonial de Ambato comprenden las calles Olmedo, 13 de abril, 12 de noviembre, Unidad Nacional, Humberto Albornoz, Lizardo Ruiz, Pérez de Anda y Francisco Flor

Posteriormente se planteó realizar medidas de campo del parámetro radioeléctricos que exige o recomienda la ARCOTEL para el control de la calidad de servicio en la tecnología 4G a las diferentes operadoras que dan al servicio móvil avanzado en el país. Al finalizar la investigación fue posible evaluar los datos medidos, simulados como los de referencia y determinar el estado actual en el que se encuentra la red 4G LTE de CNT en cuanto a cobertura radioeléctrica en el lugar ya mencionado.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del Problema

Las redes de comunicaciones móviles en la actualidad tienen un gran impacto en la población por los constantes avances que se han desarrollado a lo largo de los años, además de las facilidades que brinda a los usuarios finales en cuanto a movilidad y cobertura. Con las continuas actualizaciones de las redes móviles 4G y 5G incluso se asocia este tipo de tecnología con el internet de las cosas IoT, ciudades inteligentes, hogares inteligentes, etc.

A pesar de los significativos avances de las comunicaciones móviles, todavía existen países, ciudades y sectores con niveles bajos de intensidad de señal recibida, por lo tanto, hay clientes de diferentes proveedores que les preocupa la calidad de servicio (QoS). En Ecuador, es de suma importancia el desarrollo de análisis de cobertura radioeléctrica de manera periódica en todos los sectores que constituyen esta región, con el objetivo de tener un continuo avance de la tecnología móvil y determinar las ciudades que necesitan una mejora en cuanto a la cobertura 4G. Teniendo en cuenta también la pronta llegada de 5G, tecnología que está en implementación en diferentes países del mundo. La investigación actual se estableció en una de las provincias céntricas del territorio ecuatoriano, específicamente en el centro histórico de la ciudad de Ambato, sector más frecuentado por la ciudadanía ambateña además de extranjeros en cualquier época del año.

1.2. Objetivos

1.2.1. *Objetivo general*

Analizar la cobertura radioeléctrica para la red 4G de CNT utilizando dispositivos móviles en el centro histórico de Ambato.

1.2.2. *Objetivos específicos*

- Estudiar el estándar 4G LTE-A para determinar los parámetros radioeléctricos de valoración de la señal en una red móvil.
- Medir y recolectar información de campo de los parámetros radioeléctricos de la red 4G de CNT utilizando un dispositivo móvil.

- Simular la cobertura de la red LTE-A de CNT mediante un software profesional.
- Evaluar los parámetros radioeléctricos medidos, simulados y de referencia para determinar los niveles de operación del servicio 4G de CNT.

1.3. Justificación

1.3.1. Justificación teórica

El número de dispositivos móviles conectados en el Ecuador es de 18,044,535 millones para agosto de 2023, lo que constituye un 99.12 % de la población, el número de líneas activas esta constituido por telefonía, telefonía e internet, internet y datos. Cabe destacar que estos datos se encuentran variando día a día por los diferentes hábitos adquiridos por la población a partir de la influencia que se atravesó por la pandemia COVID-19. (ARCOTEL, 2023)

Entre los operadores que destacan en el país se encuentran CONECEL (Claro), OTECEL (Movistar) y CNT EP (CNT). La operadora CNT perteneciente al estado ecuatoriano según (ARCOTEL, 2023) en su página oficial indica que hasta el momento tiene una participación en el mercado en función del número de líneas activas del 17.54 %

Un dato importante para determinar el lugar donde se desarrolla el presente estudio es que al ser Tungurahua una de las provincias del Ecuador con mayor cantidad de infraestructura implementada tanto para las tecnologías 2G,3G y 4G según (ARCOTEL, 2019, p. 14), ubicada en la posición quinta después de Pichincha, Guayas, Manabí y Azuay. Además, siendo Ambato su capital, permite que la mayor cobertura por parte de las distintas operadoras del país se encuentre en sus alrededores, la calidad de servicio es un aspecto importante a tomar en cuenta por parte de los clientes y los proveedores de tal manera que un análisis de los distintos parámetros radioeléctricos que posee CNT en el centro histórico de Ambato permitirá determinar el estado en el que se encuentra la cobertura en este sector.

1.3.2. Justificación Práctica

Para tener conocimiento de la cobertura medida de 4G por parte del operador CNT en el centro histórico de Ambato, es necesario realizar la medición de parámetros radioeléctricos utilizando diferentes herramientas móviles. Una de las herramientas que permitió analizar la cobertura es la aplicación Network Cell Info Lite, la cual está disponible para Android, la aplicación cubre todas

las redes celulares incluyendo LTE, HSPA+, HSPA, WCDMA, EDGE, GSM, CDMA, EVDO y se encuentra disponible en la Play Store de manera gratuita. Se determinó la versión 6.7.4 pagada para realizar las mediciones. Por otro lado, se planteó el uso de un software de propagación profesional como herramienta complementaria para evaluar los valores medidos en campo.

1.4. Hipótesis o pregunta de investigación

1.4.1. Hipótesis general de investigación

¿Es necesario analizar la cobertura radioeléctrica para la red 4G de CNT utilizando dispositivos móviles en el centro histórico de Ambato?

1.4.2. Hipótesis específicas de investigación

¿Es importante estudiar el estándar 4G LTE-A para determinar los parámetros radioeléctricos de valoración en una red móvil?

¿Cómo se mide y recolecta información de campo de los parámetros radioeléctricos de la red 4G de CNT utilizando un dispositivo móvil?

¿Cómo se simula la cobertura de la red LTE-A de CNT mediante un software profesional?

¿Es necesario evaluar los parámetros radioeléctricos medidos, simulados y de referencia para determinar los niveles de operación del servicio 4G de CNT?

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

En el presente capítulo se describen los conceptos teóricos básicos para el desarrollo del presente proyecto de investigación, tales como el estándar 4G LTE-A, el funcionamiento de una red móvil de cuarta generación, los parámetros radioeléctricos de valoración de la señal que tienen este tipo de redes y la cobertura que brinda CNT con 4G en la actualidad en el centro histórico de Ambato. También, se determina tanto la aplicación móvil para la medición en campo de los parámetros radioeléctricos como el software profesional para la simulación de la red LTE-A de CNT, para finalmente analizar las recomendaciones de LTE que servirán como referencia en los niveles de operación del servicio.

2.1. Antecedentes de investigación

De manera general, desde principio de los 80 se evidenció la evolución de las redes de comunicaciones móviles, como se observa en la ilustración 2-1, esto ha provocado un cambio en la naturaleza de los propios sistemas, la velocidad de estos, su tecnología y las frecuencias utilizadas. Cada una de las generaciones llega a diferenciarse de su predecesora por diferentes características, teniendo en cuenta las principales como lo son las frecuencias, ancho de banda y tecnología inalámbrica (Grau, 2019, p. 1).

La primera generación de comunicaciones móviles (1G) era completamente analógica, solo permitía realizar llamadas de voz. La segunda generación (2G) o GSM, introdujo el envío y recepción de pequeños mensajes de texto, llamadas SMS (Short Message Service). Con la tercera generación (3G) o UMTS, aparecen los teléfonos inteligentes o Smartphone, con los cuales se puede navegar en internet con interfaces similares o los de un ordenador. En la actualidad, se utiliza la cuarta generación (4G), LTE (Long Term Evolution) o LTE-A (LTE Advanced) siendo LTE-A una evolución de la primera, la cual permite aumentar la velocidad de bajada llegando a máximos teóricos de 300 Mbps. Además, permite acceder a servicios como videos de alta definición, redes sociales y video llamadas por internet. Por último, la quinta generación (5G), la nueva generación de comunicaciones móviles, que al igual que las generaciones 3G y 4G, ha sido desarrollada por el foro internacional de estandarización de tecnologías de comunicaciones móviles 3GPP, permite tasas de transmisión del orden de gigabits por segundo (Gb/s), latencias muy bajas (1 ms) y un aumento del número tanto de usuarios como de dispositivos. (Grau, 2019, p. 1)

En el Ecuador desde el año 2008 la cantidad de líneas por tipo de servicio ha evolucionado constantemente. Para el cierre del año 2013, la mayor cantidad de líneas correspondía a líneas exclusivamente para servicio de voz, al obtener una participación del 95.42% del total de tipo de servicios. A diciembre del año 2019, la mayor cantidad de líneas del servicio móvil avanzado corresponden a líneas de voz y datos, al contar con 8,81 millones de abonados y una participación del 56%. Este cambio está influenciado por el uso de teléfonos inteligentes (smartphone) conectados a la red. (Alvino, 2021)

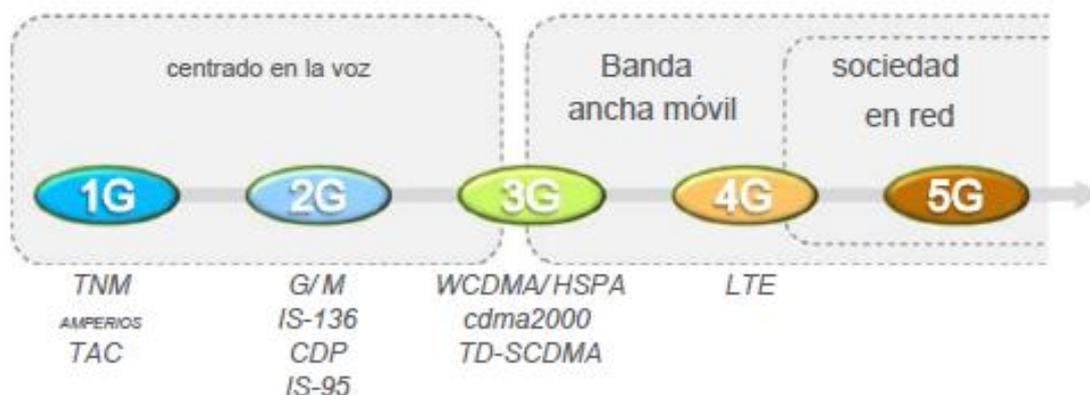


Ilustración 2-1: Generaciones Celulares

Fuente: Parkvall, S.; Dahlman, E.; Skold, J. 2016

2.2. Cuarta Generación de Comunicaciones Móviles (4G)

El sistema móvil de cuarta generación está basado totalmente en IP. El objetivo principal de la tecnología 4G es proporcionar alta velocidad, alta calidad, alta capacidad, seguridad y servicios de bajo coste para servicios de voz y datos, multimedia e internet a través de IP. Para usar la red de comunicación móvil 4G, los terminales de los usuarios deben ser capaces de seleccionar el sistema inalámbrico de destino. Para proporcionar servicios inalámbricos en cualquier momento y en cualquier lugar, la movilidad del terminal es un factor clave en 4G. (ARCOTEL, 2020, p. 8)

2.2.1. Conceptos básicos de 4G

2.2.1.1. Sub-Portadora

LTE al utilizar modulación OFDM permite tener sub-portadoras, estas subportadoras están distribuidas sobre toda la banda de frecuencias asignadas al usuario, pudiendo obtenerse un espectro de hasta 1200 bandas. El estándar establece hasta 40 posibles bandas de operación para trabajar en modo duplexión por división de frecuencia (FDD) o en modo duplexión por división de tiempo (TDD) (Analuisa, 2014, p. 16)

2.2.1.2. OFDM – Multiplexación por división de frecuencia ortogonal

Se la considera como un tipo de multiplexación donde varias señales en banda base son moduladas utilizando diferentes frecuencias de sub-portadoras, las mismas que conformaran una única señal. (Analuisa, 2014, p. 16)

2.2.1.3. OFDMA y SC-FDMA – Técnicas LTE de acceso

LTE utiliza dos técnicas de múltiple acceso, OFDMA y SC-FDMA, como se detalla a continuación: (Analuisa, 2014, p.16) .

- OFDMA: Es una extensión de OFDM, usada en downlink (enlace de bajada) de LTE.
- SC-FDMA: Extensión de OFDM, es usada en uplink (enlace de subida) de LTE.

2.2.1.4. MIMO

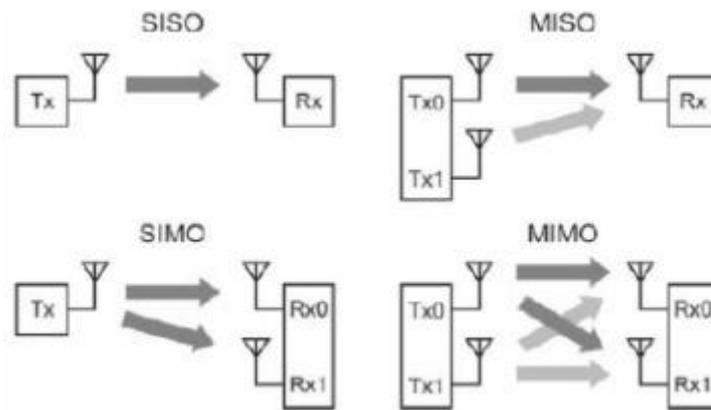


Ilustración 2-2: Diferentes diagramas de antenas

Fuente: Huidobro J., 2014

Es uno de los componentes claves en LTE para alcanzar la eficiencia espectral, se lo considera como el uso de múltiples antenas en transmisión y recepción (MIMO, Múltiple Input Múltiple Output). El objetivo de utilizar múltiples antenas es para aumentar la cobertura y la capacidad de la capa física. La adición de más antenas para un sistema radio da la posibilidad de mejorar en el rendimiento, debido a que la radiación de las señales se realiza por caminos físicos diferentes y llegaran con distintos retardos al receptor, como se puede observar en la ilustración 2-2. (Huidobro, 2014, p. 272)

2.2.2. Características de 4G

En el boletín estadístico trimestral del mes de mayo del 2020 el cual habla sobre el servicio móvil avanzado en el Ecuador, se menciona las características para la cuarta generación (4G) las cuales se han detallado en la tabla 2-1. (ARCOTEL, 2020, p. 8)

Tabla 2-1: Características Generales de 4G

Año	2010
Estándares	Long-Term Evolution Time-Division Duplex (LTE-TDD y LTE-FDD) estándar WiMAX móvil (802.16m estandarizado por el IEEE) Velocidad – 100 Mbps en movimiento y 1 Gbps cuando se permanece inmóvil. Telefonía IP nuevas frecuencias, ancho de banda de canal de frecuencia más amplia.
Tecnologías de multiplexación / acceso	OFDM, MC-CDMA. CDMA y LAS-Red-LMDS
Ancho de Banda	5-20 MHz, opcionalmente hasta 40 MHz. Bandas de frecuencia: LTE cubre una gama de diferentes bandas. En América del Norte se utilizan las de 700, 750, 800, 850, 1900, 1700/2100 (AWS), 2300 (WCS) 2500 y 2600 MHz (bandas 2, 4, 5, 7, 12, 13, 17, 25, 26, 30, 41); 2500 MHz. En América del Sur; 700, 800, 900, 1800, 2600 MHz. En Europa (bandas 3,7, 20); 1800 y 2600 MHz. En Asia (bandas 1, 3, 5, 7, 8, 11, 13, 40) 1800 MHz y 2300 MHz. En Australia y Nueva Zelanda (bandas 3, 40).
Servicios	Acceso móvil web, telefonía IP, servicios de juegos, TV móvil de alta definición, videoconferencia, televisión 3D, computación en la nube, gestión de flujos múltiples de difusión y movimientos rápidos de teléfonos

	móviles, Digital Video Broadcasting (DVB), acceso a información dinámica, dispositivos portátiles.
--	--

Fuente: ARCOTEL, 2020

Realizado por: Manzano B., 2023

2.2.3. Evolución de LTE

Cada una de las generaciones anteriores fueron necesarias para llegar a la implementación y desarrollo de 4G por tal motivo como menciona (Grau, 2019, p. 6) las ventajas y diferencias que se obtuvieron respecto a sus predecesoras, están incluidas en sus características principales que son:

- **Flexibilidad espectral:** El interfaz radio debe poder operar en asignaciones de espectro de diferentes tamaños: 1.4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz y 20 MHz, tanto para Uplink como para Downlink. Esto permite el despliegue de LTE en diferentes espectros y con diferentes características como FDD (Duplexacion por Division de Frecuencia) y TDD (Duplexacion por Division de Tiempo).
- **OFDM para Donwlink y SC-FDMA para Uplink:** En la estación base se realiza el proceso más complejo y con más recursos de computación. La modulación OFDM (Orthogonal Frecuency Division Multiplexing) requiere de un amplificador de potencia con alta linealidad por lo que es más adecuado para el enlace descendente. Por otro lado, en el enlace ascendente, se utiliza SC-FDMA (Single Carrier-Frcuency Division Multiple Access), con una modulación que simplifique el transmisor, manteniendo la ortogonalidad de los usuarios, compatibilidad con técnicas MIMO y reduciendo el consumo de potencia.
- **Múltiples antenas de transmisión y recepción:** Las velocidades de transmisión aumentan al añadir MIMO y SIMO, es decir, con el aumento del número de antenas de transmisión y recepción, permite diversos flujos de datos, esta técnica también se denomina multiplexación espacial. Esto permite una mejora en la eficiencia espectral (bps/Hz) y la velocidad o throughput (Mbps), como se observa en la ilustración 2-3.

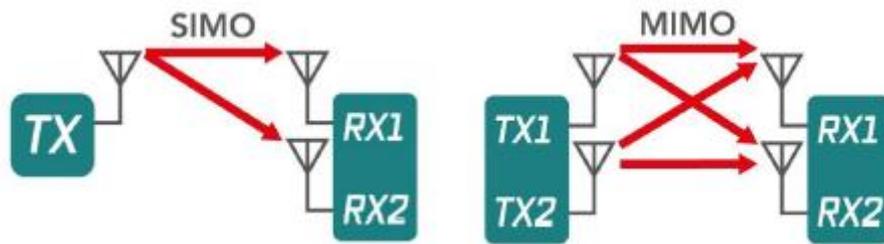


Ilustración 2-3: Funcionamiento de SIMO y MIMO

Fuente: Grau S., 2019

- **Simplificación de arquitectura de red:** Las estaciones base cuentan con más inteligencia repartiendo recursos, esto permite reducir el número de nodos en la red, de tal manera que también se consigue reducir la latencia de la red.
- **Todo IP, servicios de conmutación de paquetes:** la red es orientada a IP, una arquitectura <<all IP>> de extremo a extremo.
- **Transmisión de contenidos multicast/broadcast:** Para poder soportar una gran cantidad de usuarios consumiendo el mismo servicio simultáneamente, es necesario hacer transmisiones en modo difusión. Este tipo de transmisiones utilizan una conexión punto a multipunto para todos los usuarios, no suponiendo ninguna limitación del número de usuarios que pueden recibir el servicio dentro del área de cobertura.

2.2.4. *Arquitectura LTE*

La arquitectura de 4G es la EPS (Evolved Packet System), la cual es una evolución de la arquitectura GPRS teniendo una arquitectura simplificada además de una red todo IP (all IP network, AIPN). (Grau, 2019, p. 10)

LTE reduce de manera significativa su arquitectura con respecto a sus generaciones predecesoras, esta cuenta únicamente con dos elementos los cuales son: núcleo de red y red de acceso como se observa en la ilustración 2-4, donde se puede observar que la primera corresponde al EPC (Red Troncal) (Evolved Packet Core) que proviene del SAE (Arquitectura LTE) (System Architecture Evolution), y de la red de acceso también llamada E-ULTRAN (Red de Acceso Inalámbrico) la cual es una evolución de UTRAN, conformando entre los dos elementos el EPS (Evolved Packet System) o también denominada como red UMTS evolucionada. (Analuisa, 2014, p. 17)

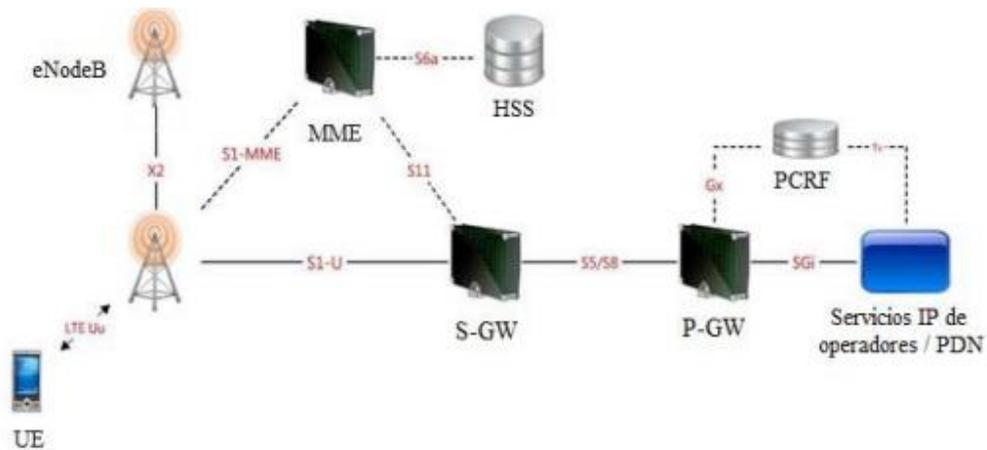


Ilustración 2-4: Elementos de Red UMS evolucionada (EPC)

Fuente: Analuisa J., 2014

El EPS conecta a los usuarios a las redes lógicas para conexión PDN (Packet Data Network) utilizando direcciones IP, lo que le permite utilizar varios servicios como: VoIP, Internet, elementos de EPS y sus diferentes interfaces. (Analuisa, 2014, p. 18)

2.2.4.1. Núcleo de red (EPC)

También conocido como red troncal (EPC) en el SAE (Arquitectura LTE), consta de varios elementos como se puede observar en la ilustración 2-5.

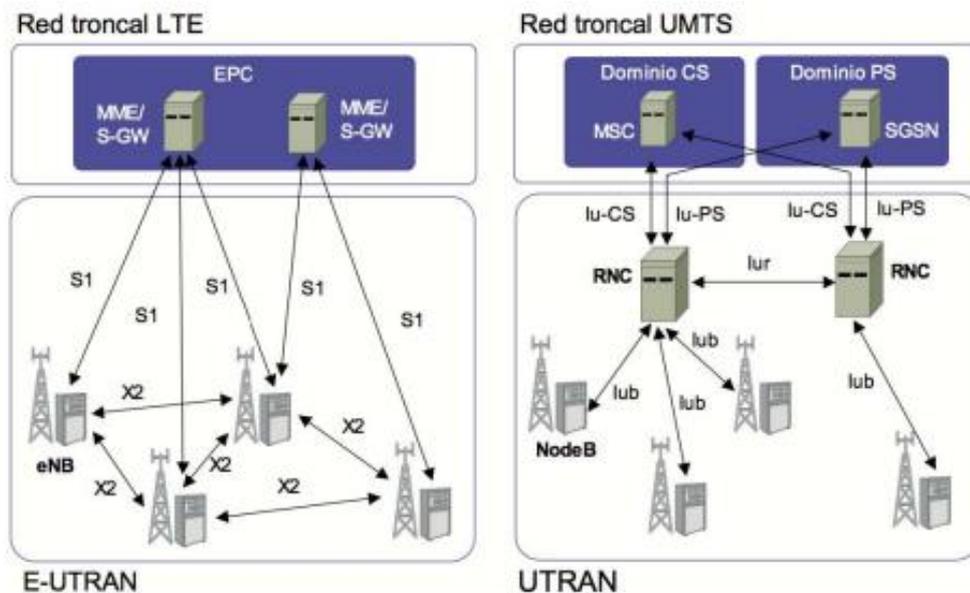


Ilustración 2-5: Elementos que constituyen la Red Troncal (EPC)

Fuente: Analuisa J., 2014

En la tabla 2-2, (Analuisa, 2014, p.19) da a conocer las funciones que cumplen los elementos que constan en una red LTE.

Tabla 2-2: Descripción elementos núcleo de red.

Elementos de la Red Troncal	Función
MME	Dentro de sus funciones principales se encuentra autenticar, autorizar y seleccionar el PDN correcto para crear el enlace entre el E-UTRAN y redes externas.
P-GW	Asigna una dirección IP al equipo de usuario, realiza la facturación basada en el flujo que este genera, además de estar encargado de la aplicación de QoS (Calidad de servicio).
S-GW	La función que cumple este elemento es la de transferir paquetes IP, almacenar información de movilidad local cuando un equipo de usuario ha pasado por varias estaciones base.
PCRF	Crea reglas que permiten dar autorización QoS, así como controlar funciones de facturación.
HSS	Aloja datos acerca de suscripción e información dinámica como la identificación del MME, base de datos principal del sistema.

Fuente: Analuisa J., 2014

Realizado por: Manzano B., 2023

2.2.4.2. Red de acceso (E-UTRAN)

La parte radio, el E-UTRAN, está formado por:

- User equipment (UE): Denominado terminal de usuario
- Evolved Node B (eNodeB): Se la define como una 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.

E-UTRAN es la interfaz entre la eNodeB y la Core Network, se realiza mediante el protocolo S1-U para los datos de usuario y S1-MME para información de control (handovers, paging, etc.) También hay conexión directa entre diferentes eNodeB mediante la interfaz X2, como se puede observar en la ilustración 2-6. (Grau, 2019, p. 11)

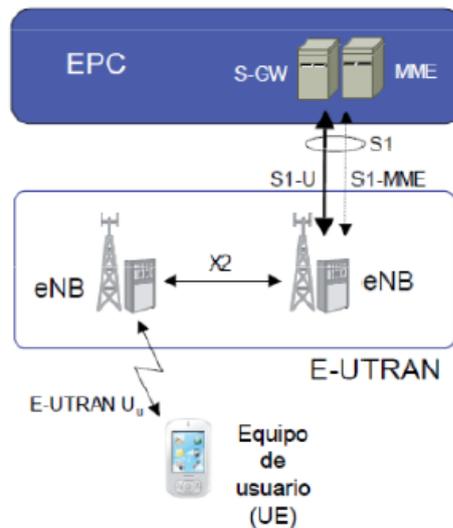


Ilustración 2-6: Arquitectura Evolved Packet System

Fuente: Grau S., 2019

2.2.5. LTE Advanced (4G+)

Aunque la tecnología LTE tiene una mejora en comparación con sus generaciones predecesoras erróneamente se la ha comercializado como 4G, debido a que no cumple con los requisitos de velocidad que determina la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) con 100 Mbps en condiciones de alta movilidad, 1 Gbps en condiciones de baja movilidad y 1 GHz para puntos de acceso fijos, sin cortes de conexión. Sin embargo, debido a la mejora que se tuvo sobre 3G, la UIT permitió a los fabricantes y proveedores etiquetar a la tecnología como 4G. (Grau,2019, p.12)

Con el pasar del tiempo LTE evolucionó nuevamente llegando el denominado LTE-Advanced (LTE-A), 4G LTE, LTE+ o LTE True 4G. El cual cumple con todos los requisitos estándar para una red 4G, en donde las ratios de velocidad se acercan mucho a 1 Gbps identificando a la tecnología como de cuarta generación. (Grau,2019, p.12)

A continuación, se detallan algunas diferencias con LTE estándar:

- La diferencia principal es la comunicación entre dispositivos en donde LTE-A usa la agregación de operadoras, que se basa en la utilización de varias bandas de frecuencia y antenas LTE simultáneamente para transmitir y recibir información. Esto permite que haya una reducción en la congestión, aumentando el ancho de banda y la velocidad de conexión.

- La red LTE-A emplea repetidores más eficientes e inteligentes que reducen la latencia y soportan más usuarios.
- Tanto los dispositivos LTE como LTE-A tienen varias antenas (omnidireccionales, direccionales y sectoriales) y conectores, los cuales se utilizan dependiendo del caso de uso. Las más utilizadas son las MIMO para LTE-A.
- Por la variación que existe en las bandas de frecuencia en diferentes países, solo los dispositivos con radios de banda dual pueden funcionar.
- La recepción por parte de LTE-A requiere más potencia que la de LTE, siendo ineficiente en terminales con una capacidad de potencia muy limitada.
- Para poder distinguir entre LTE y 4G como usuarios, se puede descargar una película de 1 Gbyte, en donde se podrá notar que LTE tardará medio minuto, mientras que 4G tardaría entre 6 y 7 segundos.

2.3. Requerimientos definidos por la ITU

La ITU (Unión Internacional de Telecomunicaciones) aconseja tomar en cuenta varios requerimientos que son necesarios para 4G-LTE (Analuisa, 2014, p. 14), los cuales son:

2.3.1. Tasa binaria pico

De acuerdo a la ITU el sistema debe soportar una tasa binaria pico de 1 Gbps y de 500 Mbps, en caso de utilizar antenas MIMO (Múltiple entrada - múltiple salida) 4x4 para downlink (enlace de bajada).

2.3.2. Latencia

Para analizar la latencia existen dos puntos que hay que analizar:

- **Plano de control**

El tiempo de transición desde el modo IDL (con dirección IP asignada) a modo conectado debe ser menos de 50 milisegundos, incluyendo el establecimiento del plano de usuario.

El objetivo para la transición desde un estado pasivo a un modo conectado, DRX (Discontinuous Reception) debe ser menos de 10 milisegundos, excluyendo el retardo de genera el DRX.

- **Plano de usuario**

El tiempo de tránsito unidireccional entre el instante en que un paquete está disponible en la capa IP del nodo UE (equipo de usuario) y en que lo está en el nodo frontera de la red de acceso radio, la latencia será inferior a 5 milisegundos en condición descargada: un único usuario y un solo flujo de datos.

2.3.3. Eficiencia espectral

La Unión Internacional de Telecomunicaciones aconseja que en el canal descendente cuando se tiene una configuración de antena 8x8, LTE debe soportar una eficiencia espectral pico de 30 bps/Hz, y en el ascendente una eficiencia espectral pico de 15 bps/Hz con una configuración de antena 4x4.

2.3.4. Throughput en la banda de la célula

La ITU en sus requerimientos hace posible que el throughput de usuario en el borde de la célula sea el más alto posible generando pérdidas mínimas de paquetes.

2.3.5. Movilidad

Para la ITU el sistema LTE debe soportar movilidad a lo largo de la red celular para varias velocidades las cuales van desde 350 Km/h hasta 500 Km/h dependiendo de la banda de frecuencia que se esté utilizando en la red.

2.3.6. Cobertura

El objetivo mínimo de alcance que se tiene en LTE es de 5 Km de radio en células con una ligera degradación de hasta 30 Km de radio.

2.3.7. Flexibilidad espectral

Las bandas de frecuencia identificadas aparte de las que ya están fijadas en LTE release 8 son las siguientes: 450-470, 698-862 y 790-862 MHz, 2.3-2.4, 3.4-4,2 y 4.4-4.99 GHz. En donde LTE soporta tanto FDD (Frequency División Duplexing) como TDD (Time División Duplexing) para bandas emparejadas y sin emparejar.

2.4. Parámetros radioeléctricos en LTE

2.4.1. RSRP

Reference Signal Received Power (RSRP) se lo considera como la potencia de la señal en una celda relacionada con la métrica que sirve como entrada para procesos de reelección de una celda

y decisiones de handover. Para una celda en específico, el RSRP se define como el promedio de potencia (en Watios) de los Resource Element (Res) que transportan la señal de referencia (RS) de una celda sin considerar el ancho de banda. (Lema, 2017, p.77)

Las mediciones de RSRP normalmente son expresados en dBm, y son utilizadas principalmente para establecer un análisis de las celdas que se encuentran disponibles en función de la fuerza de señal (Lema, 2017, p.77).

2.4.2. RSRQ

Reference Signal Received Quality (RSRQ) se lo considera como una métrica de medida de la calidad de la señal recibida, esta métrica es utilizada principalmente para proveer un análisis de las celdas disponibles en función de la calidad de la señal. La RSRQ es usada en los procedimientos de reelección de la celda o procesos de handover, cuando la métrica de RSRP no es suficiente para efectuar los procedimientos, esta métrica se encuentra definida como se muestra en la ecuación 1-1. (Lema, 2017, p.77)

$$RSRQ = \frac{N * RSRP}{LTE\ carrier\ RSSI}$$

Ecuación 1-1: Calculo de RSRQ

2.4.3. RSSI

Received SIGNAL Strength Indicator (RSSI) es el promedio lineal de toda la potencia recibida observada solo en símbolos OFDM que transporta señales de referencia hacia el UE (Lema, 2017, p.78), incluyendo tanto celdas a las que se encuentra enganchado el UE, como también las celdas a las que no está enganchado. Además, se considera señales co-canal, interferencia de canales adyacentes y ruido térmico, no se considera el ancho de banda de los N recursos de radio. El RSSI es utilizado como un parámetro de entrada para el cálculo del parámetro LTE-A RSRQ.

2.4.4. SINR

El SINR (Relación de señal a Interferencia + Ruido) denominado también como CINR se lo define como la relación del nivel de señal al nivel de ruido (o simplemente la relación de señal a ruido). El valor SINR se mide en dB. Su interpretación se basa en que mientras mayor sea el valor, mejor será la calidad de la señal. Con valores SINR menores a 0, la velocidad de conexión será muy baja, ya que esto significa que hay más ruido en la señal recibida que la parte útil, y también existe la probabilidad de perder la conexión LTE (Mossner, 2023)

2.4.5. CQI

El indicador de calidad del canal también denominado CQI (Mossner, 2023) lo explica diciendo que, para cada estación de abonado UE y cada bloque de frecuencia de la portadora, se forman indicadores de calidad de canal CQI. Dependiendo de la velocidad de transferencia de datos requerida por el UE, la estación base toma una decisión sobre el número de bloques de recursos asignados a un usuario en particular. Además, de qué bloques de frecuencia asignar a los usuarios. De tal manera que a cada UE se les asignan aquellos bloques de recursos que tienen el CQI más alto y, por lo tanto, la mejor relación señal / ruido. Este parámetro puede tomar valores de 0 a 15 en donde mientras mayor sea el valor, mejor será la velocidad que puede asignar una estación base LTE.

En la tabla 2-3 se muestran los diferentes valores de estos parámetros, que corresponden a la calidad de señal LTE: excelente (verde), bueno (amarillo), aceptable (naranja) y malo (rojo). (Mossner, 2023)

Tabla 2-3: Parámetros de calidad de señal LTE

		RSRP (dBm)	RSRQ (dB)	SINR (dB)	Colores de referencia
RF Conditions	Excelente	> -80	> -10	> 20	
	Bueno	-80 to -90	-10 to -15	13 to 20	
	Aceptable	-90 to -100	-15 to -20	0 to 13	
	Malo	< -100	< -20	<0	

Fuente: Toapanta K., 2019

Realizado por: Manzano B., 2023

2.5. Servicio Móvil Avanzado Ecuador

Al Servicio Móvil Avanzado (SMA) se lo define como el servicio de telecomunicaciones del servicio móvil terrestre, que permite toda transmisión, emisión y recepción de signos, señales, escritos, imágenes, sonidos, voz, datos o información de cualquier naturaleza. (ARCOTEL, 2019, p.7)

2.5.1. Corporaciones Nacional de Telecomunicaciones – CNT

La Corporación Nacional de Telecomunicaciones, CNT S.A se crea el 30 de octubre del 2008 gracias a la fusión de las empresas Pacifictel S.A y Andinatel S.A. Entre las primeras actividades que realiza CNT se encuentra la ampliación del cable Panamericano debido a que este se

encontraba saturado, dicha inversión fue de 35 millones de dólares, logrando incrementar 26.66 veces la capacidad internacional. (Zevallos, J; et al, 2014, p.125)

Para el 30 de julio del 2010 se oficializa la fusión de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT-EP) con la empresa de telefonía móvil TELECA, con lo que CNT se convierte en una empresa que ofrece los servicios tanto de telefonía fija como de telefonía móvil, con este hecho a finales del 2010, CNT logro instalar 15.950 líneas nuevas para los sectores más necesitados de las provincias de Chimborazo, Cotopaxi, Pastaza y Tungurahua. (Zevallos, J; et al, 2014, p.126)

CNT en los periodos del 2007 al 2011 realiza una inversión de 1.030 millones de dólares en la ejecución de proyectos de telecomunicaciones, entre los principales se encuentra el desarrollo de la plataforma HSPA+ la cual le permite tener una red de telefonía móvil escalable a LTE-4G a nivel nacional, además la construcción de más de 1000 kilómetros de fibra óptica, con el objetivo de entregar más de 60.000 líneas telefónicas en todo el país. De igual manera, hasta finales de 2012 la CNT-EP entregó cerca de 108 Centro Integrados de Servicios (CIS) a nivel nacional, con una inversión de 7'560.000 dólares. (Zevallos, J; et al, 2014, p.126)

2.5.2. Porcentaje de población con acceso al servicio móvil

El servicio móvil avanzado ha tenido algunas variaciones de crecimientos cada año, esto debido a las constantes depuraciones que sufren las bases internas de los operadores de servicio. Para finales del año 2019 la densidad del SMA alcanzó el 91.81% como se observa en la ilustración 2-7. (ARCOTEL, 2019, p.7)

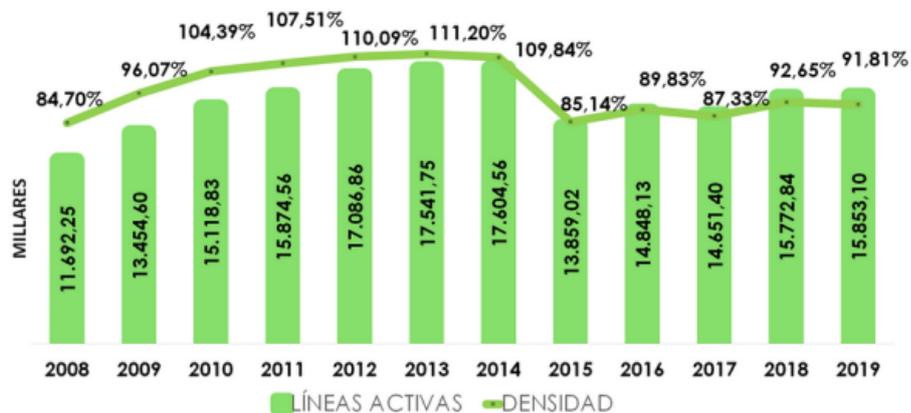


Ilustración 2-7: Densidad anual SMA (%)

Fuente: ARCOTEL, 2019

Por otro lado, MINTEL en su informe de rendición de cuentas menciona que el incremento de tecnologías móviles (3G, 4G), permiten a la población ecuatoriana acceder a servicios de telefonía móvil o internet de banda ancha por medios inalámbricos-móviles, principalmente smartphone y tabletas (MINTEL, 2021, p. 16). En diciembre del 2020 se determina una cobertura poblacional con tecnología 2G+3G del 97.11% llegando a 17.004.585 ciudadanos, es decir 97 personas de cada 100 tiene cobertura de SMA con tecnologías 2G+3G a nivel nacional.

En la tabla 2-4 se puede observar la cobertura poblacional con la tecnología 4G la cual tiene un porcentaje del 60.74% equivalente a 10.635.965 de potenciales usuarios, en otras palabras, 60 de cada 100 personas acceden al SMA con 4G, estos datos representan un alza de 12.74 puntos porcentuales, desde 2017 respecto al 2020. (MINTEL, 2021, p. 16)

Tabla 2-4: Cobertura 2G+3G y 4G

Cobertura	2017	2019	2020
Cobertura poblacional con tecnología 2G+3G	90.50%	96.76%	97.11%
	15.089.554 Personas	16.708.503 Personas	17.004.585 Personas
Cobertura poblacional con tecnología 4G	48.00%	50.72%	60.74%
	8.003.300 Personas	8.758.322 Personas	10.635.965 personas

Fuente: MINTEL, 2021

Realizado por: Manzano B., 2023

MINTEL en su plan de servicio universal 2022-2025, menciona que la ampliación de cobertura de redes de telecomunicaciones para el Servicio Móvil Avanzado permitirá aumentar el uso de teleeducación, telemedicina, teletrabajo, etc. (MINTEL, 2022, p. 30). Modalidades de uso de servicio que tuvieron que ser desarrolladas debido a la crisis sanitaria por COVID-19. Por tanto, se establece el contar al menos con redes de cuarta generación (4G) o incluso superior, a lo largo de todo el territorio ecuatoriano, dando énfasis a distintas parroquias rurales que en la actualidad aun no cuentan con SMA o que lo disponen solamente con tecnologías de segunda generación. El indicador a evaluar hasta el año 2025 se puede observar en la tabla 2-5:

Tabla 2-5: Porcentaje de cobertura poblacional 4G

INDICADOR N.- 4	Porcentaje de cobertura poblacional con tecnología 4G o superior			
	Línea Base 2021	Meta 2022	Meta 2023	Meta 2024
75.92%	80.00%	85.00%	90.00%	92.00%

Fuente: MINTEL, 2022

Realizado por: Manzano B., 2023

En la actualidad, según (MINTEL, 2023, p. 11) en el Ecuador existe una cobertura poblacional de la tecnología 4G del 77.63% mientras que para las tecnologías 2G y 3G del 95.91%. La falta de cobertura móvil con tecnologías 2G y 3G provocan que el 4.09% de la población (aproximadamente 726 mil ecuatorianos) no accedan a los servicios móviles de voz, datos o mensajes de texto (SMS), por otro lado, la falta de cobertura móvil de la tecnología 4G provoca que el 22.37% (aproximadamente 3.97 millones de ecuatorianos) no puedan acceder a los servicios antes mencionados. Además, es de suma importancia la adquisición de nuevas tecnologías frente a las actuales, por los mejores servicios para la ciudadanía y considerando la obsolescencia tecnológica.

También cabe indicar que el Plan Nacional de Desarrollo “Plan de Creación de Oportunidades” (PND 2021-2025) el cual establece en su objetivo 5. “Proteger a las familias, garantizar sus derechos y servicios, erradicar la pobreza y promover la inclusión social”, política 5.5. “Mejorar la conectividad digital y el acceso a nuevas tecnologías de la población”, como meta 5.5.1 de incrementar cobertura poblacional con tecnologías 4G o superior al 92.00% hasta el 2025, la misma meta se ha planteado en el Plan Estratégico Institucional del MINTEL, motivo por el cual se requiere establecer lineamientos de política pública que permita alcanzar este objetivo planteado. (MINTEL, 2023, p. 12)

2.5.3. Penetración del SMA

La Penetración del Servicio Móvil Avanzado se define como el total de líneas activas de SMA sobre el total de población a nivel nacional, con una desagregación por tipo de tecnología (2G, 3G, 4G) (MINTEL, 2023, p. 12).

A partir del año 2008 el número de líneas activas por tipo de servicio ha tenido una evolución constante, por ejemplo, para el cierre del año 2013, la mayor cantidad de líneas activas correspondían a líneas exclusivamente para servicio de voz teniendo una participación en el

mercado del 95.42% del total de tipo de servicios (voz, voz y datos, M2M, internet móvil), para diciembre del año 2019, se da un cambio, en donde la mayor cantidad de líneas de servicio móvil avanzado correspondían a líneas de voz y datos, contando con 8.81 millones de abonados y una participación del 56% como se observa en la ilustración 2-8. Este cambio significativo corresponde al uso de teléfonos inteligentes (smartphone) conectados a la red. (ARCOTEL, 2019, p. 9)



Ilustración 2-8: Líneas activas por tipo de servicio

Fuente: ARCOTEL, 2020

En los últimos años, a partir del mes de diciembre de 2015 hasta el mes de agosto de 2022, el Servicio Móvil Avanzado, creció aproximadamente 3.3 millones de líneas activas, llegando a un 95.36% de penetración del servicio móvil, lo que equivale a 17.16 millones de líneas activas a nivel nacional, de las cuales el 78.5 % (13.47 millones de líneas) corresponden a líneas prepago y el 21.5 % (3.67 millones) a líneas pospago. (MINTEL, 2023, p. 12)

Un año después, para agosto del 2023 se cuenta con una densidad nacional de líneas activas del 99.12%, es decir una cantidad de 18,044,535 líneas activas (telefonía, telefonía e internet, internet, datos) frente a una población nacional de 18,205,188 (ARCOTEL, 2023). En la ilustración 2-9 se muestra el crecimiento histórico de la penetración del SMA en el Ecuador

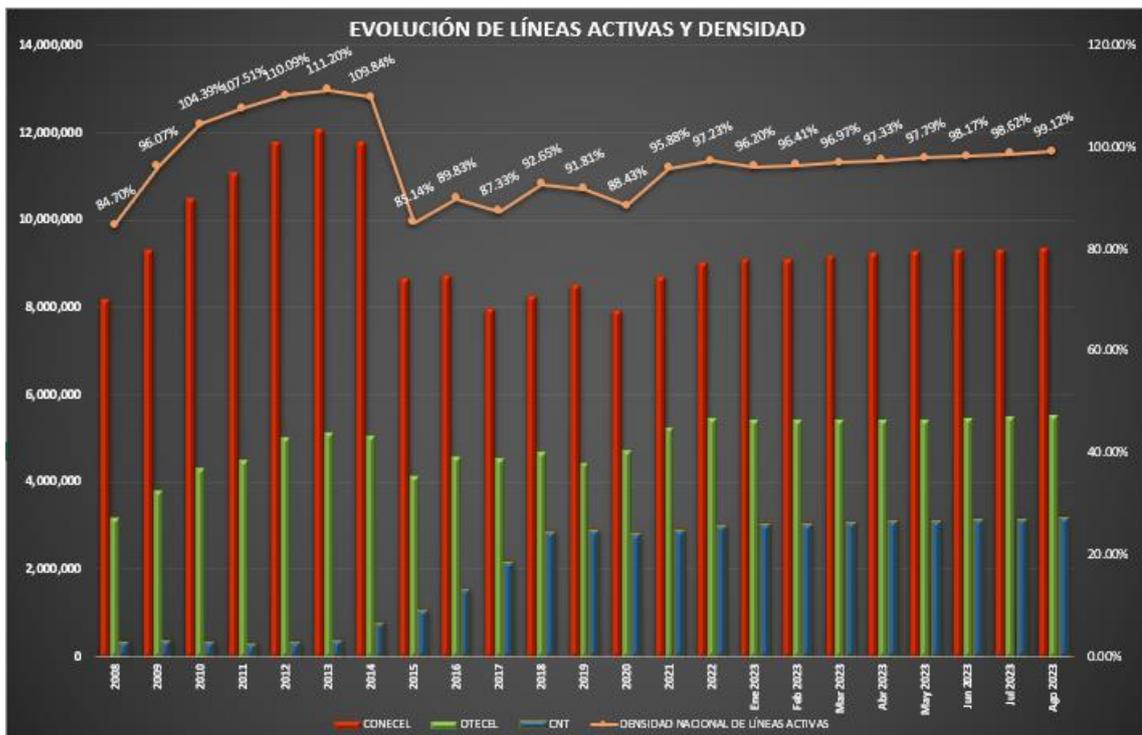


Ilustración 2-9: Penetración del SMA en Ecuador

Fuente: MINTEL, 2023

Con respecto a la penetración del servicio móvil por tecnología, el mes de agosto de 2023, la tecnología 4G representa el 60.19% de las líneas activas (10.86 millones), en cuanto a la tecnología 3G representa el 30.23% de las líneas activas (5.46 millones), finalmente la tecnología 2G concentra tan solo el 9.58% (1.73 millones) como se muestra en la ilustración 2-10. (ARCOTEL, 2023)

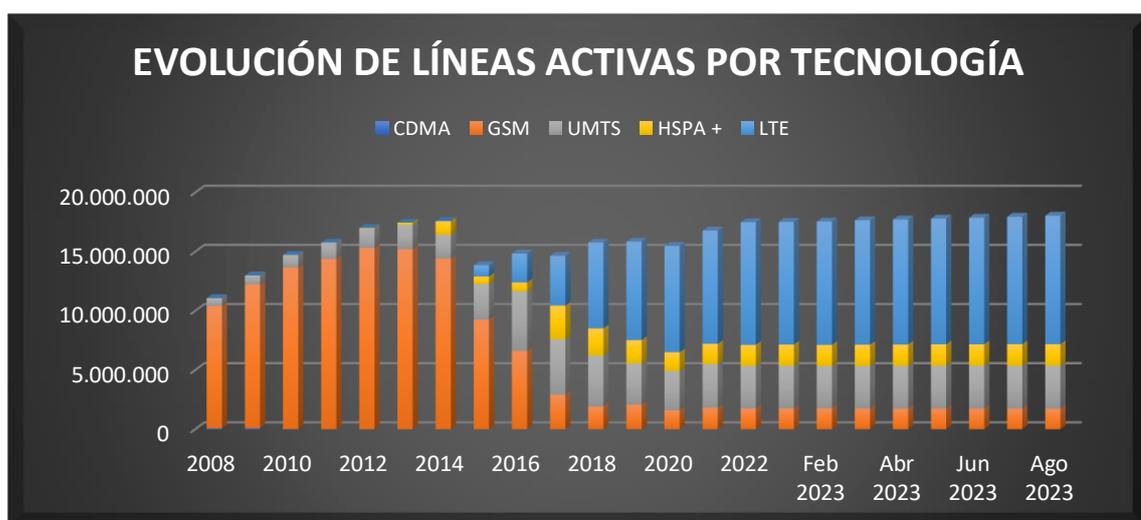


Ilustración 2-10: Penetración del SMA en Ecuador por tecnología

Fuente: ARCOTEL, 2023

2.5.4. Participación de mercado

En cuanto a la participación en el mercado de las 3 principales proveedoras de servicio (ARCOTEL, 2023) menciona que en agosto del año 2023 se registró a CONECEL S.A (Claro) con un 51.81 %, 30.65.11 % para OTECEL S.A (Movistar) Y 17.54 % para CNT EP (CNT) como se muestra en la ilustración 2-11.

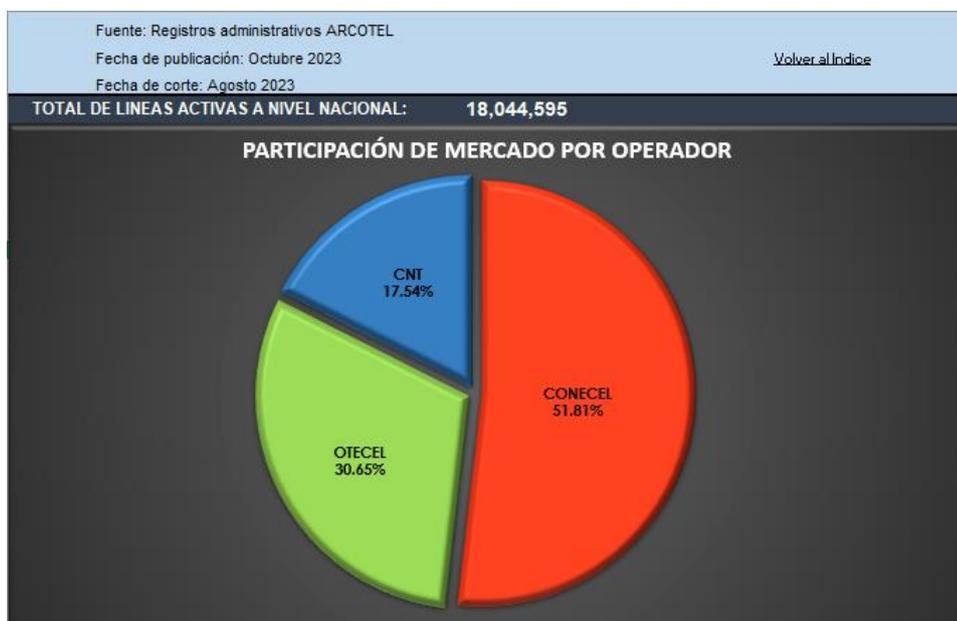


Ilustración 2-11: Participación promedio del mercado SMA

Fuente: ARCOTEL, 2023

A partir del año 2022, después de la pandemia, el Ministerio de Telecomunicaciones (MINTEL) de Ecuador, se enfocó en dar apoyo e impulso a las telecomunicaciones y la transformación digital, promoviendo la industria 4.0 y apoyando la creación de una agenda digital regional (Bnamericas,2022).

La transformación que presentaba el gobierno venía derivada de la reforma de la Ley Orgánica de Telecomunicaciones, la eliminación del impuesto especial a servicios móviles y de la creación de un Plan Nacional de Creación de Oportunidades 2021-2025. Además, se planteó que los planes para el año 2022 vendrían ligados al mercado por la recuperación económica que se estaba dando en el país. (Bnamericas, 2022)

El MINTEL destacó a finales del año 2021, 661 localidades lograron migrar de servicio 2G-3G a 4G. Además, 47 distritos fueron conectados con servicio móvil. Para ese momento Ecuador también tenía una cobertura poblacional con tecnología 4G del 60% teniendo el objetivo de llegar al final del gobierno en 2025 a un 92%, esto de acuerdo a cifras compartidas con bnamericas por la ministra de Telecomunicaciones, Vianna Maino, en octubre del 2021. (Bnamericas, 2022)

A cierre de septiembre del 2021, el país registraba más de 10 millones de líneas móviles con acceso a internet, teniendo a sus tres principales proveedoras, Claro (América Móvil) liderando el mercado con un 51.7%, seguida de Movistar con una participación de 30.7 % y CNT con un 17.6%. (Bnamericas, 2022)

2.5.5. Cobertura por provincia

En el informe sobre la política pública de telecomunicaciones 2023-2025 se menciona que al menos 14 provincias están por debajo del 60% de cobertura de la tecnología 4G, de las cuales la mayor parte se encuentran ubicadas en la región amazónica además del centro y sur del país (Ilustración 2-12). (MINTEL, 2023, p. 14)

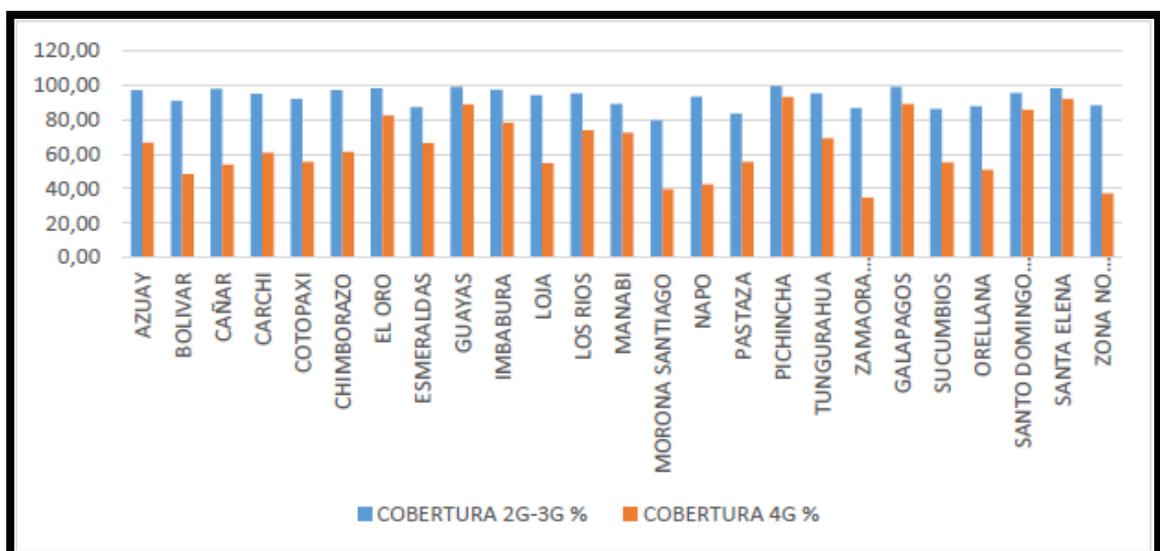


Ilustración 2-12: Cobertura del SMA por provincia y por tecnología 2G, 3G y 4G

Fuente: MINTEL, 2023

En cuanto a la tecnología 4G, las provincias que mayor cobertura son Pichincha y Santa Elena con un porcentaje alrededor del 90% de cobertura, por otro lado, también existen registros de provincias que no llegan ni al 40% de cobertura. En cuanto a Tungurahua se evidencia que se encuentra alrededor del 70% de cobertura.

Un dato a considerar son las provincias que cuentan con un mayor número de radiobases en el Ecuador, el análisis de los datos de las ilustraciones 2-12 y 2-13 permite observar que las provincias de Pichincha, Guayas, Manabí, Azuay y Tungurahua son las que poseen una mayor cantidad de infraestructura implementada tanto para las tecnologías: 2G, 3G y 4G. (ARCOTEL, 2019, p. 14)

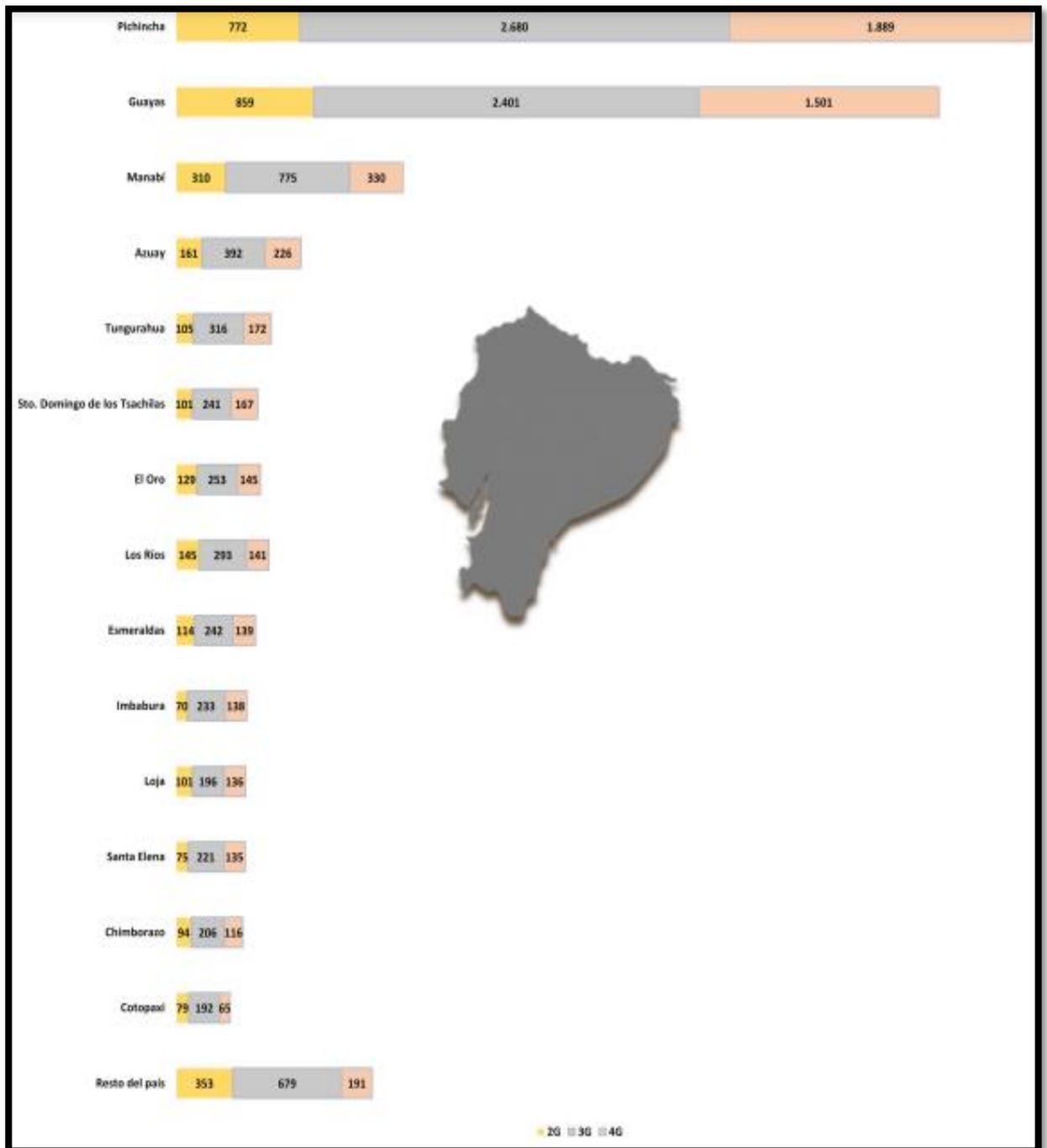


Ilustración 2-13: Porcentaje RBS por tecnología y por provincia

Fuente: ARCOTEL, 2019

2.5.6. Cobertura de CNT en el Centro Histórico de Ambato

El centro patrimonial de Ambato está compuesto por las calles: Pérez de Anda, Lizardo Ruiz, avenida Cevallos en las calles: Francisco Flor, Olmedo, Quito, Guayaquil, Montalvo, hasta la Unidad Nacional, así como la avenida 12 de noviembre y sus alrededores. (LA HORA, 2022)



Ilustración 2-14: Cobertura 4G de CNT en el centro histórico de Ambato

Fuente: CNT, 2023

Los límites del polígono patrimonial de Ambato comprenden las calles Olmedo, 13 de abril, 12 de noviembre, Unidad Nacional, Humberto Albornoz, Lizardo Ruiz, Pérez de Anda y Francisco Flor. (ARCOTEL, 2019, p. 14)

La cobertura 4G que presenta la Corporación Nacional de las Telecomunicaciones (CNT) en el centro histórico de Ambato como se muestra en la ilustración 2-14, la cobertura 4G se encuentra subrayada en color tomate. (CNT, 2023)

2.6. Análisis de Calidad de servicio por ARCOTEL

Actualmente se encuentra en vigencia una norma emitida por ARCOTEL la cual rige para el cumplimiento de la calidad de servicio, la norma define 12 parámetros de calidad identificados bajo las siglas SMA-QoS- Número de parámetro. (Chileno, 2022, p.29). Como se define a continuación:

- SMA-QoS-1 Relación con el cliente
- SMA-QoS-2 Porcentaje de reclamos generales
- SMA-QoS-3 Tiempo promedio de resolución de reclamos
- SMA-QoS-4 Tiempo promedio espera de respuesta de operador humano

- SMA-QoS-5 Porcentaje de Reclamos Facturación y debito
- SMA-QoS-6 Porcentaje de llamadas establecidas
- SMA-QoS-7 Tiempo de establecimiento de llamadas
- SMA-QoS-8 Porcentaje de llamadas caídas
- SMA-QoS-9 Zona de cobertura/Nivel mínimo de señal en zona de cobertura, únicamente para la tecnología 4G
- SMA-QoS-10 Calidad de conversación- MOS, únicamente para la tecnología 2G
- SMA-QoS-11 Porcentaje de mensajes cortos con éxito
- SMA-QoS-12 Tiempo promedio de entrega de mensajes cortos

2.6.1. SMA-QoS-9 Zona de cobertura

El parámetro escogido para la presente investigación es el SMA-QoS-9 el cual es definido en (ARCOTEL, 2017, p.28) como el nivel mínimo de señal en una parroquia establecida por el ARCOTEL dentro de un área en la cual el prestador de servicio publique su mapa de cobertura del servicio al abonado, cliente o usuario; incluye la señal disponible en carretera.

2.6.2. Valor objetivo y metodología de medición

En la resolución del año 2017 emitida por la ARCOTEL se presenta un porcentaje de nivel mínimo de cobertura a cumplir tanto en parroquias como en carreteras, se lo especifica de la siguiente manera: (ARCOTEL, 2017, p.28)

- **%C >= 95%** de nivel mínimo de señal de cobertura, para al menos el 95% de las parroquias evaluadas en el año
- **%C >= 95%** de nivel mínimo de señal de cobertura en carretera, respecto del cumplimiento de plan de expansión en carreteras, en caso que el prestador tuviera dicha obligación

La Dirección Ejecutiva de la ARCOTEL es la que determina las parroquias a ser evaluadas en el año, conforme al artículo 4 de la Norma de calidad en la prestación del servicio móvil avanzado, así como el correspondiente calendario de medición. Para las parroquias y/o carreteras se considera el método de pos procesamiento de la información utilizando la metodología de binning lineal, la cual consiste en obtener los valores promedios de las mediciones de cobertura (Rx Level / RSCP / RSRP) secuencialmente (para las mediciones se empleará un binning lineal de 10 metros. La medición es denominada drive test y se la realiza a una velocidad máxima de 60 Km/h de la cual se consideran como muestras válidas las que sean tomadas dentro de este límite de velocidad.

2.6.3. Tamaño de la muestra y variables que conforman el índice

El tamaño de la muestra estará constituido por todas las muestras colectadas durante el recorrido realizado (drive test) dentro de cada una de las parroquias y/o carreteras definidas por la Dirección Ejecutiva de la ARCOTEL (ARCOTEL, 2017, p.29)

Los valores que conforman el índice son los siguientes:

n_s : Numero de muestras con nivel de señal en el canal de control del equipo terminal superior o igual del nivel mínimo.

n : Numero de muestras validas

%C: Porcentaje de cobertura por cada parroquia o carretera, y por tecnología

El nivel mínimo de señal en cobertura es:

Tabla 2-6: Nivel mínimo de señal en cobertura para tecnologías 2G, 3G y 4G

SITIO	Rx Level (2G)	RSCP (3G)	RSRP (4G)
Zona de medición	≥ -85 dBm	≥ -85 dBm	≥ -100 dBm
Carretera	≥ -95 dBm, independiente de la tecnología		

Fuente: ARCOTEL, 2017

Realizado por: Manzano B., 2023

:

- **Rx Level:** Nivel de recepción sobre el canal de control en modo idle.
- **RSCP (Received Signal Code Power):** Potencia recibida después del despreading en modo idle
- **RSRP:** Señal de referencia de potencia recibida

El número de muestras validas (n) estará constituido por todas aquellas muestras en donde el equipo de medición tenga referencia de ubicación geográfica (coordenadas de latitud y longitud).

El cálculo para obtener el índice para parroquias es el siguiente:

$$\%C = \frac{n_s}{n} \times 100$$

Ecuación 2-1: Porcentaje de cobertura

2.7. Network Cell Info Lite

Network Cell Info Lite es una aplicación Android que permite comprobar la cobertura que se recibe en un dispositivo móvil. Cubre todas las redes celulares incluyendo LTE, HSPA+, HSPA, WCDMA, EDGE, GSM, CDMA, EVDO. Esta aplicación está disponible en la Play Store, además, también existe una versión de pago la cual es más completa. (Lorenzo, 2021). La aplicación cuenta con diferentes apartados o menús con diferentes funcionalidades interesantes para ser aprovechadas por los usuarios, entre los cuales están:

- **Medir:** Se encuentra el nombre del operador móvil al que se está conectado, además se de dos medidores de colores blanco, rojo, naranja, amarillo y verde, que indican la señal enviada y recibida.
- **Informacion de Red:** Se da un resumen completo de los diferentes parametros de la tecnologia movil que se esta utilizando.
- **Historia:** Ofrece graficos con los valores RSRP (Reference Signal Received Power)
- **Historia 2:** muestra una grafica con cuatro valores relacionados con el ruido y la velocidad.
- **Estats:** muestra las estadisticas de conectividad el dispositivo, de tal manera que muestra el porcentaje de tiempo que se ha conectado a una red 4G, 3G O 2G.
- **Mapa:** Indica la ubicación en la que se encuentra el dispositivo y la antena que esta otorgando la señal ya sea 4G, 3G o 2G
- **Dispositivo + SIM:** muestra la informacion de la tarjeta SIM.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

En el presente capítulo se detalla la metodología que se utilizó para la toma de mediciones de la cobertura radioeléctrica de la red 4G que brinda la Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT) en el centro Histórico de Ambato. Esto con el objetivo de determinar la calidad de servicio en el sector mediante la evaluación entre datos obtenidos en campo, datos simulados en el software profesional y datos que exige el estándar de la tecnología 4G.

3.1. Métodos técnicas e instrumentos de investigación

Para el desarrollo adecuado de un estudio es necesario identificar el tipo de investigación, así como también el alcance que llegará a tener, en otras palabras, lo que el investigador conseguirá mediante la aplicación de los diversos procesos que determina el método utilizado, como la descripción del fenómeno de estudio y la extracción de la información.

3.1.1. *Investigación Documental*

La investigación documental es la encargada de recolectar, recopilar y seleccionar información de las lecturas de documentos, revistas, libros, grabaciones filmaciones, periódicos, artículos de investigaciones, memorias de eventos, entre otros. En ella la información está presente en el análisis de datos, su identificación, selección y articulación con el objeto de estudio. (Reyes & Carmona, 2020)

La metodología descrita se la utilizó para realizar un análisis de los diferentes parámetros radioeléctricos. los cuales se pueden medir dentro de una red 4G para determinar su cobertura radioeléctrica, así como también analizar la aplicación que va a permitir medir estos valores en campo para después ser procesados y comparados con los valores simulados y de referencia.

3.1.2. *Investigación Descriptiva*

Este tipo de investigación 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)

Mediante esta investigación se obtuvo los valores reales de los parámetros radioeléctricos de la red 4G de CNT en el centro histórico de Ambato, y realizar el análisis comparativo con los valores simulados y de referencia, para determinar la calidad de servicio que brinda esta red en el sector mencionado.

3.2. Metodología de desarrollo

La metodología Deming, es la técnica que se utilizó para el desarrollo del presente trabajo de investigación. Consta de cuatro fases como se observa en la ilustración 3-1, las cuales son planificar, hacer, verificar, actuar. Además de ser conocida como la espiral de mejora continua o PDCA, es un proceso de planificación y optimización diseñado para que las empresas o instituciones puedan incrementar constantemente sus estándares de calidad y ser más eficaces.

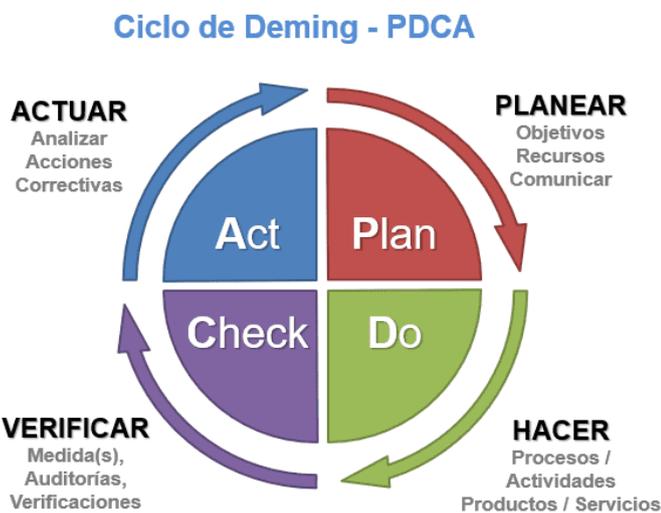


Ilustración 3-1: Estructura del ciclo de Deming

Fuente: Ingeniería de calidad, 2020

La metodología de Deming permitió que la investigación sea desarrollada de forma ordenada y estructurada con el fin de cumplir con los objetivos planteados. Cabe mencionar, que también ayudó en la evaluación de los parámetros radioeléctricos medidos en campo y simulados para comprender la calidad de servicio que tiene el centro histórico de Ambato.

3.2.1. Fase Planificar

Dentro de la opción planificar se estableció el sector para la toma de mediciones, la ilustración 3-2 muestra el área del centro histórico de Ambato en donde la zona resaltada en el mapa pertenece a un área urbana en el centro de la ciudad, sus alrededores forman una distancia aproximada de 4.27 km y un área de 0.96 km². En el sector se encuentra una gran cantidad de edificios de gran

altura que pertenecen a entidades financieras además de restaurantes, parques, centros comerciales, zonas residenciales, algunos centros educativos, entre otros. La zona también presenta una gran afluencia de usuarios dependiendo el día de la semana. Por estos motivos se considera este sector para la investigación.

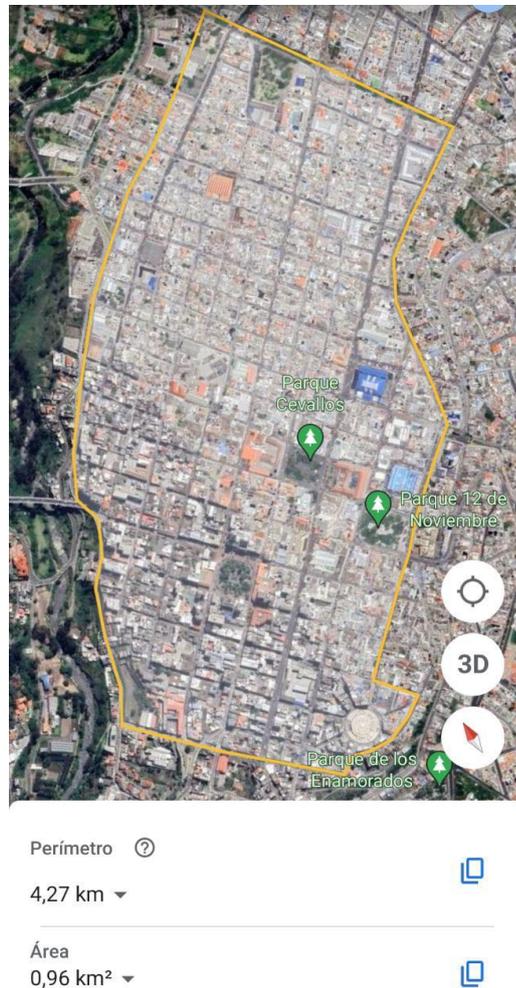


Ilustración 3-2: Área del centro histórico de Ambato

Realizado por: Manzano B., 2023

Para la toma de las mediciones también fue necesario establecer un horario, en la ciudad de Ambato. Específicamente en el sector, existen diferentes aglomeraciones de personas a lo largo de la semana, es decir, hay días en los que existe más tráfico y congestión de la red que otros, dependiendo la cantidad de usuarios que se encuentren en el centro de la ciudad. Esto depende de los días de feria que se dan dentro de la ciudad, días en los que la mayor parte de personas visita el centro de la ciudad para hacer compras o diferentes diligencias. además de días regulares en los que la mayor parte de usuarios son empleados públicos, privados y estudiantes. Las mediciones fueron tomadas todos los días de una semana en el horario de 8:00 am a 12:00 am en carro y de 12:30 am a 17:00 pm a pie mediante el uso de dos dispositivos móviles. Esto con la

finalidad de tener una muestra representativa del comportamiento de la red 4G a lo largo de un día completo.

Los dispositivos móviles utilizados son el Xiaomi Redmi Note 8 PRO y el TECNO CAMON 18P, el primero de gama media y el segundo de gama baja según sus características y precio en el mercado, las características de cada uno se presentan en las tablas 3-1 y 3-2:

Tabla 3-1: Características Xiaomi Redmi Note 8 PRO

REDMI NOTE 8 PRO	
PANTALLA	IPS 6,53" ratio 19,5:9, 91,4% 2.340 x 1.080 px
PROCESADOR	Mediatek Helio G90T
RAM Y ALMACENAMIENTO	6/8 GB RAM 128 GB (+ microSD hasta 256 GB)
CONECTIVIDAD	Wifi, Bluetooth 5.0, NFC, USB-C, GPS (Galileo, Glonass)
BATERIA	4.500 mAh Carga rápida 18W
SISTEMA OPERATIVO	OS Android 9 Pie con MIUI

Fuente: PENALVA, 2021

Realizado por: Manzano B., 2023

Tabla 3-2: Características TECNO CAMON 18P

TECNO CAMON 18P	
PANTALLA	6,7" AMOLED touchscreen capacitivo, 16M colores
PROCESADOR	MediaTek Helio G96 (12nm)
RAM Y ALMACENAMIENTO	8 GB RAM 128 GB Almacenamiento
CONECTIVIDAD	WiFi; Bluetooth; GPS con soporte A-GPS.
BATERIA	4750 mAh, no extraíble
SISTEMA OPERATIVO	Android 11, HIOS 8.0

Fuente: NOVICOMPU, 2022

Realizado por: Manzano B., 2023

La aplicación móvil que se decidió utilizar para la toma de mediciones fue Network Cell Info Lite, la cual como se observó en el capítulo anterior en la sección 2.8, es una aplicación gratuita,

que además tiene una versión más completa la cual es pagada. Se hicieron algunas pruebas previas de la aplicación en donde se determinó que la versión gratuita solamente toma 200 mediciones dependiendo el rango de saltos que se configure por lo que fue necesario adquirir la versión pagada la cual toma 1000 mediciones y tiene un valor de \$1.99, lo que permitió tomar una mayor cantidad de datos y guardarlos en un solo archivo (.csv).

Otro aspecto a tomar en cuenta es que para el procesamiento de los datos tomados fue necesario guardar el archivo en formato .csv. En las ilustraciones 3-3 y 3-4 se puede observar la configuración en la aplicación móvil previa a la toma de mediciones además de los diferentes formatos que existen en la aplicación para la base de datos.

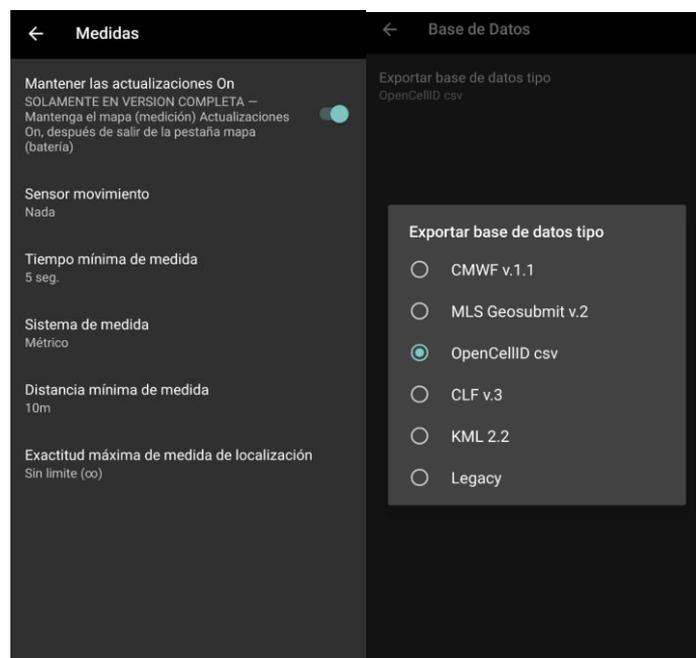


Ilustración 3-3: Configuración de medidas y configuración de base de datos en Network Cell Info Lite

Realizado por: Manzano B., 2023

Al ser el Centro Histórico de Ambato un área comprendida por 13 calles principales (Av. 12 de noviembre, Juan Benigno Vela, Av. Cevallos, Sucre, Primera Imprenta, Darquea, Simón Bolívar, Vicente Rocafuerte, Cuenca, Cristóbal Colon, Araujo, García Moreno, Pérez de Anda y Lizardo Ruiz) como se observa en la ilustración 3-4, y 20 calles secundarias o trasversales (Francisco Flor, Olmedo, Guayaquil, Quito, Mariano Castillo, Juan Montalvo, Juan León Mera, Martínez, Joaquín Lalama, Mariano Eguez, Eugenio Espejo, Eloy Alfaro, Tomas Sevilla, Constantino Fernández, Maldonado, Manuela Cañizares, Joaquín Aillón, Vargas Torres, 5 de junio, Unidad Nacional) como se observa en la ilustración 3-5, se tomó la decisión de primero hacer el recorrido tomando las mediciones por las calles principales para después pasar a las calles secundarias, esto

3.2.2. Fase Hacer

Después de haber definido los parámetros necesarios en la aplicación móvil y determinar un horario y recorrido específico para la investigación, se procedió con la fase hacer, la cual consta de medidas en campo de los parámetros radioeléctricos a lo largo de las calles principales y secundarias mencionadas en la fase planificar.

De manera general y para entender cómo se va a mostrar las mediciones de los 7 días, a continuación, se muestran las ilustraciones 3-6 y 3-7, las cuales detallan el recorrido que se hizo por el sector, tanto de las calles principales como de las calles secundarias en donde la aplicación pinta el recorrido de diferentes colores dependiendo el valor de RSRP que recepte el dispositivo móvil.

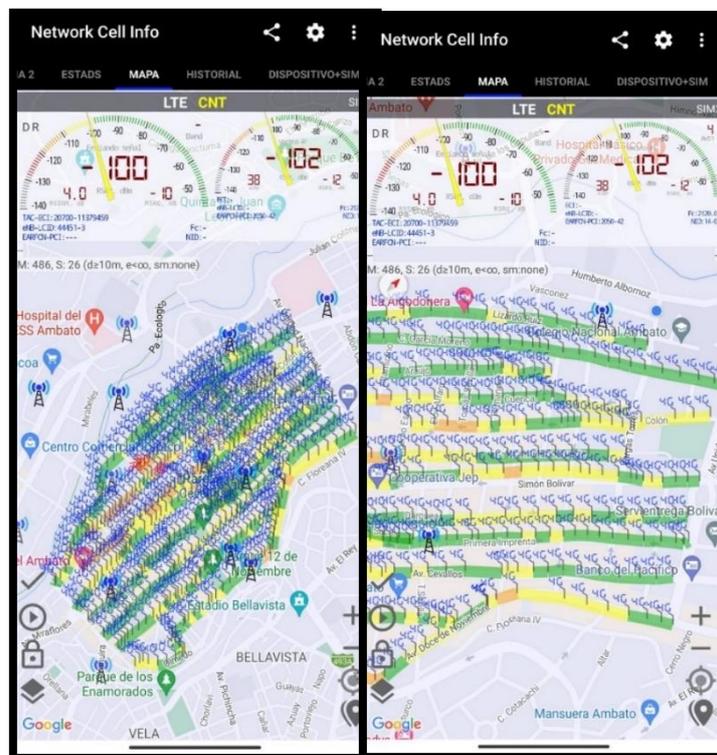


Ilustración 3-6: Medidas tomadas en calles principales

Realizado por: Manzano B., 2023

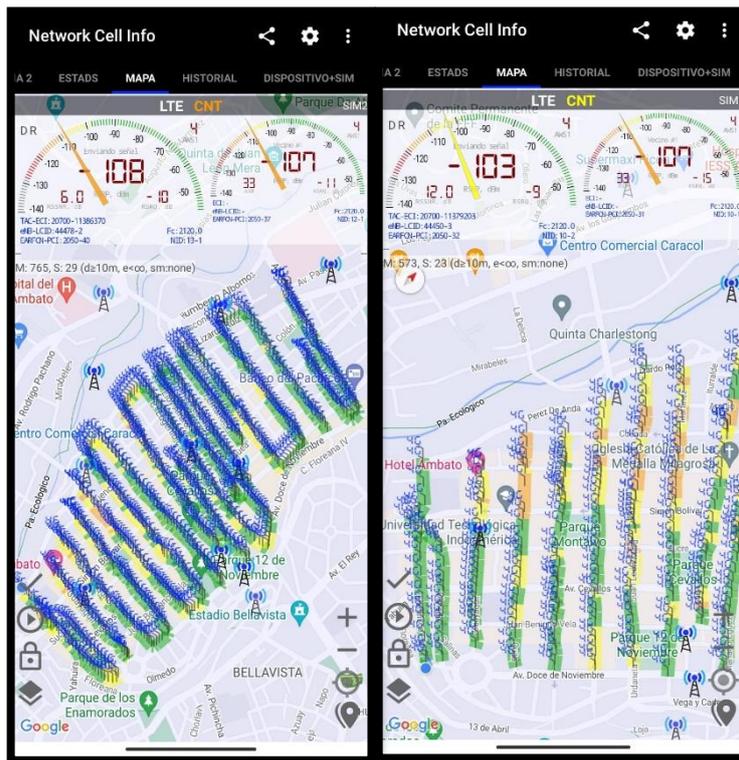


Ilustración 3-7: Medidas tomadas en calles secundarias

Realizado por: Manzano B., 2023

Como se puede observar en la ilustración 3-6 y 3-7, mientras se iba haciendo el recorrido, el dispositivo móvil en conjunto con la aplicación tomó las medidas de RSRP, pintando de colores la medición dependiendo el valor que receipta, ya sea para valores excelentes de color verde, valores buenos con color amarillo, valores medios con color naranja y valores bajos con color rojo.

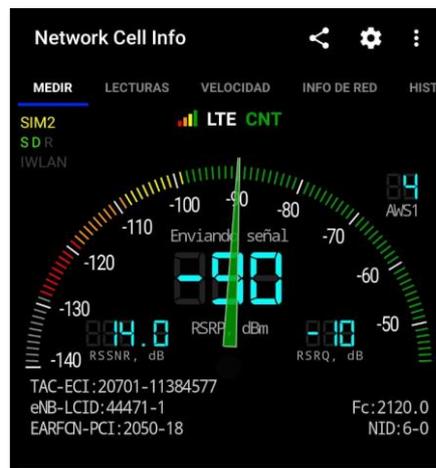


Ilustración 3-8: Parámetros de calidad RSRP en Network Cell Info Lite

Realizado por: Manzano B., 2023

En la ilustración 3-8 se puede observar los rangos de valores que considera la aplicación para excelentes (verde), buenos (amarillo), aceptables (naranja) o malos (rojos). Además, en la tabla 3-3 se presenta de manera más detallada.

Tabla 3-3: Parámetros de calidad de LTE en Network Cell Info Lite

		RSRP (dBm)	Colores de referencia
RF Conditions	Excelente	≥ -98	
	Bueno	-99 to -108	
	Aceptable	-109 to -118	
	Malo	≤ -119	

Realizado por: Manzano B., 2023

A continuación, se detalla las medidas tomadas de los valores RSRP mediante ilustraciones del primer día de mediciones como ejemplo tanto en las calles principales como en las calles secundarias del centro histórico de Ambato, cabe recalcar que las mismas medidas también se guardaron en un archivo CSV el cual van a servir para ser procesado y evaluado más adelante. Las mediciones de los 6 días restantes se encuentran en el Anexo A.

- **Día 1, 27 de marzo del 2023**

Las mediciones se realizaron desde el día lunes 27 de marzo del 2023, el recorrido empezó desde la intersección de las calles Francisco Flor y avenida 12 de noviembre hasta llegar a las calles Pérez de Anda y Lizardo, en la ilustración 3-9 se observa el recorrido completo y la toma de mediciones realizadas a pie, mientras que en la ilustración 3-10 se observa las mediciones tomadas en vehículo de cada uno de los puntos de manera visual.



Ilustración 3-9: Mediciones en calles principales caminando, día 1

Realizado por: Manzano B., 2023



Ilustración 3-10: Mediciones en calles principales en vehículo, día 1

Realizado por: Manzano B., 2023

Una vez concluidas las mediciones por las calles principales del centro histórico de Ambato se procedió hacer el recorrido por las calles secundarias como se observa en las

ilustraciones 3-11 y 3-12 tanto a pie como en vehículo respectivamente, el recorrido empezó desde la intersección de las calles Lizardo Ruiz y Unidad Nacional hasta completarlo en la intersección de las calles Francisco Flor y Pérez de Anda.



Ilustración 3-11: Mediciones en calles secundarias a caminando, día 1

Realizado por: Manzano B., 2023

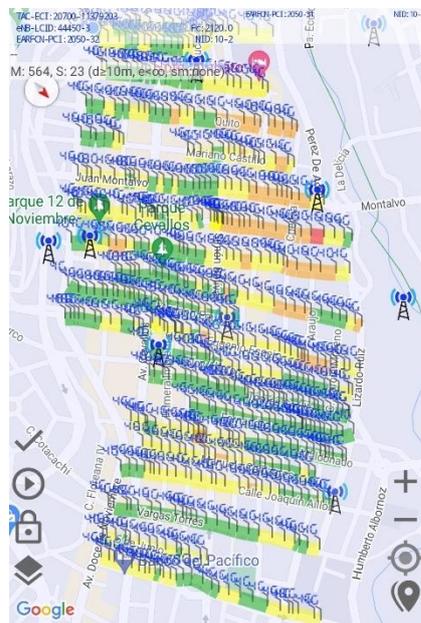


Ilustración 3-12: Mediciones en calles secundarias en vehículo, día 1

Realizado por: Manzano B., 2023

3.2.3. Fase verificar

Una vez que se realizó la toma de mediciones de todos los puntos en el sector planificado en la sección anterior, y obtener las ubicaciones de las radiobases, se procedió a realizar la simulación en el software profesional.

En la ilustración 3-13 se detalla el diagrama de flujo que corresponde al diseño de una red LTE con la herramienta del software profesional. El primer paso para cualquier proyecto de planificación radio es recopilar la información necesaria de los equipos radio que se simulan (por ejemplo, el sitio donde se colocan los equipos radio, transmisores, antenas, etc.), la información de la tecnología radio (por ejemplo, bandas de frecuencias) además de información geográfica. (Guinand, 2012, p. 45)

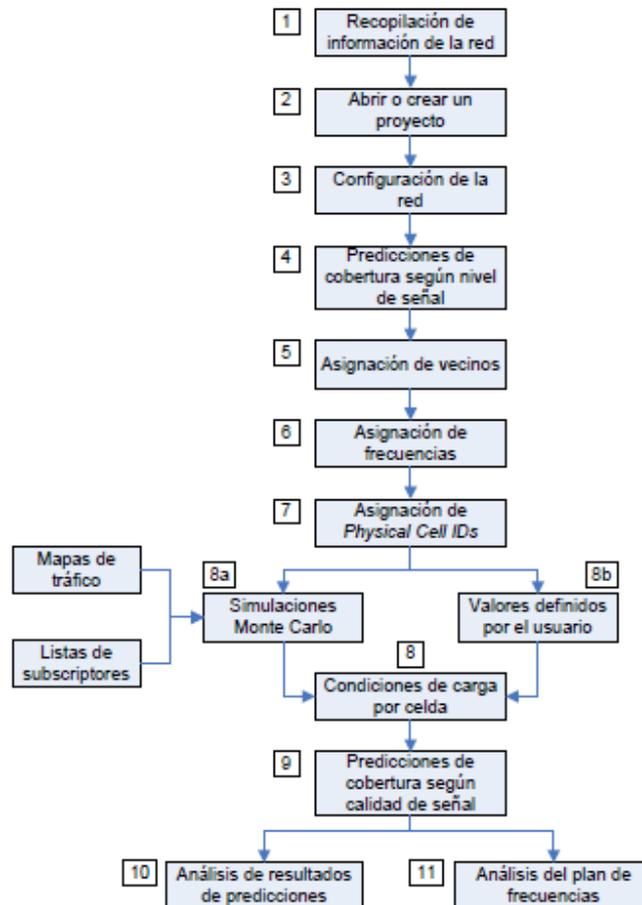


Ilustración 3-13: Diagrama de flujo del diseño de una red LTE en el Software Profesional

Fuente: Guinand C., 2012

Posteriormente se debe abrir un nuevo proyecto como se observa en la ilustración 3-14, el software profesional tiene definido diferentes plantillas (Template), con parámetros específicos para cada tecnología, en este caso se seleccionó el Template LTE para modelar la red según las especificaciones de 3GPP.

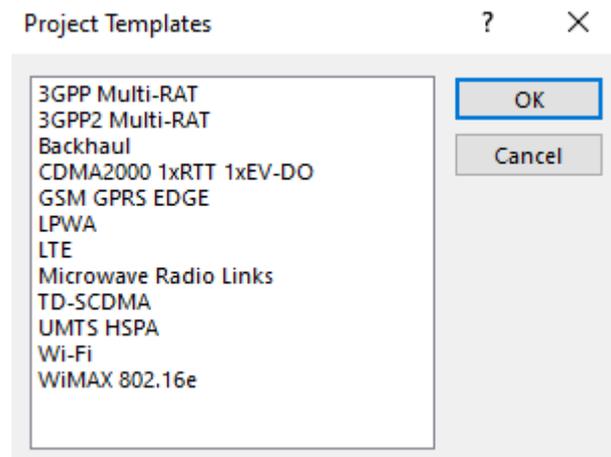


Ilustración 3-14: Abrir un nuevo template y seleccionar LTE

Realizado por: Manzano B., 2023

El tercer paso como menciona (Guinand, 2012, p. 46) consiste en la configuración de la red, agregando los mapas del terreno, emplazamientos (Sites), transmisores (Transmitters), celdas (Cells) y todos los parámetros de la red que fueron recopilados en el primer paso.

En el caso de esta investigación para descargar y cargar el mapa se utilizó la página <https://earthexplorer.usgs.gov/> la cual se observa en la ilustración 3-15, esta es una página web perteneciente al servicio geológico de estados unidos o USGS por sus siglas en inglés que permite descargar mapas en formato TIF para después ser procesados en el software Global Mapper y generar un archivo GRD, el cual es compatible con el software profesional como se observa en la ilustración 3-16.

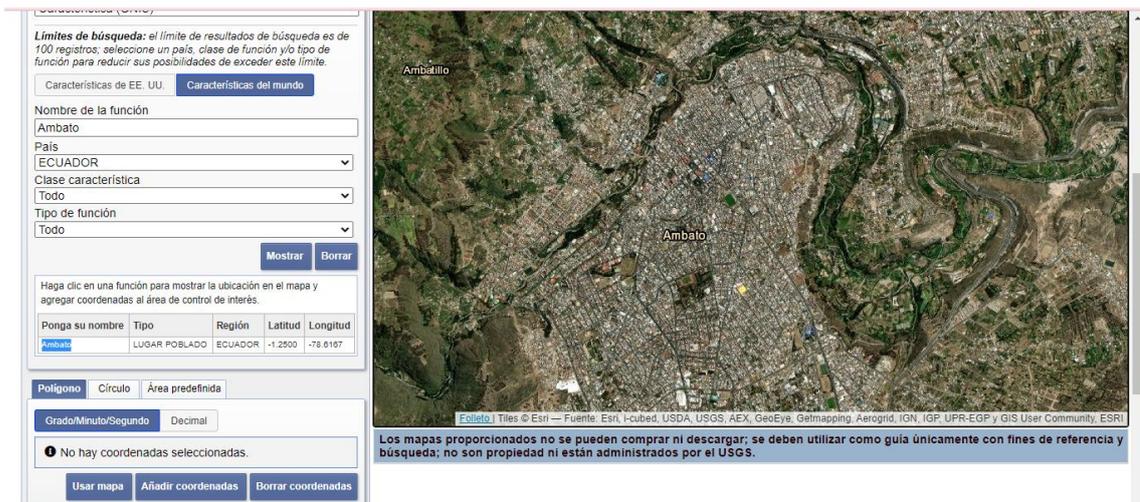


Ilustración 3-15: Pagina de USGS

Realizado por: Manzano B., 2023

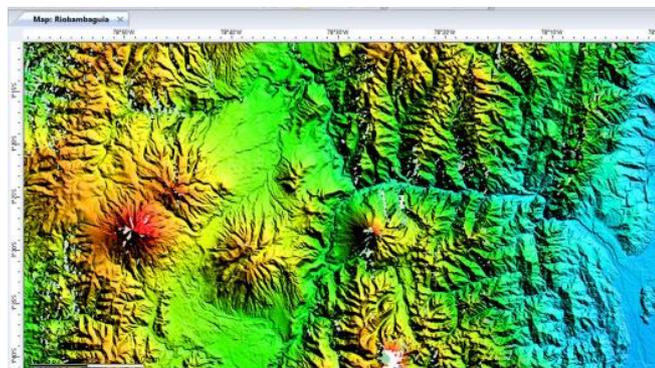


Ilustración 3-16: Archivo GRD cargado en el Software Profesional

Realizado por: Manzano B., 2023

Para que el mapa de trabajo sea más amigable en la implementación de radiobases y en la visualización de las áreas de cobertura en el apartado GEO, se deshabilitó el modelo de terreno digital y se activó Online Maps – Google Satellite como se observa en la ilustración 3-17.

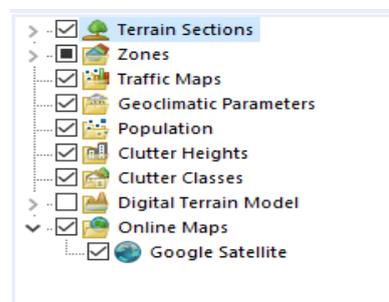


Ilustración 3-17: Apartado GEO en el Software Profesional

Realizado por: Manzano B., 2023

Una vez que se desarrolló el escenario donde se simuló la red LTE se procedió de la siguiente manera:

- **Definición de las bandas de frecuencia**

La ilustración 3-18 indica como esta asignado el espectro radioeléctrico actualmente por el servicio móvil avanzado y como menciona (ARCOTEL, 2018) en su boletín estadístico trimestral, 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 es brindada a CNT EP ya que al ser un operador público, cumple con el objetivo de otorgar servicio a toda la población y cubrir las áreas donde los operadores privados no brindan el servicio. En la ilustración 3-19 se observa el ancho de banda concesionado para cada uno de los proveedores de servicio.

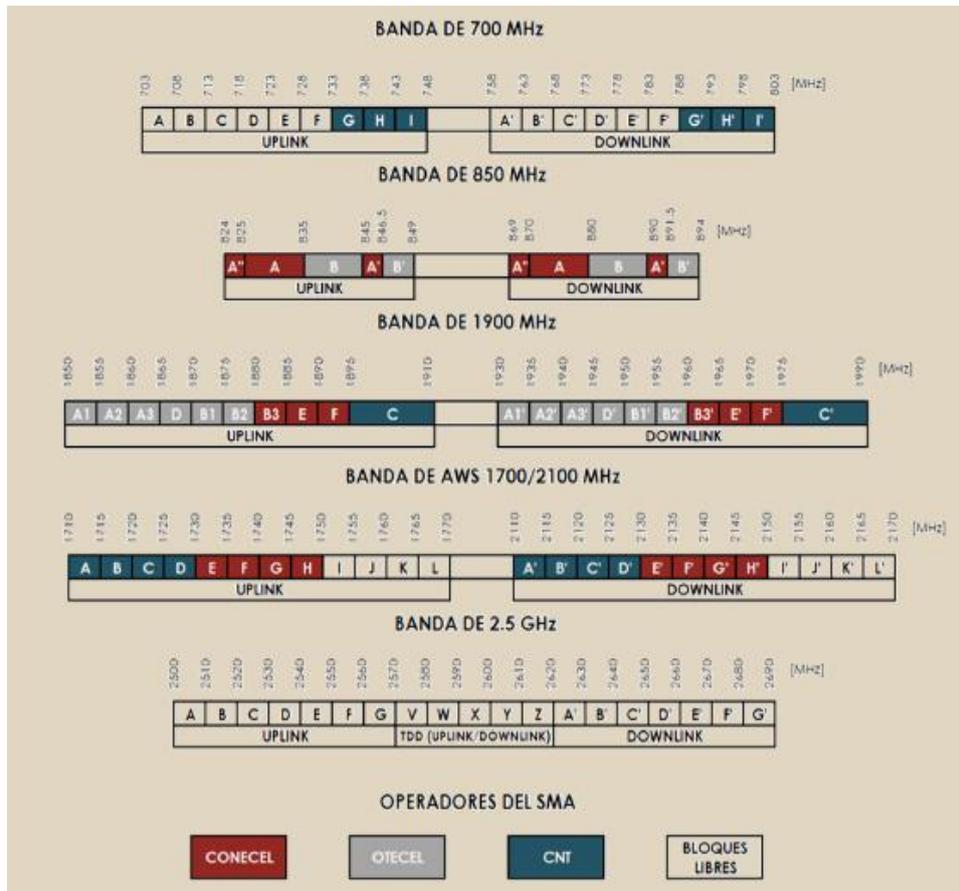


Ilustración 3-18: Canalización y asignación de frecuencias SMA

Fuente: ARCOTEL, 2018

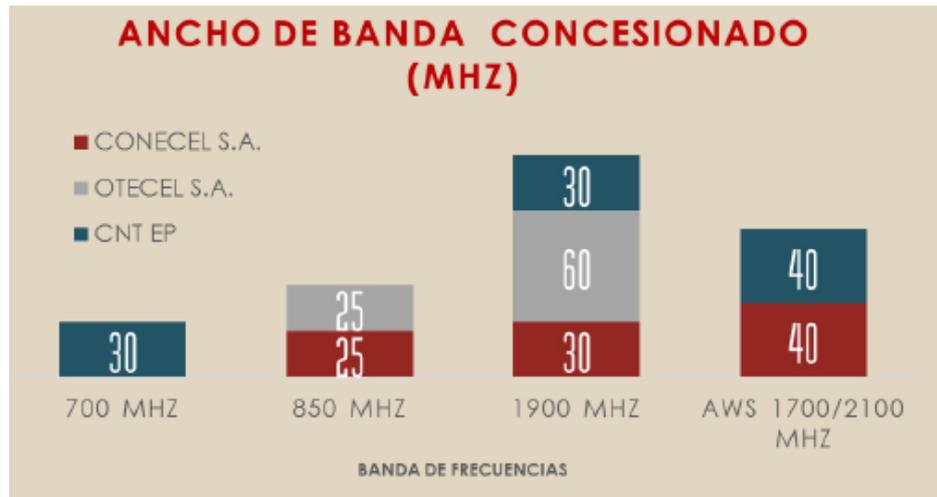


Ilustración 3-19: Ancho de banda concesionado

Fuente: ARCOTEL, 2018

Para la presente investigación se utilizó la banda 4 perteneciente a CNT denominada AWS la cual trabaja en 1700/2100 MHz y en el software se configuró en el apartado Parameters Explorer y las secciones Radio Network Settings, Frecuencias y bandas como se observa en la ilustración 3-20. En la ilustración 3-21 se puede observar a mayor detalle los parámetros que se editó en la banda seleccionada, ancho de banda que tiene CNT es de 40 MHz.

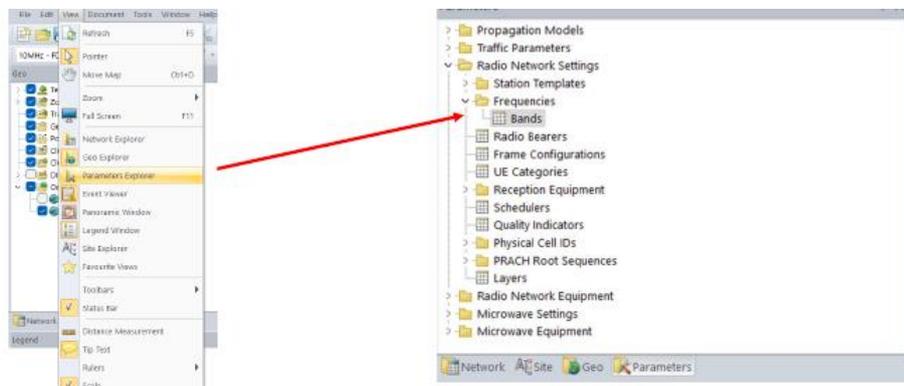


Ilustración 3-20: Definición de las bandas de frecuencias

Realizado por: Manzano B., 2023

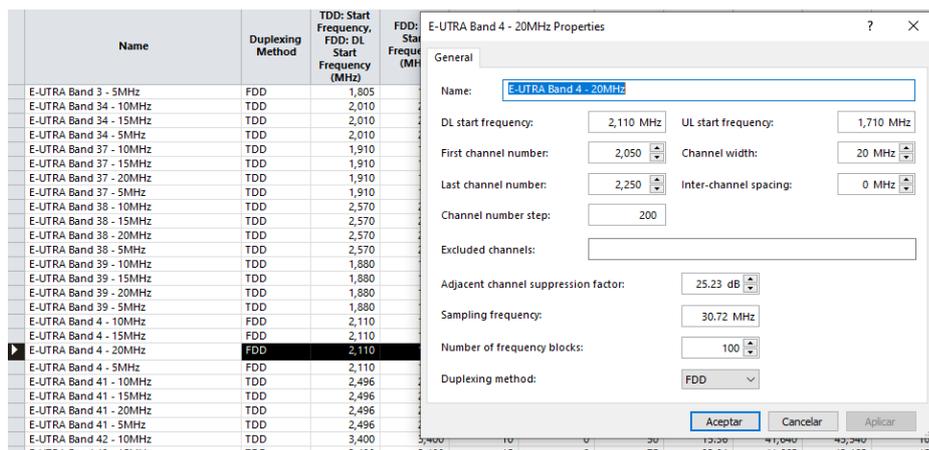


Ilustración 3-21: Configuración de ancho de banda

Realizado por: Manzano B., 2023

- **Selección del modelo de propagación**

El software profesional da una gran cantidad de modelos para utilizar como se observa en la ilustración 3-22. Entre los modelos que se visualizan se encuentran Cos-Hata, Erceg-Greenstein (SUI), ITU1546, ITU370, ITU 526, Longley-Rice, Okumura-Hata, entre otros.

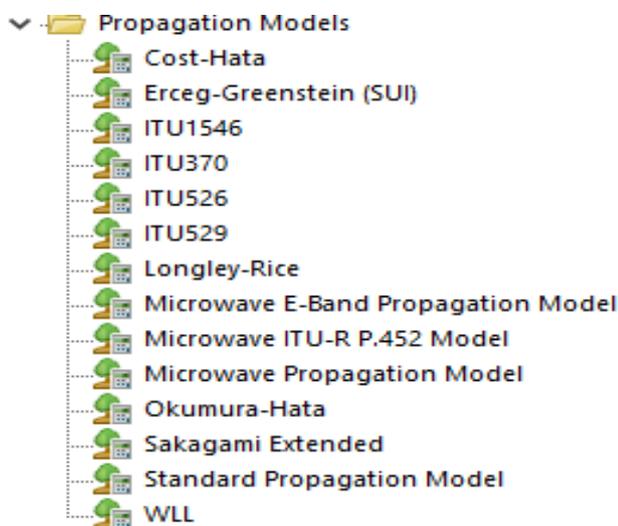


Ilustración 3-22: Modelos de propagación en el Software Profesional

Realizado por: Manzano B., 2023

En la ciudad de Ambato realizó un análisis con 3 modelos de propagación (Hata extendido (COST-231), SUI con factor de corrección y Ericsson 9999) con la finalidad de establecer una recomendación de un modelo de propagación existente que se ajuste a las

características del casco urbano de la ciudad de Ambato, en las conclusiones se determinó que el modelo SUI con factor de corrección de frecuencia es el que más se ajusta. (Flores, 2022)

Por tal motivo para la simulación se utilizó el modelo SUI el cual tiene que ser aplicado en cada uno de los transmisores como se observa en la ilustración 3-23.

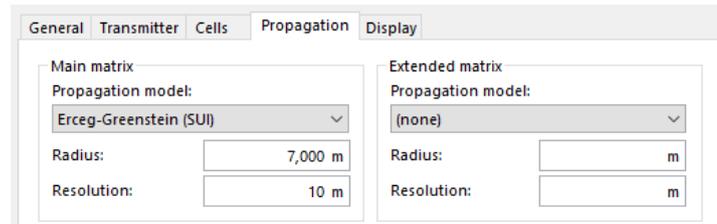


Ilustración 3-23: Modelo de propagación SUI aplicado a los transmisores

Realizado por: Manzano B., 2023

- **Parámetros globales del sistema LTE**

Como se observó en la sección 2.6 del capítulo anterior llamada parámetros radioeléctricos para LTE, existen los parámetros RSRP (potencia de señal recibida de referencia), RSRQ (calidad de señal recibida de referencia), SINR (interferencia de señal + relación de ruido), CQI (indicador de calidad de canal, mientras mayor sea el valor de 0 a 15 será mejor, ya que la velocidad que puede asignar una estación base LTE aumentará). La respectiva configuración que se realizó se observa en la ilustración 3-24 en donde se ingresó a la opción propiedades del apartado Radio Network Settings

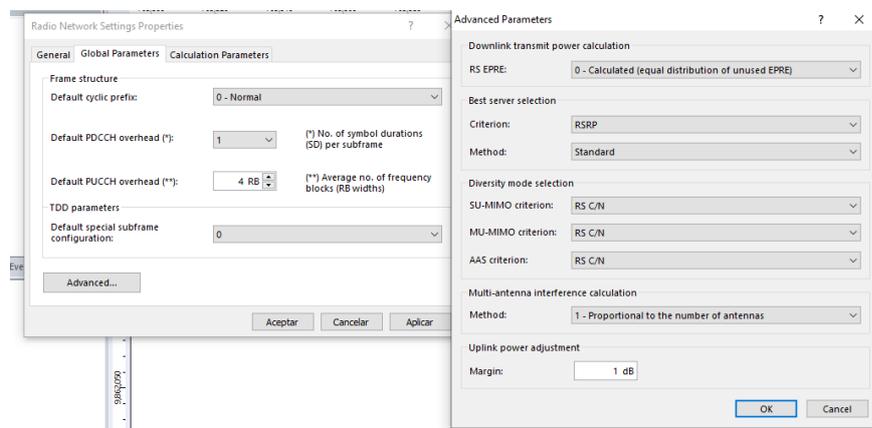


Ilustración 3-24: Parámetros globales del sistema LTE

Realizado por: Manzano B., 2023

- **Configuración de los parámetros de tráfico**

La configuración de los parámetros de tráfico se realizó en el apartado que lleva el mismo nombre, como se ve en la ilustración 3-25 el software permite configurar servicios, tipos de movilidad, terminales y entornos.

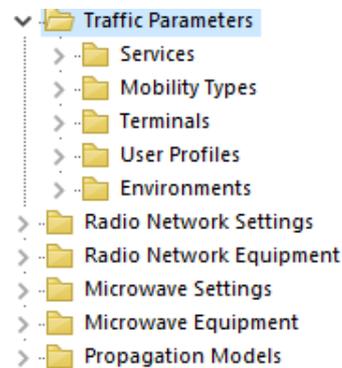


Ilustración 3-25: Parámetros de tráfico

Realizado por: Manzano B., 2023

Para la simulación se creó dos nuevos perfiles de usuarios (Estudiantes/Trabajadores, Vehículos) para agregarlos en un ambiente que se denominó “centro histórico de Ambato”, por defecto se tienen perfiles de usuario denominados Business User, Standard User como se observa en la ilustración 3-26.

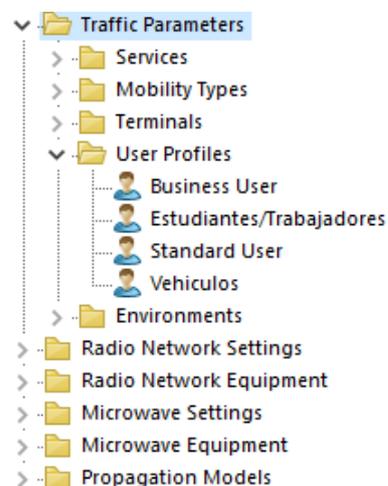


Ilustración 3-26: Configuración de perfiles de usuario

Realizado por: Manzano B., 2023

Según (DATEAS, 2023) en su página oficial, basándose en el último censo poblacional elaborado por el INEC en 2010, Ambato cuenta con una densidad poblacional de 3670

habitantes por kilómetro cuadrado, por tal motivo en el ambiente creado se agregaron los perfiles de usuario mostrados anteriormente más un usuario estándar considerado como peatonal con las características que se detallan en la ilustración 3-27.



Ilustración 3-27: Configuración de ambiente centro histórico de Ambato

Realizado por: Manzano B., 2023

- **Configuración de los equipos: Antenas**

La configuración de las antenas que se estableció en la simulación, se encuentra en el apartado Radio Network Equipment en la sección Antenas, como se observa en la ilustración 3-28 existe una gran cantidad de antenas con diferentes características, la que fue utilizada es de 60deg 16dbi 6Tilt 2600Mhz. Además, en la ilustración se puede determinar cómo funciona su diagrama de radiación tanto en horizontal como en vertical.

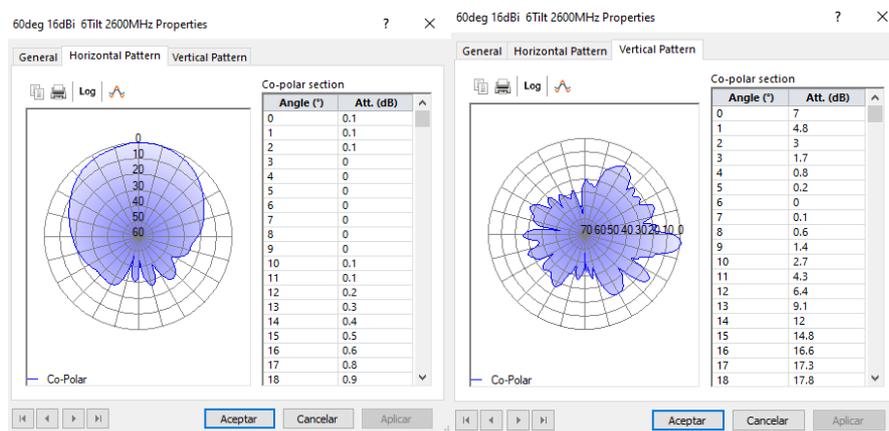


Ilustración 3-28: Antena utilizada en radio network equipment

Realizado por: Manzano B., 2023

- **Configuración de la plantilla LTE**

La configuración de la plantilla LTE se realizó en el apartado Radio Network Settings en la sección Station Templates. Se creó la nueva plantilla LTE copiando una anterior y

pegándola al final de la tabla como se detalla en la ilustración 3-29. Esta nueva plantilla sirve para colocar las nuevas estaciones.

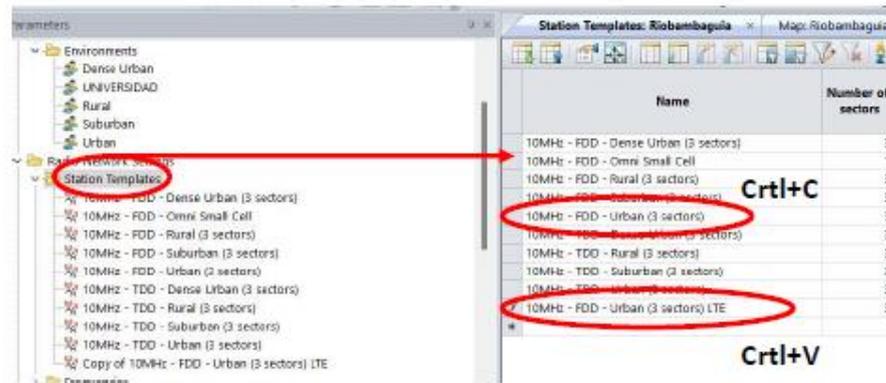


Ilustración 3-29: Creación de una nueva plantilla LTE

Realizado por: Manzano B., 2023

Se editó la nueva plantilla como se observa en las ilustraciones 3-30 y 3-31, teniendo en cuenta que en ésta última se encuentra la opción de seleccionar la banda 4 perteneciente a CNT. Además, están las opciones de cambiar la potencia máxima y altura de las antenas, aspectos que se cambiaron de manera individual cuando se insertaron cada uno de los transmisores.

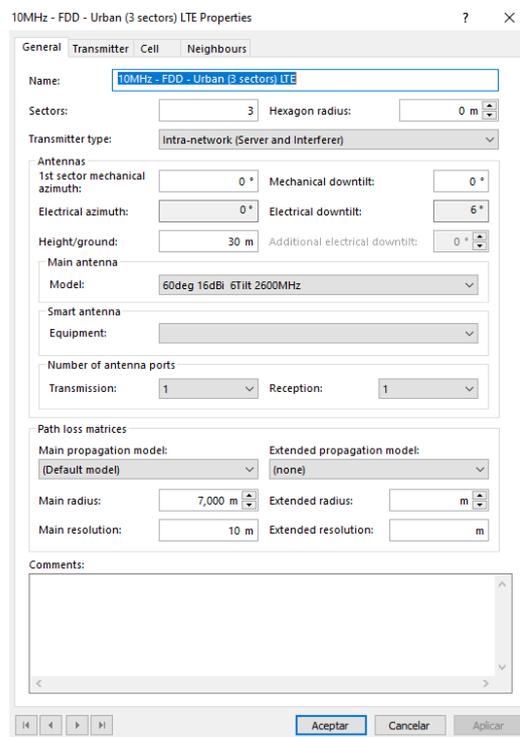


Ilustración 3-30: Configuración general en plantilla LTE

Realizado por: Manzano B., 2023

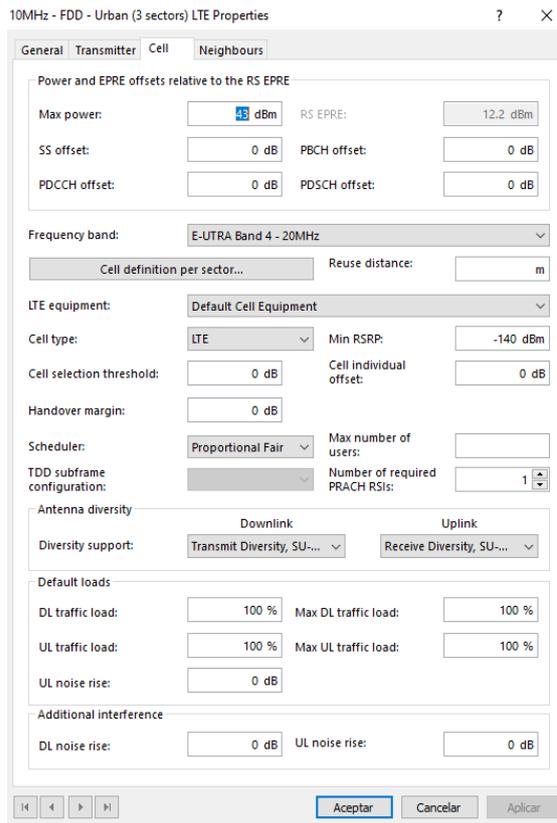


Ilustración 3-31: Configuración de celda en plantilla LTE

Realizado por: Manzano B., 2023

- **Colocación de transmisores**

Los transmisores en la simulación se colocaron teniendo de guía los datos tomados en campo, ya que la aplicación Network Cell Info Lite, da una coordenada aproximada de las radiobases que tomó la señal como se observa en la ilustración 3-32, cabe recalcar que estas coordenadas fueron verificadas de manera presencial en cada uno de los puntos, para posteriormente realizar las debidas correcciones para que las radiobases sean ubicadas correctamente.

Los transmisores se colocaron en el software como se observa en la ilustración 3-33.

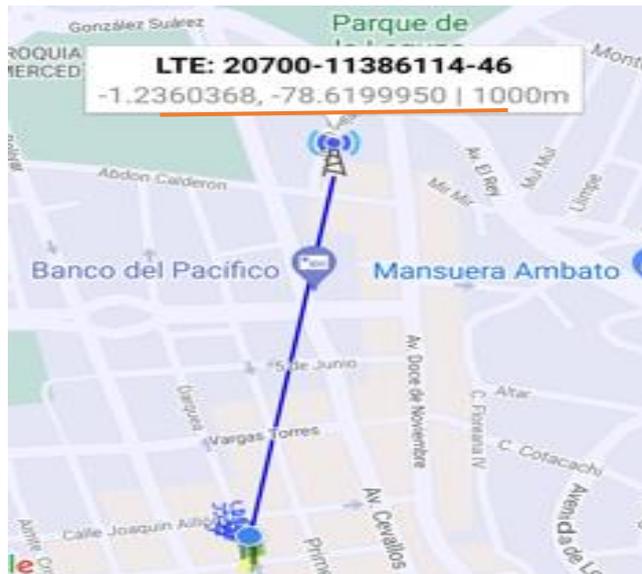


Ilustración 3-32: Ubicación de una radiobase en Network Cell Info Lite

Realizado por: Manzano, B. 2023

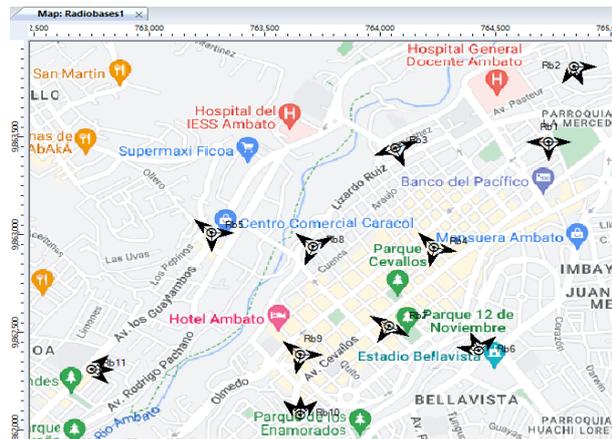


Ilustración 3-33: Ubicación de transmisores en el Software Profesional

Realizado por: Manzano B., 2023

Cabe mencionar que la altura de cada transmisor se determinó de manera aproximada en cada radiobase utilizando la aplicación móvil Smart Measure, la aplicación mencionada determina la altura de un objeto utilizando el sensor de posición del dispositivo móvil o también llamado giroscopio, de tal manera que al tener los grados de inclinación y la altura a la que está situado el teléfono calcula la altura aproximada de un determinado objeto, persona, edificio etc. (Smart Tools, 2023). La aplicación se encuentra disponible de manera gratuita en la play store, así mismo el azimut se lo determinó de manera presencial analizando la dirección hacia la que cada transmisor emite la señal. Las ilustraciones 3-34 y 3-35 muestran como ejemplo la toma la altura de manera aproximada de las radiobase 9 (Rb9) y 1 (Rb1) respectivamente con la aplicación Smart Measure. La altura

de las otras radiobases fueron medidas de la misma manera y se puede observar en el Anexo B.

Por otro lado, los valores de potencia de cada transmisor fueron solicitados a una fuente confiable de CNT, que labora en el área de comunicaciones móviles, esto debido a que ARCOTEL no dispone de estos valores por ser considerados como información técnica sensible de cada proveedor de servicio. La ubicación exacta, altura aproximada y potencia de cada una de las radiobases se observa en la tabla 3-4.



Ilustración 3-34: Medición de altura de Rb9 con Smart Measure

Realizado por: Manzano B., 2023

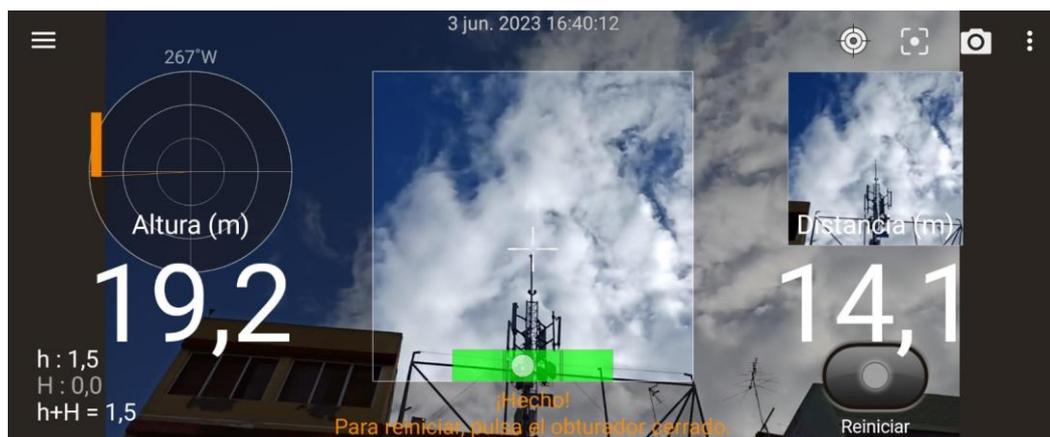


Ilustración 3-35: Medición de altura de Rb1 con Smart Measure

Realizado por: Manzano B., 2023

Tabla 3-4: Ubicación, Altura y Potencia de radiobases simuladas

Radiobases	Latitud	Longitud	Altura	Potencia
Rb1	-1.2340687	-78.6210706	19.2 m	20 dBm
Rb2	-1.2304486	-78.6201355	10 m	15.2 dBm
Rb3	-1.2343976	-78.6270402	17.6 m	15.2 dBm
Rb4	-1.2390414	-78.6254815	23.4 m	20 dBm
Rb5	-1.2383217	-78.6341460	32.5 m	15.2 dBm
Rb6	-1.2438109	-78.6237679	26.1 m	15.2 dBm
Rb7	-1.2426290	-78.6272775	47.5 m	15.2 dBm
Rb8	-1.2390116	-78.6302313	26 m	18.2 dBm
Rb9	-1.2439732	-78.6306816	23.8 m	15.2 dBm
Rb10	-1.2468072	-78.6307168	6.2 m	15.2 dBm
Rb11	-1.2446881	-78.6388533	12 m	15.2 dBm

Realizado por: Manzano B., 2023

- **Cálculo de la red**

Una vez que se configuró los transmisores con los respectivos valores de operación y que se los colocó en sus ubicaciones, se procedió hacer la predicción de la red LTE. El software profesional permite hacer diferentes predicciones como se observa en la ilustración 3-36 ingresando al apartado Network en la sección Predictions

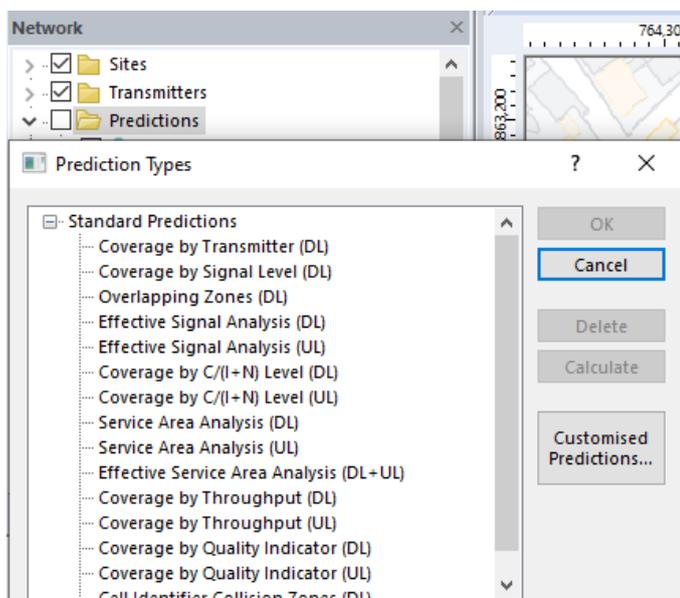


Ilustración 3-36: Tipos de predicciones en el Software Profesional

Realizado por: Manzano B., 2023

La predicción que se realizó fue Coverage by Signal Level, la cual permite predecir las zonas de cobertura según los niveles de señal del transmisor, en la configuración de esta predicción se pusieron los rangos de operación que determina el estándar LTE (mostrados en la tabla 2-3 de la sección 2.6 del anterior capítulo) como se observa en la ilustración 3-37.

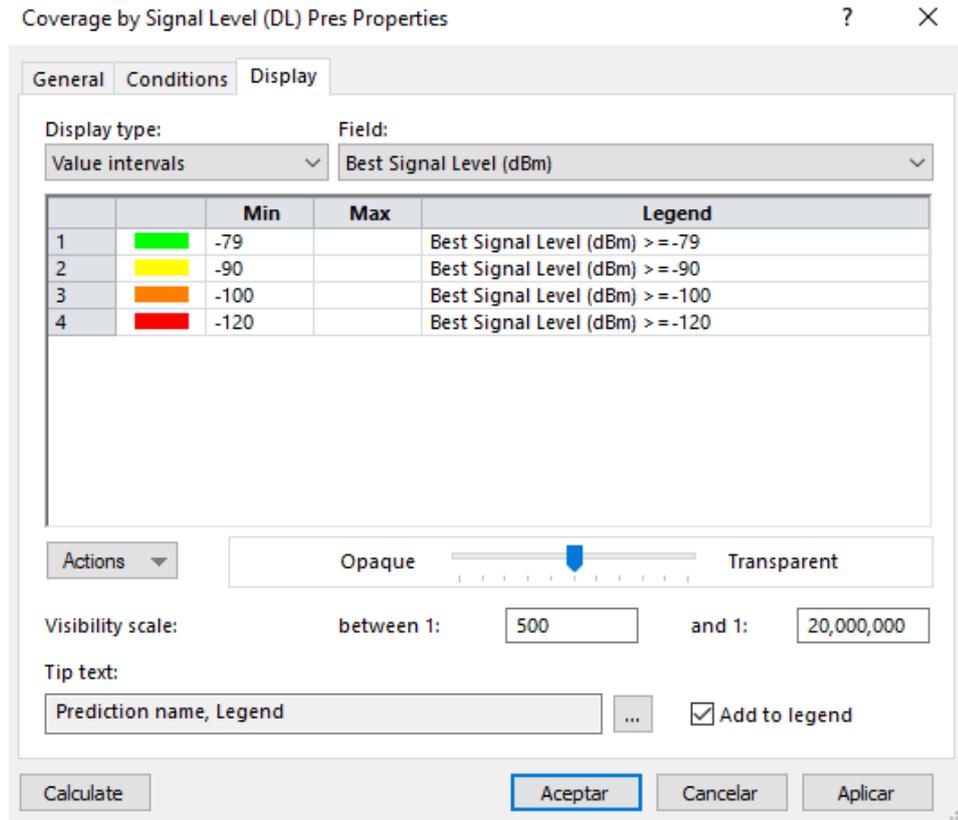


Ilustración 3-37: Parámetros de calidad de señal LTE configurados

Realizado por: Manzano B., 2023

En la ilustración 3-38 se detalla el mapa que se obtuvo al calcular la predicción mencionada.

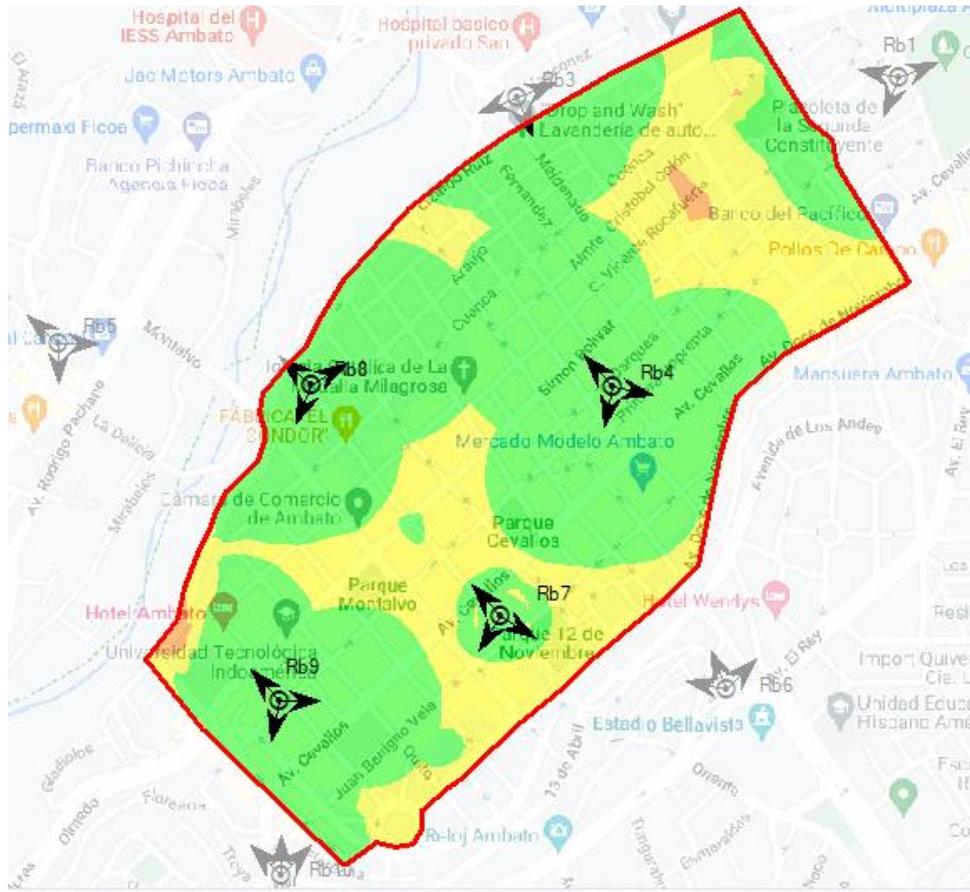


Ilustración 3-38: Cobertura por nivel de señal en Software Profesional

Realizado por: Manzano B., 2023

3.2.4. Fase Actuar

Finalmente, se realizó el análisis y la evaluación de resultados con las mediciones obtenidas tanto en campo como simuladas de la calidad de señal a lo largo del centro histórico de Ambato, esto se evidencia en el capítulo IV presentado a continuación.

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En el Capítulo IV se detalla el análisis de los resultados obtenidos con las mediciones realizadas en campo de la cobertura radioeléctrica de la red 4G de CNT a lo largo del centro histórico de Ambato, además, de los cálculos simulados en el software profesional de la misma red vistos en el Capítulo III.

4.1. Procesamiento, análisis e interpretación de resultados

4.1.1. Organización de valores RSRP

Fue necesario organizar los valores tomados mediante la aplicación Network Cell Info Lite para su análisis, ya que, a pesar que se hizo el mismo recorrido los 7 días, por facilidad se determinó que hay que seccionar los datos por cada una de las calles que comprenden el centro histórico de Ambato. Además, al existir intersección entre las calles principales y calles secundarias, se producía una intersección en los datos tomados. Para mostrar este proceso en la tabla 4-2 se puede observar una porción de los datos organizados a manera de ejemplo, tanto en una calle principal como lo es la Av. 12 de noviembre, así como en una calle secundaria como lo es la calle Unidad Nacional que se observa en la tabla 4-3. Cabe mencionar que entre los valores RSRP tomados con el celular Redmi Note 8 PRO (gama media) y el celular TECNO CAMON 18P (gama baja) se evidenció que existe una diferencia mínima que va de 0.26 a 0.91 dBm, como se observa en la tabla 4-1, por lo que para el análisis y evaluación de la red solo se tomaron los datos del celular de gama media.

Tabla 4-1: Promedios RSRP (dBm) de dispositivos móviles

		PROMEDIOS de RSRP (dBm)	
		NOTE 8 PRO	TECNO 18 P
DIA 1	Caminando	-89.91 dBm	-90.29 dBm
	Vehículo	-95.07 dBm	-94.80 dBm
DIA 2	Caminando	-90.38 dBm	-91.01 dBm
	Vehículo	-94.02 dBm	-93.34 dBm
DIA 3	Caminando	-91.83 dBm	-92.49 dBm
	Vehículo	-94.51 dBm	-94.25 dBm
DIA 4	Caminando	-92.74 dBm	-91.88 dBm
	Vehículo	-94.24 dBm	-93.33 dBm
DIA 5	Caminando	-94.27 dBm	-93.81 dBm

	Vehículo	-94.12 dBm	-93.26 dBm
DIA 6	Caminando	-93.09 dBm	-93.99 dBm
	Vehículo	-94.50 dBm	-93.53 dBm
DIA 7	Caminando	-93.81 dBm	-92.93 dBm
	Vehículo	-95.41 dBm	-94.60 dBm

Realizado por: Manzano B., 2023

4.1.2. Histogramas

Como menciona (Hernandez,2015) el histograma es una representación gráfica que se utiliza para visualizar y analizar la frecuencia con la que una variable toma diferentes valores dentro de un conjunto de datos. En los datos de la tabla 4-2 y 4-3 se observa los diferentes valores de RSRP ya organizados que se tomaron el día 1 caminando con el celular Redmi Note 8 PRO de manera ejemplar, los cuales se distribuyen cumpliendo los rangos que establece LTE en la tabla 2-3 del capítulo II, tabla que muestra los parámetros de calidad de señal LTE.

Tabla 4-2: Datos organizados de RSRP en Av.12 de noviembre. Dia 1.

SIGNAL RSRP		
AVENIDA 12 DE NOVIEMBRE		
Valor medido en campo (dBm)	LATITUD	LONGITUD
-97	-1.2465011	-78.6297752
-95	-1.2465708	-78.6297092
-92	-1.2464667	-78.6295735
-92	-1.2463569	-78.6294616
-95	-1.246243	-78.6293273
-89	-1.2461791	-78.6292041
-71	-1.2461911	-78.6291062
-78	-1.2462752	-78.6290223
-87	-1.2462932	-78.6288682
-90	-1.2462553	-78.6286939
-83	-1.2461583	-78.6285899
-91	-1.2460041	-78.6285498
-95	-1.2458581	-78.6285688
-90	-1.2457257	-78.6285824
-98	-1.245596	-78.6284979
-98	-1.245504	-78.6283693
-95	-1.2454567	-78.6283048
-90	-1.2452806	-78.628207
-97	-1.2451736	-78.6281299
-98	-1.2450804	-78.628014
-93	-1.2449825	-78.6278858
-95	-1.2448642	-78.6277743
-77	-1.2447519	-78.6276739

-91	-1.2446789	-78.6275551
-90	-1.2445915	-78.6274193
-87	-1.2444949	-78.6272991
-91	-1.2444037	-78.62716
-94	-1.2442952	-78.6270461
-92	-1.2441802	-78.6268987
-93	-1.2440969	-78.6267494
-94	-1.2440279	-78.6265895
-92	-1.2439237	-78.6265218
-92	-1.2438334	-78.6264764
-93	-1.2436673	-78.6263393
-90	-1.2435471	-78.626173
-86	-1.2434226	-78.6260367
-88	-1.2433022	-78.6259188
-84	-1.2431786	-78.6257965
-85	-1.2430853	-78.6256722

Realizado por: Manzano B., 2023

Tabla 4-3: Datos organizados de RSRP en Unidad Nacional. Dia 1.

SIGNAL RSRP		
UNIDAD NACIONAL		
Valor medido en campo (dBm)	LATITUD	LONGITUD
-97	-1.2330908	-78.623415
-94	-1.2331106	-78.6236881
-96	-1.2331361	-78.6236579
-99	-1.2332444	-78.6236057
-84	-1.2333594	-78.6235455
-82	-1.2334361	-78.6234435
-93	-1.2335764	-78.623348
-95	-1.2337255	-78.6232626
-93	-1.233867	-78.6232387
-94	-1.233979	-78.6231781
-93	-1.2340698	-78.6231073
-89	-1.2341757	-78.6230231
-92	-1.2342628	-78.6229643
-90	-1.23435	-78.6228653
-92	-1.2344314	-78.6228205
-88	-1.234554	-78.6227617
-87	-1.2346499	-78.6227311
-87	-1.2347992	-78.6226344
-83	-1.2349109	-78.6226083
-76	-1.2349704	-78.6226162
-64	-1.2350684	-78.622606

-76	-1.2352053	-78.6225442
-75	-1.2353006	-78.6224998
-80	-1.2353833	-78.6224546
-82	-1.2354657	-78.6223889
-81	-1.2355442	-78.6223062
-86	-1.2356033	-78.6222252
-82	-1.235678	-78.6221641
-73	-1.2357673	-78.6220929
-78	-1.235844	-78.6220151
-86	-1.2359635	-78.6219795
-83	-1.2360756	-78.6219192
-82	-1.2361667	-78.6218448
-88	-1.2362664	-78.6217886
-81	-1.2363534	-78.6217168
-75	-1.2364491	-78.621644
-75	-1.2366299	-78.6215705
-77	-1.2367331	-78.6214711
-79	-1.2368709	-78.6214018

Realizado por: Manzano B., 2023

En la ilustración 4-1 y 4-2 se presentan los histogramas procesados de cada una de las mediciones de RSRP tomados el primer día en el centro histórico de Ambato tanto caminando como en vehículo. La tabla 4-3 muestra un resumen de mediciones de los 7 días en porcentajes de los valores excelentes, medios, buenos y bajos. Los histogramas de los 6 días restantes se pueden evidenciar en los Anexos del C al N.

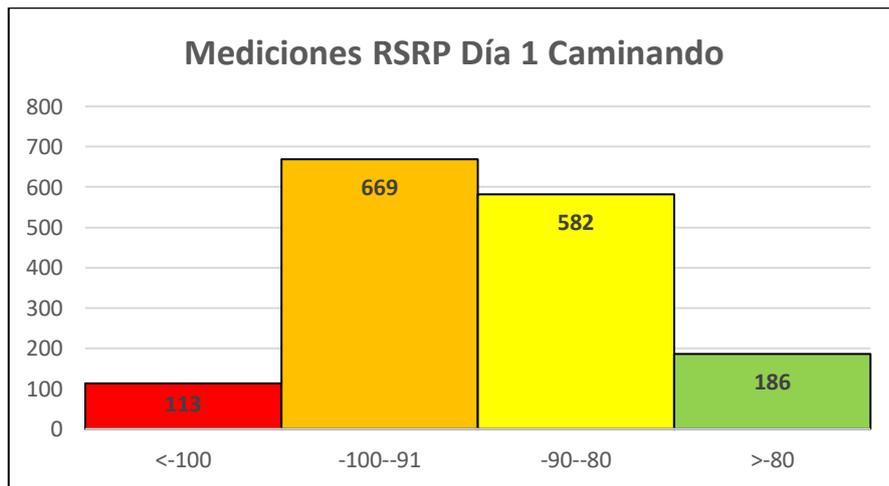


Ilustración 4-1: Histograma de las mediciones de RSRP (dBm) del día 1 caminando

Realizado por: Manzano B., 2023

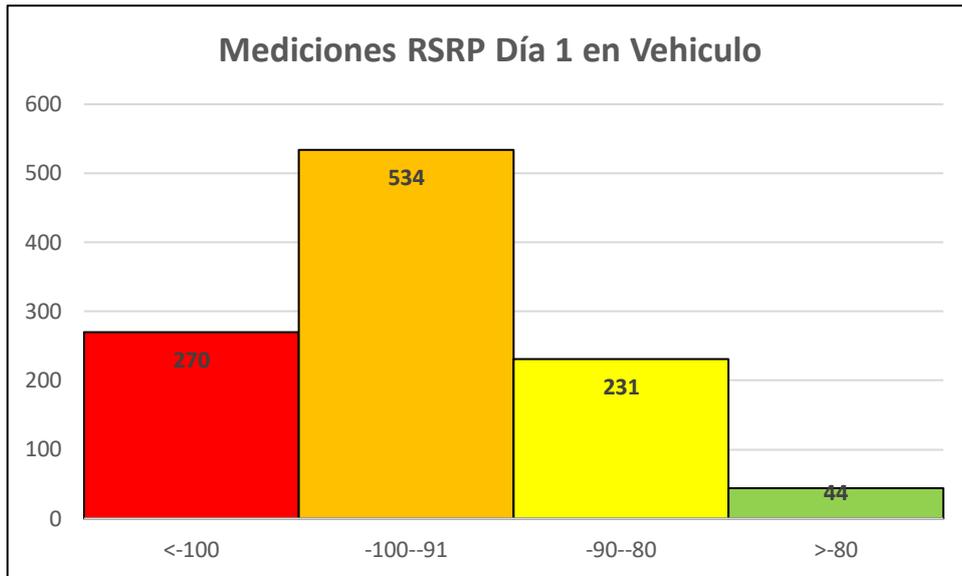


Ilustración 4-2: Histograma de las mediciones de RSRP (dBm) del día 1 en vehículo

Realizado por: Manzano B., 2023

Tabla 4-4: Porcentaje de valores RSRP en los 7 días de medición.

		RSRP			
		Excelentes	Buenos	Medios	Bajos
DIA 1	Caminando	12%	37.55%	43.16%	7.29%
	Vehículo	4.08%	21.41%	49.49%	25.02%
DIA 2	Caminando	11.06%	33.17%	46.62%	9.15%
	Vehículo	4.83%	25.85%	47.25%	22.06%
DIA 3	Caminando	9.64%	30.49%	43.84%	16.02%
	Vehículo	4.24%	25.51%	47.88%	22.38%
DIA 4	Caminando	7.23%	26.75%	50.25%	15.76%
	Vehículo	4.34%	26.09%	46.94%	22.63%
DIA 5	Caminando	4.28%	22.23%	53.99%	19.50%
	Vehículo	5.57%	25.12%	45.74%	23.56%
DIA 6	Caminando	8.02%	26.44%	44.73%	20.80%
	Vehículo	5.20%	26.75%	42.25%	25.80%
DIA 7	Caminando	4.12%	28.24%	47.79%	19.85%
	Vehículo	2.32%	23.12%	49.63%	24.92%

Realizado por: Manzano B., 2023

Al analizar la tabla 4-4 con los porcentajes de los valores RSRP en las dos formas de medición (caminando y en vehículo), se evidencia que existe un empeoramiento en la calidad de la señal recibida cuando se realizan las mediciones en vehículo, esto se debe a que al ser un entorno indoor, la señal se atenúa por la estructura del carro, el cual genera un obstáculo más de penetración, Además, la velocidad del vehículo provoca deterioro en la señal recibida debido al efecto Doppler. Este patrón de disminución de la señal se evidencia en los 7 días de mediciones.

4.1.3. Evaluación como usuario

Una vez analizadas las mediciones durante los 7 días de la semana se procedió a evaluar el parámetro radioeléctrico medido (RSRP) para determinar el nivel de operación del servicio 4G de CNT en el Centro Histórico de Ambato, este procedimiento se lo hizo sacando un promedio de los valores de potencia que se obtuvieron de cada una de las calles que comprenden el sector durante los días de mediciones como se observa en las ilustraciones 4-3 y 4-4. Las tablas en las que se elaboró los promedios se observan en los Anexos O y P.

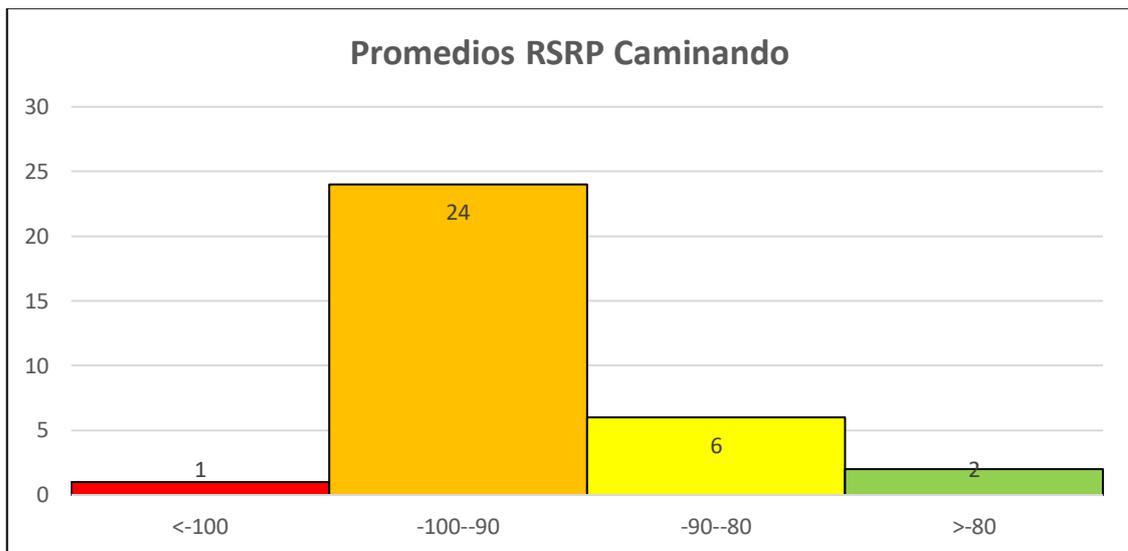


Ilustración 4-3: Promedio de valores RSRP (dBm) en el Centro Histórico de Ambato Caminando

Realizado por: Manzano B., 2023

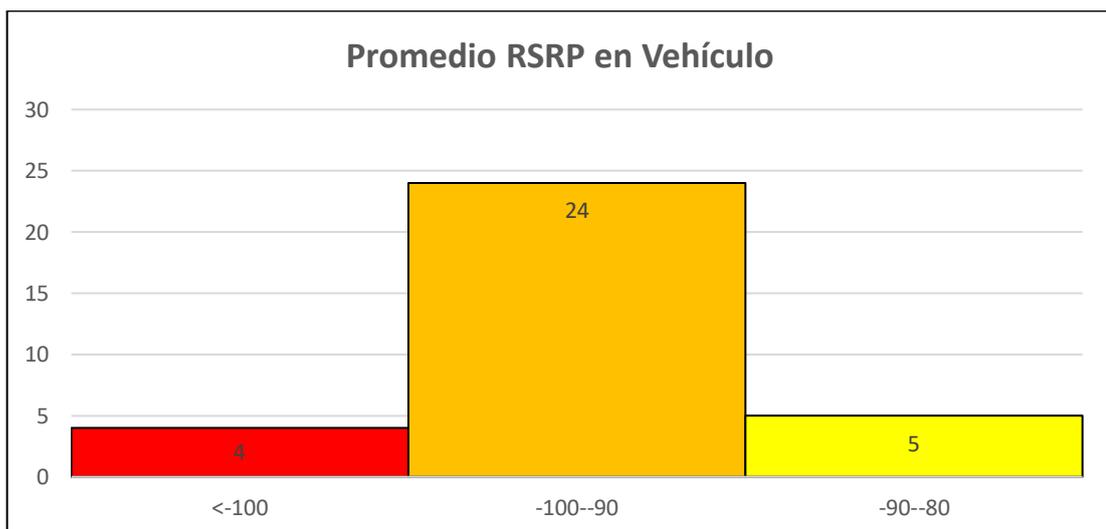


Ilustración 4-4: Promedio de valores RSRP (dBm) en el Centro Histórico de Ambato en Vehículo

Realizado por: Manzano B., 2023

Al analizar la ilustración 4-3 se concluye que: caminando solamente 2 calles de las 33 analizadas cumplen con un promedio de valores mayores a -80 dBm los cuales el estándar los considera como excelentes, estas son las calles Constantino Fernández con un promedio de -79.68 dBm y la 5 de junio con un promedio de -78.72 dBm, un total de 30 calles del centro histórico se encuentran en un promedio comprendido entre -80 dBm y -100 dBm valores que el estándar los considera como buenos y medios. En el anexo O, correspondiente a la tabla de promedio totales de los valores RSRP medidos caminando se evidencian estas calles pintadas de color amarillo para valores buenos y naranja para valores medios. Finalmente, la calle Cuenca es la que presentó el promedio más bajo de valor RSRP con -100.45 dBm. En la ilustración 4-5 se observa de manera grafica las calles pintadas con el color correspondiente al promedio RSRP total de las mediciones caminando.

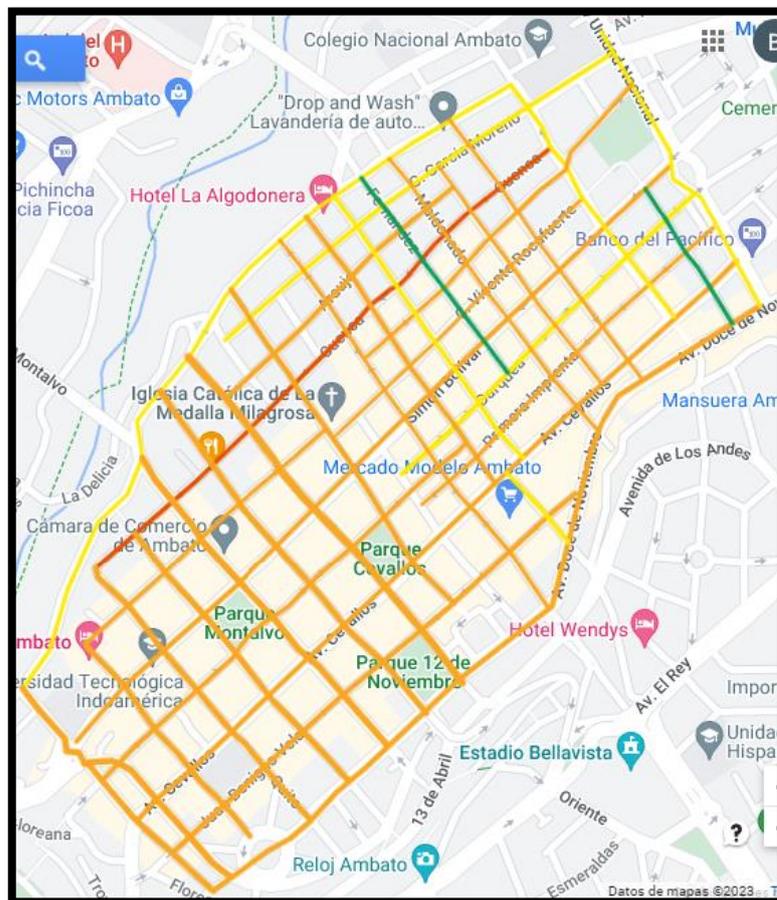


Ilustración 4-5: Promedio de valores RSRP (dBm) de cada calle representado con colores. Caminando

Realizado por: Manzano B., 2023

Por otro lado, al analizar la ilustración 4-4 se concluye que en las mediciones que se realizó en vehículo no existieron promedios de valores excelentes en ninguna de las 33 calles medidas, la

mayor cantidad de promedios RSRP se encuentran entre buenos y medios con un total de 29 calles, las cuales se pueden evidenciar en el anexo P que de igual manera están pintados de color amarillo para buenos y naranja para medios. Se puede evidenciar que existe un aumento de tres calles con valores menores a -100 dBm considerados como bajos, estas calles son la Vicente Rocafuerte con -102.10 dBm, Juan León Mera con -100.04 dBm y Quito con -100.10 dBm. Además, se produce un empeoramiento de la calle Cuenca con un valor de -103.08 dBm. En la ilustración 4-6 se observa de manera grafica las calles pintadas con el color correspondiente al promedio RSRP total de las mediciones en vehículo.

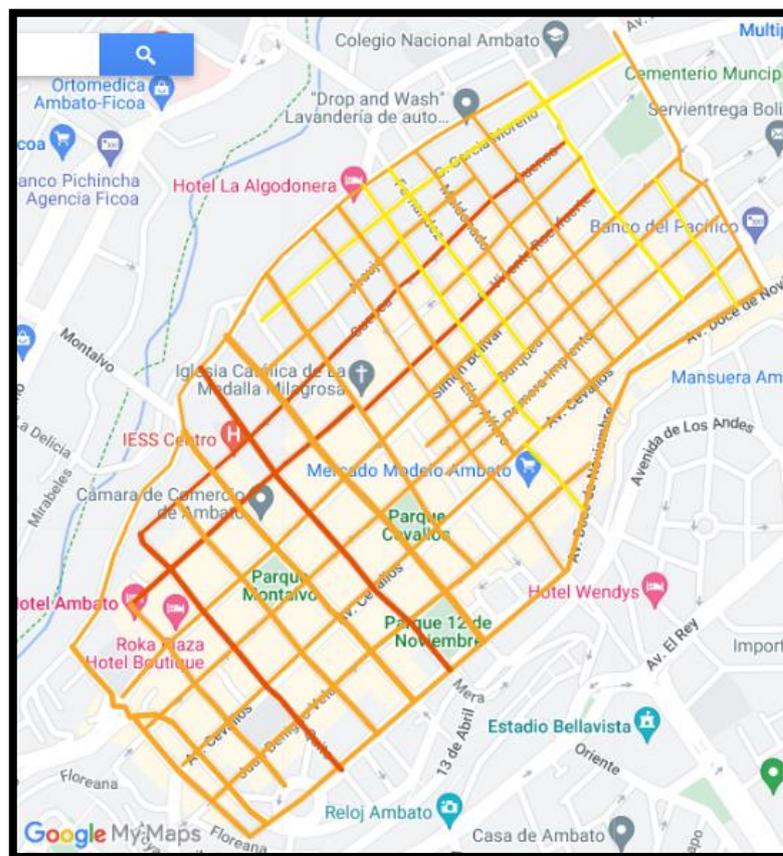


Ilustración 4-6: Promedio de valores RSRP (dBm) de cada calle representado con colores. En vehículo

Realizado por: Manzano B., 2023

4.1.4. Evaluación basada en ARCOTEL

Como se observó en el Capítulo II en la sección 2.8 sobre el análisis de calidad de servicio por parte de la ARCOTEL, el parámetro de calidad de servicio que se evaluó en la presente investigación es el SMA-QoS-9, el cual evalúa el nivel mínimo de señal en una zona de cobertura únicamente para la tecnología 4G. La ARCOTEL controla la calidad de servicio en la tecnología

4G haciendo un análisis del valor RSRP mediante un test drive, el cual no tiene que realizarse a una velocidad superior de 60 Km/h, la metodología que se utiliza para la toma de mediciones se denomina binning lineal, el cual consiste en obtener el valor promedio de la medición de cobertura (RSRP para 4G) secuencialmente, para la medición se utiliza un binning lineal de 10m. Aspectos como la velocidad y el binning lineal de 10m se cumplieron en la toma de mediciones a lo largo del centro histórico de Ambato. El nivel mínimo que exige la ARCOTEL a cumplir lo especifica de la siguiente manera:

- **%C >= 95%** de nivel mínimo de señal de cobertura.
- **%C >= 95%** de nivel mínimo de señal de cobertura en carretera, respecto del cumplimiento de plan de expansión en carreteras, en caso que el prestador tuviera dicha obligación.

El cálculo para obtener el índice se lo especifica según la ecuación 4-1:

$$\%C = \frac{n_s}{n} \times 100$$

Ecuación 4-1: Porcentaje de cobertura

En donde, los valores que conforman el índice son los siguientes:

n_s : Numero de muestras con nivel de señal en el canal de control del equipo terminal superior o igual del nivel mínimo.

n : Numero de muestras validas

%C: Porcentaje de cobertura por cada parroquia o carretera, y por tecnología

Además, que, el nivel mínimo de señal en cobertura se muestra en la tabla 4-5:

Tabla 4-5: Nivel mínimo de señal en cobertura para tecnologías 2G, 3G y 4G

SITIO	Rx Level (2G)	RSCP (3G)	RSRP (4G)
Zona de medición	≥ -85 dBm	≥ -85 dBm	≥ -100 dBm
Carretera	≥ -95 dBm, independiente de la tecnología		

Fuente: ARCOTEL, 2017

Realizado por: Manzano B., 2023

- **Rx Level:** Nivel de recepción sobre el canal de control en modo idle.
- **RSCP (Received Signal Code Power):** Potencia recibida después del despreading en modo idle
- **RSRP:** Señal de referencia de potencia recibida

El tamaño de la muestra está constituido por todas las muestras colectadas durante el recorrido realizado (drive test) dentro de cada una de las parroquias y/o carreteras definidas por la Dirección Ejecutiva de la ARCOTEL. Además, que el número de muestras validas (n) está constituido por todas aquellas muestras en donde el equipo de medición tenga referencia de ubicación geográfica (coordenadas de latitud y longitud). (ARCOTEL, 2017, p.29)

A manera de ejemplo, se muestra el procedimiento que se realizó para obtener %C del primer día de mediciones caminando, en donde se tuvo un total de 1550 muestras validas (n) con 1437 muestras de nivel de señal superiores o iguales del nivel mínimo (100 dBm) n_s , reemplazando los datos en la ecuación 4-1 se tiene que el porcentaje de cobertura del primer día de la siguiente manera:

$$\%C = \frac{1437}{1550} \times 100$$

$$\%C = 92.71\%$$

De igual manera, para las mediciones en vehículo en el primer día de mediciones se muestra el procedimiento que se realizó para obtener el porcentaje de cobertura en donde se tuvo un total de 1079 muestras validas (n), con 813 muestras de nivel de señal superiores o iguales del nivel mínimo (100 dBm) (n_s), en donde reemplazando los datos en la ecuación 4-1 se obtuvo el siguiente resultado:

$$\%C = \frac{809}{1079} \times 100$$

$$\%C = 74.98\%$$

En la tabla 4-6 se muestra el porcentaje de cobertura de la red 4G de CNT que se obtuvo de las mediciones realizadas en vehículo y caminando de los 7 días en el centro histórico de Ambato, además de un porcentaje general de cobertura de la suma de todas las mediciones realizadas.

Tabla 4-6: Porcentaje de cobertura de la red 4G de CNT en el centro histórico de Ambato

DIAS DE MEDICION	Métodos de Medición	$n_s \geq 100$ dBm	n	%C
Dia 1	Caminando	1437	1550	92.71%
	Vehículo	809	1079	74.98%
Dia 2	Caminando	1331	1465	90.85%
	Vehículo	823	1056	77.94%
Dia 3	Caminando	1132	1348	83.98%
	Vehículo	843	1086	77.62%
Dia 4	Caminando	1165	1383	84.24%
	Vehículo	783	1012	77.37%
Dia 5	Caminando	1090	1354	80.50%
	Vehículo	782	1023	76.44%
Dia 6	Caminando	1165	1471	79.20%
	Vehículo	785	1058	74.20%
Dia 7	Caminando	1050	1310	80.15%
	Vehículo	711	947	75.08%
PROMEDIO GENERAL	Caminando	8370	9881	84.71%
	Vehículo	5536	7261	76.24%

Realizado por: Manzano B., 2023

Al evaluar la tabla 4-6, se concluye que el %C (porcentaje de cobertura) de la red 4G de CNT en el centro histórico de Ambato, durante los 7 días de mediciones tiene diferentes valores dependiendo el día y la forma de medición (Caminando y en vehículo). Las variaciones por el día dependen de la afluencia de personas en el sector y la demanda que exista por el servicio en cada radiobase. Por ejemplo, para las mediciones caminando en el día 6 (sábado 1 de abril del 2023) se evidencia un menor porcentaje 74.20% comparado con los valores mínimos de RSRP exigidos por la ARCOTEL. El motivo se atribuye que, al ser un fin de semana, en el sector existe una mayor cantidad de afluencia de personas, debido a que es un día de feria en diferentes puntos del centro histórico de Ambato. Por otro lado, el porcentaje más alto con valores mayores o iguales al valor mínimo de RSRP (-100 dBm) es de 92.71 % en el día lunes 27 de marzo del 2023. Los valores de %C medidos caminando varían en un rango de 79.20% a 92.71%.

En cuanto a los valores de %C medidos en vehículo varían en un rango de 74.20% a 77.94%, de los cuales el porcentaje más bajo de valores mínimos de cobertura pertenece al día 6 (sábado 1 de abril del 2023), y el porcentaje más alto al día 2 (martes 28 de marzo del 2023). Cabe recalcar que en este caso también se evidencia la disminución de valores excelentes, buenos y medios cuando se realizan mediciones en vehículo, que como ya se mencionó, se debe a las pérdidas de penetración en vehículos y al efecto Doppler. En los anexos Q y R se puede observar el porcentaje de cobertura a mayor detalle de cada calle para los dos escenarios de medición.

El porcentaje de cobertura (%C) total de la red 4G de CNT en el centro histórico de Ambato, tanto de las mediciones caminado como en vehículo, se obtuvo sumando todas las muestras validas (n) pertenecientes a cada método de medición de manera individual (9881 muestras caminando, 7261 en vehículo) y sumando las muestras de nivel de señal superiores o iguales al nivel mínimo (-100 dBm) (n_s) pertenecientes a cada método de medición de manera individual (8370 muestras caminando, 5536 en vehículo), reemplazando los datos en la ecuación 4-1 tenemos que:

Caminando

$$\%C = 84.71 \%$$

En vehículo

$$\%C = 76.24\%$$

Una vez realizada la evaluación y análisis se concluye que el porcentaje de cobertura total (%C), perteneciente a la red 4G de CNT en el centro histórico de Ambato en 7 días de medición, tiene un valor de 84.71% caminando y 76.24% en vehículo, porcentajes que se encuentran por debajo del porcentaje mínimo exigido por la ARCOTEL a cada proveedor de servicio. Sin embargo, se debe considerar que los equipos utilizados para la medición son teléfonos móviles. Por tanto, en futuros trabajos estas medidas deben ser contrastadas con equipos de medida profesionales.

4.1.5. Evaluación de simulación en el Software Profesional

Como se observó en el anterior capítulo, el software profesional dio como resultado la simulación de cobertura por nivel de señal obtenida en el área de estudio, la cual se presentó en la ilustración 3-62, y de la cual se obtuvo el histograma que se muestra en la ilustración 4-7. La cual se encuentra en área de cobertura.

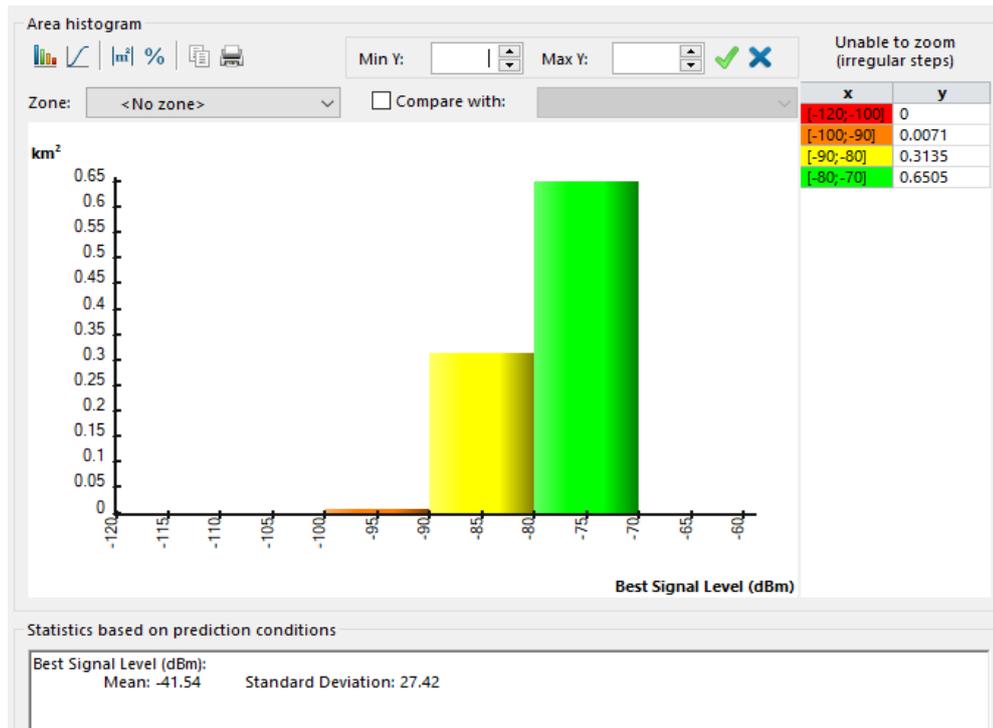


Ilustración 4-7: Histograma de cobertura por nivel de señal en Software Profesional

Realizado por: Manzano B., 2023

Por tanto, para evaluar la red simulada se obtuvo los valores RSRP en porcentajes de medidas como se observa en la ilustración 4-8.

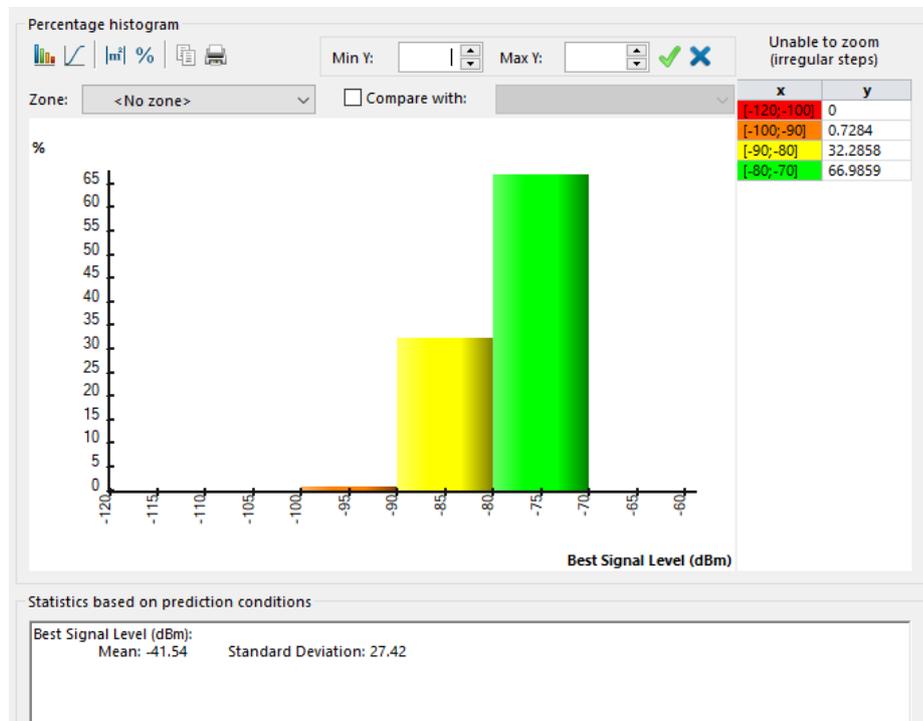


Ilustración 4-8: Histograma de cobertura por nivel de señal en Software Profesional en porcentajes

Realizado por: Manzano B., 2023

En la ilustración 4-8 se observa que en la red simulada existen valores RSRP en un rango de -80 a -70 (dBm) con un porcentaje de 66.99% valores considerados como excelentes, en cuanto a valores entre -90 y -80 (dBm) considerados como buenos hay un porcentaje de 32.29%, finalmente valores entre -100 y -90 (dBm) existe un 7.28%, los cuales se los considera como medios. Cabe recalcar que la simulación no se observó valores menores a -100 dBm.

La evaluación basada en lo que establece la ARCOTEL determinó que la red cumple con el porcentaje requerido ($\geq 95\%$) de valores mayores o iguales al valor mínimo (≥ -100 dBm) ya que en la red simulada todos los valores se encuentran superando el umbral de -100 dBm, teniendo así un valor de %C (porcentaje de cobertura) igual al 100%.

4.2. Discusión

Mediante el análisis de cobertura de la red 4G de CNT en el centro histórico de Ambato utilizando dispositivos móviles, se logró determinar que los parámetros radioeléctricos permiten dar un criterio sobre la calidad de servicio de una red móvil en un determinado sector, en la investigación se tomó las medidas de la señal de referencia de potencia recibida (RSRP), la recolección y evaluación de medidas se basaron en lo que establece la ARCOTEL, entidad que evalúa la calidad de servicio de la tecnología 4G en Ecuador mediante el parámetro SMA-QoS-9. Gracias a esto se evidenció que existe un empeoramiento de 2.43 dBm en la señal de referencia de potencia recibida (RSRP), ya que cuando se realizó las mediciones en vehículo se obtuvo un promedio general de -94.14 dBm mientras que con las mediciones realizadas caminando se tuvo un promedio general de -91.61 dBm, esto se debe a que al ser un entorno indoor, la señal se atenúa por la estructura del carro, el cual genera un obstáculo más de penetración. Además, la velocidad del vehículo provoca que la señal recibida se deteriore debido a factores como el efecto Doppler, dispersores y efecto multirayecto. El patrón de disminución de la señal se repitió en los 7 días de mediciones.

Al realizar el análisis a mayor detalle de los puntos o calles en donde el parámetro radioeléctrico RSRP tiene valores bajos. Se determinó que: para el escenario caminando, 2 calles de las 33 que comprenden el centro histórico de Ambato, cumplen con un promedio de valores mayores a -80 dBm los cuales el estándar considera como excelentes. Estas son las calles Constantino Fernández con un promedio de -79.68 dBm y la calle 5 de junio con un promedio de -78.72 dBm por otro lado un total de 30 calles del centro histórico se encuentran en un promedio comprendido entre -80 dBm y -100 dBm valores que el estándar considera como buenos y medios. Finalmente, la calle Cuenca es la que presentó el promedio más bajo de valores RSRP con -100.45 dBm. En cuanto al escenario en vehículo, no existieron promedios de valores excelentes en ninguna de las 33 calles del centro histórico de Ambato. Se evidenció un aumento de tres calles con valores

menores a -100 dBm considerados como bajos, estas calles son: Vicente Rocafuerte con -102.10 dBm, Juan León Mera con -100.04 dBm y Quito con -100.10 dBm, además de un empeoramiento de señal en la calle Cuenca con un valor de -103.08, mientras que las restantes 29 calles que comprenden el sector de medición, se encuentran con un promedio de valores entre buenos y medios (≥ -100 dBm y ≤ -80 dBm).

Basándose en el parámetro SMA-QoS-9 que utiliza la ARCOTEL para el control de la calidad de servicio de la tecnología 4G, se determinó que el porcentaje de cobertura total (%C) de la red 4G de CNT en el centro histórico de Ambato en 7 días de medición tiene un valor de 84.71% para el escenario caminando y 76.24% para el escenario en vehículo. Porcentajes que se encuentran por debajo del porcentaje mínimo exigido por la ARCOTEL.

Por otro lado, la red 4G simulada en el software profesional, la cual se basó en aspectos técnicos utilizados por la Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT), tales como la potencia de transmisión y ubicación geográfica de las radiobases, se obtuvo que en el centro histórico de Ambato existen valores RSRP en un rango de -80 a -70 (dBm) con un porcentaje de 66.99% valores considerados como excelentes, en cuanto a valores entre -90 y -80 (dBm) considerados como buenos hay un porcentaje de 32.29%. Finalmente, para los valores entre -100 y -90 (dBm) existe un 7.28% los cuales se considera como medios. Cabe recalcar que en la simulación no se observó valores menores a -100 dBm. La evaluación basada en lo que establece la ARCOTEL determinó que la red simulada cumple con el porcentaje requerido ($\geq 95\%$) de valores mayores o iguales al valor mínimo (≥ -100 dBm). Debido a que, en la red todos los valores se encuentran superando el umbral de -100 dBm, teniendo así un valor de %C (porcentaje de cobertura) igual al 100%.

Finalmente, cabe recalcar que la diferencia que existe entre los resultados evaluados en campo y los simulados se debe a que el software profesional solamente utiliza un modelo digital del terreno y no representa edificios, casas, centros comerciales y demás infraestructura que se encuentran en el centro histórico de Ambato. El modelo de propagación que se ocupó fue el modelo SUI con factor de corrección debido a que (Flores, 2023) lo especificó como el que mejor se adapta a las características del casco urbano de la ciudad de Ambato. Cabe destacar que las medidas fueron realizadas con un teléfono móvil, por lo que es recomendable que se contrasten las medidas con equipos de medición profesionales.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- El estudio del estándar 4G LTE-A permitió determinar los parámetros radioeléctricos RSRP, RSRQ, CQI, SINNR los cuales permiten dar una valoración sobre la calidad de señal de una red móvil. El parámetro radioeléctrico RSRP (señal de referencia de potencia recibida) es con el que la ARCOTEL controla la calidad de servicio de una red móvil que utiliza la tecnología 4G.
- La medición y recolección de información de campo del parámetro radioeléctrico RSRP perteneciente al control de calidad de servicio de la tecnología 4G utilizando un dispositivo móvil permitió evidenciar que existe un empeoramiento de 2.53 dBm en la señal de referencia de potencia recibida ya que en las mediciones en vehículo se obtuvo un promedio general de -94.14 dBm mientras que caminando de -91.61 dBm, factores como el estar en un entorno indoor, efecto Doppler, dispersores y multitrayecto provocaron el deterioro de la señal recibida cuando se tomó las medidas en vehículo.
- De las mediciones que se realizó caminando, 2 calles de las 33 que comprenden el centro histórico de Ambato cumplen con un promedio de valores mayores a -80 dBm los cuales el estándar los considera como excelentes, estas son las calles Constantino Fernández con un promedio de -79.68 dBm y la calle 5 de junio con un promedio de -78.72 dBm por otro lado un total de 30 calles del centro histórico se encuentran en un promedio comprendido entre -80 dBm y -100 dBm valores que el estándar los considera como buenos y medios. Finalmente, la calle Cuenca es la que presentó el promedio más bajo de valores RSRP con -100.45 dBm.
- En las mediciones que se realizó en vehículo no existieron promedios de valores excelentes en ninguna de las 33 calles que comprenden el centro histórico de Ambato, se evidenció que existe un aumento de tres calles con valores menores a -100 dBm considerados como bajos, estas calles son: Vicente Rocafuerte con -102.10 dBm, Juan León Mera con -100.04 dBm y Quito con -100.10 dBm, además de un empeoramiento de señal en la calle Cuenca con un valor de -103.08 dBm, mientras que las restantes 29 calles

que comprenden el sector de medición se encuentran con un promedio de valores entre buenos y medios.

- La simulación de la cobertura de la red LTE-A de CNT mediante el software profesional ayudó adquirir conocimientos técnicos sobre su funcionamiento como potencia de transmisión, ubicación, azimut de las diferentes radiobases que dan el servicio 4G en el centro histórico de Ambato, además que, existen valores RSRP en un rango de -80 a -70 (dBm) con un porcentaje de 66.99% valores considerados como excelentes, en cuanto a valores entre -90 y -80 (dBm) considerados como buenos hay un porcentaje de 32.29%, finalmente valores entre -100 y -90 (dBm) existe un 7.28% los cuales se los considera como medios. Cabe recalcar que en la simulación no se observó valores menores a -100 dBm.
- La evaluación del parámetro radioeléctrico RSRP medido en campo permitió determinar que el nivel de operación del servicio 4G de CNT se encuentra por debajo del porcentaje exigido por la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, ya que el porcentaje de cobertura total (%C) de la red tiene un valor de 84.71% para mediciones caminando y 76.24% para mediciones en vehículo, los porcentajes de cobertura bajos en las dos formas de medición se lo atribuye a que la ciudad de Ambato no es una zona demográfica completamente plana.
- La evaluación del parámetro radioeléctrico RSRP simulado permitió determinar que la red cumple con el porcentaje requerido ($\geq 95\%$) de valores mayores o iguales al valor mínimo (≥ -100 dBm) ya que en la red todos los valores se encuentran superando el umbral de -100 dBm, teniendo un porcentaje de cobertura total (%C) igual al 100%, este valor se lo atribuye a que el software profesional solamente utiliza un modelo digital del terreno y no representa edificios, casas, centros comerciales y demás infraestructura que se encuentran en el centro histórico de Ambato.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar una recolección de más parámetros radioeléctricos tales como RSRQ, SINNR o CQI en el centro histórico de Ambato que permitan determinar a mayor detalle el estado en el que se encuentra la calidad de servicio de la red 4G de CNT en el sector.

- Es recomendable que la ARCOTEL proporcione mayor información acerca de aspectos técnicos como potencia de transmisión, altura, azimuth, downtlit de las diferentes radiobases de red móvil que trabajan en Ecuador, con el objetivo que estos aspectos técnicos sirvan para investigaciones de tecnologías actuales y futuras.
- Se recomienda determinar un parámetro radioeléctrico de medición para determinar la calidad de servicio en la tecnología 5G ya que en documentación actual publicada por la ARCOTEL no existe.
- Se recomienda contrastar las mediciones tomadas de RSRP (dBm) con equipos de medición profesional, ya que las mediciones realizadas en esta investigación fueron realizadas con dispositivos móviles (teléfonos celulares)

BIBLIOGRAFIA

ALVINO, C. *Estadísticas de la situación digital de Ecuador 2020-2021*. [blog]. 5 mayo, 2021. [Consulta: 16 de febrero 2023]. Disponible en: <https://branch.com.co/marketing-digital/estadisticas-de-la-situacion-digital-de-ecuador-en-el-2020-2021/#:~:text=El%20estado%20general%20del%20uso,%2C8%25%20de%20la%20poblaci%C3%B3n.>

ANALUISA, J. Diseño de una red 4G Long Term Evolution (LTE) en redes móviles. [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador. 2014. pp. 14-19. [Consulta: 18 de febrero 2023]. Disponible en: https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/7796/1/Tesis_t905ec.pdf

ARCOTEL. “Participación de mercado e índice de concentración de los servicios de telecomunicaciones”. [en línea], 2021, (Ecuador) (4), pp. 8-10. [Consulta: 17 de febrero 2023]. Disponible en: <https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2021/12/Boleti%CC%81n-estadistico-noviembre-2021.pdf>

ARCOTEL. “Boletín estadístico”. [en línea], 2019, (Ecuador) (1), pp. 7-14. [Consulta: 17 de febrero 2023]. Disponible en: <https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2015/01/boletin-febrero-2020-.pdf>

ARCOTEL. “Infraestructura y Cobertura. Servicio Móvil Avanzado”. [en línea], 2020, (Ecuador) (2), pp. 2-9. [Consulta: 17 de febrero 2023]. Disponible en: <https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2015/01/BoletinEstadistico-May2020-SMA-CoberturaInfraestructura.pdf>

ARCOTEL. “Boletín estadístico IV trimestre 2018”. [en línea], 2018, (Ecuador) (4), pp. 9-13. [Consulta: 21 de abril 2023]. Disponible en: <https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2015/01/BoletinEstadistico-May2020-SMA-CoberturaInfraestructura.pdf>

ARCOTEL. “RESOLUCION ARCOTEL-2017-”. [en línea], 2017, (Ecuador), pp. 28-30. [Consulta: 15 de junio 2023]. Disponible en: <https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2018/01/Proyecto-resoluci%C3%B3n-%C3%ADndices-de-calidad-SMA.pdf>

ARCOTEL. *Líneas activas 2023.* [blog]. 20 octubre, 2023. [Consulta: 23 de octubre 2023]. Disponible en: <https://www.arcotel.gob.ec/lineas-activas/>

BNAMERICAS. *Radiografía al mercado de telecomunicaciones de Ecuador.* [blog]. Chile: 01 junio, 2022. [Consulta: 18 de febrero 2023]. Disponible en: <https://www.bnamericas.com/es/noticias/radiografia-al-mercado-de-telecomunicaciones-de-ecuador>

BNAMERICAS. *Perspectiva de las telecomunicaciones de Ecuador en 2023.* [blog]. Chile: 12 enero, 2023. [Consulta: 18 de febrero 2023]. Disponible en: <https://www.bnamericas.com/es/analisis/perspectivas-de-las-telecomunicaciones-de-ecuador-en-2023>

CHILENO, K. Análisis de la evolución del marco legal y regulatorio del servicio móvil avanzado y los aspectos técnicos de los contratos de concesión suscritos para su presentación en Ecuador en el periodo 1992-2021. (Trabajo de integración curricular) (Ingeniera en Tecnologías de la Información). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2022. pp.29-30. [Consulta: 19 de junio 2023]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/23343>

CNT. *Visor geográfico de servicios.* [blog]. 22 febrero, 2023. [Consulta: 24 de febrero 2023]. Disponible en: <https://gis.cnt.gob.ec/appgeoportal/?u=-78.62132,-1.23958,16>

DATEAS. Censo de población, densidad poblacional y superficie de Ecuador. [blog]. Ecuador: 15 enero, 2023. [Consulta: 19 de mayo 2023]. Disponible en: <https://www.dateas.com/es/explore/censo-poblacion-densidad-superficie-ecuador/ambato-841>

DIAZ, O. Análisis de la situación actual de la red móvil celular en la ciudad de Riobamba y propuesta de optimización de recursos para mejorar la transmisión de datos. [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2018. p.5. [Consulta: 19 de febrero 2023]. Disponible en: <http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/9282/1/20T01110.pdf>

DPLNEWS. *Líneas de telefonía celular aumentaron 8% desde Julio 2020.* [blog]. México: 20 julio, 2021. [Consulta: 19 de febrero 2023]. Disponible en: <https://dplnews.com/ecuador-lineas-de-telefonía-celular-aumentaron-8-desde-julio-2020/>

EL HERALDO. *Poligono patrimonial influye en el centro histórico.* [blog]. Ecuador: 10 enero, 2023. [Consulta: 23 de febrero 2023]. Disponible en: <https://www.elheraldo.com.ec/poligono-patrimonial-influye-en-el-centro-historico/>

FLORES, A. Análisis comparativo de modelos de propagación en la telefonía móvil en la banda 1900 MHz (LTE) a través de mediciones del campo eléctrico en la ciudad de Ambato. 2023. pp. 60-63. [Consulta: 20 de mayo 2023]. Disponible en: <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/maskay/article/view/2899>

GUINAND, C. Planificación de una red LTE con la herramienta ATOLL y análisis del impacto de las estrategias de Packet Scheduling. 2012. pp.45-55. [Consulta: 20 de abril 2023]. Disponible en: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/14624/PFC_Cristina_Guinand_Salas.pdf?sequence=1&isAllowed=y

GRAU, S. Medición y análisis de las redes de comunicaciones móviles 4G LTE en Cullera. [En línea] (Trabajo de titulación). Universitat Politècnica de Valencia, Gandía, España. 2019. pp.1-10. [Consulta: 19 de febrero 2023]. 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>

HUIDOBRO, J. *Comunicaciones Móviles. Sistemas GSM, UMT y LTE.* Madrid-España: RAMA, 2014. [Consulta: 20 de febrero 2023]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/106423>

INGENIERIA DE CALIDAD. *Ciclo de Deming: Metodología de mejora continua.* [blog]. Ecuador: 12 febrero, 2020. [Consulta: 01 de mayo 2023]. Disponible en: <https://www.ingenieriadecalidad.com/2020/02/ciclo-de-deming.html>

LA HORA. *Municipio intenta recuperar el centro histórico de Ambato.* [blog]. Ecuador: 15 julio, 2022. [Consulta: 23 de febrero 2023]. Disponible en: <https://www.lahora.com.ec/tungurahua/municipio-intenta-recuperar-centro-historico-ambato/>

LEMA, F. Estudio para la recomendación de parámetros técnicos a utilizarse en el control de redes 4G en Ecuador. [En línea] (Trabajo de titulación). Escuela Politécnica Nacional, Quito,

Ecuador. 2017. pp.77-78. [Consulta: 22 de febrero 2023]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/17298/1/CD-7790.pdf>

LORENZO, J. *Network Cell Info Lite: Una aplicación para ver las estadísticas de tu red móvil.* [blog]. 29 julio, 2021. [Consulta: 21 de febrero 2023]. Disponible en: <https://www.redeszone.net/2017/07/29/network-cell-info-lite-una-aplicacion-ver-las-estadisticas-red-movil/>

MINTEL. “Informe de rendición de cuentas 2020”. [en línea], 2021, (Ecuador) (1), pp. 16-19. [Consulta: 20 de febrero 2023]. Disponible en: https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/2021/05/rendicion_de_cuentas_2020.pdf

MINTEL. “Plan de servicio universal 2022-2025”. [en línea], 2022, (Ecuador) (1), pp. 30-31. [Consulta: 20 de febrero 2023]. Disponible en: <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/2022/06/Plan-de-Servicio-Universal-signed-signed-signed-signed-signed.pdf>

MINTEL. “Política pública de telecomunicaciones 2023-2025”. [en línea], 2023, (Ecuador) (1), pp. 11-15. [Consulta: 16 de abril 2023]. Disponible en: https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/2023/06/Poli%CC%81tica-Pu%CC%81blica-Telecomunicaciones-2023-2025-con-ANEXOS-nuevos-signed-signed-signed-signed_firmado.pdf

MOSSNER, D. *Parámetros de calidad de señal LTE.* [blog]. 17 enero, 2023. [Consulta: 18 de febrero 2023]. Disponible en: <https://support.zyxel.eu/hc/es/articles/360005188999-Par%C3%A1metros-de-calidad-de-se%C3%B1al-LTE#:~:text=RSRP%20>

NOVICOMPU. *Celular Tecno Camon 18P, 8gb, 128gb.* [blog]. 02 enero, 2022. [Consulta: 23 de marzo 2023]. Disponible en: <https://www.novicompu.com/celular-tecno-camon-18p-8gb-128gb/p>

PARKVALL, S; DAHLMAN, E; SKOLD, J. *4G, LTE-Advanced Pro and The Road to 5G.* Amsterdam-Paises Bajos: Elsevier Ltd, 2016. [Consulta: 21 de febrero 2023]. Disponible en: https://www.academia.edu/36715560/4G_LTE_Advanced_Pro_and_The_Road_to_5G_Third_Edition

PENALVA, J. *Xiaomi Redmi Note 8 Pro, análisis: su modo noche y la cámara de 64MP lo lanzan a ser un superventas.* [blog]. 31 agosto, 2021. [Consulta: 23 de marzo 2023]. Disponible en: <https://www.xataka.com/analisis/redmi-note-8-pro-analisis-caracteristicas-precio-especificaciones>

SMARTTOOLS. *Telemetro: Smart Measure.* [blog]. 02 febrero, 2023. [Consulta: 22 de junio 2023]. Disponible en: <https://play.google.com/store/apps/details?id=kr.sira.measure&hl=es&gl=US&pli=1>

TOAPANTA, K. Estudio comparativo del rendimiento entre LTE FDD y LTE TDD mediante el software ICS DESIGNER. [En línea] (Trabajo de titulación). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2019. pp.32-35. [Consulta: 18 de abril 2023]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19956/1/CD-9414.pdf>

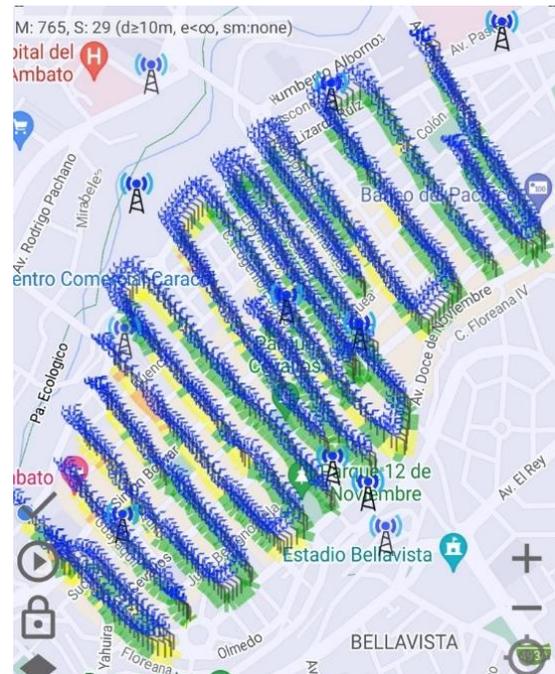
ZEVALLOS, J; et al. *Historia de las telecomunicaciones en el Ecuador.* [en línea]. Quito-Ecuador: Academia Nacional de Historia, 2014. [Consulta: 19 de febrero 2023]. Disponible en: <https://corporativo.cnt.gob.ec/wp-content/uploads/2014/07/LIBRO-CNT-WEB.pdf>

ANEXOS

ANEXO A: MEDICION DE RSRP (dBm) EN CALLES PRINCIPALES Y SECUNDARIAS

Día 2, 28 de marzo del 2023

CAMINANDO

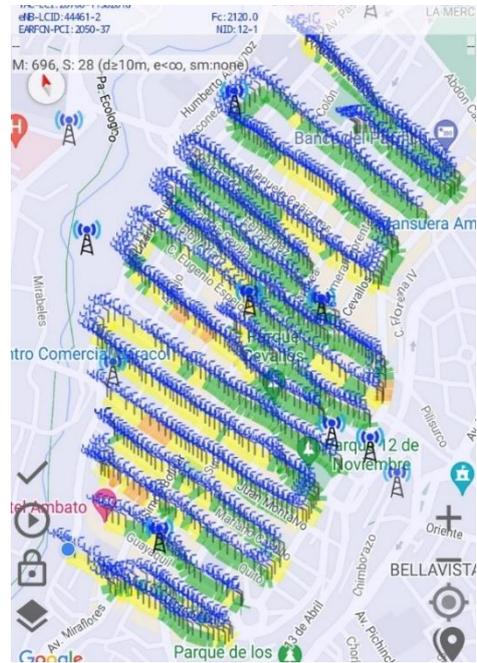


VEHICULO

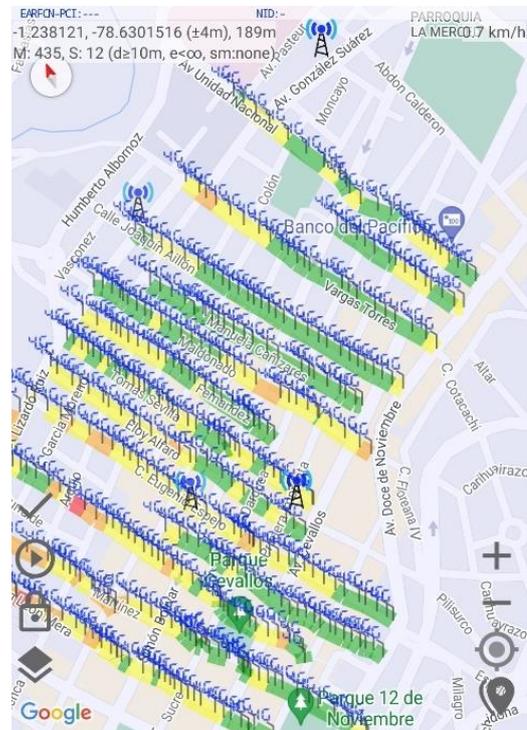
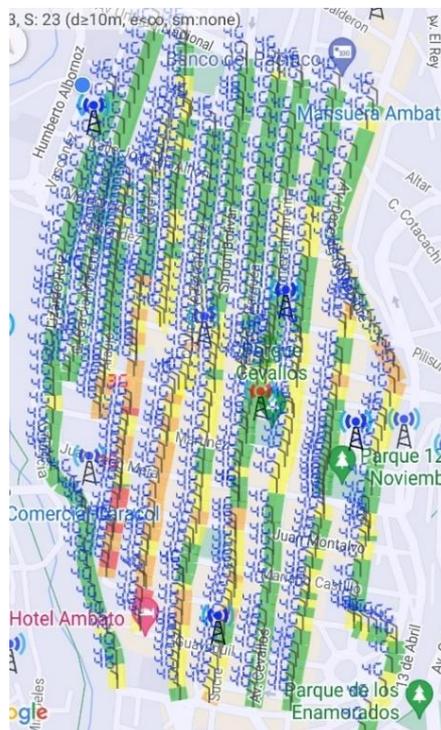


Día 3, 29 de marzo del 2023

CAMINANDO



VEHICULO

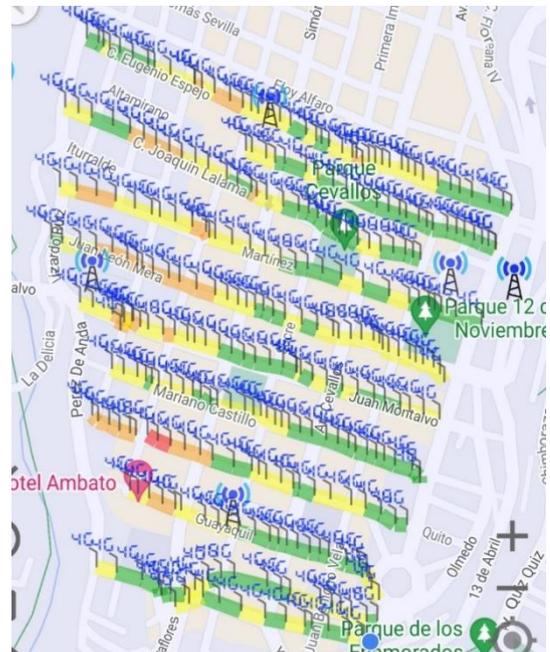


Día 4, 30 de marzo del 2023

CAMINANDO

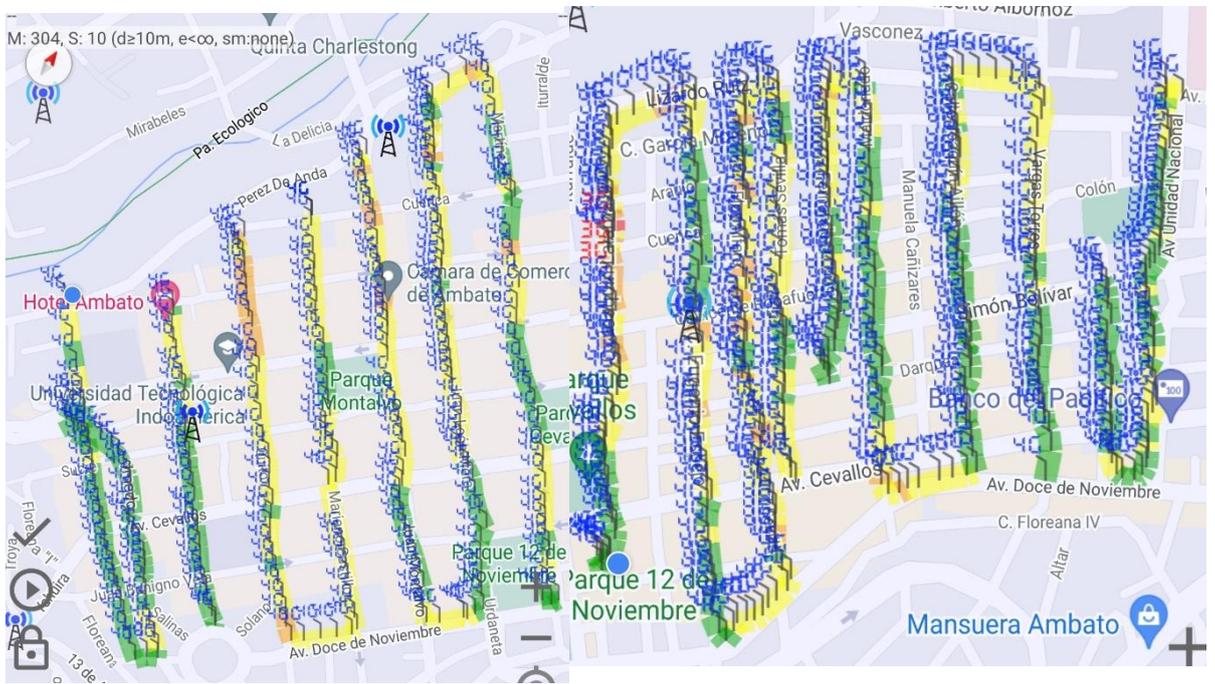


VEHICULO

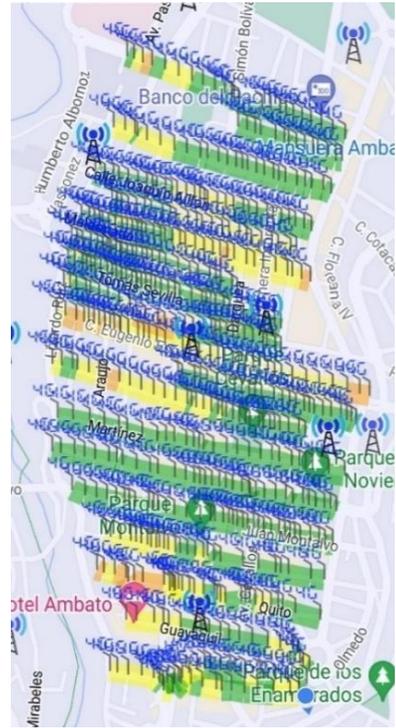


Día 5, 31 de marzo del 2023

CAMINANDO

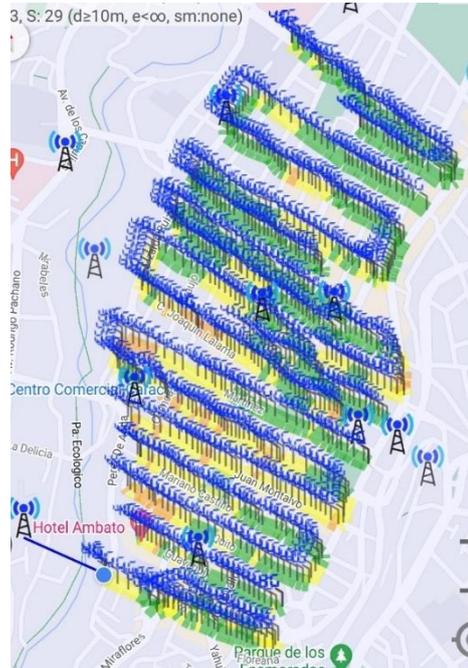


VEHICULO



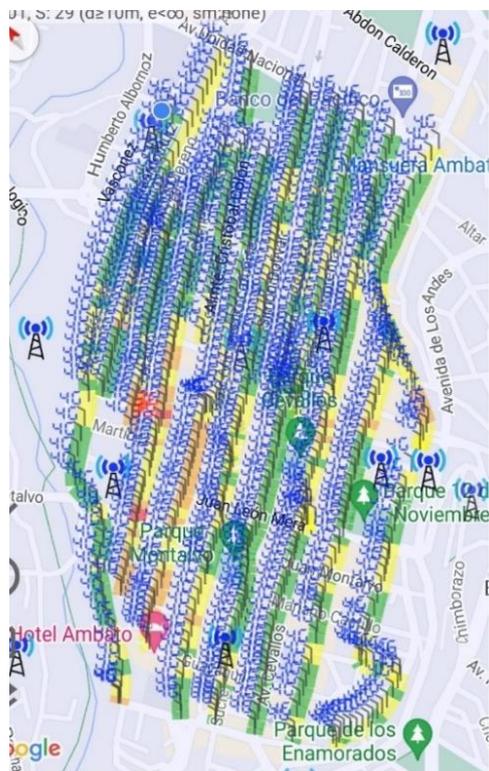
Día 6, 01 de abril del 2023

CAMINANDO

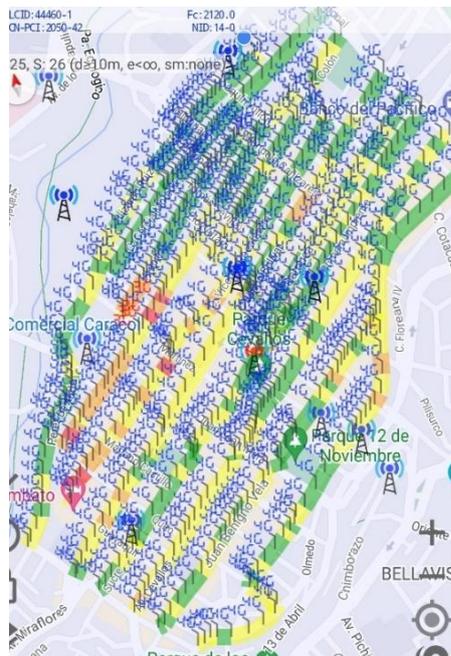


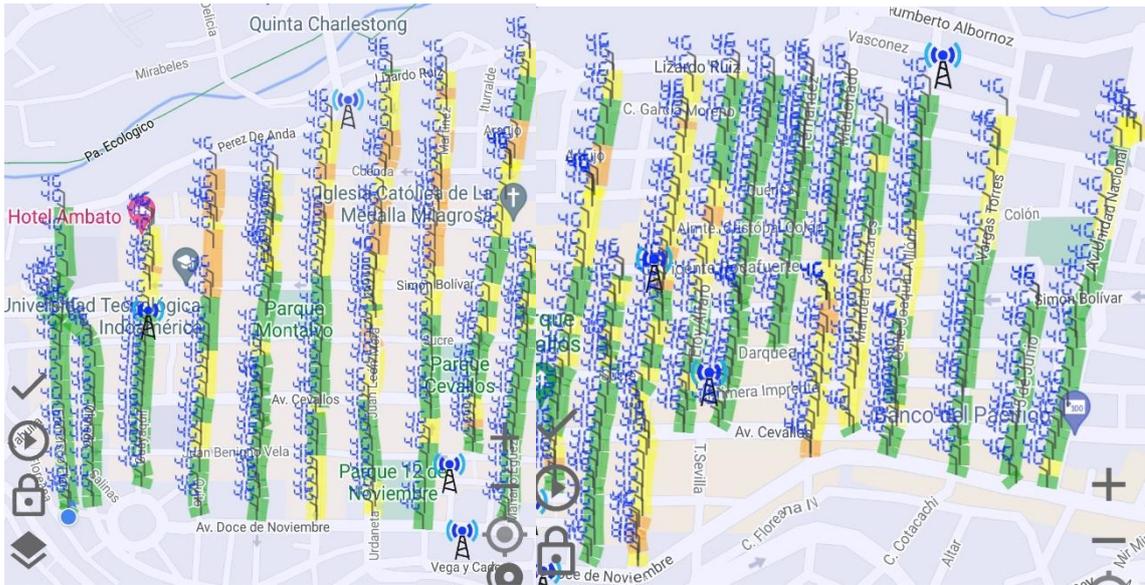
Día 7, 02 de abril del 2023

CAMINANDO



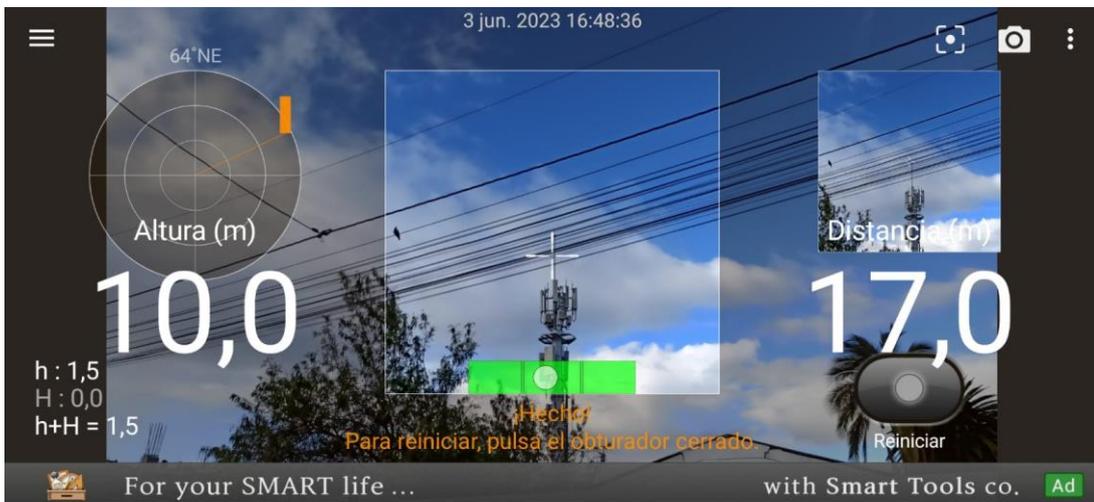
VEHICULO





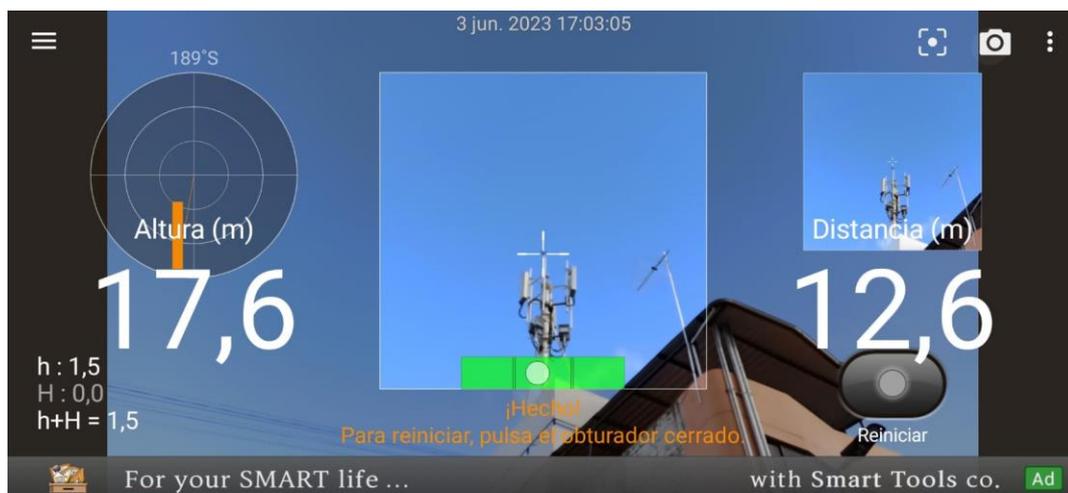
ANEXO B: MEDICION DE ALTURA DE RADIOBASES RB2, RB3, RB4, RB5, RB6, RB7, RB8, RB10, RB11

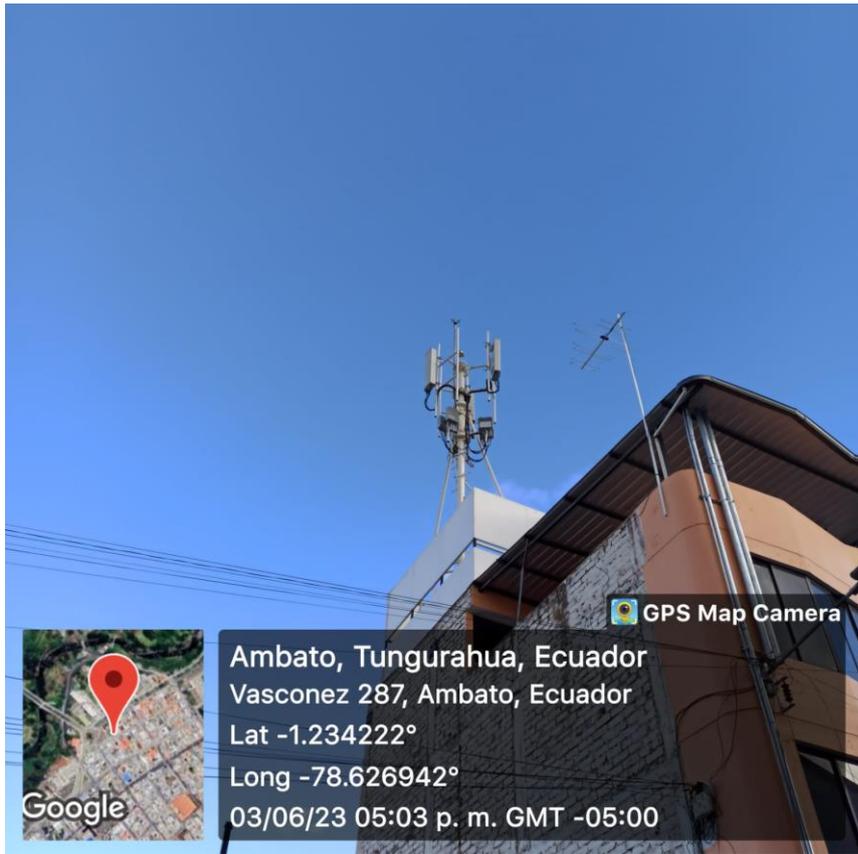
RB2





RB3



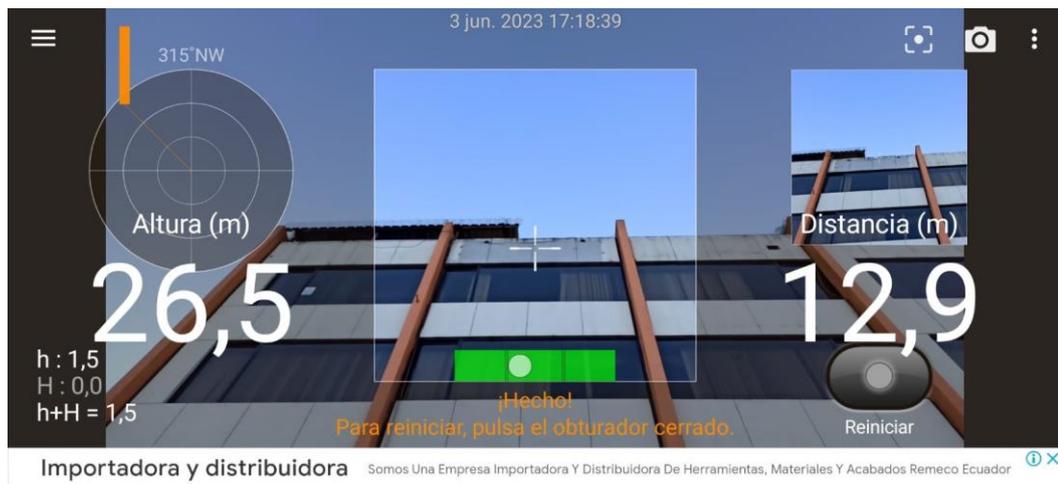


RB4





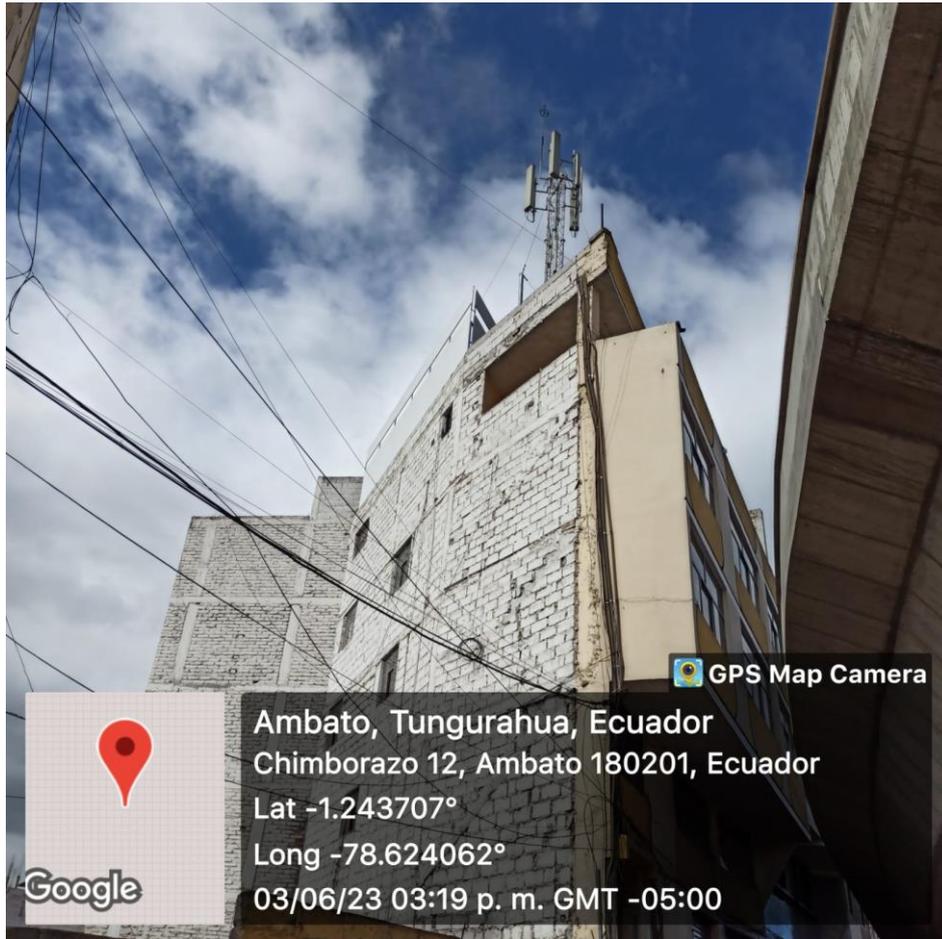
RB5





RB6





RB7





RB8



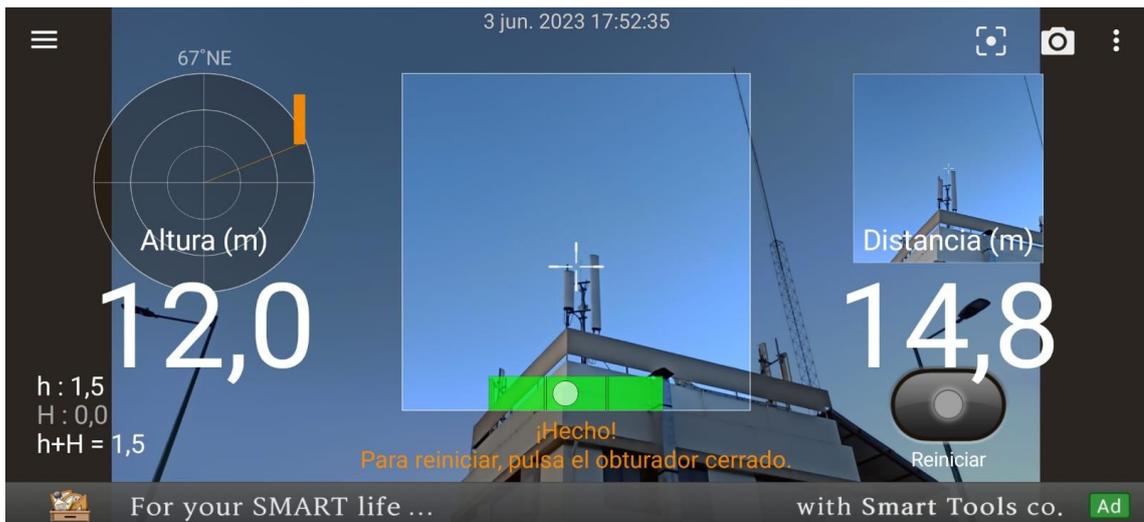


RB10





RB11





 GPS Map Camera

Ambato, Tungurahua, Ecuador

Q946+5G8, Av. los Guaytambos, Ambato 180101, Ecuador

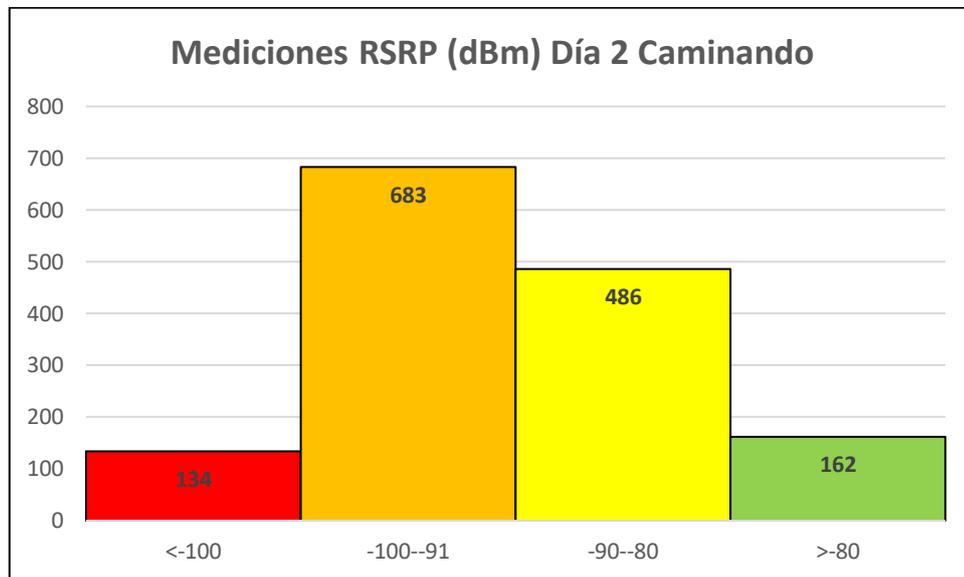
Lat -1.244803°

Long -78.638665°

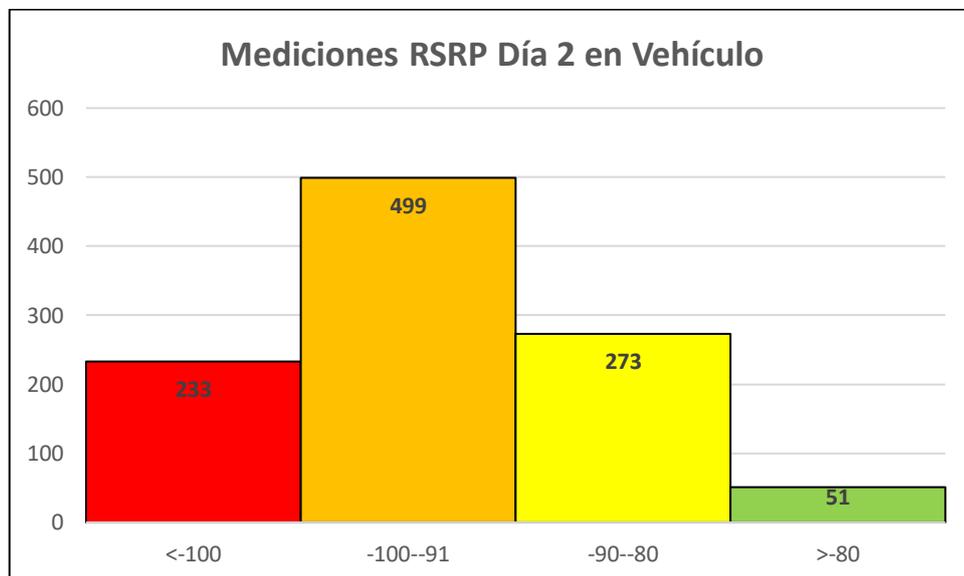
03/06/23 05:51 p. m. GMT -05:00

Google

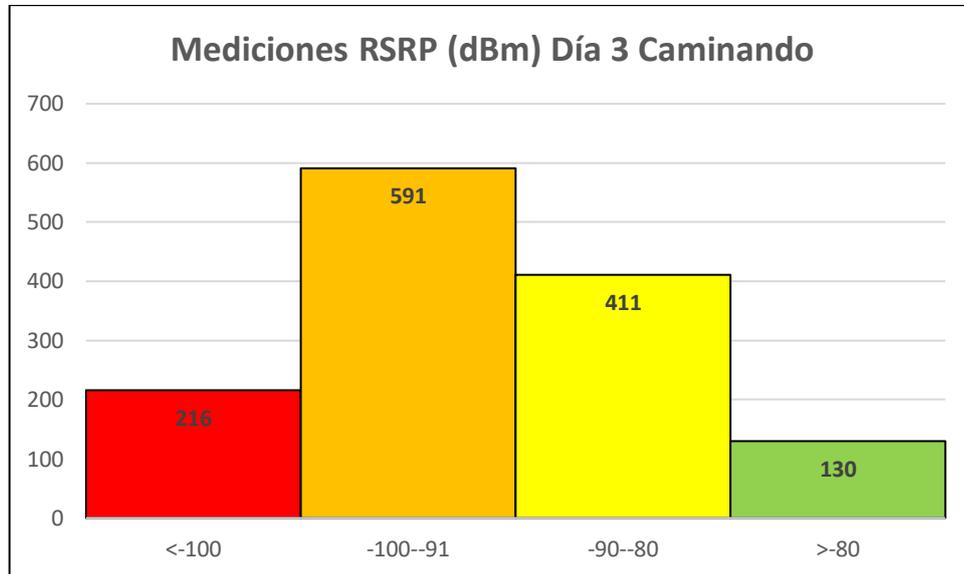
ANEXO C: HISTOGRAMA DE LAS MEDICIONES RSRP (dBm) DEL DÍA 2 CAMINANDO



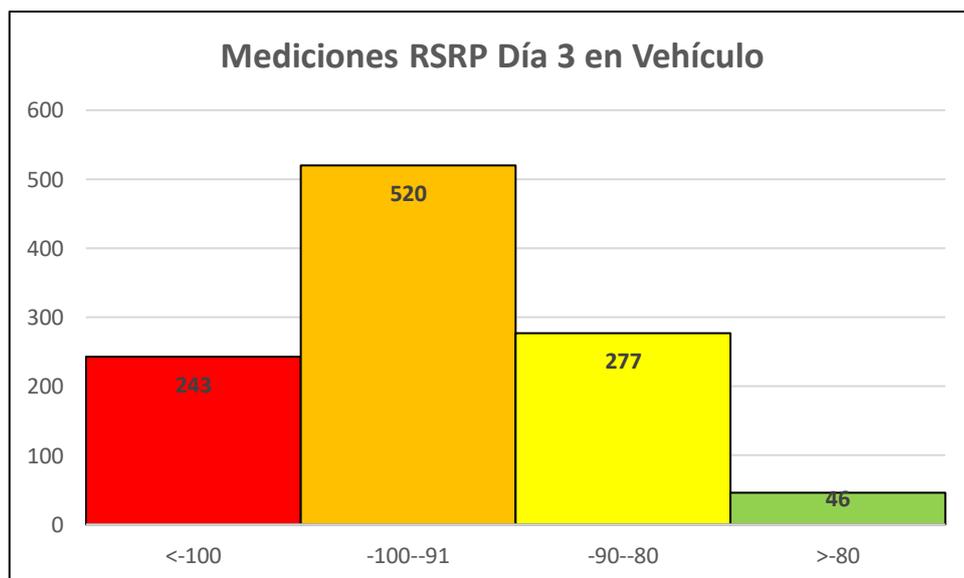
ANEXO D: HISTOGRAMA DE LAS MEDICIONES RSRP (dBm) DEL DÍA 2 EN VEHÍCULO



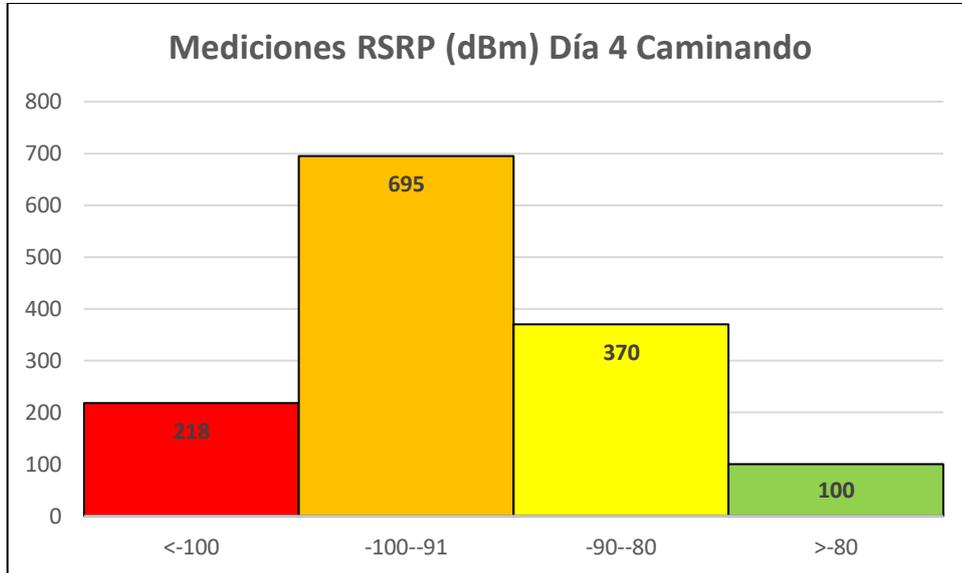
ANEXO E: HISTOGRAMA DE LAS MEDICIONES RSRP (dBm) DEL DÍA 3 CAMINANDO



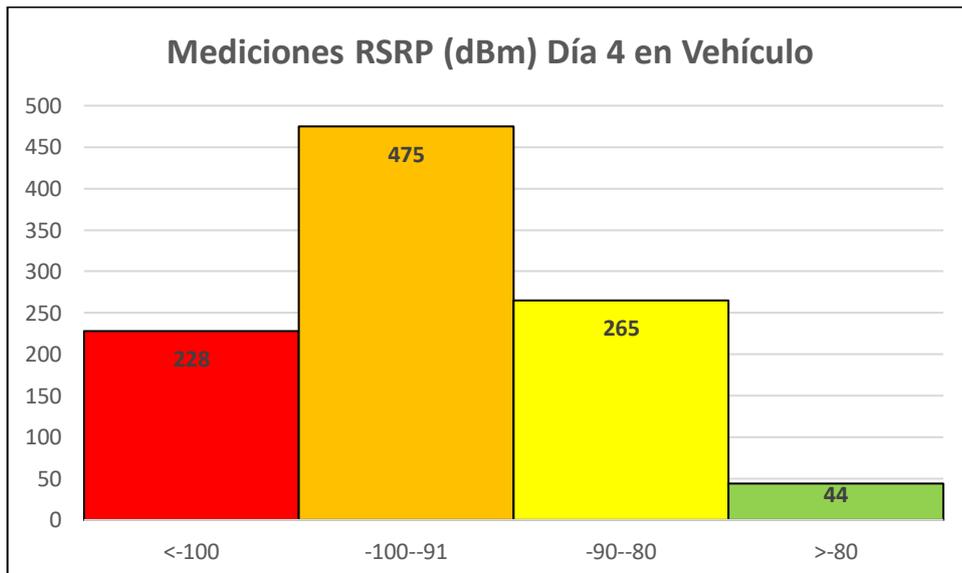
ANEXO F: HISTOGRAMA DE LAS MEDICIONES RSRP (dBm) DEL DÍA 3 EN VEHÍCULO



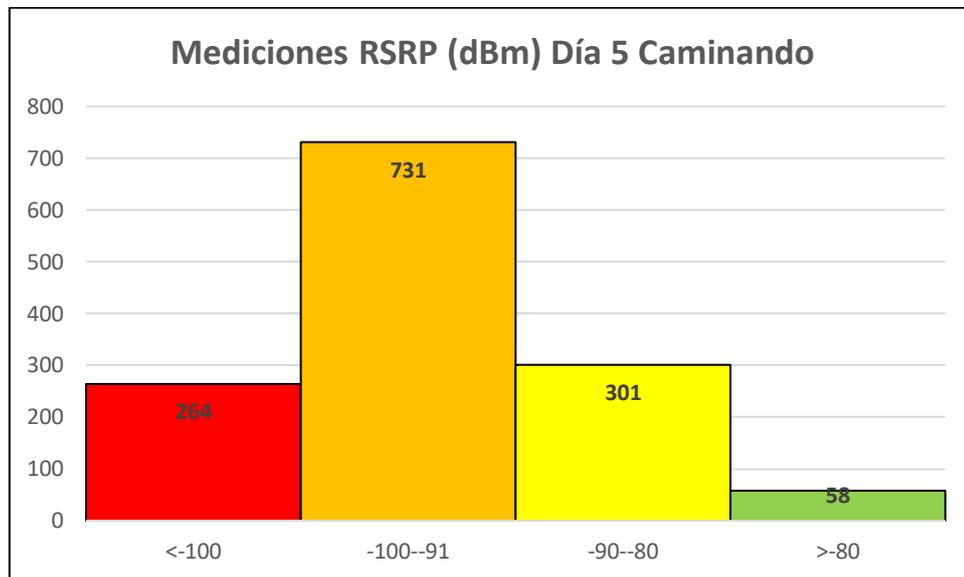
ANEXO G: HISTOGRAMA DE LAS MEDICIONES RSRP (dBm) DEL DÍA 4 CAMINANDO



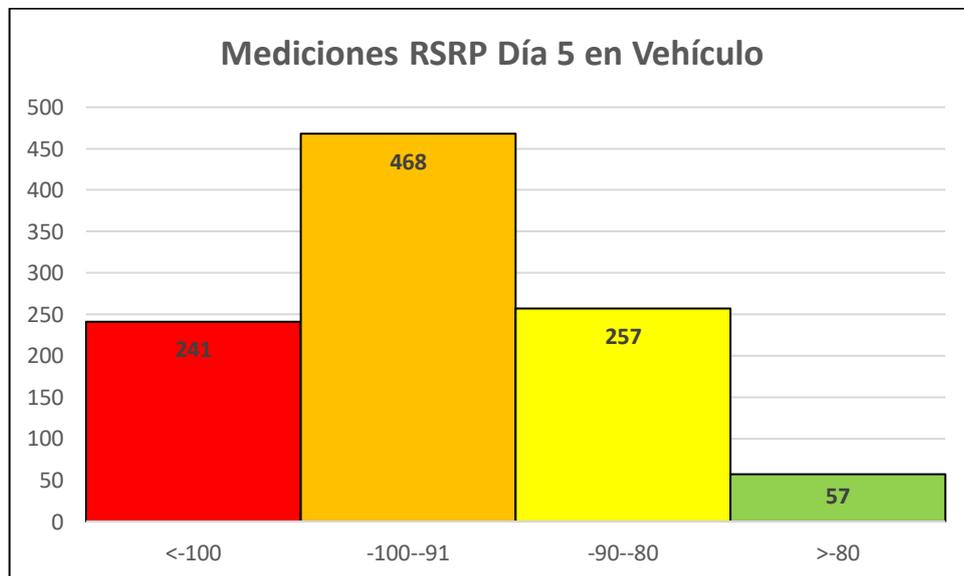
ANEXO H: HISTOGRAMA DE LAS MEDICIONES RSRP (dBm) DEL DÍA 4 EN VEHÍCULO



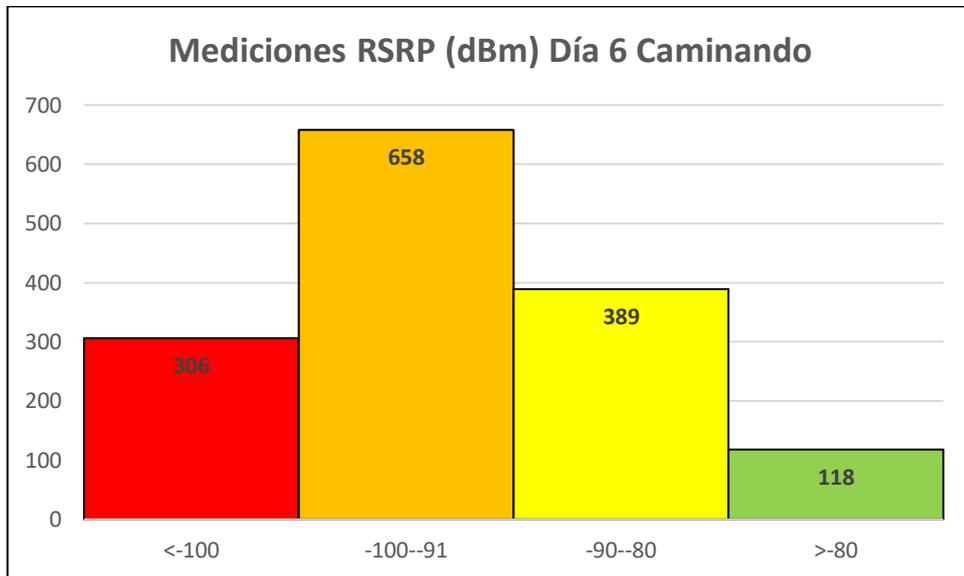
ANEXO I: HISTOGRAMA DE LAS MEDICIONES RSRP (dBm) DEL DÍA 5 CAMINANDO



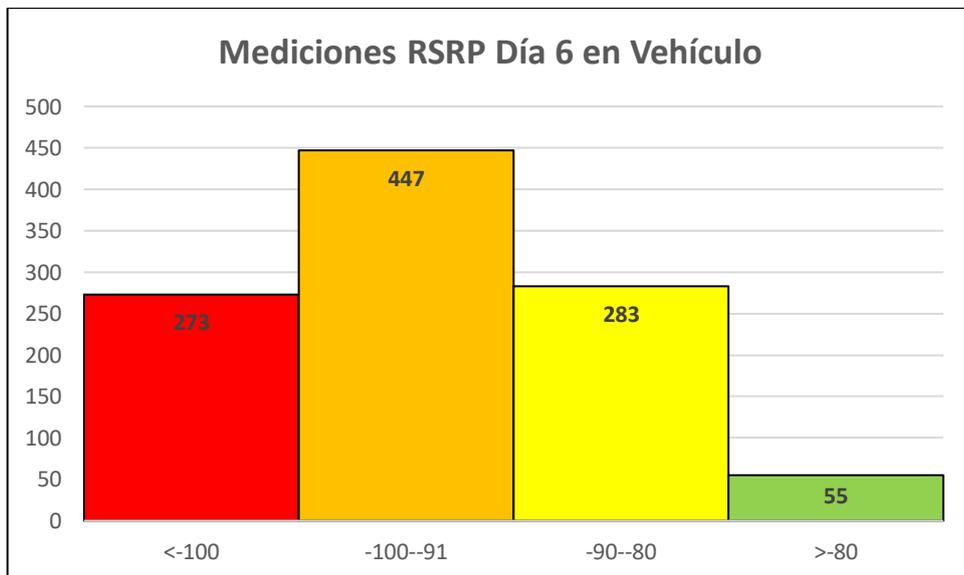
ANEXO J: HISTOGRAMA DE LAS MEDICIONES RSRP (dBm) DEL DÍA 5 EN VEHÍCULO



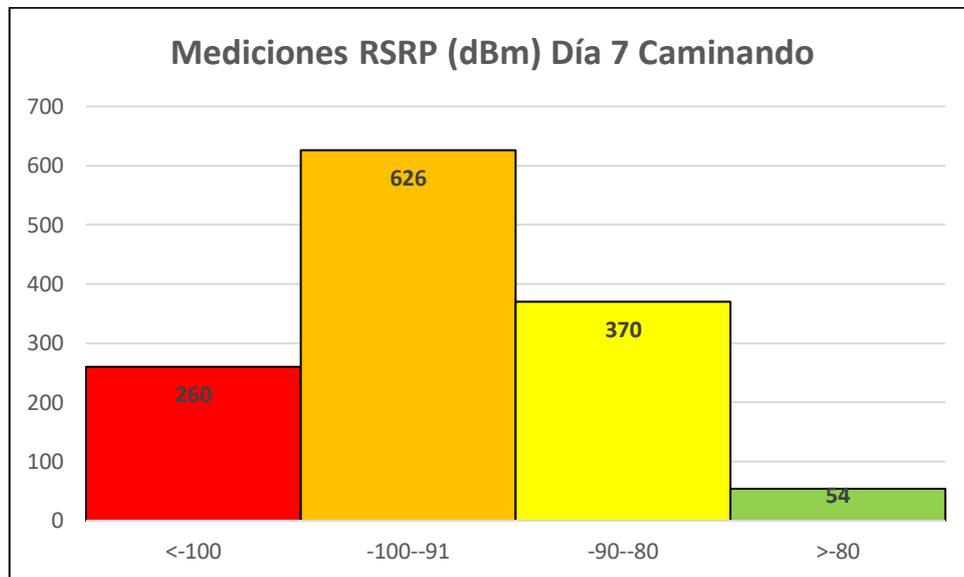
ANEXO K: HISTOGRAMA DE LAS MEDICIONES RSRP (dBm) DEL DÍA 6 CAMINANDO



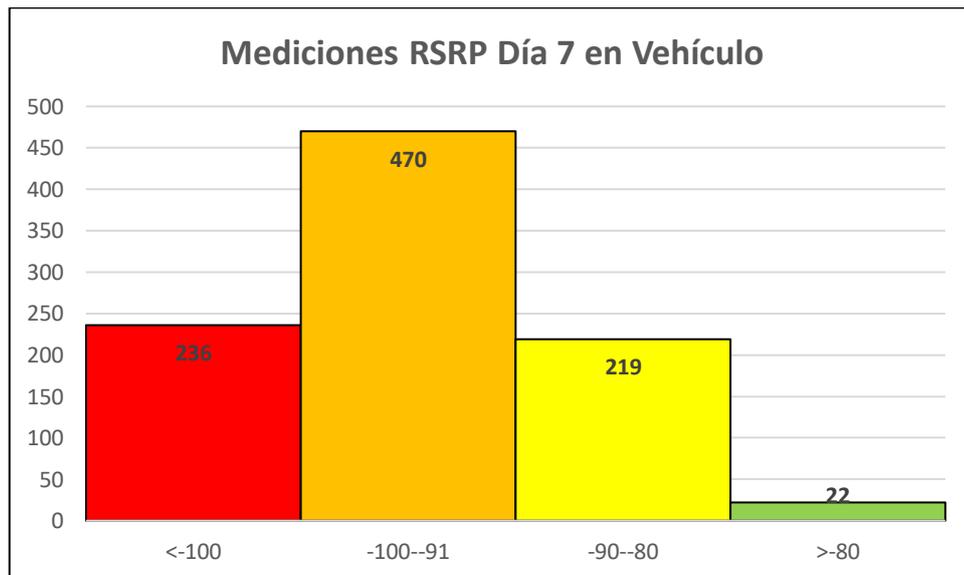
ANEXO L: HISTOGRAMA DE LAS MEDICIONES RSRP (dBm) DEL DÍA 6 EN VEHÍCULO



ANEXO M: HISTOGRAMA DE LAS MEDICIONES RSRP (dBm) DEL DÍA 7 CAMINANDO



ANEXO N: HISTOGRAMA DE LAS MEDICIONES RSRP (dBm) DEL DÍA 7 EN VEHÍCULO



ANEXO O: TABLA CON PROMEDIOS TOTALES DE LOS VALORES RSRP (dBm) MEDIDOS CAMINANDO

Calles	PROMEDIOS RSRP (dBm) CAMINANDO							PROM. TOTAL
	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	DIA 7	
Av.12 de noviembre	-91.95	-91.41	-93.03	-91.31	-92.97	-95.32	-96.14	-93.16
Juan Benigno Vela	-92.21	-93.11	-95.94	-96.5	-94	-93.93	-93.02	-94.10
Av. Cevallos	-88.18	-92.11	-98.02	-92.41	-94.38	-95.37	-91.96	-93.20
Primera Imprenta	-85.63	-89.1	-93.83	-91.73	-91.86	-92.78	-89	-90.56
Sucre	-86.84	-95.6	-88.48	-93.94	-94.16	-93.82	-91.38	-92.03
Simón Bolívar	-90.27	-92.01	-93.48	-94.9	-95	-95.38	-95.22	-93.75
Darquea	-86.29	-86.29	-86.29	-86.29	-86.29	-86.29	-89.32	-86.72
Vicente Rocafuerte	-95.71	-97.49	-100.93	-100.72	-100.87	-102.29	-100.12	-99.73
Cuenca	-96.58	-99.78	-102.89	-100.17	-102.09	-103.03	-98.58	-100.45
Cristóbal Colon	-88.54	-91.64	-95.13	-92.5	-96.93	-94.93	-92.28	-93.14
Araujo	-97.66	-97.86	-92.89	-99.19	-97.51	-94.46	-91.89	-95.92
García Moreno	-95.73	-95.54	-78.52	-97.2	-78.3	-80.14	-94.45	-88.55
Pérez de Anda y Lizardo Ruiz	-84.21	-84.32	-88.56	-87.57	-89.63	-88.36	-91.78	-87.78
Unidad Nacional	-84.91	-84.17	-87.23	-87.09	-94.17	-88.09	-89.17	-87.83
5 de junio	-73.6	-73.33	-74.76	-77.55	-92.88	-75.68	-83.24	-78.72
Vargas Torres	-77.5	-76.84	-78	-84.32	-91.85	-82.59	-87.72	-82.69
Joaquín Aillon	-88.73	-87.17	-91.53	-92.36	-89.24	-92.78	-93.23	-90.72
Manuela Cañizares	-90.58	-90.58	-90.58	-90.58	-90.58	-90.58	-95.43	-91.27
Maldonado	-90.79	-90.54	-93.24	-94.29	-93.86	-93.71	-93.58	-92.86
Constantino Fernández	-74.82	-73.17	-76.21	-79.15	-93.22	-77.3	-83.88	-79.68
Tomas Sevilla	-80	-76.71	-79.34	-80.27	-97.97	-82.1	-86.29	-83.24
Eloy Alfaro	-86.69	-84.91	-88.3	-89.04	-100.88	-89.65	-90.97	-90.06
Eugenio Espejo	-92.86	-89.98	-93.84	-94.47	-95.48	-95.43	-98.34	-94.34

Joaquín Lalama	-91.52	-93.98	-96.62	-96.67	-99.53	-99.9	-93.47	-95.96
Martínez	-85.3	-87.4	-89.67	-92.66	-95.4	-93.59	-97.65	-91.67
Juan León Mera	-92.86	-93.73	-94.79	-97.42	-94.81	-99.9	-98.41	-95.99
Juan Montalvo	-97.93	-97.19	-98.76	-92.47	-98.82	-102.4	-96.21	-97.68
Mariano Castillo	-91.55	-89.4	-92.22	-94.15	-98.66	-94.17	-93.92	-93.44
Quito	-95.51	-94.51	-97.84	-96.1	-103.03	-96.8	-98.63	-97.49
Mariano Egeuz	-88.3	-90.67	-90.26	-89.58	-86.9	-90.33	-95.36	-90.20
Guayaquil	-91.59	-93.06	-91.45	-92.07	-89.21	-92.42	-95.04	-92.12
Olmedo	-93.31	-92.33	-92.4	-101.13	-89.73	-93.81	-96.69	-94.20
Francisco Flor	-92.93	-93.14	-93.58	-97.93	-90.21	-93.67	-95.63	-93.87

ANEXO P: TABLA CON PROMEDIOS TOTALES DE LOS VALORES RSRP (dBm) MEDIDOS EN VEHÍCULO

Calles	PROMEDIOS RSRP (dBm) EN VEHICULO							PROM. TOTAL
	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	DIA 7	
Av.12 de noviembre	-96.81	-97.83	-96.86	-97.52	-96.65	-97.23	-99.85	-97.54
Juan Benigno Vela	-95.39	-93.35	-93.23	-92.74	-95.28	-95.64	-93.85	-94.21
Av. Cevallos	-96.7	-92.4	-91.49	-97.87	-92.21	-94.68	-96.56	-94.56
Primera Imprenta	-90.46	-89.03	-89.08	-90.04	-91.67	-90.65	-94.09	-90.72
Sucre	-94.32	-91	-97.78	-91.06	-91.81	-97.21	-94.46	-93.95
Simón Bolívar	-97.08	-96.34	-95.19	-96.32	-97.05	-99.56	-94.32	-96.55
Darquea	-92.35	-91.86	-91.17	-91.48	-90.86	-94.48	-87.36	-91.37
Vicente Rocafuerte	-101.59	-102.42	-100.78	-100.58	-104.89	-102.02	-102.43	-102.10
Cuenca	-102.09	-102.15	-104.19	-102.35	-104.55	-103.63	-102.6	-103.08
Cristóbal Colon	-95.72	-97	-94.66	-94.63	-96.48	-95	-95.25	-95.53
Araujo	-93.22	-92.56	-91.41	-91.13	-91.77	-90.79	-94.17	-92.15
García Moreno	-81.68	-81.52	-79.09	-84.15	-79.03	-78.97	-83.64	-81.15
Pérez de Anda y Lizardo Ruiz	-91.04	-92.45	-89.74	-92.06	-91.7	-91.18	-94.14	-91.76
Unidad Nacional	-96	-89.7	-95.35	-88.83	-87.81	-91.5	-92.14	-91.62
5 de junio	-96.21	-85.93	-94.21	-83.42	-83.21	-83.88	-86.07	-87.56
Vargas Torres	-88.22	-85.75	-93.17	-87.58	-87.64	-93.04	-88.27	-89.10
Joaquín Aillon	-95.41	-93.77	-88.67	-95.07	-94.43	-90.69	-96.29	-93.48
Manuela Cañizares	-96.36	-95.54	-83.26	-94.95	-96.04	-84.87	-97.1	-92.59
Maldonado	-95.06	-96.36	-94.23	-95.44	-96.36	-90.77	-96.67	-94.98
Constantino Fernández	-83.11	-84.41	-92.33	-84.15	-83.57	-85.95	-88.24	-85.97
Tomas Sevilla	-86.03	-84.06	-95.76	-83.7	-86.58	-87.54	-91.27	-87.85
Eloy Alfaro	-91.4	-90.92	-98.21	-89.68	-93.55	-90.67	-95.87	-92.90
Eugenio Espejo	-99.69	-99.86	-99.78	-96.72	-100.79	-98.67	-97.45	-98.99

Joaquin Lalama	-95.16	-96.08	-97.97	-96.35	-93.55	-95.57	-98.6	-96.18
Martinez	-98.97	-98.13	-95.48	-97.34	-97.99	-94.85	-97.12	-97.13
Juan Leon Mera	-103.11	-100.22	-99.05	-100.44	-102.21	-98	-97.27	-100.04
Juan Montalvo	-98.94	-96.77	-96.88	-97.71	-97.94	-99.11	-101.43	-98.40
Mariano Castillo	-98.05	-93.97	-94.83	-94.97	-96.26	-97.28	-97.58	-96.13
Quito	-101.04	-98.28	-98.57	-100.04	-98	-100.66	-104.08	-100.10
Mariano Egeuz	-90.11	-89.65	-90.27	-91.68	-88.48	-94.14	-92.17	-90.93
Guayaquil	-93.96	-93.81	-96.35	-96.24	-94.12	-97.78	-99.16	-95.92
Olmedo	-97.36	-96	-95.84	-96.43	-93.94	-95.5	-97.5	-96.08
Francisco Flor	-96.56	-96.17	-95.42	-95.17	-95.52	-96.48	-97.36	-96.10

ANEXO Q: TABLA CON PORCENTAJES DE COBERTURA (%C) DE CADA CALLE CAMINANDO

Calles	PORCENTAJES DE COBERTURA (%C) CAMINANDO							% TOTAL
	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	DIA 7	
Av.12 de noviembre	94.25%	95.18%	96.88%	100%	91.38%	83.78%	82.89%	92.05%
Juan Benigno Vela	87.88%	91.30%	78.72%	80%	78.72%	89.29%	89.13%	85.01%
Av. Cevallos	100%	96.92%	64.91%	98.31%	91.49%	84.13%	83.13%	88.41%
Primera Imprenta	100%	90.24%	80.49%	86.36%	86.36%	80%	100%	89.06%
Sucre	100%	90%	100%	78.85%	90.20%	84.31%	100%	91.91%
Simón Bolívar	100%	96.05%	97.50%	89.53%	89.74%	80%	84.34%	91.02%
Darquea	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100.00%
Vicente Rocafuerte	80.77%	78.57%	41.33%	49.30%	53.62%	40%	41.18%	54.97%
Cuenca	72.31%	50%	34.55%	48.33%	35.09%	30.30%	53.23%	46.26%
Cristóbal Colon	100%	100%	84.62%	100%	72.50%	83.72%	96.55%	91.06%
Araujo	77.14%	72.41%	67.86%	65.38%	80%	64.29%	78.38%	72.21%
García Moreno	75.51%	76.09%	100%	81.63%	100%	100%	84.09%	88.19%
Pérez de Anda y Lizardo Ruiz	100%	100%	98.18%	95%	96.61%	100%	90%	97.11%
Unidad Nacional	100%	100%	97.73%	100%	100%	97.73%	86.67%	97.45%
5 de junio	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100.00%
Vargas Torres	100%	100%	100%	96%	92.59%	93.10%	100%	97.38%
Joaquín Aillon	95.12%	100%	83.72%	84.62%	100%	80.49%	82.86%	89.54%
Manuela Cañizares	100%	100%	100%	100%	100%	100%	85.71%	97.96%
Maldonado	95.24%	94.29%	88.24%	80.65%	79.31%	82.86%	81.82%	86.06%
Constantino Fernández	100%	100%	100%	100%	84.38%	100%	100%	97.77%
Tomas Sevilla	100%	100%	100%	100%	67.74%	100%	100%	95.39%
Eloy Alfaro	100%	100%	92.59%	96.15%	43.14%	90.38%	90.32%	87.51%

Eugenio Espejo	97.73%	100%	90.63%	92.11%	85%	81.82%	57.89%	86.45%
Joaquín Lalama	89.58%	69.39%	65.96%	62.50%	47.06%	55.10%	73.53%	66.16%
Martínez	100%	100%	100%	80%	91.43%	79.49%	64.52%	87.92%
Juan León Mera	97.96%	92.16%	74.47%	71.11%	89.36%	38%	61.54%	74.94%
Juan Montalvo	69.77%	73.81%	67.57%	86.11%	68.42%	37.14%	78.57%	68.77%
Mariano Castillo	82.50%	97.62%	84.38%	76.47%	65.52%	72.22%	84.21%	80.42%
Quito	69.23%	67.57%	61.29%	75.86%	26.67%	70%	53.13%	60.54%
Mariano Eguez	96.97%	100%	100%	100%	100%	100%	68%	95.00%
Guayaquil	93.10%	93.75%	100%	96.30%	100%	96.77%	77.78%	93.96%
Olmedo	100%	100%	100%	37.50%	100%	100%	75%	87.50%
Francisco Flor	96.43%	96.55%	92.31%	78.57%	100%	93.33%	88.89%	92.30%

ANEXO R: TABLA CON PORCENTAJES DE COBERTURA (%C) DE CADA CALLE EN VEHICULO

Calles	PORCENTAJES DE COBERTURA (%C) EN VEHICULO							% TOTAL
	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	DIA 7	
Av.12 de noviembre	77.08%	78.85%	78.43%	75.93%	85.71%	70.45%	56.52%	74.71%
Juan Benigno Vela	82.93%	95%	86.36%	82.05%	89.74%	75%	87.80%	85.55%
Av. Cevallos	79.25%	88.10%	91.49%	69.57%	87.20%	78.95%	80.56%	82.16%
Primera Imprenta	96.15%	100%	100%	96.43%	100%	96.15%	86.96%	96.53%
Sucre	100%	100%	55.56%	97.06%	96.30%	64.71%	96.43%	87.15%
Simón Bolívar	74%	79.25%	82.46%	73.58%	75.61%	56.14%	76.60%	73.95%
Darquea	80.77%	86.36%	91.30%	82.61%	100%	80%	100%	88.72%
Vicente Rocafuerte	35.42%	27.91%	39.13%	35.42%	27.27%	37.50%	38.64%	34.47%
Cuenca	46.81%	41.30%	35.42%	38%	47.17%	37.21%	42.50%	41.13%
Cristóbal Colon	79.31%	83.33%	93.10%	85.19%	74.04%	87.50%	89.29%	84.54%
Araujo	75%	70.37%	72.41%	75%	73.33%	75%	78.26%	74.20%
García Moreno	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100.00%
Pérez de Anda y Lizardo Ruiz	94.23%	92.50%	100%	94.12%	88.37%	92.50%	91.43%	93.31%
Unidad Nacional	96.15%	95.65%	91.30%	91.67%	95.24%	86.36%	86.36%	91.82%
5 de junio	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100.00%
Vargas Torres	95.65%	91.67%	82.61%	91.67%	92%	88.46%	95.45%	91.07%
Joaquín Aillon	86.21%	87.10%	100%	78.57%	83.33%	88.57%	82.14%	86.56%
Manuela Cañizares	72.73%	87.50%	100%	90%	83.33%	100%	57.14%	84.39%
Maldonado	69.70%	63.64%	80%	81.48%	60.61%	93.55%	63.64%	73.23%
Constantino Fernández	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100.00%
Tomas Sevilla	100%	100%	85.29%	100%	100%	100%	97.30%	97.51%
Eloy Alfaro	92%	88%	70.83%	96.43%	75.86%	93.33%	73.91%	84.34%

Eugenio Espejo	44.44%	54.55%	42.50%	72.09%	44.74%	60.47%	75%	56.26%
Joaquín Lalama	75%	72.22%	65.71%	70.97%	81.82%	68.57%	56%	70.04%
Martínez	56.67%	53.13%	67.39%	62.07%	56.67%	69.57%	73.08%	62.65%
Juan León Mera	28.89%	51.35%	58.54%	58.33%	28.89%	59.46%	73.08%	51.22%
Juan Montalvo	72.73%	70.97%	75%	70.59%	72.73%	60%	50%	67.43%
Mariano Castillo	72.73%	71.05%	86.96%	84.85%	81.48%	64%	62.50%	74.80%
Quito	46.15%	68%	59.52%	46.15%	68.75%	55.17%	38.46%	54.60%
Mariano Eguez	96.30%	96.15%	100%	100%	100%	75.86%	95.83%	94.88%
Guayaquil	66.67%	76.92%	75%	57.14%	94.12%	55.56%	52.63%	68.29%
Olmedo	72.73%	81.25%	84.21%	78.57%	88.24%	85.71%	78.57%	81.33%
Francisco Flor	83.33%	91.30%	87.50%	94.44%	95.24%	90.48%	72.73%	87.86%



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: 25/09/2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Nombres – Apellidos: Bryan Francisco Manzano Toro
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
Carrera: TELECOMUNICACIONES
Título a optar: INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES
f. Analista de Biblioteca responsable:  Ing. Fernanda Arévalo M.



1733-DBRA-UPT-2023

