



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES**

TITULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE LA INTENSIDAD DE SEÑAL 4G EN ZONAS DE
BAJA COBERTURA EN LA UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA
ELENA.

AUTOR

BORBOR REYES JOHNNY ALEX

TRABAJO DE INTEGRACION CURRICULAR

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL GRADO ACADÉMICO EN
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

TUTOR

ING. ANDRADE CAICHO CARLOS EFRAÍN. MSc.

Santa Elena, Ecuador

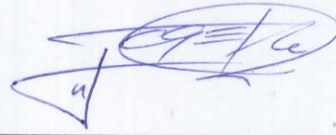
Año 2025

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



Ing. Ronald Rovira Jurado, PhD.

DIRECTOR DE LA CARRERA



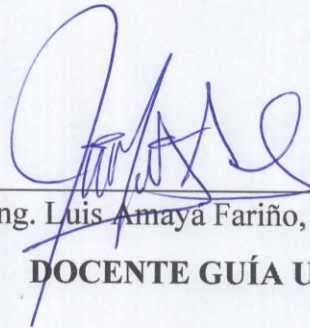
Ing. Carlos Efraín Andrade Caicho,
MSc.

DOCENTE TUTOR



Ing. Daniel Jaramillo Chamba, Mgtr.

DOCENTE ESPECIALISTA

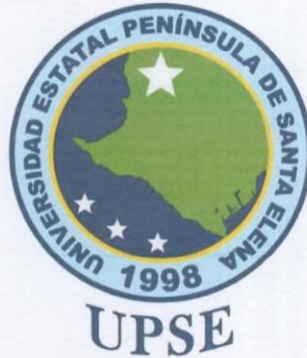


Ing. Luis Amaya Fariño, Mgtr .

DOCENTE GUÍA UIC



Ing. Corina Gonzabay De La A, Mgtr.



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES**

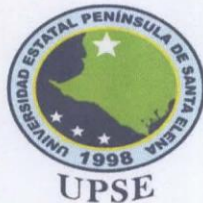
CERTIFICACIÓN

Certifico que luego de haber dirigido científica y técnicamente el desarrollo y estructura final del trabajo, este cumple y se ajusta a los estándares académicos, razón por el cual apruebo en todas sus partes el presente trabajo de titulación que fue realizado en su totalidad por Borbor Reyes Johnny Alex, como requerimiento para la obtención del título de Ingeniero en Telecomunicaciones.

La Libertad, a los 30 días del mes de junio del año 2025

TUTOR

Ing. Carlos Efraín Andrade Caicho, Msc



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Borbor Reyes Johnny Alex

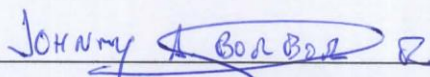
DECLARO QUE:

El trabajo de Titulación, **MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE LA INTENSIDAD DE SEÑAL 4G EN ZONAS DE BAJA COBERTURA EN LA UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA** previo a la obtención del título en Ingeniero en Telecomunicaciones, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

La Libertad, a los 30 días del mes de julio del año 2025

EL AUTOR



Borbor Reyes Johnny Alex



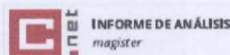
UPSE

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO

Certifico que después de revisar el documento final del trabajo de titulación denominado MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE LA INTENSIDAD DE SEÑAL 4G EN ZONAS DE BAJA COBERTURA EN LA UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA, presentado por el estudiante, Johnny Alex Borbor Reyes fue enviado al Sistema Antiplagio, presentando un porcentaje de similitud correspondiente al 2%, por lo que se aprueba el trabajo para que continúe con el proceso de titulación.



INFORME DE ANÁLISIS
magister

TESIS COMPLETA_JOHNNY
BORBOR2.0

11%
Textos
sospechosos

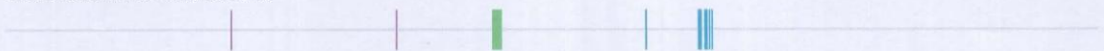
- 2% Similitudes
 - 0% similitudes entre comillas
 - 0% entre las fuentes mencionadas
- 3% Idiomas no reconocidos
- 6% Textos potencialmente generados por IA

Nombre del documento: TESIS COMPLETA_JOHNNY BORBOR2.0.pdf
ID del documento: ea2782f35ac4133821fc5f4d7f571d8f5bb058be
Tamaño del documento original: 9,25 MB

Depositante: CARLOS EFRAIN ANDRADE CAICHO
Fecha de depósito: 29/6/2025
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 29/6/2025

Número de palabras: 20.137
Número de caracteres: 129.268

Ubicación de las similitudes en el documento:



TUTOR

Ing. Carlos Efraín Andrade Caicho, Msc



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES**

AUTORIZACIÓN

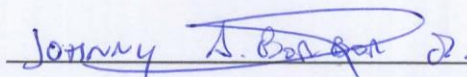
Yo, Borbor Reyes Johnny Alex

Autorizo a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, para que haga de este trabajo de titulación o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.[1]

Cedo los derechos en línea patrimoniales de artículo profesional de alto nivel con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este artículo académico dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor

Santa Elena, a los 30 días del mes de julio del año 2025

EL AUTOR



Borbor Reyes Johnny Alex

AGRADECIMIENTO

A mi Papá, Mamá, Abuelos, Hermana, Tías, Tíos por su apoyo constante y por enseñarme el valor del esfuerzo y la dedicación. Les quiero dar las gracias por creer en mi incluso en los momentos más difíciles, en un desafío muy importante para mí.

A mi tutor de tesis Ing. Carlos Andrade, por sus enseñanzas, guía, paciencia y valioso conocimiento, los cuales han sido fundamentales para mi formación académica y profesional.

A mi especialista Ing. Daniel Jaramillo por sus enseñanzas, dedicación y conocimientos que me guiaron y fueron fundamentales para mi formación profesional.

A mis amigos Gregory, Christian, Mafer, Joshua, Kerly, Liliana, Pedro, Maeba, por la amistad y el apoyo mutuo por estar en los momentos de felicidad y de tristeza, por compartir experiencias, aprendizajes y por motivarme a salir adelante, como olvidar a mis grandes amigos Ing. Joan Baño y Yuliana, Lic. Jessica Anastacio MSc. que siempre estuvo en los momentos importantes creyendo en mí.

Finalmente, a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, por darme la oportunidad de formarme y brindarme las herramientas necesarias para crecer de manera profesional y personal.

Johnny Alex Borbor Reyes

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis Padres, gracias por confiar y creer en mí, por su amor incondicional y por ser mi mayor ejemplo de esfuerzo e incluso de dedicación por su apoyo incondicional a cada uno de mis sueños.

A mi Familia en general e incluso hermana por su amor y comprensión en cada etapa de este proceso, porque sus abrazos y apoyo oportuno que lograron que los momentos más oscuros y difíciles encontraran luz.

A mis amigos que supieron llegar en el momento preciso para alegrar mi vida en los momentos más difíciles y estar conmigo apoyándome con sus palabras.

Johnny Alex Borbor Reyes

ÍNDICE GENERAL

TITULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	I
.....	II
AGRADECIMIENTO	VII
DEDICATORIA.....	2
ÍNDICE GENERAL	3
RESUMEN	13
ABSTRACT.....	13
INTRODUCCIÓN	14
CAPITULO I.....	15
1.1. Identificación del problema.....	15
1.2. Antecedentes	15
1.3. Descripción del proyecto.....	18
1.4. Objetivos del Proyecto	19
1.4.1. Objetivo general:.....	19
1.4.2. Objetivos específicos:	19
1.5. Justificación	19
1.6. Alcance del Proyecto	23
CAPITULO II	25
2.1. Marco contextual.....	25
2.2. Marco Teórico.....	26
2.2.1. Primera Generación (1G).....	26
2.2.2. Segunda Generación (2G).....	27
2.2.3. Generación 2.5 G	28
2.2.4. Tercera Generación (3G)	29
2.2.5. Cuarta Generación (4G).....	31

2.2.6. Conceptos Básicos de Redes 4G.....	31
2.2.7. Estandarización LTE.....	33
2.2.8. Tecnología LTE y sus Características	34
2.2.9. Arquitectura del Sistema LTE.	36
2.2.10. Parámetros Técnicos de Potencia y Cobertura.	38
2.2.11. Frecuencias del Espectro Utilizadas en Ecuador	40
2.2.12. Infraestructura de Telecomunicaciones	40
2.2.13. Red Troncal LTE	43
2.2.14. Segmento EPC	44
2.2.15. Funcionalidades de componentes del EPC	45
2.2.16. Arquitectura IMS	47
2.2.17. E-UTRAN Red de acceso	47
2.2.18. Entidad de red de E-UTRAN.....	48
2.2.19. Comparativa entre E-UTRAN y UTRAN	48
2.2.20. Categoría de calidad de servicio para servicios multimedios.	49
CAPITULO III.....	52
3.1. Área de Estudio	52
3.2. Descripción de la Zona.....	52
3.3. Factores Geográficos y Demográficos Relevantes	53
3.4. Altitud y Relieve	53
3.5. Condiciones Ambientales y Climáticas	54
3.6. Infraestructura de Telecomunicaciones	54
3.7. Definición de los Niveles de Potencia de Señal 4G	55
3.8. Fortaleza de la Señal 2G.....	55
3.8.1. Intensidad y Fortaleza de la Señal y Los Niveles en dBm y Asu	56
3.8.2. Barras indicativas de la fuerza de la señal	57
3.8.3. ¿Cómo identificar la fuerza de la señal en el teléfono móvil?.....	58

3.9. Las Redes CDMA	59
3.9.1. Strong señal en redes 3G	59
3.9.2. La correlación entre los dBm y la fuerza de la señal en redes 3G....	60
3.9.3. Strong señal en redes 4G LTE	61
3.9.4. La correlación entre dBm y la fuerza de la señal en las redes 4G. ...	61
3.9.5. Factores Que influyen en la Cobertura (frecuencia, interferencias, obstáculos)	62
3.9.6. Interferencias electromagnéticas.....	62
3.10. Zona de Estudio Facultad de Ciencias Agrarias	63
3.11. Instrumento de Medición.....	66
3.11.1. Uso del Keysight FieldFox N9918B.....	66
3.11.2. Especificaciones Técnicas relevantes	68
3.11.3. Modos de Medición Empleados	69
3.11.4. Configuración Para la Medición de señales 4G.....	70
3.11.5. Descripción de las Antenas que el equipo va a utilizar	73
3.11.6. Diseño del Procedimiento de Medición.....	74
3.11.7. Selección de Puntos de Muestreo	75
3.11.8. Metodología de Recolección de Datos	75
3.11.9. Clasificación de Niveles de Señal.....	77
3.11.10. Parámetros configurados en el FieldFox.	77
3.11.11. Procesamiento y Análisis de Datos.....	78
3.11.12. Herramientas Para Utilizar.....	78
3.11.13. Exportación y Procesamiento de Datos del FieldFox.	79
3.11.14. Representación Gráfica de los Niveles de Potencia.....	81
3.11.15. Comparación con Estándares Internacionales y Normativas.....	85
3.11.16. Limitaciones del Estudio.	86

3.11.17. Factores que Pueden Afectar los Resultados.	87
CAPITULO IV.....	89
4.1. Metodología de Recolección de Datos	89
4.2. Primeros Resultados Obtenidos.....	89
4.2.1. Punto 1: Facultad Ciencias Agrarias frente a.....	89
4.2.2. Punto 2: Partes traseras de la Facultad de Ciencias Agrarias	91
4.2.3. Punto 3: Siguiendo el recorrido a unos 15m del área de la Facultad de Ciencias Agrarias UPSE.	92
4.2.4. Punto 4: Siguiendo recorrido hasta la parte trasera de la Facultad distancia 20m.	93
4.2.5. Punto 5: Distancia 15m desde el Punto anterior.	93
4.2.6. Punto 6: Vía asfaltada detrás de la Facultad distancia 10m.....	94
4.2.7. Punto 7: Vía Final sentido Oeste distancia 10m.	96
4.2.8. Punto 8: Cancha de Futbol atrás de la UE Americano	96
4.2.9. Punto 9: Esquina de cancha de futbol, siguiendo a 16 mts del anterior punto.	97
4.2.10. Punto 10: Taller de la Carrera de Ingeniería Industrial	98
4.2.11. Punto 11: Frente a Bienestar Estudiantil UPSE.....	99
4.2.12. Niveles de Intensidad de Señal RSRP	100
4.3. Segundos Resultados Obtenidos.....	102
4.3.1. Punto 12: Parte trasera en la esquina de ATUPSE.	102
4.3.2. Punto 13: Avanzando unos 10 metros al ESTE.....	103
4.3.3. Punto 14: Dirección al OESTE vía Laboratorio de Telecomunicaciones a unos 8 metros aproximados.....	104
4.3.4. Punto 15: Dirección A Radio Base OTECEL (Movistar).....	105
4.4. Área de Estudio	105
4.4.1 Áreas Específicas de Estudio Dentro de la Universidad.....	106

4.5. Cronograma de Mediciones.....	109
4.6. Análisis de Resultados.....	110
4.6.1. Análisis Cuantitativo.....	110
4.6.2. Distribución por Categoría.....	110
4.6.3. Análisis Cualitativo.....	110
4.6.4. Identificación de Patrones y Zonas Críticas.	111
4.6.5. Patrones clave	112
CONCLUSIONES	113
RECOMENDACIONES	114
BIBLIOGRAFIA	115

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de calor operadora CLARO / Prov. Santa Elena 2025.....	21
Figura 2 - Mapa de calor CNT Móvil / Prov. Santa Elena (UPSE) 2025.....	21
Figura 3 - Mapa de Calor ETECEL MOVISTAR en (UPSE) 2025.....	22
Figura 4 - Comunicación entre NODO y Dispositivo Final	26
Figura 5 - Comunicación entre dispositivos Finales.....	27
Figura 6 - ARQUITECTURA GSM.....	28
Figura 7 - ARQUITECTURA 2.5 G.....	29
Figura 8 - ARQUITECTURA 3G / UMTS	30
Figura 9 - Arquitectura del Sistema LTE.....	32
Figura 10 - ARQUITECTURA E-UTRAN	37
Figura 11 - ARQUITECTURA E-UTRAN.....	37
Figura 12 - Estadísticas en SMA a Nivel Nacional 2008-2022.....	39
Figura 13 – Datos sobre evolución de Radio Bases en el Ecuador Fuente: ARCOTEL.GOB.....	41
Figura 14 - Empresas Telecomunicaciones Ecuador.....	42
Figura 15 - ARQUITECTURA RED TRONCAL.....	43
Figura 16 - Funcionamiento de la RED EPC.....	44
Figura 17 - Comparativa entre E-UTRAN y UTRAN.....	49
Figura 18 - Infraestructuras de Nodos cerca de la Universidad Estatal Península de Santa Elena	54
Figura 19 - Radio bases cercanas a la UPSE Barrio Enríquez Gallo y la Radio base pasando la estación de servicio de Combustible C.L.P	55
Figura 20 - Potencia de la Señal Móvil en Redes 2G	56
Figura 21 - Referencia Señal Teléfono Móvil	57
Figura 22 - Información sobre los dispositivos Android.....	58

Figura 23 - Dimensiones del dispositivo Android	59
Figura 24 - Siglas para identificar sus diferencias	61
Figura 25 - Correlación entre dBm en Redes 4G.....	61
Figura 26 - Mapa Geográfico Universidad Estatal Península de Santa Elena / Facultad de Ciencias Agrarias	63
Figura 27 - Radio Bases dentro de las dimensiones geográficas de la UPSE	64
Figura 28 - Radio Base 1 distancia calculada con Google Eart Pro	64
Figura 29 - Radio Base 2 distancia calculada con Google Eart.....	65
Figura 30 - Interacción semejante entre las dos radios bases y la UPSE.....	65
Figura 31 - Instrumentos utilizados para las respectivas mediciones	66
Figura 32 - Preparación del equipo e implementos	71
Figura 33 - Interactuando equipo y cables.....	71
Figura 34 - Revisión y confirmación de instalación de puertos SMA.....	72
Figura 35 - Conexión antena GPS en el puerto de la VNA	72
Figura 36 - Antena LTE, Adaptador para el puerto de la VNA y cable Coaxial.....	73
Figura 37 - Datos obtenidos en las primeras revisiones y pruebas	79
Figura 38 - Guardando Datos Obtenidos de la VNA.....	79
Figura 39 - Entrada del puerto USB para recolectar las imágenes	80
Figura 40 - Tipo de Archivo a guardarse	80
Figura 41 - Formato PNG y Formato Excel CSV.....	81
Figura 42 - Representación gráfica a Nivel de la Potencia MOVISTAR 2025	82
Figura 43 - Representación gráfica a Nivel de la Potencia CNT 2025.....	83
Figura 44 - Representación gráfica a Nivel de la Potencia CLARO 2025	84
Figura 45 - Resultados con el analizador de espectros/ Punto1.....	90
Figura 46 – Resultados en el analizador de espectros / Punto 2	91

Figura 47 - Resultados del analizador de espectro / Punto 3	92
Figura 48 Resultados del analizador de espectro / Punto 4	93
Figura 49 - Resultados del analizador de espectro / Punto 5	94
Figura 50 - Resultados del analizador de espectro / Punto 6	95
Figura 51 - Resultados del analizador de espectro / Punto 7	96
Figura 52 - Resultados del analizador de espectro / Punto 8	97
Figura 53 - Resultados del analizador de espectro / Punto 9	98
Figura 54 - Resultados por el analizador de espectro / Punto 10.....	99
Figura 55 – Imagen creada por el analizador de espectro / Punto 11	100
Figura 56 - Resultados por el analizador de espectro en el PUNTO 12	102
Figura 57 - Resultados por el analizador de espectro en el Punto 13	103
Figura 58 - Resultados por el analizador de espectro en el Punto 14	104
Figura 59 - Resultados por el analizador de espectro en el Punto 15	105
Figura 60 - Área de la Facultad de Ciencias Agrarias	106
Figura 61 - Zonas seleccionadas	107
Figura 62 - Estudio de la Zona para los primeros Puntos	107
Figura 63 - Parte final sentido OESTE de la vía asfaltada de la UPSE.....	108
Figura 64 - Zona Cancha Sintética Universidad.....	108
Figura 65 – Zona entre Bienestar Estudiantil y Taller de la Carrera de Industrial	108
Figura 66 - – Ruta del recorrido en las instalaciones de los laboratorios	109

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Característica y Descripción Tecnología LTE	35
Tabla 2 - Espectro Radio Eléctrico SMA según operadora	39
Tabla 3 - Operadores y Frecuencias asignadas	40
Tabla 4 - Provincias en el Ecuador con Servicio Móvil	42
Tabla 5 - Objetivo de Calidad para Aplicaciones Audio y Video	50
Tabla 6 - Calidad de Funcionamiento para Aplicaciones de datos	51
Tabla 7 - Fuerza de la señal por medio un terminal (Teléfono móvil)	57
Tabla 8 - Correlación en dBm en Redes 3G	60
Tabla 9 - Especificaciones Técnicas relevantes con los equipos utilizados	68
Tabla 10 - Aspectos y su respectiva descripción	74
Tabla 11 - Puntos de Muestreos dentro de UPSE.....	75
Tabla 12 - Datos referenciados	77
Tabla 13 - Parámetros en Ecuador	77
Tabla 14 - Parámetros Técnicos.....	85
Tabla 15 - Resultados obtenidos en el Punto 1, Formato Excel VNA.....	90
Tabla 16- Resultados obtenidos en el punto 2, Formato Excel VNA.....	91
Tabla 17 - Resultados obtenidos del Punto 3, Formato Excel VNA	92
Tabla 18 – Resultados Obtenidos del punto 4, Formato Excel VNA.....	93
Tabla 19 - Resultados Obtenidos en el punto 5, Formato Excel VNA.....	94
Tabla 20 - Resultados Obtenidos en el punto 6, Formato Excel VNA.....	95
Tabla 21 - Resultados obtenidos en el Punto 7, Formato Excel VNA.....	96
Tabla 22 - Resultados obtenidos en el Punto 8, Formato Excel VNA.....	97
Tabla 23 - – Resultados Obtenidos por el punto 9, Formato Excel VNA	98
Tabla 24 – Resultados obtenidos en el Punto 10, Formato Excel VNA.....	99

Tabla 25 – Resultados obtenidos en el Punto 11, Formato Excel VNA.....	100
Tabla 26 – Valores de las Celdas Identificadas por la VNA	101
Tabla 27 – Clasificación y Valorización de los Puntos tomados.....	101
Tabla 28 – Resultados obtenidos en el Punto 12, Formato en Excel VNA	102
Tabla 29 – Resultados Obtenidos en el Punto 13, Formato en Excel VNA	103
Tabla 30 – Resultados Obtenidos en el Punto 14, Formato en Excel VNA	104
Tabla 31 – Resultados Obtenidos en el punto 15, Formato Excel VNA	105
Tabla 32 - Cronograma de Mediciones con el equipo VNA	109
Tabla 33 – Métrica y Resultados sobre este estudio	110
Tabla 34 - – Clasificación y número de puntos	110
Tabla 35 - Zona crítica y puntos afectados	111

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo evaluar la intensidad de señal 4G en zonas de baja conectividad dentro del campus de la Universidad Estatal Península de Santa Elena UPSE, través de mediciones técnicas con el analizador de espectros Keysight FieldFox N9918A y una antena omnidireccional LTE se identificaron áreas críticas con niveles bajos de RSRP y SINR, indicadores clave de intensidad y calidad de señal, la metodología incluyó la selección de puntos estratégicos, recolección sistemática de datos y análisis técnico considerando factores geográficos e incluso estructurales del entorno universitario, los resultados revelan deficiencias significativas en la cobertura 4G en varias zonas, principalmente interiores o alejadas de torres de transmisión, se concluye que es necesaria la implementación de mejoras en la infraestructura de telecomunicaciones para garantizar una conectividad eficiente que favorezca el desarrollo académico y administrativo en la institución.

Palabras clave: cobertura 4G, conectividad móvil, análisis técnico.

ABSTRACT

This research work aims to evaluate the 4G signal strength in low connectivity areas within the campus of the Peninsula de Santa Elena State University UPSE, through technical measurements with the Keysight FieldFox N9918A spectrum analyzer and an LTE omnidirectional antenna, critical areas with low levels of RSRP and SINR were identified, key indicators of signal strength and quality, the methodology included the selection of strategic points, systematic data collection and technical analysis considering geographical and even structural factors of the university environment, the results reveal significant deficiencies in 4G coverage in several areas, mainly indoors or away from transmission towers, it is concluded that it is necessary to implement improvements in the telecommunications infrastructure to ensure efficient connectivity that favors academic and administrative development in the institution.

Keywords: 4G coverage, mobile connectivity, technical analysis.

INTRODUCCIÓN

En un mundo donde la conectividad móvil es clave para el aprendizaje, el trabajo y la interacción social, las universidades dependen de redes estables y rápidas para sus actividades digitales. Sin embargo, en ciertas áreas del campus de la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE), estudiantes, docentes y personal enfrentan problemas de cobertura 4G, lo que afecta tareas académicas, investigativas y administrativas. Esta situación refleja un desafío común en zonas con infraestructura limitada.

Este proyecto busca diagnosticar la calidad de la señal 4G en el campus mediante un análisis técnico de las zonas con baja cobertura. Nuestro objetivo es identificar puntos críticos y proponer soluciones prácticas para mejorar la conectividad, asegurando que la comunidad universitaria tenga acceso equitativo a herramientas digitales esenciales.

Utilizaremos el analizador de espectros Keysight FieldFox N9918A para medir parámetros como RSRP (potencia de señal recibida) y SINR (relación señal-ruido) en puntos estratégicos del campus, seleccionados según reportes de usuarios y factores como topografía, edificaciones y cercanía a antenas. Este enfoque integral permitirá entender las causas de la cobertura deficiente.

Los resultados generarán un mapa técnico de la cobertura 4G en la UPSE, destacando áreas con señal débil o interferencias. Propondremos mejoras como la instalación de repetidores, antenas externas o redes Wi-Fi institucionales, además de posibles alianzas con operadores móviles para optimizar la infraestructura y garantizar una conectividad confiable para todos.

CAPITULO I

1.1. Identificación del problema

La conectividad móvil se ha convertido en un recurso muy importante para el desarrollo de actividades académicas, administrativas e incluso sociales dentro del ámbito universitario, en la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE) a pesar de ubicarse en una zona donde si se encuentran infraestructuras de telecomunicaciones que ofrecen servicios con tecnología 4G se han identificado áreas dentro del campus donde la intensidad de la cobertura 4G es baja o inestable, esta situación afecta exponencialmente a la experiencia de los estudiantes, docentes y personal administrativo, poniendo trabas en el acceso a plataformas virtuales como recursos digitales y servicios de comunicación fundamentales para el funcionamiento de la institución, la cobertura con problemas de la red 4G puede estar influenciada por diversos factores, entre ellos la zona geográfica del campus, la densidad de edificaciones, la presencia de obstáculos físicos como estructuras metálicas, la saturación de usuarios en determinados horarios o la distancia con respecto a las estaciones de radio base más cercanas, sin embargo, hasta la fecha no se dispone de un estudio técnico que detalle con precisión los niveles de intensidad de la cobertura 4G en los diferentes sectores de la Universidad, lo que impide tomar decisiones informadas para mitigar el problema.

La falta de un análisis sistemático sobre la cobertura y calidad de la señal móvil dentro de la Universidad representa una desventaja considerable en la presentación de estrategias que promuevan una conectividad eficiente al no contar con datos reales sobre cómo se comporta la señal en el entorno universitario no se ha podido identificar zonas críticas ni plantear posibles soluciones que garanticen una experiencia digital buena y de calidad para toda la comunidad académica, en este contexto se hace imprescindible llevar a cabo una medición y análisis detallado de la intensidad de la cobertura 4G en las áreas de deficiencia en cobertura dentro del campus universitario como base para generar posibles propuestas de mejora que ayuden a cerrar la brecha digital interna y a fortalecer el entorno tecnológico de la Universidad.[2]

1.2. Antecedentes

En los años 80 se apreció la evolución que obtuvo los sistemas de comunicación móvil esto causo un impacto importante para las telecomunicaciones, como avanzaron

las generaciones cambio también la frecuencia en la que se operaba, el ancho de banda y las WLAN (Reyes, 2023). Lo cual nos permitió ver videos en alta calidad, redes sociales e incluso video llamadas, foros internacionales consiguieron transmitir a gigabits por segundos lo cual genero latencias o perdidas muy bajas consideradas a 1ms esto aumento la cantidad de usuarios como los dispositivos.[3]

La investigación de como evolucionó la tecnología para comunicaciones móviles comienza con 1G primera generación era de manera analógica donde solo se podía realizar llamadas de voz, en la segunda generación como todos la conocemos GSM donde se concretó las primeras transmisiones y recepción de mensajes de texto e incluso SMS “Short Message Service” en UMTS “3G” la tecnología junto a los dispositivos móviles mejoraron e incluso ya contábamos con teléfonos inteligentes o Smartphone luego llegaría 4G LTE “Long Term Evolution” o LTE-A “LTE Advanced” donde prácticamente se mejoró en la velocidad que ya sería de 300 Mbps.[4]

La Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones conocida como “ARCOTEL” a partir del 2015 está autorizada para llevar un control del espectro electromagnético. La oficina principal está en Quito encargándose de vigilar todas las redes telefónicas y de Internet para asegurarse de que utilicen la cantidad adecuada de espacio para diferentes elementos tecnológicos, como teléfonos que se comunican entre sí. El sitio web de ARCOTEL ofrece informes técnicos periódicos accesibles a los usuarios, según registros de 2019, los tres proveedores de servicios de telefonía móvil reconocidos en el Ecuador son Claro, Movistar y CNT TELECSA S.A. “Telecom Móvil del Ecuador”, iniciada en abril de 2003, ahora se denomina CNT S.A, "CONECEL SA”, empresa que opera bajo la marca CLARO, está autorizada desde agosto de 2008, “OTECCEL” conocida como movistar también dirigen la marca Tuenti, que para ellos es como una actividad secundaria.[5]

La generación 4G es el estándar de telecomunicaciones para la gran parte del servicio móviles avanzado del Ecuador, porque ha facilitado procesar mayor información de voz y datos que la tecnología 3G generando un aumento en velocidad y alcance, en la actualidad las redes sociales se ha convertido en un lugar donde las personas pueden manifestarse libremente esto llevo a que las instituciones comerciales e industriales aprovechen y puedan difundir su imagen institucional o corporativa con facilidad bajando

considerablemente los costos económicos como humanos en el tema de publicidad, esto hizo que los que dan servicio móvil avanzado antes mencionadas mejoren sus planes en tema de redes sociales para que sus clientes puedan mejorar la sensación de insatisfacción pero hay que aclarar que el problema se empieza en el número de equipos con las que se interconectan las redes denominados radio bases en la cual CONECEL es mejor por su gran implementación de radio bases al rededor del país.[6]

La telefonía móvil a sufrido ciertas variaciones de crecimiento cada año, esto es causa de las diferentes depuraciones que les ocurre a las bases internas de los operadores de servicio. Al terminar el año 2019 la densidad del servicio móvil avanzado donde se alcanzó el 91.81%. En el informe de MINTEL, 2020 se puede observar cómo aumento el servicio de telefonía móvil 3G y 4G donde se manifiesta como la población del Ecuador accede a los servicios por medio del internet de banda ancha en medios inalámbricos-móviles en específico Smartphone. En diciembre del 2020 se pudo tener un estimado de cobertura poblacional que ronda entre los 97.11% que nos daría un resultado que equivale al 10.635.965 de usuarios, es decir que de cada 100 personas 97 tiene cobertura para el servicio móvil avanzado con tecnología 2G-3G. El porcentaje de la tecnología 4G donde se puede decir que el 60.74% equivalente al 10.635.965 de usuarios lo cual se podría decir que de 100 personas 60 tienen o acceden al SMA con tecnología 4G.[7]

En el año 2022-2025 post pandemia se mencionó realizar una ampliación de cobertura 4G para los dispositivos móviles donde exigía el uso de teleeducación, telemedicina, teletrabajo, etc. Por lo que se consideró al menos contar con las redes de cobertura 4G en todo el Ecuador con esto zonas rurales tuvieron mejoría en la tecnología 4G, pero no todas algunas aun no cuentan con un servicio móvil avanzado lo cual solo tienen tecnología de segunda generación.[8]

Según Raúl Katz Ecuador a tenido avances en la tecnología 4G sin embargo no hay que descartar que existe una gran brecha entre las ciudades y las zonas rurales, se propuso que en vez de implementar el 5G por la gran cantidad de dinero que implica en las infraestructuras mejor que se ponga énfasis en impulsar una mejor cobertura 4G.

El 88% de Ecuador tiene acceso a la tecnología 4G, pero cabe destacar que los países más avanzados de América latina contienen un 98% de cobertura 4G, se aseguraría que Ecuador está en intermedio comparado con los demás países solo debajo de Chile,

Brasil y México. En términos de velocidad del servicio de banda ancha móvil, en Ecuador contamos con 25 Mbps de descarga mientras que el promedio de los demás es de 29 Mbps. Con esto hay que tener en cuenta que debemos también recalcar las zonas rurales en donde tenemos estimaciones que la cobertura 4G en todas las zonas rurales Ecuador bordea el 20%, lo que indica que la mayor parte de las zonas rurales no tiene acceso a la red 4G. Entonces, debido a que no existe información específica de las parroquias rurales de Ecuador respecto a la cobertura, se extrapola (se generaliza) que la cobertura de la parroquia tiene aproximadamente el 20% de cobertura.[9]

1.3. Descripción del proyecto

Este proyecto busca medir y analizar la intensidad de la señal 4G en las zonas con poca cobertura del campus de la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE) La iniciativa nace como respuesta a los problemas de conectividad que experimentan estudiantes, docentes y personal administrativo, los cuales dificultan el desarrollo normal de las actividades académicas, investigativas y operativas que requieren acceso constante a internet móvil.

La primera fase consistirá en ubicar los puntos de baja cobertura del campus es decir, aquellas áreas donde la señal presenta interferencias o baja potencia, lo cual para las mediciones de campo se empleará un analizador portátil N9918A FieldFox Handheld Microwave Analyzer, reconocido por su precisión y confiabilidad con este equipo se registrarán los niveles de potencia de la señal 4G en cada punto identificado y se detectarán posibles anomalías, interferencias electromagnéticas o barreras físicas que limiten la correcta propagación de las ondas.

El proceso de recolección de datos incluirá un reconocimiento técnico completo del entorno universitario, considerando factores geográficos como la topografía e incluso diferencias entre zonas elevadas y bajas, a distribución arquitectónica del campus, y la influencia de obstáculos naturales o artificiales, además se llevará a cabo una revisión de la infraestructura de telecomunicaciones cercana o dentro del campus, como torres de transmisión, antenas repetidoras y puntos de acceso, con el fin de comprender la capacidad real de cobertura que existe actualmente.

Con base en la información recopilada, se realizarán mediciones sistemáticas en campo, utilizando el analizador de espectro para cuantificar los niveles de potencia de

señal 4G, estas mediciones permitirán identificar y mapear las áreas con señal débil o nula, generando así un diagnóstico técnico preciso sobre el estado actual de la cobertura móvil en la Universidad, los resultados obtenidos permitirán fundamentar propuestas de mejora orientadas a optimizar la infraestructura de telecomunicaciones en la UPSE, con el objetivo de garantizar una cobertura 4G más estable y eficiente en todo el campus, de este modo el proyecto no solo proporcionará un insumo técnico valioso para la toma de decisiones institucionales, sino que también contribuirá a reducir la brecha digital interna, fortaleciendo las condiciones tecnológicas necesarias para el desarrollo académico y profesional de toda la comunidad universitaria.

1.4. Objetivos del Proyecto

1.4.1. Objetivo general:

Evaluar los niveles de potencia como de intensidad de la cobertura 4G en áreas estratégicas de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, mediante mediciones con un analizador de espectros Keysight Field Fox, con el fin de identificar zonas críticas con problemas de cobertura y posibles soluciones para mejorar la conectividad móvil.

1.4.2. Objetivos específicos:

- Seleccionar puntos clave en áreas estratégicas dentro del campus universitario donde se registre antecedentes o reportes de baja conectividad móvil para realizar mediciones representativas de la cobertura 4G.
- Realizar mediciones detallada de la intensidad de la señal 4G en los puntos seleccionados utilizando el analizador de espectros Keysight FieldFox, para identificar las zonas con baja cobertura y calidad de señal.
- Analizar e identificar los datos obtenidos para identificar los patrones de cobertura 4G en la zona, determinando las áreas con deficiencia de señal.

1.5. Justificación

Una problemática significativa que la comunidad universitaria ha puesto de manifiesto es la existencia de áreas dentro del campus que muestran una baja intensidad de señal móvil habitual en la red 4G, impactando particularmente en la calidad del servicio y, por ende, en el rendimiento de las actividades que requieren una conexión adecuada, la ausencia de una señal 4G adecuada en algunas zonas del campus no solo

repercute en el acceso a internet desde dispositivos móviles, sino que también limita el uso de recursos tecnológicos como bibliotecas digitales, videoconferencias, aulas virtuales, herramientas de colaboración en línea y sistemas administrativos, estas carencias pueden provocar demoras en los procesos educativos, problemas en la comunicación institucional y obstáculos en la educación de los alumnos, especialmente en situaciones donde la utilización de datos móviles se presenta como una opción frente al internet fijo.[10]

Pese a la importancia del tema hasta el momento no se dispone de un estudio técnico específico que permita conocer con exactitud cuáles son las zonas críticas dentro de la UPSE en términos de cobertura móvil, ni de qué forma se genera ruido en la intensidad de la señal en función de la ubicación, el horario, las condiciones ambientales o la estructura física del entorno, esta ausencia de información detallada no deja que se implemente soluciones concretas y dificulta la gestión de mejoras en la infraestructura tecnológica del campus por esta razón es que se necesita llevar a cabo un análisis cabal que contemple la medición real de los niveles de intensidad de señal 4G, usando herramientas profesionales como el analizador de espectros Keysight FieldFox, con el fin de obtener datos confiables y representativos.

La importancia de esta investigación radica en su potencial para convertirse en una herramienta de diagnóstico útil, tanto para la administración universitaria como para posibles alianzas con proveedores de servicios móviles, identificar los puntos con cobertura deficiente permitirá tomar decisiones basadas en evidencia, ya sea para reforzar la infraestructura de telecomunicaciones, instalar repetidores, redistribuir recursos tecnológicos o gestionar mejoras directamente con las operadoras de servicio móvil avanzado.

- Mapas de calor del Servicio móvil avanzado
 - CLARO (CONECEL):

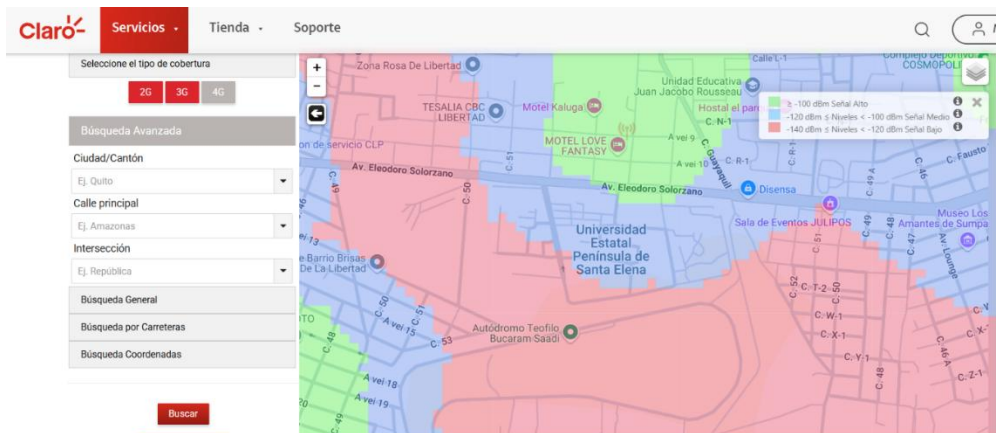


Figura 1 - Mapa de calor operadora CLARO / Prov. Santa Elena 2025

- Corporación Nacional de Telecomunicación (CNT)

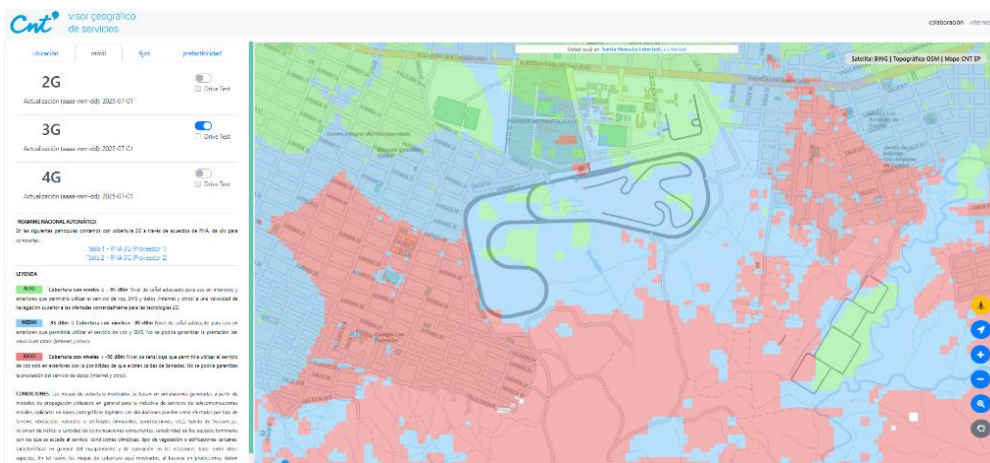
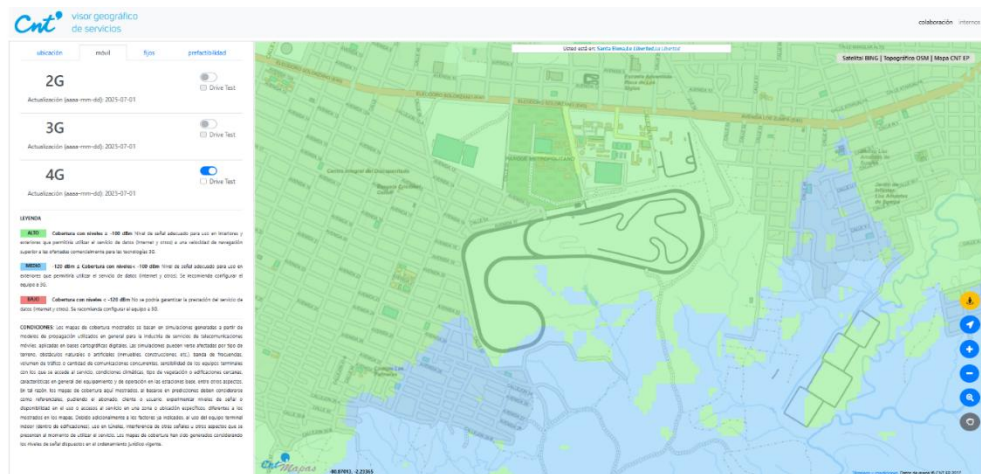


Figura 2 - Mapa de calor CNT Móvil / Prov. Santa Elena (UPSE) 2025

➤ ETECEL (MOVISTAR):

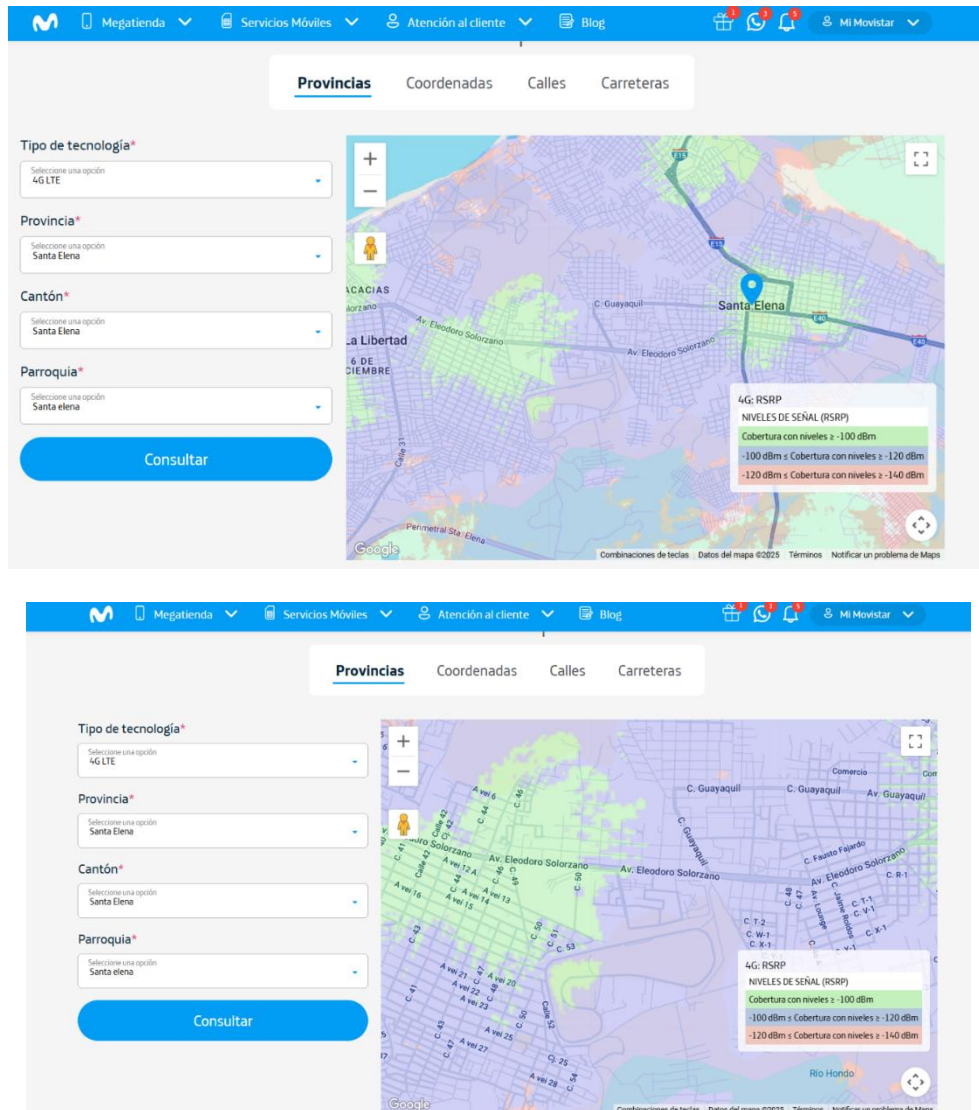


Figura 3 - Mapa de Calor ETECEL MOVISTAR en (UPSE) 2025

Este proyecto se encuentra alineado con las directrices establecidas en el Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025 del Ecuador, que tiene como uno de sus ejes fundamentales la reducción de desigualdades mediante la ampliación del acceso a servicios básicos y tecnológicos, con el fin de fomentar el desarrollo sostenible en todas las regiones del país. La expansión y mejora de la cobertura 4G en zonas rurales y urbanas, contribuye directamente al cumplimiento de estos objetivos, permitiendo que la población acceda a servicios de telecomunicaciones esenciales para su bienestar económico, educativo y social.[11]

En particular este responde al compromiso del Gobierno ecuatoriano de impulsar la inclusión digital como herramienta clave para reducir las brechas sociales y territoriales. De acuerdo con el eje estratégico de “Conectividad y modernización”, el fortalecimiento de la infraestructura TIC busca integrar a las comunidades rurales y urbanas al desarrollo nacional, permitiéndoles acceder a servicios de salud, educación y emprendimiento a través de la tecnología. [11]

Además, este enfoque está en sintonía con la política pública que incentiva la inversión y colaboración entre el sector privado, operadoras del servicio móvil avanzado de telecomunicaciones y gobiernos locales para potenciar la infraestructura digital, a través de proyectos como este, se busca promover un desarrollo equitativo, alineando los resultados con la visión de crecimiento inclusivo del Plan Nacional, garantizando así que todas las personas puedan participar plenamente de las oportunidades que brinda la sociedad digital.[11]

Este proyecto se fundamenta en la medición y análisis de los niveles de potencia de la cobertura 4G, que es esencial para garantizar el acceso equitativo a una conectividad de calidad en un mundo cada vez más digitalizado. La infraestructura de telecomunicaciones eficiente permite que sectores como la economía, la educación, la salud y la comunicación se desarrollen de manera sostenible. De acuerdo con la teoría del desarrollo inclusivo, las zonas rurales y urbanas suelen estar en desventaja en cuanto a infraestructura tecnológica, lo que amplía la brecha digital y limita las oportunidades de crecimiento y bienestar.

1.6. Alcance del Proyecto

Este proyecto incluye la valoración técnica de la potencia de la señal 4G en varias áreas del campus de la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE), con la finalidad de detectar zonas críticas de escasa cobertura y formular sugerencias de mejora dirigidas a mejorar la conectividad móvil en la institución. El proyecto se efectuará geográficamente dentro del área interna del campus universitario, sin abarcar áreas externas o áreas rurales próximas.

No contempla la aplicación directa de soluciones técnicas (como la instalación de repetidores o antenas), sino que se centrará en la identificación, evaluación y estudio de

lo que se utilizará como fundamento para futuras acciones de la administración universitaria o entidades proveedoras de servicios móviles.

Mediante la recopilación de datos con el analizador de espectro radioeléctrico, se espera obtener información detallada sobre las áreas con deficiencias de señal, este proyecto tiene como objetivo principal el análisis y la medición de la cobertura 4G en la Universidad Estatal Península de Santa Elena, ubicada en la provincia de Santa Elena-libertad, Ecuador, la investigación se llevará a cabo en áreas específicas donde la cobertura 4G es deficiente o inexistente el estudio permitirá identificar estas zonas críticas clave para la medición, luego se medirá la potencia mediante la utilización del N9918A FieldFox Handheld Microwave Analyzer y antenas de medición, herramientas esenciales para obtener datos precisos sobre los niveles de potencia e incluso calidad de la señal, estos equipos facilitarán la recolección, procesamiento y visualización de la información de manera técnica y segura.[12]

Luego hay que mencionar que los datos obtenidos de la medición se analizarán para entender mejor la situación de la deficiencia en intensidad de señal 4G, esta investigación servirá de base para futuros proyectos de tesis, así como para el servicio móvil avanzado de telecomunicaciones y autoridades, de este modo, la información recopilada contribuirá a la optimización de las infraestructuras de red, promoviendo una mayor cobertura y mejor calidad del servicio 4G.

CAPITULO II

2.1. Marco contextual

Para el desarrollo de este proyecto, se implementan los siguientes métodos, que se aplican desde la formulación de la propuesta, pasando por la investigación preliminar, hasta alcanzar los resultados deseados:

- **Investigación Descriptiva:** En el presente proyecto se busca evaluar estos aspectos para poder comprender la situación actual de la red y así poder encontrar posibles áreas de mejora e incluso proporcionar una visión detallada y precisa de la cobertura 4G en la Universidad Estatal Península de Santa Elena, basándose en datos recopilados mediante mediciones precisas.
- **Investigación Explicativa:** Explicar las razones que se encuentra sobre las variaciones en la cobertura 4G en la Universidad Estatal Península de Santa Elena, provincia de Santa Elena y así poder tener una idea de cómo afectan a la calidad del servicio, la investigación buscara responder sobre los posibles factores que contribuyen a las deficiencias de la tecnología 4G.
- **Investigación de Campo:** En una investigación de esta naturaleza, es fundamental realizar un análisis detallado de las características físicas de las antenas, considerando aspectos como la altura, los materiales de construcción, los patrones de radiación, la ganancia y la distancia entre estaciones. Además, es crucial obtener información técnica relevante sobre las redes móviles, ya sea a través del servicio móvil avanzado de telecomunicaciones o mediante la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL). Esta recopilación de datos permitirá que el desarrollo del proyecto se lleve a cabo de manera eficiente y garantice resultados precisos conforme avance cada fase del proceso.[5]

La cobertura de cuarta generación representa la conectividad móvil de todo el mundo, su desarrollo y evolución es para poder brindar una transferencia de datos a mayor velocidad, menor latencia y también poder soportar la cantidad masiva de usuarios. Sin embargo, cabe recalcar que la cobertura 4G varía entre zonas rurales y urbanas por el factor tecnológico e incluso ambiental.

2.2. Marco Teórico

2.2.1. Primera Generación (1G)

La evolución de 1G como lo hemos visto que fue la primera red de comunicación móvil automatizada comercialmente en el año de 1979 por NTT, luego surgió o mejor dicho siguió el lanzamiento del sistema de telefonía Móvil Nórdica (NMT) en los siguientes países Finlandia, noruega y Suecia 1981, donde se basó en estos años en redes celulares con algunas radios bases que se pusieron cercanas a cada una, en esta generación se puede caracterizar porque enviaban voz en formato analógico.

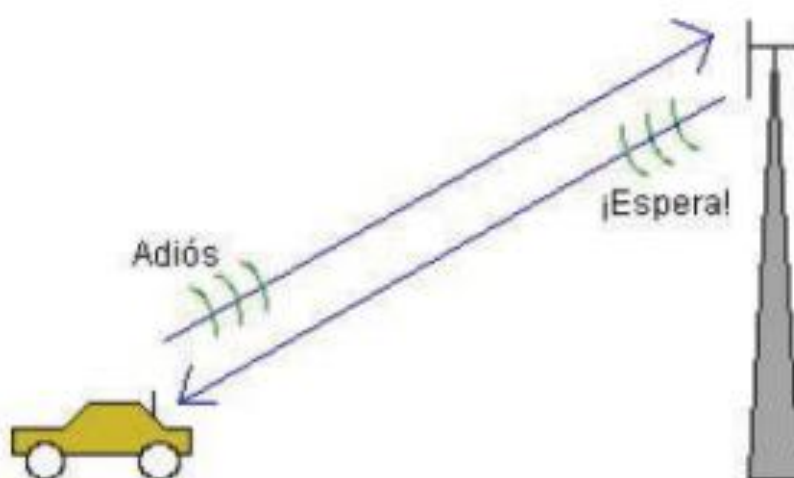


Figura 4 - Comunicación entre NODO y Dispositivo Final

El estándar que se usó fue el AMPS que sus siglas son Advanced Mobile Phone System lo cual solo era servicio para voz y de manera analógica su velocidad rondaba entre los 1Kbps a 2.4 Kbps, la multiplexación que se usaba era FDMA, la frecuencia de operación era de los 800 a 900 MHz cabe recalcar que en este tiempo la comunicación era sin ninguna seguridad y por lo tanto había mayor riesgo, en el ancho de banda de RF era de 30 kHz lo cual nos daba 832 canales que eran de manera dúplex y se dividían en 21 para establecimientos de llamadas y los demás para comunicación voz.[13].

La telefonía celular puede asemejarse como funcionan los walkie-talkies, existían problemas en este entonces los cuales eran que en radios de onda pequeña no había manera de tener repetidores por lo que para poder enviar mensajes y recibirlos se usaba la misma frecuencia, en este entonces para la comunicación celular si se usaban

repetidores los cuales se implementó en ciudades lo cual se podría decir que la comunicación entre radio bases se lo conoció como celdas o clúster con esto se usó la reutilización de celdas con esto cada usuario podría llamar sin perder cobertura ya que sería cambiando de celda recalcando que los celulares usan una frecuencia para Tx y una para Rx.[14]

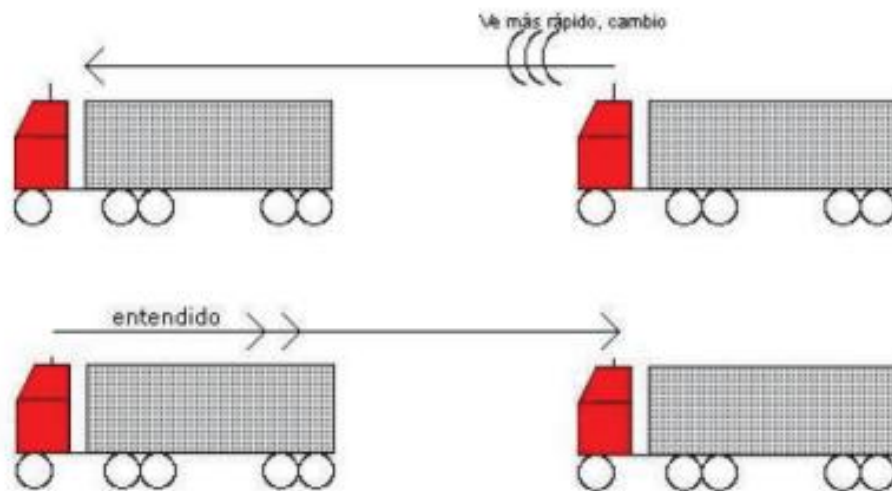


Figura 5 - Comunicación entre dispositivos Finales

2.2.2. Segunda Generación (2G)

Luego de la primera generación la tecnología GSM facilitó la voz y datos digitales, también roaming, porque convirtió los sistemas analógicos a digital, con esto hubo ahorro en la utilización del espectro con esto nacieron algunos sistemas como GSM que es Global System for Mobile Communications, TDMA (Time división multiple Access) y CDMA (Code División Multiple Access).

La tecnología se caracterizó por la conmutación de circuitos con esto pudimos utilizar 8 usuarios utilizando canales separados por 200 MHz para esto se utilizó el acceso múltiple por división de tiempo, los terminales también cambiaron porque se hicieron más pequeños que pesarían entre 80 a 200gr y con esto las mejoras en consumo y rendimiento de baterías fueron mejores.

Los protocolos de codificación son más sofisticados que aún son utilizados la tecnología para decirlo ya con su estándar es TIA/EIA 136 o ANSI 136 aunque con esto se soportó velocidades más altas son limitadas para la comunicación de datos, por esta

razón nacen servicios auxiliares como fax o SMS (short message service) y aquí si hay ya niveles distintos de encriptación.[15]

- Arquitectura GSM

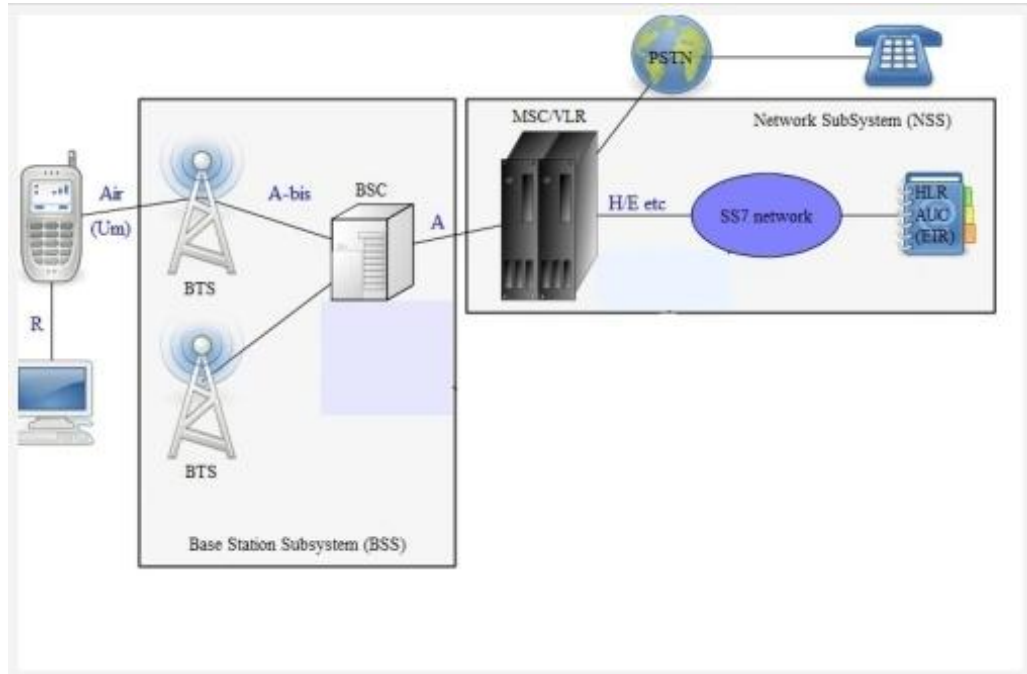


Figura 6 - ARQUITECTURA GSM

2.2.3. Generación 2.5 G

La tecnología 2G funcionaba sobre un modelo de conmutación por circuitos, lo cual para cuando se quería establecer una conexión, se reservaba todo un canal durante toda la comunicación, incluso si no se transmitían datos en ciertos momentos, esto resultaba ineficiente para el envío de datos ya que implicaba el uso constante de recursos aunque no se estuvieran utilizando activamente, el nacimiento de 2.5G y su propósito para resolver estas limitaciones sin necesidad de realizar un cambio total en la infraestructura, se introdujo una tecnología llamada GPRS (General Packet Radio Service).

Esta tecnología marcó el inicio de la fase conocida como 2.5G, un paso intermedio entre 2G y 3G con esto GPRS permitió que la red transmitiera datos en paquetes, un método mucho más eficiente, similar al que se usa en redes de Internet, gracias a GPRS, los usuarios pudieron acceder por primera vez a servicios móviles como la navegación por páginas web ligeras, el envío y recepción de correos electrónicos, y el uso de

aplicaciones básicas, aunque las velocidades no eran tan elevadas como las de generaciones posteriores, ya se podían alcanzar entre 35 y 40 kbps en la práctica, una mejora notable frente a los 9.6 kbps de 2G.

Los sistemas CDMA IS-95A evoluciono a su versión b y entre esas mejoras están la mejora en la interfaz de radio, con la implementación de nuevos protocolos RLP y de la implementación de nodos conmutadores de paquetes PCF que se conectaban directamente a las redes también se implementó métodos de localización que son triangulación, GPS e identificación de clústers del celular.[16]

- Arquitectura 2.5 G

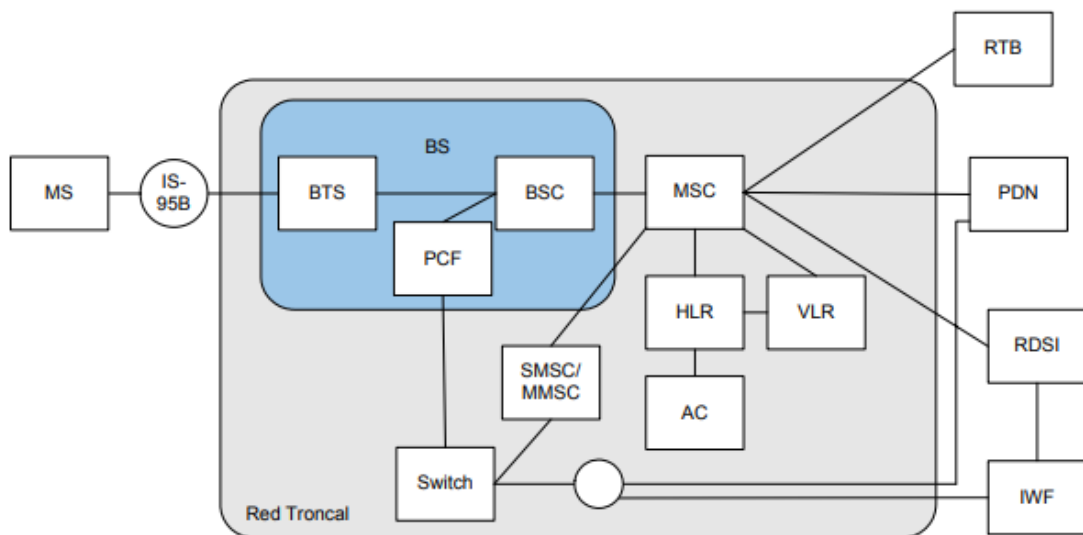


Figura 7 - ARQUITECTURA 2.5 G

2.2.4. Tercera Generación (3G)

La evolución repentina de las tecnologías móviles tanto como analógicas y digitales e incluso sus estándares que son AMPS, TDM, GSM, DECT dentro de la UIT Unión internacional de Telecomunicaciones, un organismo perteneciente a las naciones unidas en el organismo públicas y privadas que son las encargadas de los servicios de todo el mundo han venido desarrollando lo que se denomina como UMTS Universal Mobile Telecommunications System se puso en marcha en el 2002 para operar en el 2005.

Con esta tecnología se pudo basar todo en protocolos IP lo que hoy en día se puede hacer al incorporar protocolos WAP Wireless Access Protocol, esto aseguraría la comunicación por telefonía móvil hasta lo de multimedia como voz, datos y videos.

Los sistemas 3G proporcionan transmisión simétrica/asimétrica de alta fiabilidad, 384 kbit/s en espacios abiertos y 2Mbit/s con baja movilidad, uso de banda ancha dinámica, soporte de conmutación de paquetes como de circuitos también acceso a internet e incluso video juegos correo, audio, video sobre todo mayor capacidad y uso eficiente del espectro.[17]

El 3G fue estandarizado por el proceso IMT-2000 International Mobile Telecommunication con esto solo se normalizo lo de que la tasa de 2 Mbps en ambientes cerrados y 384 en abiertos e incluso el servicio de UMTS es compatible con GRPS Y EDGE, las bandas de operación de esta tecnología son 850,900,1700,1800,1900,2100 MHz.

Incluso 2600 MHz, cabe recalcar que también permite servicios de itinerancia que quiere decir con esto que podemos conectarnos a internet desde cualquier parte del mundo, con esto también se pudo tener una actualización de UMTS a HSDPA High-Speed Downlink Packet Access que es conocida como 3.5 o 3G que son mejoras en la bajada conocida como downlink.[18]

- Arquitectura 3G-UMTS

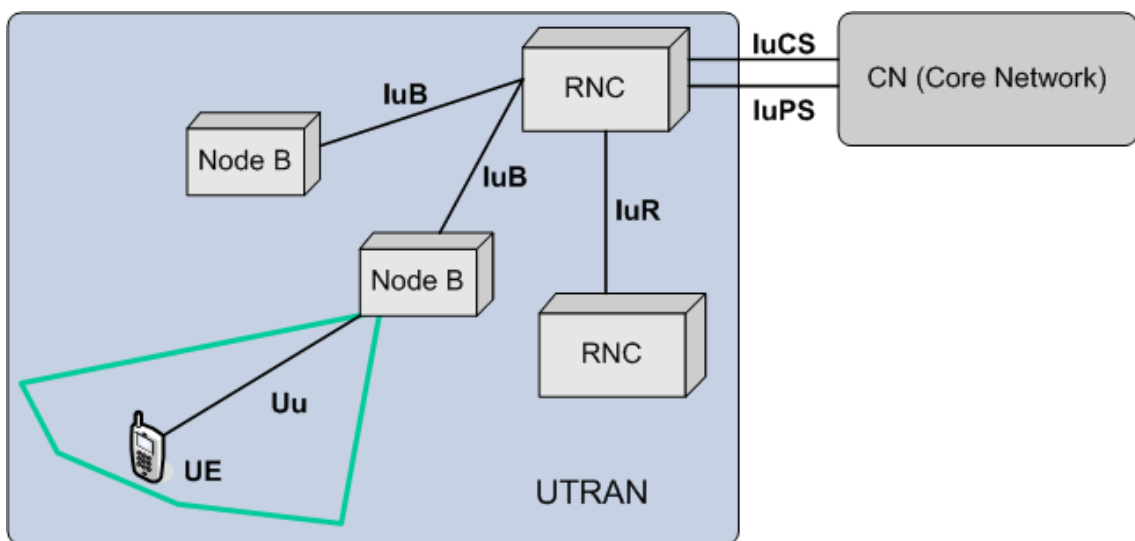


Figura 8 - ARQUITECTURA 3G / UMTS

2.2.5. Cuarta Generación (4G)

La cobertura de cuarta generación representa la conectividad móvil de todo el mundo, su desarrollo y evolución es para poder brindar una transferencia de datos a mayor velocidad, menor latencia y también poder soportar la cantidad masiva de usuarios. Sin embargo, cabe recalcar que la cobertura 4G varía entre zonas rurales y urbanas por el factor tecnológico e incluso ambiental.

Las redes 3G supusieron una mejora notable en la transmisión de datos, al ofrecer velocidades de hasta varios megabits por segundo, sin embargo, a medida que los teléfonos inteligentes smartphones se popularizaron y las aplicaciones móviles comenzaron a ofrecer contenidos más pesados y dinámicos como videos en streaming, videollamadas y juegos en línea, 3G comenzó a mostrar sus límites que serían velocidades insuficientes para contenido multimedia en alta calidad, altas latencias que afectaban la experiencia en tiempo real también el uso intensivo de recursos por parte de los dispositivos y de la red misma, que reducía la eficiencia y la autonomía de los móviles. El paso a la cuarta generación es para una combinación de factores tecnológica, sociales y económicos, entre ellos demanda creciente de datos con la explosión del uso de Internet móvil y el creciente paso de plataformas como YouTube, Facebook, Instagram y Netflix, el consumo de datos móviles se disparó, las redes 3G ya no eran suficientes para manejar estos volúmenes con la calidad que los usuarios exigían, nuevas expectativas del usuario donde el usuario moderno quería navegar a alta velocidad, hacer videollamadas sin interrupciones, compartir archivos y hacer descargas rápidamente, esto requería mayores velocidades de descarga y menor latencia, metas que la tecnología 4G se propuso alcanzar, que serían red completamente basada en IP a diferencia de las generaciones anteriores, que usaban circuitos para llamadas y paquetes para datos, 4G funciona exclusivamente mediante el protocolo IP, lo que permite que todos los servicios incluidas llamadas y mensajes se transmitan como datos.

2.2.6. Conceptos Básicos de Redes 4G

Las siglas 4G se refiere a la cuarta generación lo cual nos brinda mejor acceso a la red y un excelente rendimiento en el uso de datos, la tecnología 4G brinda facilidades para que las personas puedan tener entrada a varios servicios como telemedicina, teletrabajo, voz y datos lo cual nos permite facilitar la vida de los ciudadanos.[19]

Para el funcionamiento de esta tecnología se requiere de infraestructuras especial que actualmente están siendo desplegadas por el servicio móvil avanzado, en el año 2014 la tecnología 4g comenzó a funcionar en ecuador donde el operador que primero dio servicio público fue CNT EP, ya para el 2015 comenzaron a abrirse nuevas compañías como MOVISTAR/TUENTI, CLARO.[19]

Con 4G pudimos acceder a múltiples aplicativos que requieren de internet y que se encuentran en internet porque tenía una mejor velocidad y capacidad. Además, como se evoluciono de 3G a 4G también tuvimos que adquirir mejores dispositivos que puedan funcionar con 4G.

La tecnología de cuarta generación, la más avanzada en calidad de conectividad en ecuador, no está al alcance de todos los abonados de telefonía móvil, en marzo del 2023 el número de líneas activas son 17,7 millones de las cuales 10,6 millones podían acceder a cobertura 4G, según ARCOTEL representa el 60%. [19]

➤ Arquitectura del LTE

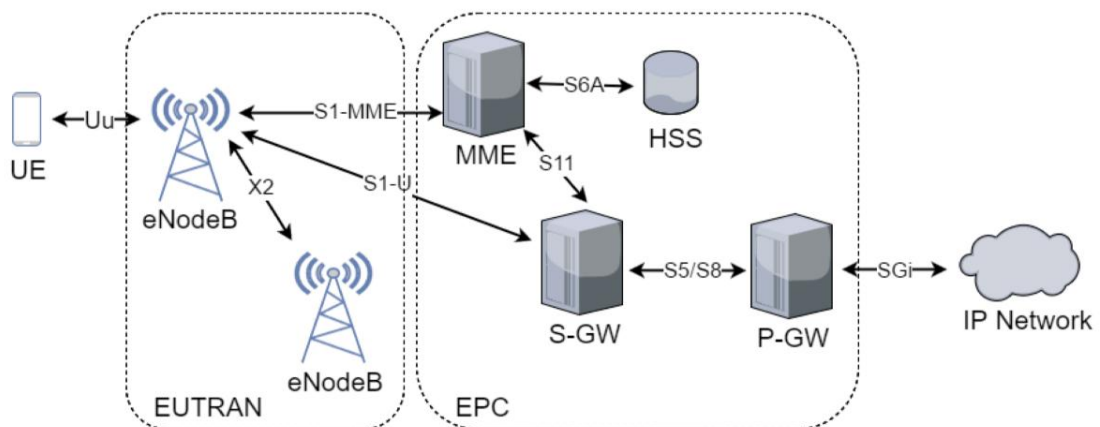


Figura 9 - Arquitectura del Sistema LTE

Se subdivide en tres elementos que asumen la arquitectura de un sistema de comunicación móvil celular:

- Equipo de usuario: Dispositivo con el cual podemos acceder a todos los diferentes servicios que ofrece 4G LTE, cabe recalcar que el dispositivo deberá tener una tarjeta SIM (Subscribe identity modulen) que se encargará de almacenar la información la cual nos permita conectar a la

red de esta manera poder disfrutar de los servicios del proveedor de servicio.

- Red de acceso: Sistema que efectúa la comunicación, transmisión de radio, con los equipos que contienen los usuarios para de esta manera poder brindar conectividad con la red troncal. En esta parte podemos ver que es la responsable de gestionar los recursos de radio que se encuentren disponibles para así poder dar servicio a los portadores de manera eficiente, para entender como está formada la red de acceso es importante considerar que se forma con su estación base y dependiendo de los equipos controladores.
- Red troncal: En este apartado se encarga de todo lo que es el control para acceder a la red celular como es la autenticación de los usuarios, gestión de la movilidad de usuarios, gestión de interconexión con otras redes, control y señalización vinculado con el servicio de telefonía móvil, todos los equipos que se encuentren en esta red tienen funciones de conmutación de circuitos, routing, bases de datos.

La arquitectura o mejor dicho su forma del sistema 4G LTE también conocida como Evolved Packet System EPS, se debe tomar importancia que siempre partimos de generaciones antiguas o ya actuales para tener referencias sobre las nuevas ideas, dividir el sistema en los elementos ya mencionados.

Un usuario en una red nueva con la cual se pueda acceder en la cual se denomina E-UTRAN y una red troncal conocida como EPC, todo esto hace un total de todos los equipos con sus funciones que son primordiales y que están diseñados para poder soportar todo tipo de servicios de telecomunicaciones, los sistemas LTE se soportan mediante conmutación de paquetes.[20]

2.2.7. Estandarización LTE

LTE que significa Long Term Evolution, es una tecnología móvil desarrollada dentro del estándar 3GPP esta tecnología es una evolución del sistema UMTS y su versión mejorada fue presentada en noviembre de 2004 bajo el nombre de E-UTRA Acceso Radio Terrestre Evolucionado de UMTS y E-UTRAN Red de Acceso Radio Terrestre Evolucionada de UMTS.

- LTE mejoras:

Alcanzar velocidades máximas de Tx de hasta 100 Mbps en descarga y 50 Mbps en subida, nos permite duplicar o incluso cuadruplicar la eficiencia espectral en comparación con tecnologías anteriores cabe recalcar que reduce la latencia a menos de 10 milisegundos en el plano de usuario.

Permite un ancho de banda flexible, ajustable según las necesidades además de garantiza compatibilidad con redes legacy 3G e incluso con tecnologías no son 3GPP, teniendo tecnologías previas como GSM, GPRS, EDGE, WCDMA y HSPA una de sus principales mejoras está en la interfaz de radio, usando OFDMA Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal para las descargas, lo que permite una mejor gestión del espectro y SC-FDMA Acceso Múltiple por División de Frecuencia de Portadora Única, para las subidas ideal para conservar energía en los dispositivos móviles.

- Ventajas:

Latencias mucho más bajas, mayor eficiencia en el uso del espectro, permitiendo que más usuarios se conecten sin interferencias, uso de esquemas de modulación avanzados como QPSK, 16-QAM y 64-QAM, adaptándose dinámicamente según la distancia del usuario a la antena cuanto más lejos esté menor será la complejidad de la modulación, priorizando la robustez de la señal.

La ayuda de tecnologías adicionales como MIMO también el uso de múltiples antenas para mejorar la capacidad y cobertura, técnicas de corrección de errores como FEC Corrección Adelantada de Errores, que permiten mantener la calidad de la transmisión de datos incluso en condiciones difíciles.

2.2.8. Tecnología LTE y sus Características

La telefonía móvil ha crecido muy rápido lo cual nos permite tener tecnología 4G, estos avances nos han permitido tener una mejoría en las llamadas, la cobertura y también a diferentes accesos por medio del internet. LTE se forma con la misión de poder tener una mejor velocidad de transmisión, capacidad, eficiencia y mejor acceso a diferentes componentes lo cual involucro mejoras a nivel de hardware como también de software, con esto poniendo a LTE en un punto alto como la mejor tecnología.[19]

Los elementos de LTE son UTRAN (red de acceso), EPC (red de Core), IMS, en esta parte se involucra la red de acceso con el Core con esto se brinda servicios de transferencia de información que para LTE como todos conocemos se transfieren como paquetes IP. [19]

IMS puede intercambiar datos de manera segura con redes de conmutación CS, PSTN también es compatible con telefonía móvil que ya están en servicio, al ser un subsistema independiente consta con soporte a redes de acceso. IMS fue puesto en marcha para trabajar con QoS para con esto poder establecer esquemas de tarifación apropiados.[19]

Las características de LTE se pueden contemplar por el acceso a sus servicios por medio de UMTS Y GSM, en la red física se interconectan todos los equipos la cual es denominada como red de transporte, red IP convencional cabe tener en cuenta que también habrá elementos propios de la red como routers, servidores DHCP, servidores DNS, switches, etc.

Tabla 1 - Característica y Descripción Tecnología LTE

CARACTERISTICAS	DESCRIPCION
VELOCIDAD DE DATOS	Velocidades de descarga de hasta 300 Mbps y de subida de hasta 75 Mbps, dependiendo de la configuración de la red y el dispositivo.
LATENCIA	Proporciona un tiempo de respuesta reducido, que ayuda para aplicaciones en tiempo real como juegos en línea y videollamadas.
FLEXIBILIDAD EN EL ESPECTRO	Al operar en distintas bandas de frecuencia (FDD y TDD), el cual permite adaptarse a diversos entornos y necesidades globales.
ARQUITECTURA BASADA EN IP	Diseñada completamente sobre protocolos IP, eso nos ayuda en la eficiencia para datos y aplicaciones modernas.
TECNOLOGIA VoLTE	Permite realizar llamadas de voz con alta calidad utilizando la red LTE en lugar de tecnologías legendarias como de conmutación de circuitos.
SOPORTE PARA MIMO	Utiliza múltiples antenas para mejorar la capacidad, cobertura y velocidad de transmisión (Múltiple Input Múltiple Output).

Carrier Aggregation (CA)	Su función de combinar múltiples bandas de frecuencia, incrementando el ancho de banda y las velocidades de transmisión (en LTE Advanced).
COMPATIBILIDAD	LTE es compatible con la mayoría de los dispositivos móviles y está desplegado en gran parte del mundo.
EFICIENCIA ENERGETICA	Optimizado para reducir el consumo de energía en dispositivos, aunque puede requerir más batería en comparación con redes 3G en ciertos escenarios.
CONMUTACION DE PAQUETES	Optimizado para datos y aplicaciones, no para servicios con redes legendarias de llamadas y SMS, los cuales son manejados por VoLTE o redes paralelas.
PREPARACION PARA 5G	LTE Advanced y LTE Advanced Pro son evoluciones que allanan el camino hacia la implementación de la red 5G.

2.2.9. Arquitectura del Sistema LTE.

Un sistema LTE está compuesto por una arquitectura paquetizada esquelética sobre IP, conocida como EPS (Sistema de Paquetes Evolucionado). Este sistema incluye tres partes principales:

- ✓ El equipo del usuario (como tu teléfono móvil o módem).
- ✓ La red de acceso E-UTRAN que se conforma en el conjunto de estaciones base que se comunican directamente con los dispositivos.
- ✓ El núcleo de la red EPC (Evolved Packet Core) aquí es donde se realiza para gestionar las conexiones y enviar los datos hacia y desde internet u otras redes.

Todos estos componentes permiten la Tx de datos en forma de paquetes IP ya que esta es la forma en que se comunican las aplicaciones como WhatsApp, YouTube o los navegadores web.

Para que se conecte la red de acceso (E-UTRAN) y el núcleo (EPC) debe realizarse a través de una interfaz llamada S1, la conexión entre el dispositivo del usuario y la red E-UTRAN se llama Uu.

2.2.10. Parámetros Técnicos de Potencia y Cobertura.

La cobertura poblacional del SMA que de acuerdo con los datos que contienen y que pueden proporcionar la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones e incluso reportada por MINTEL detalla que en el mes de junio del 2022 Ecuador consta con una cobertura poblacional de la tecnología 4G del 77,63% y del 95,91% con tecnología 2G y 3G.[22]

La escasa cobertura móvil con la tecnología 2G y 3G ocasiona que el 4.09% de los ecuatorianos que vienen a ser aproximadamente uno ecuatoriano que no puedan tener acceso a los servicios de voz, datos, mensajes, refiriéndonos a la tecnología 4G que equivale a un 22.37% siendo 3.97 millones de ecuatorianos que no pueden tener los servicios ya recalcados, cabe tomar en cuenta la importancia de adoptar tecnología más avanzadas por el objetivo de tener mejores servicios para la ciudadanía y de la escasa presencia tecnológica.[22]

Según la Política Pública de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información 2017-2021 se propuso llegar a una meta que era del 98% de cobertura, pese a todo en diciembre del 2021 el indicador alcanzó el 94%. A su vez en la referida política se llegó a tener como meta alcanzar un 80% de penetración 4G a la cual solo se llegó a un 75.92%.

Según el “Plan de Creación de Oportunidades” (2021-2025) su principal objetivo es “proteger a las familias, garantizar sus derechos y servicios, erradicar la pobreza y promover a la inclusión social.” En la política 5.5 “mejorar la conectividad el acceso a nuevas tecnologías de la población.” Se propuso la meta de poder llegar a un 92% en el tema de poder incrementar la cobertura poblacional con la tecnología 4G.[23]

La parte que tienen una deficiencia en la tecnología 4G son las zonas rurales por lo que estas zonas son poblaciones con un ingreso económico bajo, pero de acuerdo con MINTEL se ha tomado consideraciones en estas partes no conectadas para que a través de políticas y programas sectoriales puedan ser tomadas en cuenta y a su vez promover a la reducción de la brecha digital.

- Crecimiento en la penetración del SMA a nivel nacional.

Se puede observar que el SMA en el mes de agosto del 2022 representa el 58.55% de las líneas activas (10.04 millones), la tecnología 3G representa el 31,26% de las líneas activas (5.36 millones) y la tecnología 2G se tiene solo el 10.19%(1.75millones).[22]

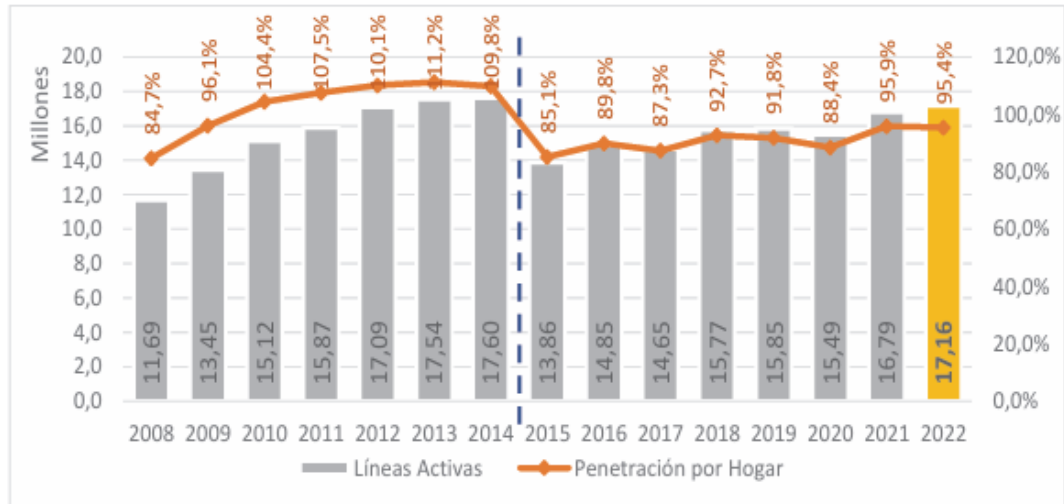


Figura 12 - Estadísticas en SMA a Nivel Nacional 2008-2022

- Asignación del Espectro Radioeléctrico.

De acuerdo con el posicionamiento de la tecnología 4G como en 5G, las empresas de telecomunicaciones se ven en la necesidad de contar con una cantidad mayor del espectro radioeléctrico en diferentes frecuencias, de esta manera se pueden combinar las ventajas en cobertura geográfica que ofrecen las bandas bajas para así poder transportar gran cantidad de datos que permiten las bandas altas.

En Ecuador se tiene como asignación del espectro 280 MHz para el SMA a continuación se muestra:

Tabla 2 - Espectro Radio Eléctrico SMA según operadora

Prestador SMA	Banda				Total
	700 MHz	850 MHz	1700 / 2100 MHz	1900 MHz	
CNT EP	30 MHz	-	40 MHz	30 MHz	100 MHz
CONECEL S.A.	-	25 MHz	40 MHz	30 MHz	95 MHz
OTECEL S.A.	-	25 MHz	-	60 MHz	85 MHz
LIBRE	60 MHz	-	40 MHz	-	100 MHz

2.2.11. Frecuencias del Espectro Utilizadas en Ecuador

Desde el 2020 Ecuador ha crecido en el sector de las telecomunicaciones, sabemos que los contratos de concesión están operando con una prórroga temporal en las empresas de Movistar y Claro, ocurrió una inestabilidad por el tema político que afectó al país en el 2023 lo cual trajo una preocupación por posibles cierres de los nuevos acuerdos en el segundo semestre del 2024.[24]

Tabla 3 - Operadores y Frecuencias asignadas

SMA	FRECUENCIA ASIGNADAS
CONECEL S.A (CLARO)	850MHz–1900MHz GSM; 850MHz– 1900MHz UMTS/HSPA; 1700-2100MHz LTE
CORPORACION NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES (CNT)	1900 MHz GSM; 1900 MHz UMTS / HSPA; LTE 1700-2100MHz 700MHz
OTECEL S.A (MOVISTAR)	850MHz–1900MHz GSM; 850MHz– 1900MHz UMTS/HSPA; 1900MHz LTE

2.2.12. Infraestructura de Telecomunicaciones

La cobertura siguiendo el reglamento que nos permite habilitar el servicio para el régimen general de telecomunicaciones y frecuencias del espectro radioeléctrico en el país como una aproximación se tuvo en cuenta que para el SMA (servicio móvil avanzado) a parroquia cubierta donde se encuentra instalada por lo menos una radio base, sin contar con los parámetros de, cobertura, extensión territorial, número de habitantes, tráfico de tecnología, entre otros, con lo cual podemos determinar algunas medidas de cobertura.[25]

Según ARCOTEL desde el periodo del 2008 al 2020 con especificación del mes de marzo contamos con un total de 18.857 radio bases obviamente creció con relación al 2019 en un 10,48% ya que en ese entonces solo se contaba con 17.069 radio bases.[25]

Con estos datos podemos afirmar que se incrementó las radio bases en general del país en los últimos cinco años donde CONECEL se mantiene líder en infraestructura aunque su expansión es modesta en 2023 entre un +2 %, después de la caída de 2022.

OTECCEL es el gran dinamizador: su red creció un 13 % en 2023, si mantiene ese pulso podría acercarse a la marca de 8 000 radio bases en 2025. CNT EP crece lentamente y continúa rondando la franja de 4 200-4 400 estaciones.

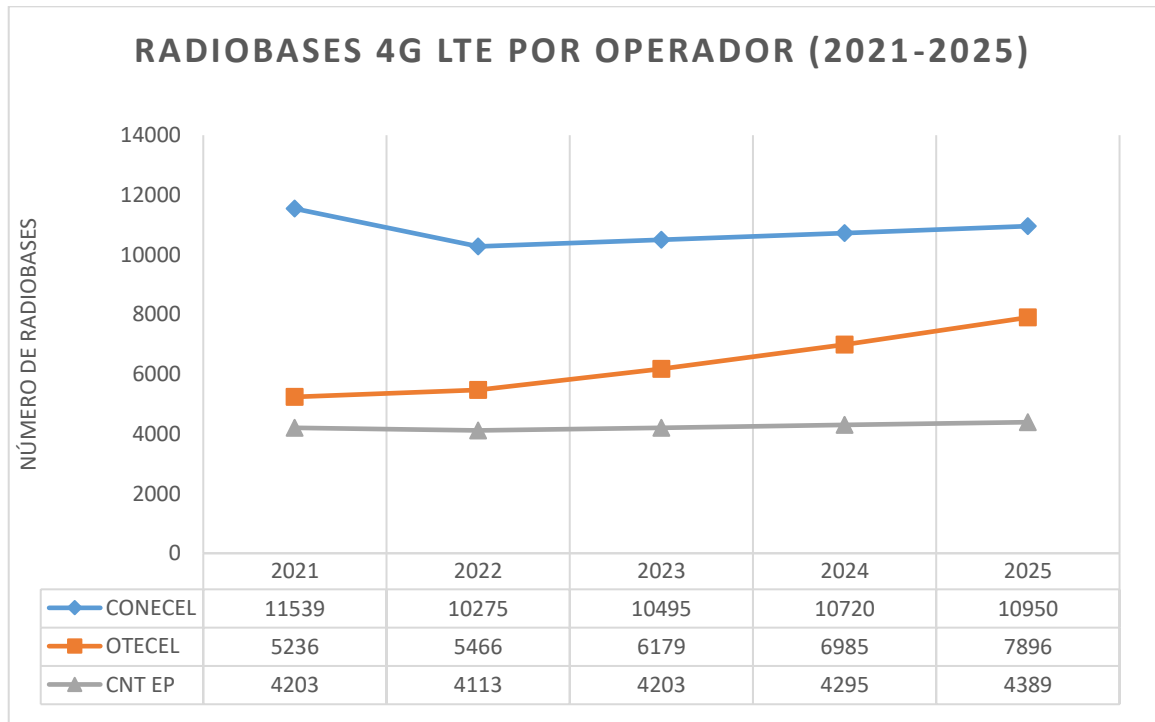


Figura 13 – Datos sobre evolución de Radio Bases en el Ecuador Fuente: ARCOTEL.GOB

En los informes de ARCOTEL podemos tener en cuenta que las radio bases están distribuidas entre 676 parroquias a nivel nacional, entre estas se encuentran 221 cabeceras cantonales y 455 que son de zonas rurales, cabe recalcar que 366 parroquias no cuentan con cobertura SMA lo cual indica que no tienen radio bases estas zonas son las zonas rurales.[25]

La evolución del radio bases se puede observar de acuerdo por operador que son CONECEL S.A, OTECEL S.A, CNT E.P donde CONECEL ha tenido mayor crecimiento.

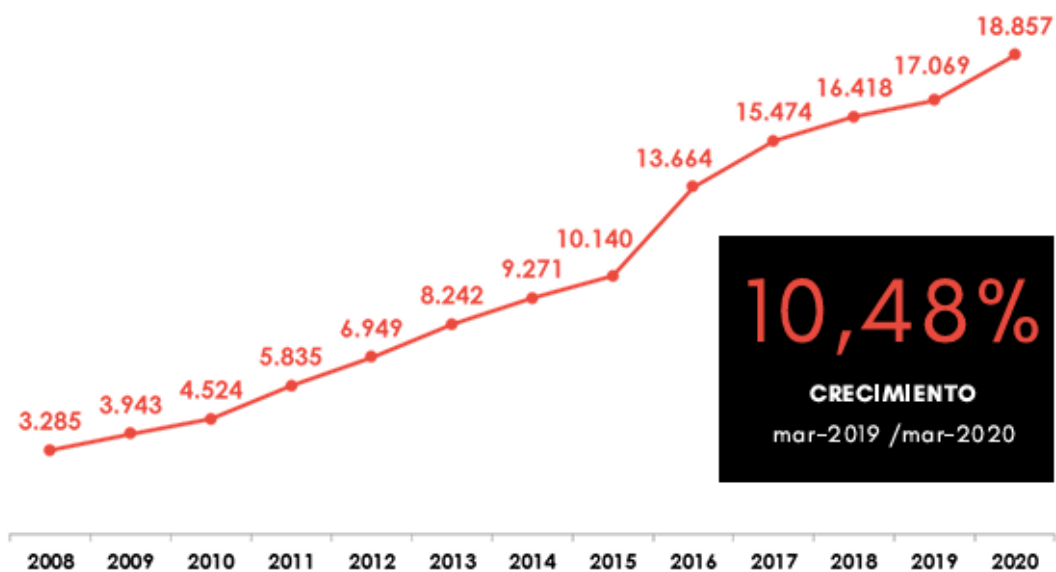


Figura 14 - Empresas Telecomunicaciones Ecuador

Servicio móvil avanzado por provincias donde se especificó todo el territorio nacional con las tres operadoras de servicio móvil avanzado.

Tabla 4 - Provincias en el Ecuador con Servicio Móvil

PROVINCIA	CNT E.P.		OTECEL S.A.			CONECEL S.A.		
	3G	4G	2G	3G	4G	2G	3G	4G
Azuay	60	59	76	158	66	85	195	120
Bolívar	14	0	12	14	1	21	39	18
Cañar	15	12	23	36	6	19	47	16
Carchi	20	5	16	19	4	27	46	17
Chimborazo	45	47	43	67	23	51	95	58
Cotopaxi	49	14	41	77	18	38	77	43
El Oro	38	48	43	64	19	84	155	81
Esmeraldas	44	28	36	62	31	78	145	95
Galápagos	10	3	10	6	0	10	22	6
Guayas	375	330	237	594	252	614	1.468	1.095
Imbabura	55	31	21	57	24	49	127	91
Loja	36	31	27	39	14	74	124	98
Los Ríos	40	10	41	53	11	103	203	133
Manabí	147	37	109	223	110	195	426	247
Morona Santiago	18	1	13	7	0	14	27	14
Napo	15	1	19	15	0	17	26	11
Orellana	21	8	24	14	0	25	53	32
Pastaza	9	3	14	16	0	9	20	10
Pichincha	489	444	309	1.011	547	462	1.214	941
Santa Elena	37	17	20	57	27	55	138	105
Sto. Domingo	49	39	31	47	22	70	150	108
Sucumbios	28	4	18	19	0	31	60	32
Tungurahua	71	47	51	127	43	54	120	85
Zamora Chinchipe	15	3	8	6	0	14	24	7
Zonas no Delimitadas	1	0	3	2	0	5	10	3

2.2.13. Red Troncal LTE

La red troncal o mejor dicho Evolved Packet Core (EPC) es básicamente el cerebro del sistema de comunicaciones, es donde se gestiona, controla y enruta todo el tráfico de datos entre los usuarios y el mundo exterior, mientras que las torres o antenas (E-UTRAN) se encargan de enviar y recibir señales hacia y desde los celulares, la red troncal procesa, coordina y dirige ese tráfico, como si fuera el sistema nervioso de toda la red LTE.

La red troncal cumple varias funciones muy importantes:

- Control de conexión es donde se administra las sesiones de datos de cada usuario e incluso cuándo se inicia y cuándo termina una conexión.
- Autenticación y seguridad es donde se observa la identidad del usuario y protege los datos que se transmiten, dirección IP es donde se asigna una dirección IP al dispositivo para que pueda conectarse a internet.
- Ruteo de datos se encarga de enviar los datos al lugar correcto, ya sea un sitio web, una aplicación o un servidor.
- Cobro y estadísticas registra cuánto tiene de saldo el cliente, para poder facturar el servicio.

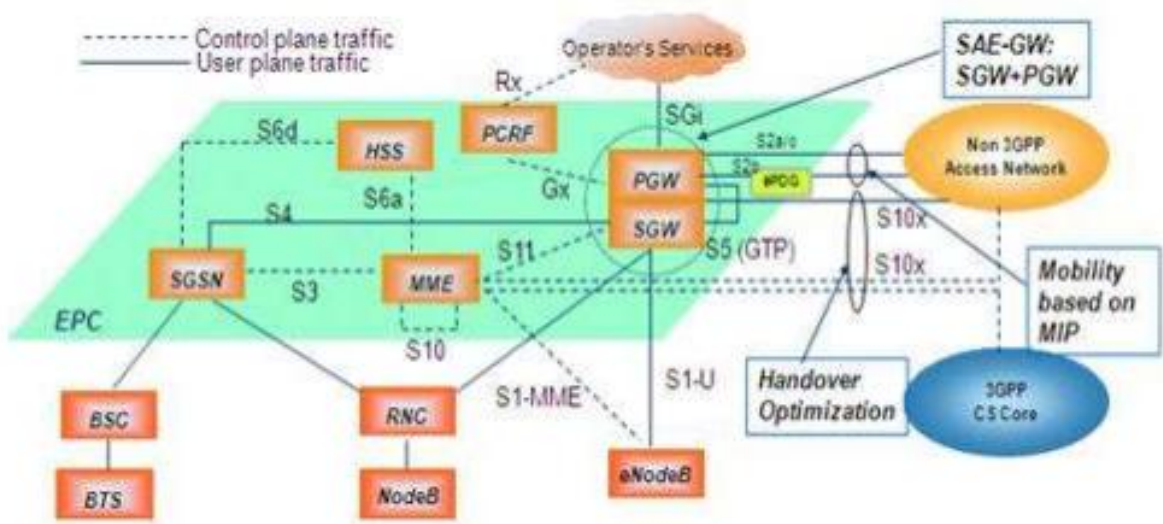


Figura 15 - ARQUITECTURA RED TRONCAL

2.2.14. Segmento EPC

La arquitectura del EPC ofrece un servicio de conectividad IP soportado en la posibilidad de la utilización de sus servicios a través de otras redes de acceso 3GPP.

La red EPC se conforma:

- MME: Mobility Management Entity es como el coordinador principal, se encarga de la movilidad del usuario, es decir, de seguir tu conexión cuando te mueves entre antenas, también verifica la identidad del usuario y establece conexiones seguras.
- SGW: Serving Gateway Actúa como un puente entre el dispositivo y la red central. Es responsable de enrutar los datos que van y vienen del celular.
- PGW (Packet Data Network Gateway) Es la puerta de salida a internet o a otras redes externas. Administra las IP, filtrado de tráfico y políticas de calidad de servicio (por ejemplo, darles prioridad a videollamadas).
- HSS (Home Subscriber Server) Es una especie de base de datos central. Guarda la información del usuario, como su plan de datos, permisos y claves.
- PCRF (Policy and Charging Rules Function) Se encarga de aplicar las reglas de uso y definir cómo se cobrará cada servicio. Por ejemplo, puede limitar la velocidad cuando el usuario excede su plan.[26]

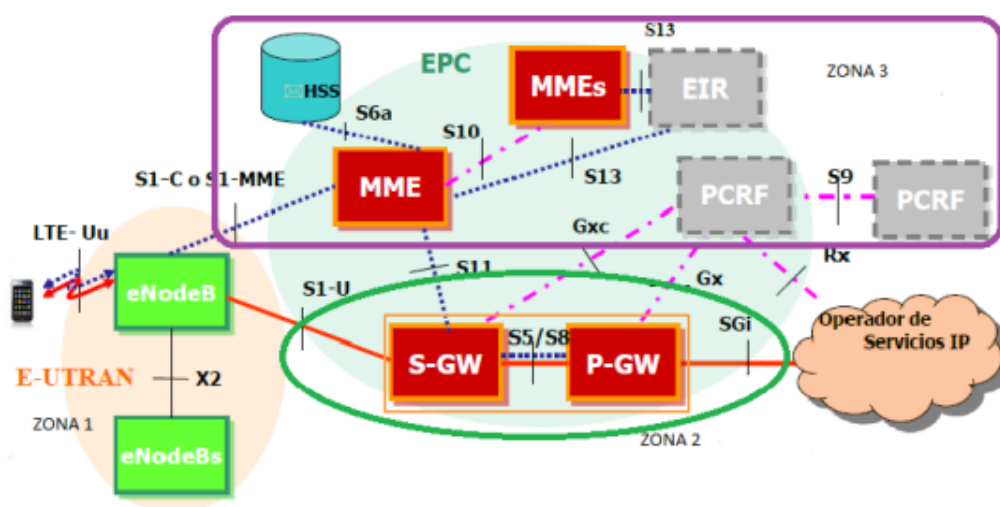


Figura 16 - Funcionamiento de la RED EPC

2.2.15. Funcionalidades de componentes del EPC

➤ MME (Entidad de Gestión de Movilidad)

El MME es como el “cerebro organizador” del núcleo de red LTE, se encarga principalmente de controlar y coordinar, no de mover datos directamente, su trabajo se centra en el plano de control, lo que significa que gestiona cosas como:

- ✓ La autenticación del usuario, si el dispositivo tiene permiso para conectarse.
- ✓ Aplicar medidas de seguridad.
- ✓ Elegir a qué puertas de acceso (P-GW y S-GW) debe conectarse el usuario.
- ✓ Coordinar el tráfico de señalización. Supervisar la movilidad del usuario.
- ✓ Administrar el estado de conexión de cada usuario: si está activo, en espera o desconectado.
- ✓ Gestionar la creación y modificación de "bearers", que son los canales lógicos por donde viajan los datos.

➤ S-GW (Servidor de Puerta de Enlace de Servicio)

El S-GW actúa como un puente entre el celular del usuario (a través de la antena) y el núcleo de la red LTE, cada dispositivo conectado a la red tiene asignado un S-GW específico en todo momento. Este componente tiene funciones como:

- ✓ Ruteo y envío de datos entre la red de acceso (las antenas) y otras partes del sistema.
- ✓ Gestión de la movilidad, cuando el usuario se mueve entre distintas zonas dentro de LTE o entre LTE y redes 3G.
- ✓ Almacena temporalmente paquetes de datos, especialmente si hay interrupciones momentáneas.
- ✓ Facilita que el usuario tenga visibilidad de su tráfico de datos (por ejemplo, para control de consumo o estadísticas).

➤ P-GW (Servidor de Puerta de Enlace de Paquetes)

El P-GW es como la salida a internet o a otras redes, permite al usuario conectarse con redes públicas, como la web, servicios multimedia o redes privadas.

Algunas de sus funciones son:

- ✓ Asignar una dirección IP al dispositivo, esencial para poder conectarse a internet. Filtrar el tráfico por usuario, para evitar accesos no permitidos o gestionar la calidad del servicio.
- ✓ Conectarse con otras redes que no son LTE, como Wi-Fi, redes empresariales o incluso redes de otros operadores.
- ✓ Ayuda con el control de facturación, registrando qué servicios usa el usuario y cuánto consume.

➤ **HSS (Servidor de Suscripción de Usuario)**

El HSS funciona como la base de datos central de todos los usuarios de la red. Es una versión más moderna del HLR que se usaba en redes GSM.

Contiene información esencial como:

- ✓ Los datos de suscripción del usuario (por ejemplo, si tiene un plan prepago o postpago, si puede usar roaming, etc.).
- ✓ Los datos de autenticación y autorización, que facilita al sistema verificar si el cliente puede conectarse y qué servicios tiene habilitados.

➤ **PCRF (Función de Reglas de Control de Políticas y Cobro)**

El PCRF se encarga de definir las reglas que controlan cómo se gestionan los servicios de datos en la red, aunque no se comunica directamente con el usuario, su rol es esencial para mantener el orden en el tráfico de datos. [15]

Sus funciones principales son:

- ✓ Controlar la calidad del servicio (QoS). Autorizar el uso de ciertos recursos de la red en función del plan del usuario.
- ✓ Detectar y gestionar los servicios de datos activos, definiendo qué servicios pueden pasar, cuáles se bloquean y cómo se tarifican.

2.2.16. Arquitectura IMS

La arquitectura del IMS subsistema multimedia IP, está diseñada de manera modular y escalable de acuerdo con el principio de separación entre el plano de control y el plano de servicio. Consiste en una serie de elementos clave: Funciones de administración de sesiones del servidor proxy (P-CSCF), Interrogación CSCF (I-CSCF) y Servicio CSCF (S-CSCF), que administra el signo SIP, recopila solicitudes y mantiene las sesiones. El servidor de suscriptores domésticos (HSS) también está integrado, manteniendo perfiles de usuario y realizando funciones de aprobación, así como el servidor de aplicaciones AS responsable de un servicio multimedia mejorado, como videollamadas, mensajes instantáneos y conferencias. Esta arquitectura facilita la integración de nuevos servicios sin cambiar los sistemas existentes. La comunicación en el IMS se realiza principalmente utilizando el protocolo SIP Protocolo de iniciación de la sesión, que es responsable del establecimiento, cambio y terminación de sesiones de comunicación entre los usuarios. Usando esta estructura, IMS permite una compatibilidad completa entre las redes fijas, móviles y wifi, por lo que es una solución altamente adaptada a varios tipos de acceso y dispositivos.

2.2.17. E-UTRAN Red de acceso

En LTE la red de acceso está diseñada de forma más simple y eficiente que en tecnologías legadas como GSM o UMTS, está compuesta por una única entidad llamada evolved NodeB (eNB), que es básicamente la estación base encargada de comunicarse directamente con los dispositivos móviles.

Las redes legadas que necesitaban varios equipos separados como las BTS estaciones transmisoras y los controladores BSC o RNC, en LTE todo está integrado dentro del eNB, esto hace que la red sea mejor, más fácil de administrar y con menor latencia.

Esta red de acceso también es conocida como E-UTRAN, que es la interfaz de aire de la tecnología LTE, es decir, el medio por el cual los dispositivos móviles (como tu teléfono) se conectan a la red, en la parte de nodos eNB se comunican entre sí a través de conexiones llamadas interfaces X2, lo que permite una mejor coordinación entre estaciones, sobre todo cuando un usuario se mueve de un lugar a otro.[18]

2.2.18. Entidad de red de E-UTRAN

El Evolved NodeB es el componente principal de la red de acceso LTE, y se encuentra en el mismo lugar donde están instaladas las antenas de radio, su función es actuar como una estación base que conecta directamente los teléfonos móviles con el núcleo de la red LTE (EPC), este nodo se encarga de establecer y mantener la conexión entre el equipo del usuario y la red, permitiendo así la transmisión de datos IP (como internet, aplicaciones, etc.) y de mensajes de señalización, que son los que permiten gestionar la conexión.

Establece el enlace y también el eNB tiene varias tareas clave:

- Administrar los recursos de radio, como decidir cuándo y cómo se transmite la señal a cada usuario.
- Elegir de forma dinámica el MME adecuado, según la zona y el tráfico.
- Encaminar los datos hacia el SGW, que es el que logra enviarlos hacia internet e incluso otras redes.
- Realiza compresión de cabeceras (para ahorrar espacio en los paquetes).
- Aplica cifrado de datos para asegurar la privacidad.
- Se encarga también de entregar los paquetes IP de forma correcta y eficiente.

2.2.19. Comparativa entre E-UTRAN y UTRAN

En las redes móviles anteriores, como en la arquitectura UTRAN (que se usaba en 3G), las estaciones base eran las encargadas de enviar y recibir las señales de radio con los teléfonos, pero no trabajaban solas: estaban controladas a distancia por otros equipos llamados RNC (Controladores de Red de Radio). La comunicación entre las estaciones base y estos controladores se hacía a través de una interfaz llamada Iub, y los RNC se conectaban entre ellos mediante una interfaz conocida como Iur.

En cambio en la red moderna E-UTRAN (usada en LTE), el diseño se simplificó bastante. Ya no se usa el RNC, y sus funciones fueron absorbidas directamente por los eNB (las estaciones base evolucionadas). Además, la voz ya no se trata como algo separado, sino como otro tipo de dato, pero con alta prioridad, asegurando buena calidad en llamadas a través de internet (VoLTE).[27]

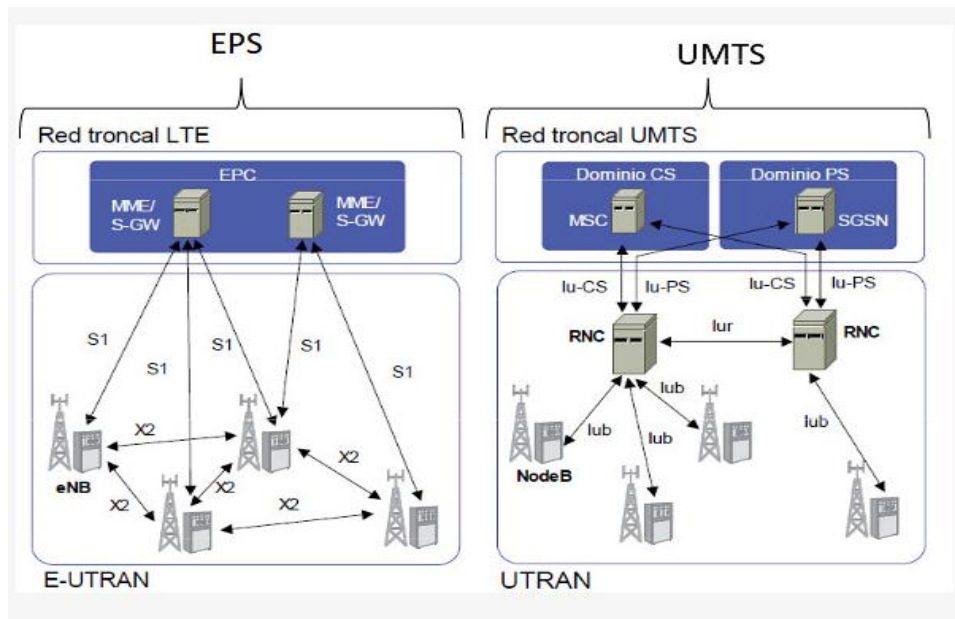


Figura 17 - Comparativa entre E-UTRAN y UTRAN

2.2.20. Categoría de calidad de servicio para servicios multimedia.

La QoS se refiere a la facilidad de una red para llegar al máximo ancho de banda y gestionar otros elementos de rendimiento de la red, como la latencia, la tasa de error y el tiempo de actividad, QoS también implica controlar y administrar los recursos de la red como (video, audio, archivos) en la red.

QoS se aplica especialmente al tráfico de red generado para video como, IPTV, VoIP, medios de transmisión, videoconferencia y juegos en línea.

Según la Recomendación UIT-TG.1010 proporciona la orientación sobre factores clave que inciden en la calidad de servicio (QoS) desde la perspectiva del cliente extremo, teniendo en cuenta una los datos de aplicaciones que utilizan como medio la voz, el vídeo, la imagen y el texto, y los parámetros que permiten conocer la satisfacción del usuario en cuanto a esas aplicaciones.

Los principales retos en la actualidad tanto las redes cableadas como las inalámbricas que usan el protocolo IP es garantizar una calidad de servicio (QoS) adecuada para los diferentes tipos de aplicaciones y servicios que usan los usuarios, para saber qué tan buena debe ser esa calidad, el punto de partida siempre debe ser el usuario final, a los clientes lo que realmente les interesa es comparar cómo distintos proveedores

les ofrecen el mismo servicio, pero en base a estándares claros, universales y enfocados en su experiencia.

Por eso, los parámetros usados para evaluar la calidad del servicio deben cumplir con ciertas características:

- ❖ Deben considerar el servicio completo desde la perspectiva del usuario, no solo partes técnicas internas.
- ❖ Se deben centrar en lo que el usuario realmente percibe, como cortes, lentitud o calidad visual o sonora, más que en las razones técnicas que lo provocan.
- ❖ Tienen que ser independientes del tipo de red o tecnología usada, para que puedan aplicarse por igual a distintos operadores y sistemas.

Deben poder medirse de forma objetiva (con herramientas) o subjetiva (según la experiencia del usuario), directamente desde el lugar donde el cliente accede al servicio.

Deben relacionarse fácilmente con los parámetros técnicos internos de la red, para que sea posible identificar y solucionar problemas.[28]

- Objetivos de calidad de funcionamiento para aplicaciones audio y video:

Tabla 5 - Objetivo de Calidad para Aplicaciones Audio y Video

Medio	Aplicación	Grado de simetría	Velocidades de datos típicas	Parámetros clave y valores de objetivo para la calidad de funcionamiento			
				Tiempo de transmisión en un sentido	Variación de retardos	Pérdida de información (Nota 2)	Otros
Audio	Voz en conversación	Dos sentidos	4-64 kbit/s	Preferido < 150 ms (Nota 1) Límite < 400 ms (Nota 1)	< 1 ms	Relación de pérdida de paquete (PLR) < 3%	
Audio	Mensajería vocal	Principalmente en un sentido	4-32 kbit/s	< 1 s para reproducción < 2 s para grabación	< 1 ms	PLR < 3%	
Audio	Audio en tiempo real de gran calidad	Principalmente en un sentido	16-128 kbit/s (Nota 3)	< 10 s	<< 1 ms	PLR < 1%	
Video	Videoteléfono	Dos sentidos	16-384 kbit/s	Preferido < 150 ms (Nota 4) Límite < 400 ms		PLR < 1%	Sinc. labios: < 80 ms
Video	Un sentido	Un sentido	16-384 kbit/s	< 10 s		PLR < 1%	

- Objetivo de calidad de funcionamiento para aplicaciones datos:

Tabla 6 - Calidad de Funcionamiento para Aplicaciones de datos

Medio	Aplicación	Grado de simetría	Velocidades de datos típicas	Parámetros clave y valores de objetivo para la calidad de funcionamiento		
				Tiempo de transmisión en un sentido (Nota)	Variación de retardos	Pérdida de información
Datos	Navegación en la web - HTML	Principalmente un sentido	~10 KB	Preferido < 2 s/página Aceptable < 4 s/página	N.A.	Nula
Datos	Transferencia/recuperación de gran volumen de datos	Principalmente un sentido	10 KB-10 MB	Preferido < 15 s Aceptable < 60 s	N.A.	Nula
Datos	Servicios de transacciones de alta prioridad, como comercio electrónico, ATM	Dos sentidos	< 10 KB	Preferido < 2 s Aceptable < 4 s	N.A.	Nula
Datos	Medio dirigido/control	Dos sentidos	~ 1 KB	< 250 ms	N.A.	Nula
Datos	Imagen fija	Un sentido	< 100 KB	Preferido < 15 s Aceptable < 60 s	N.A.	Nula
Datos	Juegos interactivos	Dos sentidos	< 1 KB	< 200 ms	N.A.	Nula
Datos	Telnet	Dos sentidos (asimétrico)	< 1 KB	< 200 ms	N.A.	Nula
Datos	Correo electrónico (acceso a servidor)	Principalmente un sentido	< 10 KB	Preferido < 2 s Aceptable < 4 s	N.A.	Nula
Datos	Correo electrónico (transferencia de servidor a servidor)	Principalmente un sentido	< 10 KB	Puede ser varios minutos	N.A.	Nula
Datos	Fax ("tiempo real")	Principalmente un sentido	~ 10 KB	< 30 s/página	N.A.	<10 ⁻⁴ BER
Datos	Fax (almacenamiento y retransmisión)	Principalmente un sentido	~ 10 KB	Pueden ser varios minutos	N.A.	<10 ⁻⁴ BER
Datos	Transacciones de baja prioridad	Principalmente un sentido	< 10 KB	< 30 s	N.A.	Nula
Datos	Usenet	Principalmente un sentido	Puede ser 1 MB o más	Pueden ser varios minutos	N.A.	Nula

CAPITULO III

3.1. Área de Estudio

El área de estudio de este proyecto se relaciona con el campus principal de la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE), que se localiza en el cantón La Libertad, provincia de Santa Elena, Ecuador la UPSE es una entidad de educación superior de carácter público que desempeña un papel crucial en la educación académica, la investigación científica y la relación con la comunidad de la región costera del país. El campus universitario abarca una extensión considerable, dividida en diversos bloques.

En distintos puntos o áreas del campus, se han reportado deficiencia en la cobertura para dispositivos móviles, lo que ha dado origen a la necesidad de realizar un estudio técnico que permita comprender el comportamiento de la señal y proponer soluciones basadas en evidencia.

3.2. Descripción de la Zona

La Universidad Estatal Península de Santa Elena su localización es en una zona urbana, muy cerca de la vía principal que conecta los cantones de La Libertad y Santa Elena, su lugar de destino es importante para el desarrollo educativo de la región, dado que supe a estudiantes provenientes tanto de zonas urbanas como rurales.

El campus presenta una estructura en la cual cuenta con diversos bloques, entre los cuales se encuentran facultades, laboratorios, bibliotecas, áreas administrativas, auditorios y residencias estudiantiles, la vegetación natural y las zonas verdes, comunes en la planificación del campus, forman parte integral del entorno físico, junto con construcciones de tipo modular y edificios de varios niveles.

A pesar de encontrarse en una zona con acceso a servicios básicos y cercanía a infraestructuras de telecomunicación, el campus presenta ciertos puntos donde la señal móvil 4G es débil, intermitente o inexistente, especialmente en áreas interiores, subniveles, o sectores más alejados de las vías principales, estas condiciones varían dependiendo del operador móvil, la hora del día y las condiciones climáticas, lo que hace indispensable una medición detallada para establecer patrones técnicos de comportamiento de la señal.

3.3. Factores Geográficos y Demográficos Relevantes

Desde el punto de vista geográfico, el campus de la UPSE se sitúa en una zona de relieve plano, a poca distancia del nivel del mar, aunque esto podría parecer favorable para la propagación de señales electromagnéticas, la presencia de edificaciones de concreto, estructuras metálicas y vegetación densa puede generar reflexión, absorción o atenuación de la señal, provocando pérdida de cobertura en ciertas áreas, otro aspecto geográfico relevante es la orientación del campus respecto a las estaciones base de los operadores móviles, la ubicación relativa y la distancia entre el campus y las antenas emisoras influyen directamente en la potencia con la que se recibe la señal adicionalmente, la escasa cantidad de antenas repetidoras dentro del área universitaria limita la posibilidad de redistribuir o amplificar la señal, agravando los problemas en zonas internas.

Desde perspectiva demográfica, la Universidad cuenta con una población importante que varía en función del período académico durante los días laborales el campus alberga a miles de estudiantes, docentes y personal administrativo, lo que provoca una alta demanda de cobertura móvil, sobre todo en horarios pico esta congestión puede llevar a una saturación temporal de las redes móviles, afectando la buena eficiencia de la señal y la calidad del servicio, hay que tomar en cuenta que una parte del estudiantado proviene de zonas rurales y lugares que son de difícil acceso, por lo que muchos dependen exclusivamente de la conectividad móvil para acceder a plataformas virtuales, clases en línea y recursos educativos esto refuerza la necesidad de contar con una cobertura 4G eficiente y uniforme en todo el campus.

3.4. Altitud y Relieve

El campus de la UPSE se encuentra aproximadamente entre los 5 y 15 metros sobre el nivel del mar lo que representa una altitud relativamente baja y constante en términos de propagación de ondas electromagnéticas esto puede considerarse una ventaja, ya que al no haber elevaciones abruptas ni depresiones profundas la señal debería desplazarse sin interferencias geográficas significativas, sin embargo, este potencial se ve reducido por la escasa presencia de infraestructuras de telecomunicaciones (antenas o radio bases) dentro o en las cercanías inmediatas del campus, lo cual disminuye el alcance efectivo de la señal en ciertas zonas internas, en entornos cerrados o donde la vegetación

es densa, la señal puede verse afectada pese a la baja altitud las mediciones técnicas permitirán evidenciar si existe alguna relación entre el relieve local del campus y los niveles de intensidad de señal 4G que se perciben en cada punto.

3.5. Condiciones Ambientales y Climáticas

La Universidad se localiza dentro de una región de clima tropical seco, característico de la costa ecuatoriana, las temperaturas anuales oscilan entre 24 °C y 29 °C y durante el invierno de enero a abril, se registran niveles más altos de humedad relativa y precipitaciones aunque estos factores no representan una amenaza permanente sí pueden incidir temporalmente en la calidad de la señal móvil, particularmente en las bandas de alta frecuencia como las utilizadas por las redes 4G de 1800 MHz y superiores, la humedad, la lluvia o incluso el polvo en suspensión durante la estación seca pueden generar dispersión o atenuación de las ondas electromagnéticas. Esta pérdida de señal aunque no siempre perceptible para el usuario final, puede ser detectada mediante equipos de medición especializados y debe tomarse en cuenta para definir las posibles causas de inestabilidad o fluctuación de cobertura dentro del campus.

3.6. Infraestructura de Telecomunicaciones

Radio bases situada en la parte de al frente de la Universidad Estatal Península de Santa Elena como se muestran en las siguientes imágenes:



Figura 18 - Infraestructuras de Nodos cerca de la Universidad Estatal Península de Santa Elena



Figura 19 - Radio bases cercanas a la UPSE Barrio Enríquez Gallo y la Radio base pasando la estación de servicio de Combustible C.L.P

3.7. Definición de los Niveles de Potencia de Señal 4G

Para calcular la intensidad y la potencia de la señal que captan los dispositivos portátiles vinculados a una red de teléfonos móviles, de datos móviles o de internet, se emplean diferentes indicadores o parámetros. Además, señalan la fortaleza en diversas redes con distintos valores, lo que genera gran confusión, a continuación, detallamos el sentido de cada uno y su rango ideal, en función del tipo de red.

3.8. Fortaleza de la Señal 2G

Las redes de segunda generación 2G, con operación en la telefonía y la transmisión de datos móviles los dispositivos GSM (1G) GPRS (2.5G) y EDGE (2.75G) supervisan de manera constante la potencia de la señal de las torres próximas y se vinculan a la más potente.

El parámetro RSSI, que significa Indicador de Fuerza de la Señal Recibida (Received Signal Strength Indicator), muestra la intensidad y fortaleza de la señal, y se ilustra con dos cifras "dBm" y "asu".

Los dos valores simbolizan la intensidad de manera distinta, lo que puede generar malentendidos.[29]

Los dBm es una medida logarítmica utilizada en el ámbito de las comunicaciones para señalar la potencia. Señala decibelios (dB) que son equivalentes a un milivoltio. En las redes móviles 2G, siempre se presenta un valor negativo en el RSSI expresado en dBm. La potencia máxima (en la misma torre) equivale a -51, mientras que la potencia mínima para establecer una conexión (la localización más distante) equivale a -113.

En otras palabras, a medida que el valor se distancia más del cero, la señal se vuelve más débil, ASU (Unidad de Potencia Arbitraria) en contraposición a dBm su valor se relaciona directamente con la intensidad de la señal en redes 2G, la señal varía desde 0 siendo la más baja hasta 31 siendo la más alta.

3.8.1. Intensidad y Fortaleza de la Señal y Los Niveles en dBm y Asu

Gráfico que ilustra la potencia de la señal móvil en redes 2G y su relación con los valores dBm y asu obtenidos en el dispositivo, así como los intervalos considerando los indicadores de barra en los dispositivos móviles.[30]

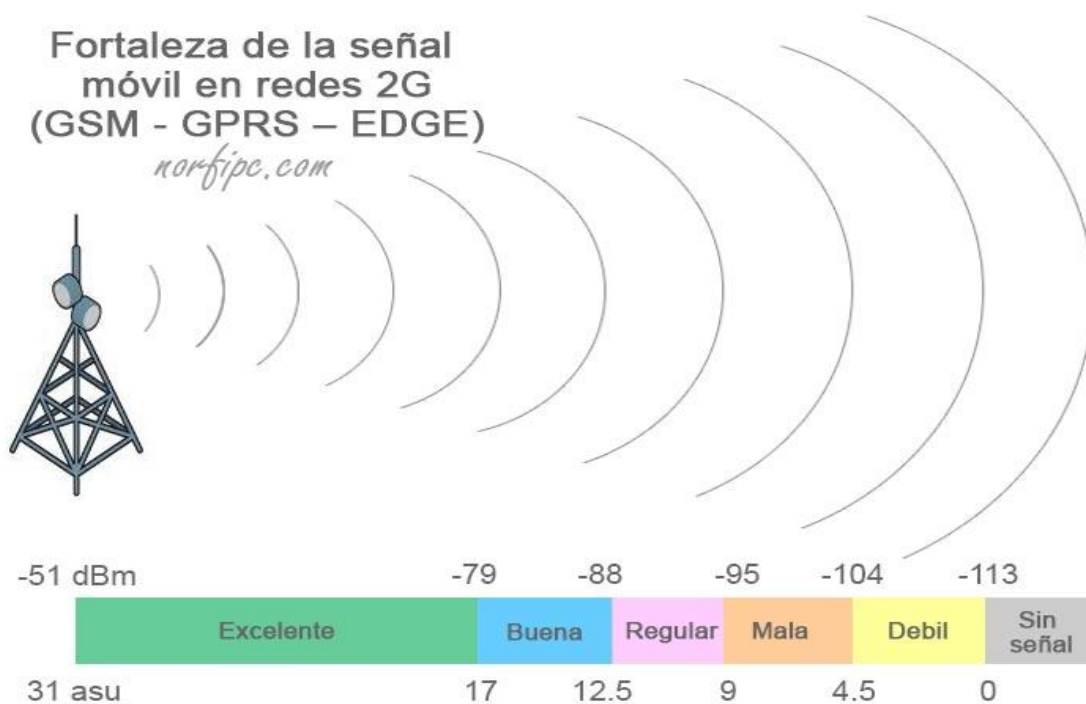


Figura 20 - Potencia de la Señal Móvil en Redes 2G

3.8.2. Barras indicativas de la fuerza de la señal

Todos los teléfonos inteligentes poseen un icono en funcionamiento que incluye 5 barras, las cuales se iluminan de izquierda a derecha en función del nivel de señal. Este método es incierto, pero se recomienda en la interfaz de los dispositivos para una mejor comprensión y para evitar las incertidumbres que pueden surgir de un indicador numérico en dBm. Aunque puede fluctuar en algunos dispositivos, el vínculo aproximado entre la potencia de la señal en dBm y las barras completamente llenas se presenta de la siguiente forma:

Tabla 7 - Fuerza de la señal por medio un terminal (Teléfono móvil)

5 BARRAS	-51 A -79	SEÑAL EXCELENTE
4 BARRAS	-80 A -88	SEÑAL BUENA
3 BARRAS	-89 A -95	SEÑAL REGULAR
2 BARRAS	-96 A -104	SEÑAL MALA
1 BARRA	-105 A -112	SEÑAL DEBIL

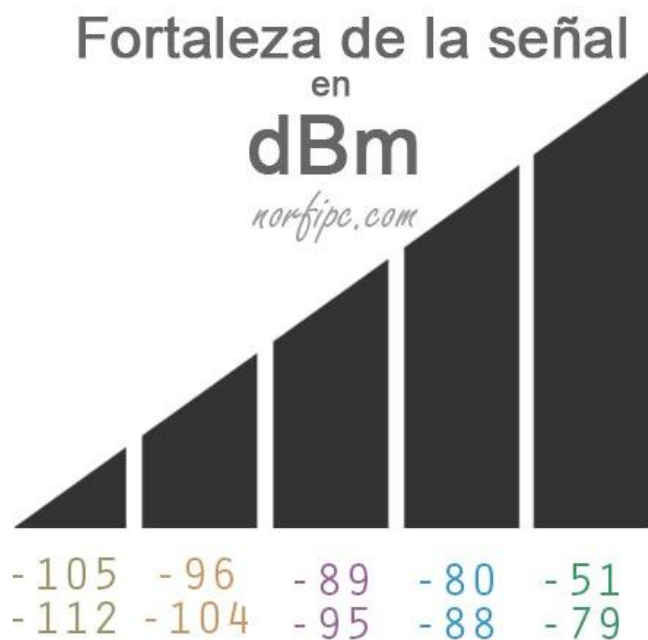


Figura 21 - Referencia Señal Teléfono Móvil

3.8.3. ¿Cómo identificar la fuerza de la señal en el teléfono móvil?

En todos los aparatos con Android, se puede monitorear la fuerza de la señal de las redes 2G en el panel Estado, dentro de la sección Acerca del dispositivo en la sección Configuración o Ajustes. Se presenta la información en dBm y en asu.

También es posible abrir herramientas internas en la mayoría de los dispositivos mediante varios "Menús secretos" o Códigos MMI, dependiendo de la marca del dispositivo.[30]

- La versión más común es:

4636

- En móviles ZTE/Telstra marca:

983 364

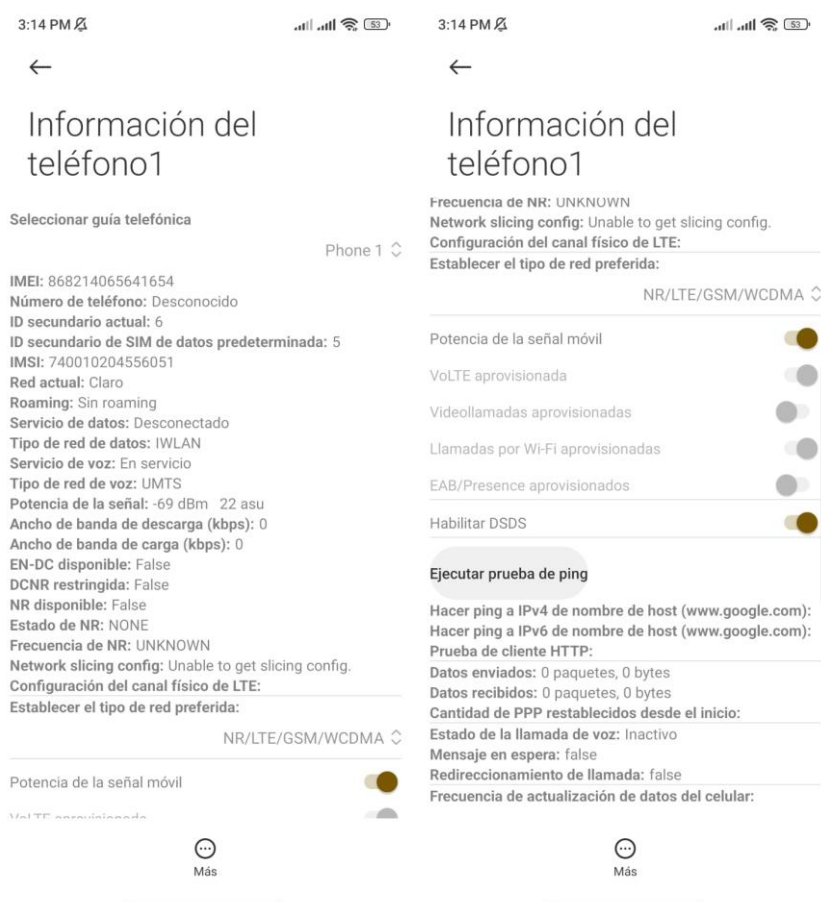


Figura 22 - Información sobre los dispositivos Android



Figura 23 - Dimensiones del dispositivo Android

3.9. Las Redes CDMA

En todas las redes CDMA: se calcula la potencia de la señal entre -100 dBm (la más baja) y -75 dBm (la más alta). En valores asu, se sitúa entre 1 y 16.

3.9.1. Strong señal en redes 3G

A diferencia de las redes 2G en las redes UMTS, cada celda emplea la misma frecuencia, lo que complica la determinación de la intensidad de la señal. Los términos siguientes se utilizan en las redes 3G, que incluyen 3.5G (HSDPA), 3.5G Plus y 3.75G (HSUPA):

RSSI - Indicador de Intensidad de la Señal Recibida. El RSSI es un valor negativo; cuanto más cercano a 0, más intensa es la señal.

- Ec/Io : indica la relación portadora/interferencia del enlace descendente (calidad de la señal). Ec/Io es un valor negativo en dB. Los valores cercanos a 0 indican señales más intensas.[31]

- RSCP : indica la potencia del código de señal recibida

RSSI	Intensidad de la señal	Descripción
>= -70 dBm	Excelente	Señal fuerte para las mejores velocidades alcanzables
-70 dBm a -85 dBm	Bien	Señal fuerte con buenas velocidades de datos.
-86 dBm a -100 dBm	Justo	Se pueden lograr velocidades de datos razonables, pero útiles, rápidas y confiables, pero es posible que haya datos marginales con interrupciones.
<-100 dBm	Pobre	El rendimiento caerá drásticamente

Ec/Io	Calidad de la señal	Descripción
-6 a 0	Excelente	Señal fuerte con velocidades de datos máximas
-7 a -10	Bien	Señal fuerte con buenas velocidades de datos.
-11 a -20	Regular a malo	Se pueden alcanzar velocidades de datos fiables, pero es posible que se produzcan cortes de datos mínimos. Cuando este valor se acerca a -20, el rendimiento se reduce drásticamente.

RSCP	Intensidad de la señal	Descripción
-50 dBm a -75 dBm	Excelente	Señal fuerte con velocidades de datos máximas
-75 dBm a -85 dBm	Bien	Señal fuerte con buenas velocidades de datos.
-85 dBm a -95 dBm	Justo	Se pueden alcanzar velocidades de datos justas pero útiles, rápidas y confiables.
<-95 dBm	Pobre	Es posible que haya datos marginales con abandonos, pero el rendimiento disminuirá drásticamente.

3.9.2. La correlación entre los dBm y la fuerza de la señal en redes 3G

En contraste con las redes 2G, en las redes 3G, los valores que proporciona RSCP poseen un sentido ligeramente distinto.

Tabla 8 - Correlación en dBm en Redes 3G

POTENCIA DE LA SEÑAL	RSCP
EXCELENTE	-50 A -75 dBm
BUENA	-76 A -90 dBm
REGULAR	-91 A -100 dBm
MALA	-101 A -120 dBm

3.9.3. Strong señal en redes 4G LTE

Al igual que en las redes 4G, cada celda utiliza la misma frecuencia, aunque en esta situación se utilizan parámetros distintos.

El RSRP medido en dBm, corresponde a la potencia de la señal de referencia que recibe el teléfono desde la torre celular, no es la señal que transporta tus datos sino un canal piloto especial que el módem y la torre emplean para estimar la potencia real de las señales de datos y acordar la velocidad de transmisión, una antena externa bien situada puede recuperar parte de esa potencia, lo que se traduce en conexiones más rápidas. Como siempre, la instalación cuidadosa de la antena y del resto del equipo resulta clave: un montaje correcto puede convertir un servicio pobre en uno excelente.[32]

RSRP. Siglas en inglés de Reference Signal Received Power Es la intensidad de la señal que llega al móvil de la celda o torre a la que está conectado.

RSRQ. Siglas en inglés de Reference Signal Received Quality. Es el resultado de RSRP entre RSSI.

Figura 24 - Siglas para identificar sus diferencias

3.9.4. La correlación entre dBm y la fuerza de la señal en las redes 4G.

Precio de venta sugerido por el fabricante	Calidad	Descripción
≥ -80 dBm	Excelente	Señal fuerte que permite la máxima capacidad de datos
≥ -90 dBm	Bien	Buena señal y velocidades sin cortes esperados
≥ -110 dBm	Regular a malo	Señal aceptable/utilizable con posibilidad de cortes y ralentizaciones
≤ -120 dBm	Inutilizable	No hay señal utilizable: se esperan desconexiones frecuentes y un rendimiento lento

Figura 25 - Correlación entre dBm en Redes 4G

3.9.5. Factores Que influyen en la Cobertura (frecuencia, interferencias, obstáculos)

La cobertura de 4G depende de muchos factores, como el número y la ubicación de las radio base, la frecuencia y el ancho de banda de las señales de radio, el terreno e incluso la vegetación también debemos considerar el clima y las interferencias, la demanda y el uso de los servicios móviles en general, las áreas urbanas tienen más estaciones base, frecuencias más altas y mayor demanda que las áreas rurales, lo que significa que tienen más cobertura, pero también más congestión e interferencias.

La cobertura 4G están especialmente dado por muchos factores, los cuales conocemos como físicos e incluso técnicos, conforme las tecnologías en redes móviles se implementan, la necesidad de una cobertura 4G en buenas condiciones y de alta calidad se vuelve muy importante, especialmente en lugares donde la infraestructura es escasa o donde las condiciones del lugar juegan un papel importante, aquí podemos dar los factores más relevantes que afectan la cobertura 4G se incluyen la frecuencia de operación, la presencia de interferencias y los obstáculos físicos en el entorno.

3.9.6. Interferencias electromagnéticas

La interferencia es otro elemento crucial que puede impactar de manera adversa la calidad de la señal 4G en entornos con numerosas fuentes de emisión electromagnética, como redes Wifi, sistemas de radio, televisión digital o incluso dispositivos industriales, podría ocurrir un solapamiento de señales que disminuya la transmisión, las comunicaciones móviles pueden distinguirse entre interferencia interna, que se origina de otros dispositivos del mismo operador o canal e incluso descargas atmosféricas, que generan ruido en el espectro y reducen la relación señal-ruido, haciendo más difícil que los dispositivos móviles mantengan una conexión estable cabe recalcar que las redes modernas implementan técnicas como el handover automático y la gestión dinámica de frecuencias para mitigar estos efectos, pero la interferencia sigue siendo un factor que limita la calidad de la señal.

3.9.7. Obstáculos físicos y condiciones del entorno

La presencia de obstáculos entre la torre de transmisión y el receptor móvil influye directamente en la propagación de la señal, edificaciones, árboles, colinas, estructuras

metálicas e incluso la forma del terreno pueden bloquear, reflejar o atenuar la señal electromagnética, en áreas universitarias como la Universidad Estatal Península de Santa Elena donde existen laboratorios, aulas con estructuras de concreto armado, terrenos irregulares, la señal 4G puede sufrir pérdidas por absorción, reflexión o difracción, las condiciones atmosféricas también inciden, la presencia de humedad, lluvia intensa o niebla puede causar atenuación por dispersión aunque la banda de frecuencias en la que opera 4G no es tan sensible al clima como otras más altas como las utilizadas en 5G, en áreas con condiciones meteorológicas cambiantes, esto puede representar una disminución temporal de la calidad de la señal.

Debemos tomar en cuenta la densidad del follaje en áreas verdes del campus puede causar una reducción significativa en la señal, especialmente si se utiliza una frecuencia alta, esto es especialmente relevante en Universidades ubicadas en zonas costeras o con paisajes naturales, como es el caso de la Península de Santa Elena.

3.10. Zona de Estudio Facultad de Ciencias Agrarias

Zona de estudio es en la facultad de ciencias agrarias en la Universidad Estatal Península de Santa Elena vía Libertad.

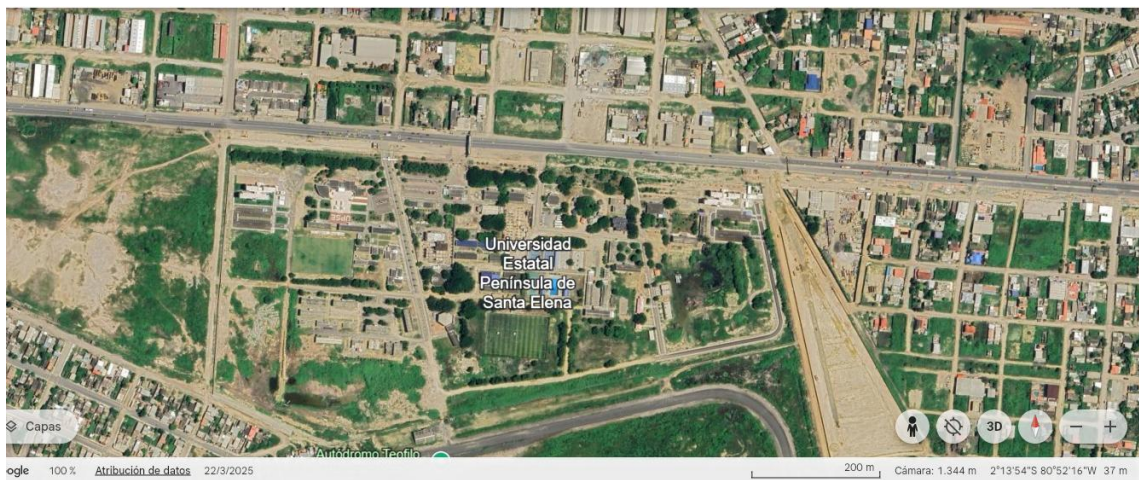


Figura 26 - Mapa Geográfico Universidad Estatal Península de Santa Elena / Facultad de Ciencias Agrarias

➤ Radio bases cercanas:

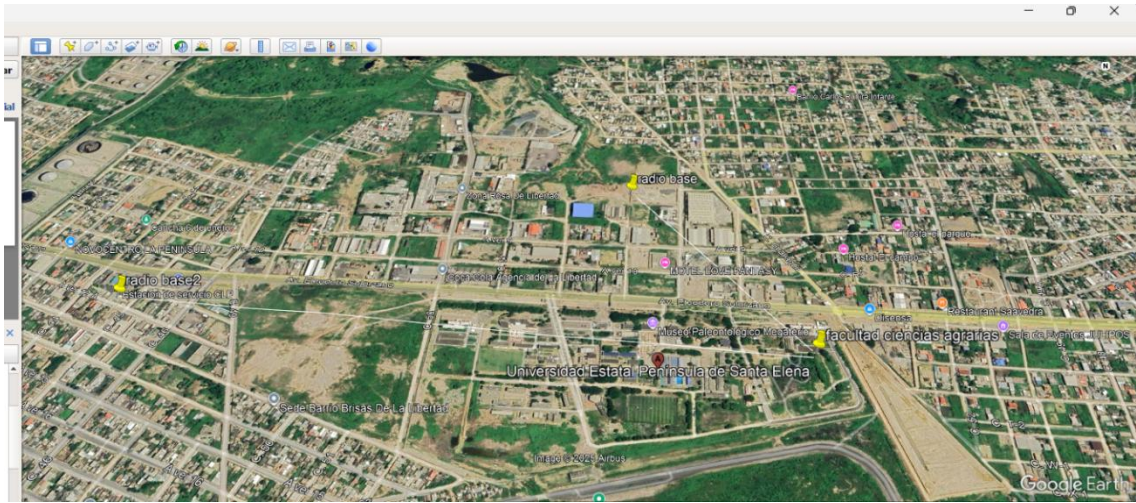


Figura 27 - Radio Bases dentro de las dimensiones geográficas de la UPSE

➤ Radio base 1:

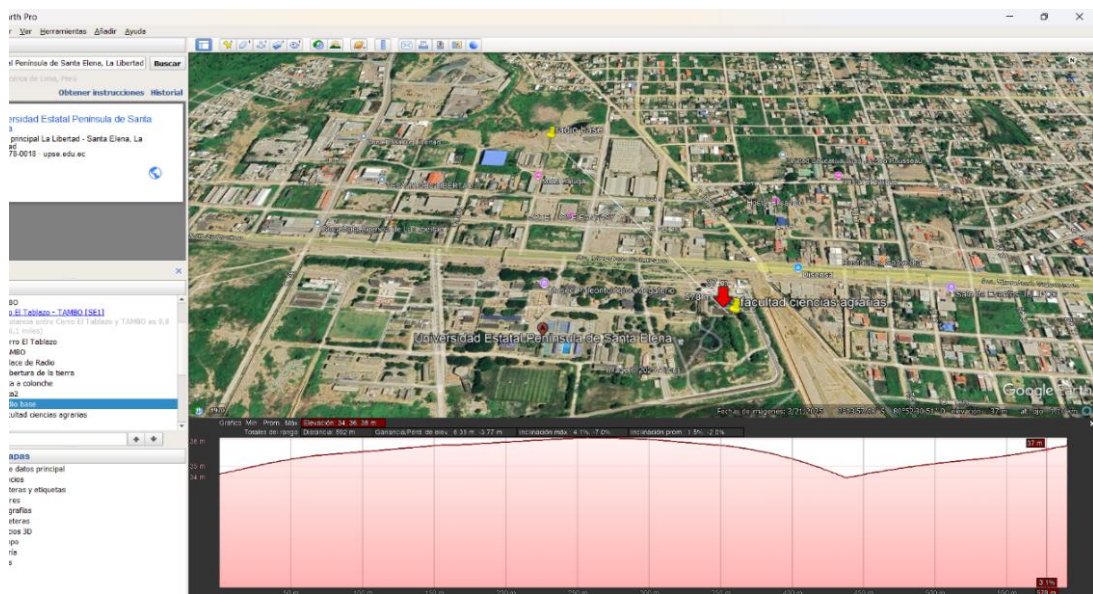


Figura 28 - Radio Base 1 distancia calculada con Google Eart Pro

La captura documenta un análisis preliminar de cobertura y propagación dentro del campus de la UPSE usando Google Earth Pro, el perfil de elevación confirma si el enlace propuesto dispone de visibilidad clara u obstáculos o necesita ajustes mayor altura de antena, reubicación.

- Radio base 2: puntos de radio bases cercanas a la Universidad.

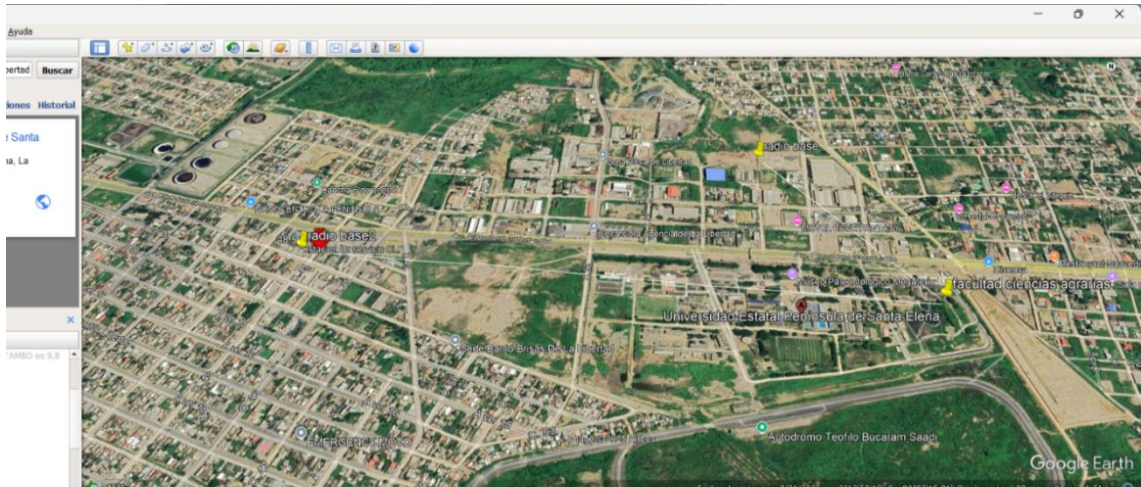


Figura 29 - Radio Base 2 distancia calculada con Google Eart

- Relieve entre las radios bases donde consta de visibilidad de obstáculo o si se necesita una mayor altura para las antenas:

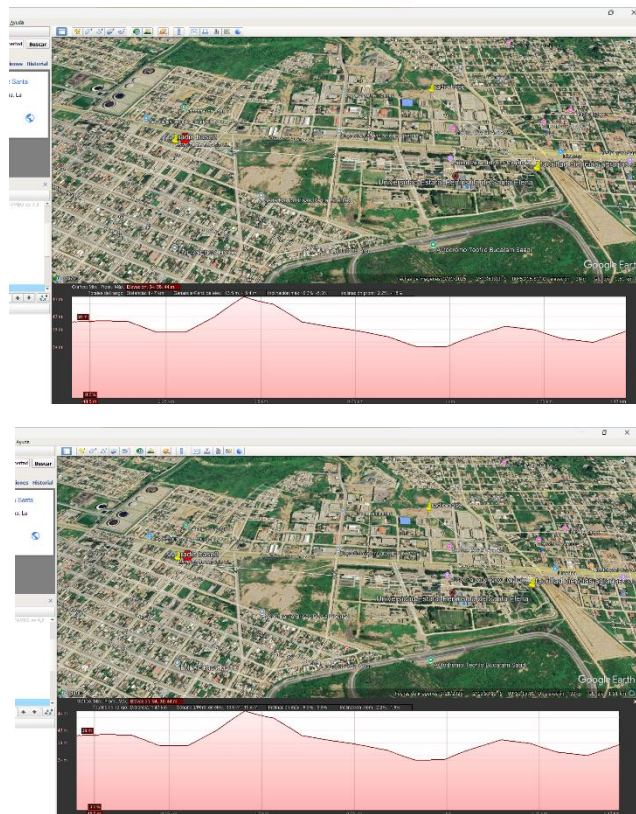


Figura 30 - Interacción semejante entre las dos radios bases y la UPSE

3.11. Instrumento de Medición

- ✓ Keysight FieldFox N9918B
- ✓ Antena GPS
- ✓ Antena MTAO-LTE-5D-SQ Antena LTE Omnidireccional MikroTik 5dBi
- ✓ Adaptador de antena.
- ✓ Cable Coaxial de Medición de Alta Frecuencia.



Figura 31 - Instrumentos utilizados para las respectivas mediciones

3.11.1. Uso del Keysight FieldFox N9918B

La calibración es algo adecuado y fundamental en la medición de sistemas de microondas principalmente cuando se utilizan analizadores de red portátiles como el Keysight N9918A FieldFox, este procedimiento permite garantizar con exactitud de las mediciones al reducir los errores generados por elementos como cables y conectores dentro del sistema gracias a esta calibración, se asegura que las mediciones de impedancia, pérdida de retorno y parámetros S se ajusten a los estándares internacionales de medición.

El analizador de espectros portátiles, Keysight N9918A FieldFox ofrece distintos métodos de calibración, cada uno está incluido para tener datos precisos con funciones específicas en los dispositivos de alta frecuencia. Estos modos permiten optimizar pruebas como los diagnósticos en componentes de radio Frecuencia, dándonos ajustes que se adaptan a las necesidades de precisión y al entorno de la medición, cada una con ventajas específicas como son las siguientes:

- Modo NA (Analizador de Redes): con esta opción podemos medir parámetros de dispersión o parámetros S, como S11 y S21, que describen las características de ROE u onda reflejada y transmisión del dispositivo bajo prueba (DUT). Es importante y útil en las antenas y otros dispositivos, donde analizamos datos de parámetros como la adaptación de impedancia y la pérdida de retorno. La calibración en la opción NA, cuando se realiza con una calibración mecánica, asegura una mayor precisión al eliminar errores sistemáticos como las reflexiones internas y pérdida de inserción, garantizando que las mediciones reflejen con exactitud respuestas del DUT sin distorsiones por parte del equipo o de las conexiones.
- Modo CAT (Prueba de Cable y Antena): El modo es especialmente adecuado para el diagnóstico de sistemas de telecomunicaciones ya que permite evaluar la integridad, compatibilidad de cables y antenas, este modo permite identificar problemas de transmisión como pérdidas, discontinuidades o deficiencias de la adaptación de la impedancia como aspectos esenciales en la instalación y mantenimiento de infraestructuras del área. Estos análisis de campo nos ayudan a que QuickCal resulta beneficiosa.
- Modo VVM (Medición de Voltaje Vectorial): esta opción se centra en medir las diferencias en fase o desfases y magnitud de la señal, proporcionando un resultado detallado en el rendimiento del dispositivo donde se encuentran en bajo diversas condiciones operativas.
- Modo OTA (Over-The-Air): este modo que en español es por aire, nos permite realizar mediciones sin cables, directamente a través del aire, usando antenas conectada al equipo este modo es muy útil para pruebas inalámbricas como, medición de intensidad de señal recibida, verificación de parámetros de antenas, caracterización de enlaces RF sin conexión física directa, pruebas en campo como comunicaciones inalámbricas como WI-FI, LTE,5G,4G.

En teoría OTA en este equipo es cualquier medición inalámbrica que se hace a través del aire usando antenas.

3.11.2. Especificaciones Técnicas relevantes

Tabla 9 - Especificaciones Técnicas relevantes con los equipos utilizados

PARAMETROS	DESCRIPCION DE ADAPTADA AL FIELDFOX
Rango de frecuencia	26.5 GHz cubre todas las bandas LTE.
Modos de operación	<ul style="list-style-type: none"> • Analizador de espectro. • Analizador de redes vectoriales. • Analizador de señales. • Medidor de potencia. • Localizador de interferencias.
Precisión de medición	Hasta -160 dBm de ruido de fondo ideal para señales débiles.
Visualización de espectro 4G	<ul style="list-style-type: none"> • Para detectar bandas activas. <ul style="list-style-type: none"> • Potencia de canal. • Ancho de banda utilizados.
Análisis de canal	Permite medir niveles de potencias en canales de 28- 700MHz.
Interfaz GPS integrada	Permite automáticamente las coordenadas geográficas.
Software de análisis	Exportación CSV para uso en Excel o Matlab e incluso GIS.
Alimentación y portabilidad	Ideal para zonas rurales y urbanas con batería resistente también de fácil uso portátil.

3.11.3. Modos de Medición Empleados

Para la evaluación de la cobertura 4G en zonas urbana como lo es la Universidad Estatal Península de Santa Elena se utilizarán los distintos procesos que nos permite usar el analizador de espectro Keysight FieldFox N9918A, el cual permite una caracterización técnica completa de las señales LTE, los principales modos de medición que se aplicarán son:

- **Análisis de espectro (Spectrum Analyzer Mode):**

Este es uno de los modos más potentes del FieldFox, que permite visualizar el espectro radioeléctrico en tiempo real, se utiliza para identificar la presencia de señales LTE activas, verificar el uso de las bandas como la banda 28 en 700 MHz, especial en zonas rurales, medir la potencia total y detectar la existencia de señales interferentes, este modo es adecuado para poder sacar si la señal de cobertura es limpia o si existen fuentes de ruido o saturación que afecten su calidad.

- **Medición de potencia de canal (Channel Power Measurement):**

En este modo se puede medir en especificación la potencia contenida dentro de un canal LTE, podemos tener un canal de 10 MHz de ancho en la banda 700 MHz, esta medición proporciona un equivalente técnico del RSRP (Reference Signal Received Power), que es muy importante para determinar la intensidad de la señal LTE recibida en un punto geográfico determinado, al registrar múltiples valores a lo largo de un recorrido, es posible obtener una visión clara del comportamiento espacial de la cobertura.

- **Análisis de interferencias:**

Este modo se especializa para buscar y describir señales 4G que puedan interferir con la calidad de la cobertura LTE es muy importante para usar en zonas rurales donde podría haber transmisor no autorizados el FieldFox tiene la capacidad de escanear el espectro en diferentes instantes y mostrar interferencias constantes o intermitentes, facilitando también la triangulación de su procedencia si se utiliza con antenas direccionales.

- **Registro con GPS integrado:**

El Keysight FieldFox puede trabajar con un receptor GPS que nos ofrece los datos de donde estamos para registrar coordenadas geográficas asociadas a cada medición

realizada, con esto nos ayuda a especificar cada dato técnico como la potencia de señal o la presencia de interferencias con una ubicación exacta, esta funcionalidad es principal para luego construir mapas de cobertura o realizar análisis en software como Google Earth.

▪ **Uso en pruebas estáticas y dinámicas (Drive Test o Walk Test):**

Las mediciones pueden realizarse en movimiento desde un vehículo o caminando por caminos rurales o permaneciendo en un sitio fijo durante un periodo determinado, en modo dinámico, se puede cubrir una mayor extensión territorial y analizar la variabilidad de la señal a lo largo de rutas preestablecidas, en modo estático, se puede observar la estabilidad de la señal y su comportamiento con el tiempo, útil para analizar zonas de permanencia como viviendas, centros comunales o escuelas rurales.

3.11.4. Configuración Para la Medición de señales 4G

El FieldFox N9918A contiene la opción de analizador de espectros que permite realizar mediciones de potencia de señal RF a través de antenas conectadas al equipo, sin necesidad de cables entre el transmisor y el analizador. Este es el modo que utiliza para medir potencia de cobertura en redes 4G LTE, conocido comúnmente como medición.

Pasos para medir cobertura 4G LTE:

1. Conectar antena GPS que contiene el analizador al puerto del FieldFox.
2. Conectar cable coaxial para microondas del equipo al puerto.
3. Conectar antena LTE Omnidireccional MikroTik 5dBi, usando los adaptadores que vienen en el equipo.
4. Definir la frecuencia central correspondiente a la banda LTE que se desea medir.
5. Configurar el ancho de banda de análisis y el nivel de referencia adecuado.
6. Activar el medidor de potencia de canal que permite medir la potencia total en un ancho de banda 4G específico.
7. El FieldFox realiza la medición de potencia en ese rango de canal que se elige, mostrando el nivel en dBm.
8. Esto permite identificar la señal LTE más potente dentro del espectro analizado.
9. Debemos caminar los lugares de estudio en diferentes puntos de la zona, caracterizando así la intensidad de señal recibida.



Figura 32 - Preparación del equipo e implementos

- ✓ Equipo y cable coaxial de microondas:



Figura 33 - Interactuando equipo y cables



Figura 34 - Revisión y confirmación de instalación de puertos SMA

✓ Antena GPS

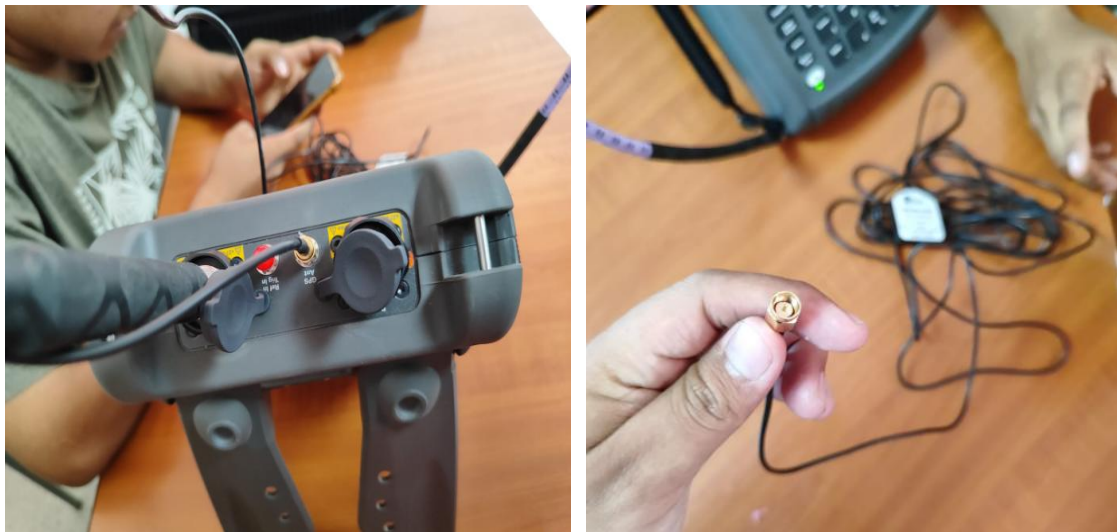


Figura 35 - Conexión antena GPS en el puerto de la VNA

✓ Antena y adaptadores



Figura 36 - Antena LTE, Adaptador para el puerto de la VNA y cable Coaxial

3.11.5. Descripción de las Antenas que el equipo va a utilizar

La antena de GPS para geolocalización de mediciones y la antena de LTE.

- **Antena GPS u-blox ANN-MS-0-005**

Especificaciones:

- Modelo: ANN-MS-0-005
- Fabricante: u-blox Tipo: Antena activa para GPS
- Frecuencia de operación: 1575.42 MHz (frecuencia estándar GPS L1)
- Impedancia: 50 ohmios Ganancia típica: 28 dB (gracias al amplificador interno)
- Conector: SMA (normalmente macho) Voltaje de operación: 2.7 – 5.5 V DC (alimentación a través del cable coaxial) Uso principal: Recepción de señales de satélites GPS para sincronización de tiempo o geolocalización precisa.
- Aplicación en el FieldFox N9918B: Esta antena se usa para proporcionar referencia de ubicación (GPS) y sincronización de tiempo en pruebas de

campo, el FieldFox puede registrar la ubicación exacta de donde se realiza cada medición.

▪ **Antena MikroTik MTAO-LTE-5D-SQ**

Especificaciones:

- Modelo: MTAO-LTE-5D-SQ
- Tipo: Antena LTE omnidireccional externa.
- Fabricante: MikroTik.
- Frecuencia a la que opera: 699 MHz – 960 MHz a 1710 MHz – 2690 MHz, Compatible con la mayoría de las bandas LTE globales.
- Ganancia: 5 dBi
- Polarización: Vertical.
- Conectores: Dos conectores SMA macho (con cable coaxial de baja pérdida)
- Aplicación: En pruebas de campo, se usa como antena de recepción de señal celular para medir cobertura LTE, conectarse a redes móviles en exteriores, evaluar desempeño de señales en diferentes entornos

3.11.6. Diseño del Procedimiento de Medición.

Para el procedimiento se usará el equipo de medición de potencia y también tendremos un aplicativo para poder tener el canal para las mediciones, a continuación, se pondrá un cuadro del proceso:

Tabla 10 - Aspectos y su respectiva descripción

ASPECTOS	DESCRIPCION
Objetivo	Medir niveles de potencia 4G en diferentes zonas de UPSE-facultad de ciencias agrarias.
Equipo de medición	<ul style="list-style-type: none"> - FieldFox Microwave Analyzer - Celular compatible con 4G + aplicación G-NetTrack Lite
Parámetros para registrar	<ul style="list-style-type: none"> - RSRP (Señal de referencia: potencia recibida). - RSRQ (Calidad de la señal recibida de referencia).

	- SINR (Relación entre señal e interferencia más ruido).
Frecuencia de muestreo	Cada 20 segundos o cada 7 mts.
Método de medición	- Recorrido caminando. - Rutas ya establecidas. - Mediciones a horarios ya establecidos.
Condición de medición	Medir en condiciones normales.
Herramientas complementarias	GPS para registrar coordenadas exactas a cada punto de medición mediante el celular.

3.11.7. Selección de Puntos de Muestreo

En esta parte debo tener donde voy a medir y más que todo los puntos de muestreo representativos de la parroquia a continuación una tabla detallada del proceso:

Tabla 11 - Puntos de Muestreos dentro de UPSE

ASPECTOS	DESCRIPCION
Criterios de selección	Zona: facultad de ciencias agrarias, colegio, Cancha de futbol, Laboratorio de Telecom
Cantidad de puntos	Mínimo 10 o 20 puntos.
Método de ubicación	-Uso de GPS para el registro de coordenadas. -Trazado previo de rutas de la Universidad.
Distribución geográfica	-Vías: facultad de ciencias agrarias, parte trasera hasta laboratorio de telecomunicaciones.
Herramienta de apoyo	Aplicación de Google EART, Google maps.

3.11.8. Metodología de Recolección de Datos

La recolección de datos para el análisis de los niveles de potencia de la cobertura 4G en UPSE se procederá a realizar mediante mediciones de campo controladas,

utilizando el equipo de análisis de espectro y señal, en combinación con métodos de georreferenciación (GPS), el objetivo es obtener información precisa sobre la potencia recibida (RSRP), la calidad de la señal (SINR) y otros parámetros relacionados con la propagación de la red LTE en diferentes condiciones geográficas.

Se utilizará el analizador de microondas portátil KEYSIGHT FieldFox N9918A de 26.5 GHz, ayudará con la medición y análisis de niveles de potencia de señales de radiofrecuencia en el espectro de 4G LTE, asegurando una precisión y fiabilidad precisa en ambientes físicos.

PASOS PARA LA EVALUACIÓN:

1. Puntos estratégicos para la evaluación:

En el entorno de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, se determinaron algunos puntos de acuerdo con la zona, teniendo en cuenta áreas residenciales, comerciales, vías de acceso y áreas urbanas, con el objetivo de lograr una cobertura representativa.

2. Configuración del equipo:

- Conectamos el cable que ayudara a adaptar la antena.
3. Luego entramos a una aplicación para poder tener la banda de frecuencia si no configurar el FieldFox para operar en el rango de frecuencia correspondiente a las bandas LTE utilizadas en Ecuador (entre 700 MHz y 2600 MHz).
 4. Elegimos la opción mode.
 5. Elegimos opción OTA.
 6. Elegimos Freq/Dist.
 7. Elegimos la opción Chanel.
 8. Poner la banda.
 9. Elegir introducir.

3.11.9. Clasificación de Niveles de Señal.

Tendremos de referencia estos datos para más especificación:

Tabla 12 - Datos referenciados

NIVEL DE SEÑAL	RANGO (dBm)	CLASIFICACION
Excelente	-75 a -88	Verde
Buena	-89 a -96	Amarillo
Regular	-97 a -105	Naranja
Mala	-106 a -112	Rojo
Pésima	-113 a -125	Gris

3.11.10. Parámetros configurados en el FieldFox.

En Ecuador en especificación donde será el estudio Santa Elena por lo general suelen operar en las bandas de redes LTE de:

Tabla 13 - Parámetros en Ecuador

BANDA LTE	RANGO DE FRECUENCIA (MHz)
Banda 28	703-748
Banda 3	1805-1880
Banda7	2500-2690

Se debe recalcar que para encontrar la banda de frecuencia se utilizara el aplicativo llamado G-NetTrack Lite.

3.11.11. Procesamiento y Análisis de Datos

Primero es el almacenamiento de los datos obtenidos los cuales con el equipo los recolectaremos luego se continuará a:

- ✓ Revisión y limpieza de información:

Lo que nos permitirá eliminar información repetida o que se tomó de manera equivocada, también verificaremos las coordenadas GPS que nos brinda el equipo como también verificaremos los valores de potencia.

- ✓ Fragmentación geográfica y temporal:

Agrupación de datos o información de las zonas donde estaremos como facultad, hasta laboratorios de telecomunicaciones y también tener en cuenta la hora de inicio.

- ✓ Normalizar datos:

Se ajustan valores dependiendo del rango como también la tecnología.

3.11.12. Herramientas Para Utilizar

- Hardware

- Equipo Keysight N9918A Fieldfox:

- Medir parámetros de cobertura 4G los cuales serán RSRP, RSRQ, SINR, RSSI.

- GPS para tener la referencia de mediciones 4G.

- Recolección de datos en tiempo real

- Software

- ✓ **Keysight N9918A Fieldfox data link software:**

Con el cual podremos descargar e incluso poder observar los datos que serán exportados de la medición. Su uso es bueno porque es compatible con Excel donde podremos extraer los datos.

- Excel: Por el manejo y con la adaptabilidad que tiene para poder procesar los datos recogidos por el equipo podremos tener un cálculo rápido de cómo está la cobertura 4G.

3.11.13. Exportación y Procesamiento de Datos del FieldFox.

Primero para exportar se procede a pausar la pantalla del equipo con esto se seleccionará SAVE para guardar y se selecciona el tipo de archivo en este apartado se guardará en la opción estrado estado y en la opción de CSV el cual es un formato de Excel.

Pasos:

1. Congelar imagen en opción HOLD, lo cual paraliza la pantalla.

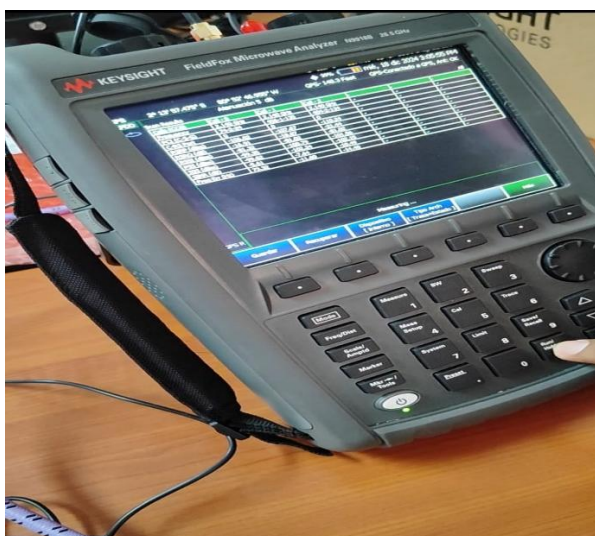


Figura 37 - Datos obtenidos en las primeras revisiones y pruebas

2. Elegir la opción SAVE del equipo luego elegir el dispositivo donde se guardará y se coloca un pendrive en un lado del dispositivo.



Figura 38 - Guardando Datos Obtenidos de la VNA



Figura 39 - Entrada del puerto USB para recolectar las imágenes

3. Seleccionar el tipo de archivo.

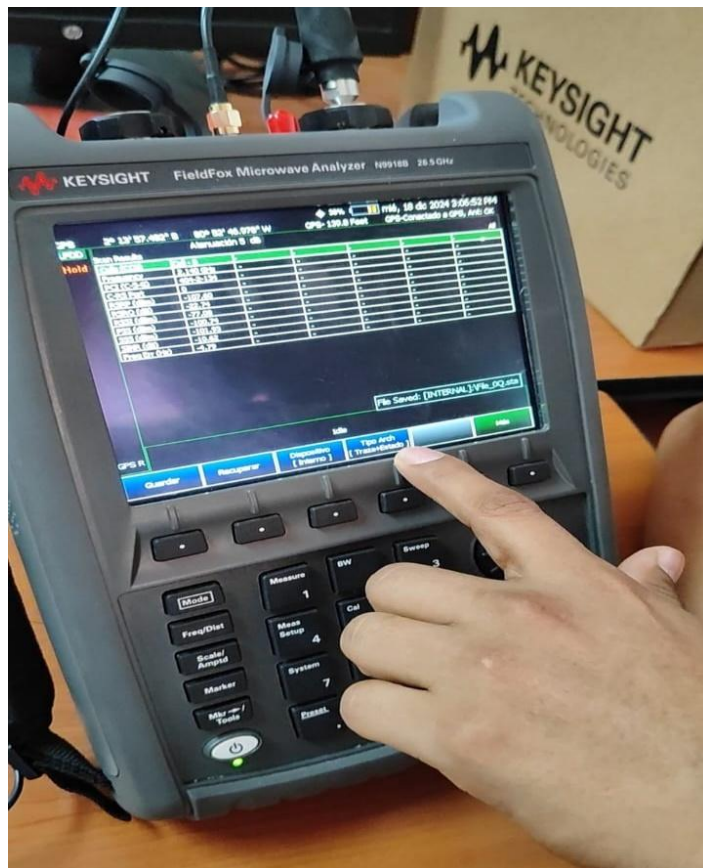


Figura 40 - Tipo de Archivo a guardarse

4. Se selecciona estado que primero será png y luego en formato Excel CSV y guardar:



Figura 41 - Formato PNG y Formato Excel CSV

3.11.14. Representación Gráfica de los Niveles de Potencia.

Mapa de lugares de donde están la radio bases cobertura 4G

Detalles:

- Conos de antena con números "29187" y "69180"
- Representan estaciones base o torres celulares específicas.
- El número mostrado es el ID de la celda (Cell ID), que identifica de forma única cada torre dentro de la red del operador.
- En la asignación de Banda 2 nos indica que estas torres están transmitiendo en la "Banda 2" de LTE (4G) y opera en los 1900 MHz a una frecuencia que ofrece buena velocidad pero cobertura más limitada que bandas más bajas como 700 MHz.

Estos colores representan la intensidad de la señal medida en distintos puntos a lo largo de un recorrido y probablemente hecho con un vehículo o caminando con una app).

Generalmente el código de colores sigue esta lógica:

Colores:

- ✓ Verde oscuro: Excelente cobertura (aproximadamente entre -50 dBm a -80 dBm).
- ✓ Verde claro: Buena cobertura.
- ✓ Naranja: Cobertura regular (alrededor de -90 dBm).
- ✓ Rojo: Señal pobre (inferior a -100 dBm).
- ✓ (Negro o sin color): Sin señal o fuera de cobertura.

➤ **OTECEL (MOVISTAR)**

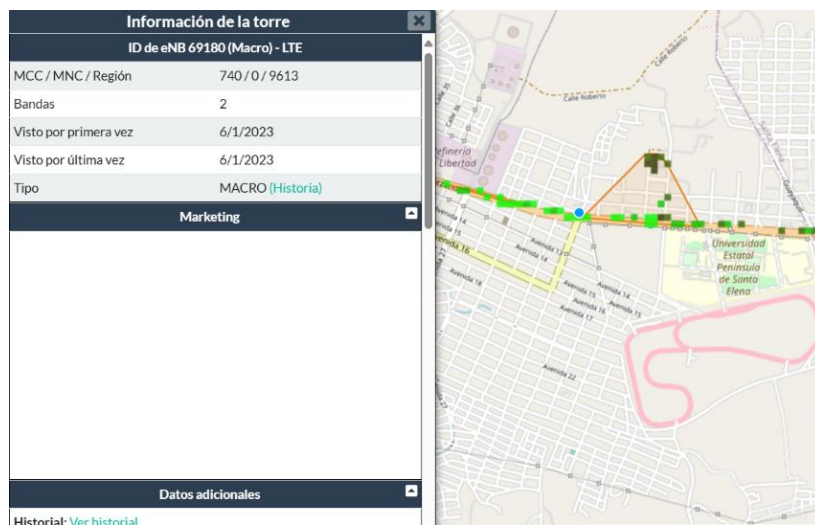
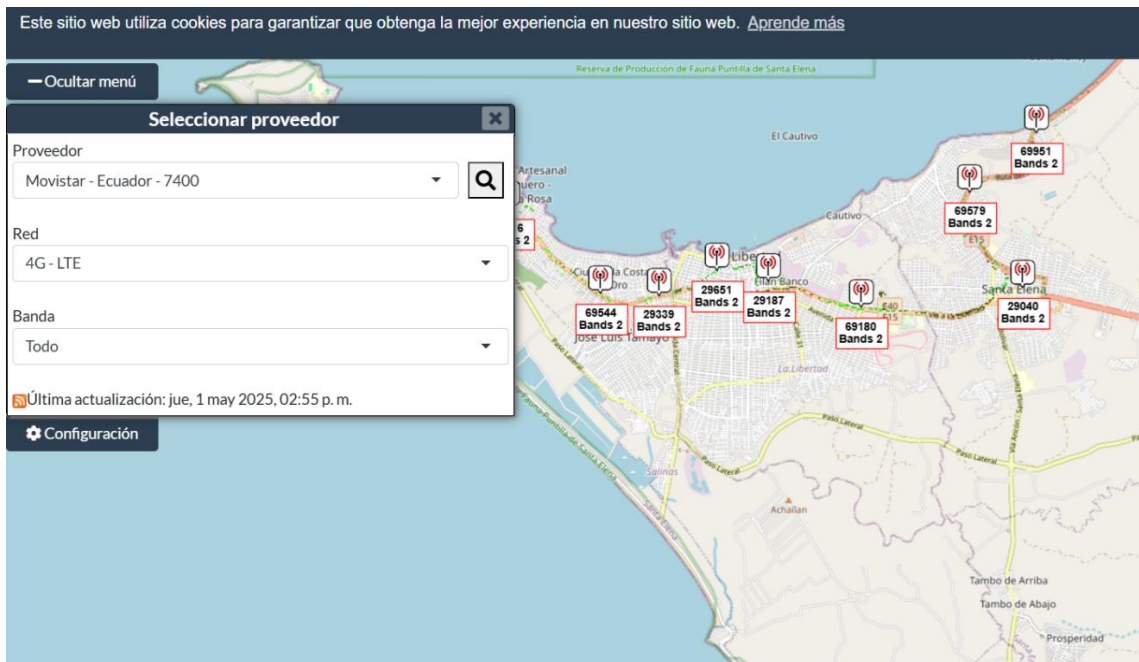


Figura 42 - Representación gráfica a Nivel de la Potencia MOVISTAR 2025

➤ **CORPORACION NACIONAL DE TELECOMUNICACION (CNT)**

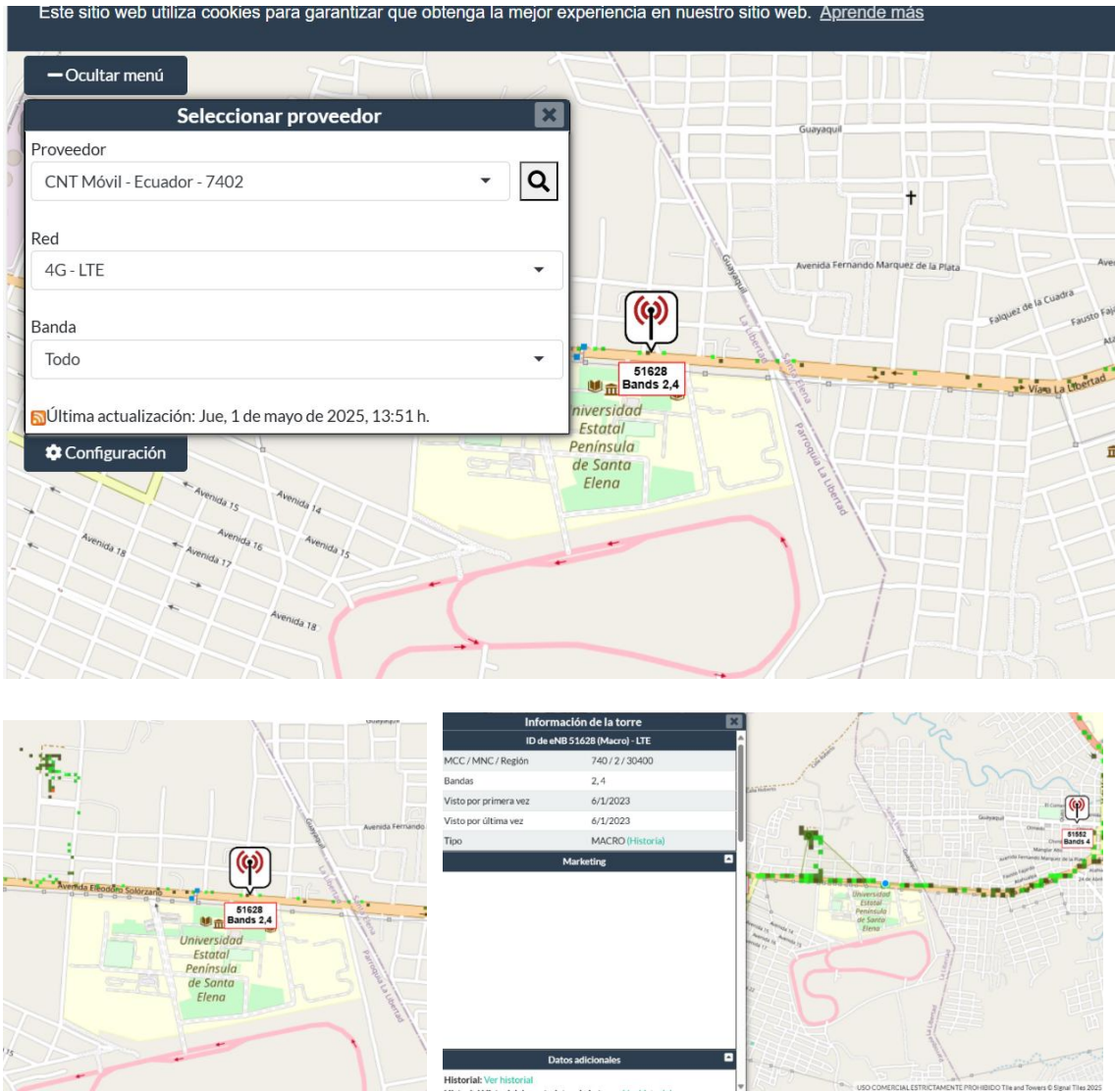


Figura 43 - Representación gráfica a Nivel de la Potencia CNT 2025

➤ CONECEL (CLARO)

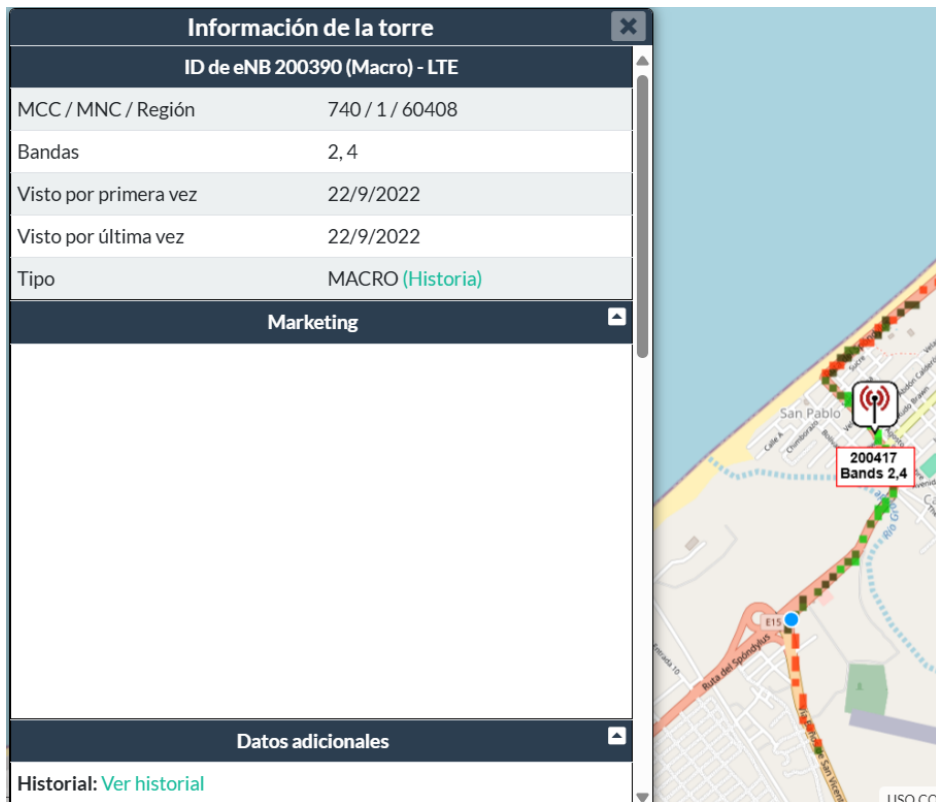
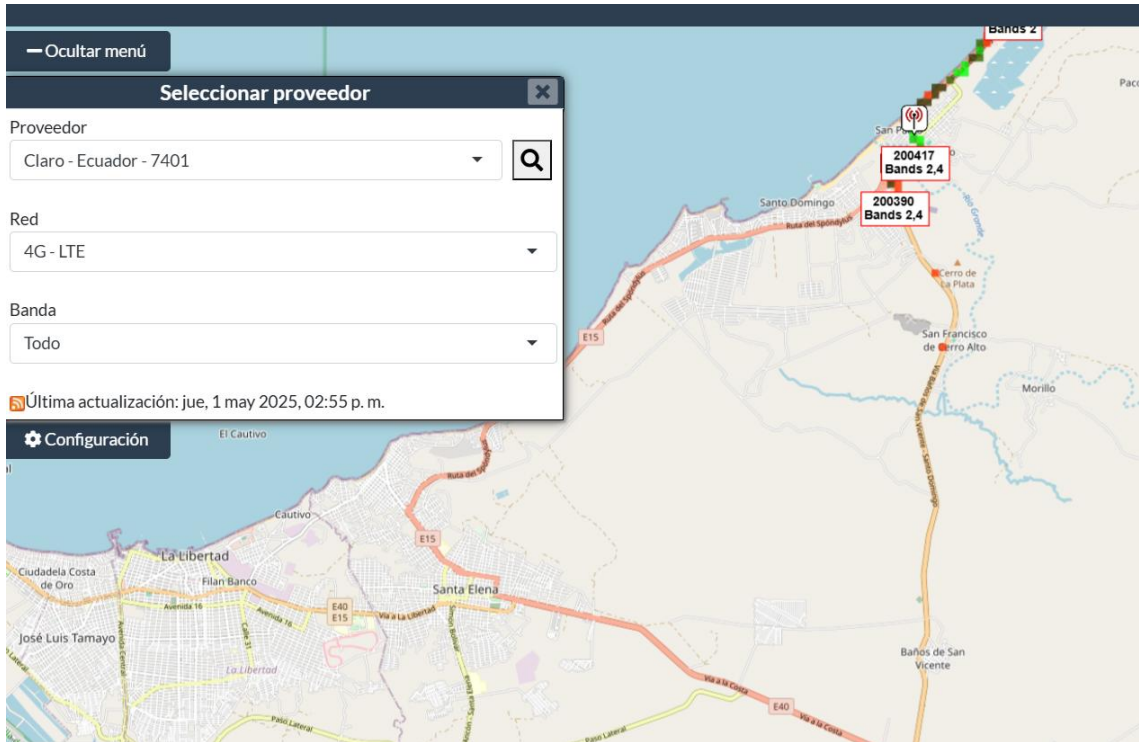


Figura 44 - Representación gráfica a Nivel de la Potencia CLARO 2025

3.11.15. Comparación con Estándares Internacionales y Normativas.

Tabla 14 - Parámetros Técnicos

PARAMETROS TECNICOS	ESTANDAR INTERNACIONAL (UIT-3GPPP)	NORMATIVA LOCALES-ARCOTEL
RSRP (dBm)	-80 excelente -80 a -90 buena -90 a -100 regular < -100 deficiente	ARCOTEL no establece cifras precisas de RSRP. Se fundamenta en la observancia del Índice de Cobertura de Servicio (ICS) de acuerdo con la zona
RSRQ (dB)	> -10 excelente -10 a -15 aceptable < -15 deficiente	No existen límites concretos establecidos. Se anticipa una calidad superior para asegurar conexiones y datos sin interrupciones. Las evaluaciones se llevan a cabo a través de auditorías técnicas.
SINR (dB)	>20 excelente 13 a 20 buena 0 a 13 regular < 0 deficiente	No especificado de manera directa pero es necesario prevenir interferencias, siguiendo la resolución ARCOTEL 001-02-CONATEL-2015 en materia de calidad.
INTENSIDAD DE CAMPO ELECTRICA (v/m)	Según los límites de exposición ICNIRP/OMS son: 61 v/m para 1800 MHz	Máximo permitido: 28 V/m en zonas públicas según la resolución 02-03-ARCOTEL-2017 (seguridad frente a radiación no ionizante).
COBERTURA EN ZONAS RURALES	Recomendación de UIT: garantizar acceso universal	Obligación según plan de expansión de cobertura: El servicio móvil avanzado debe cubrir parroquias rurales y urbana conforme al contrato de concesión.
CALIDAD DE SERVICIOS (QoS)	Tasa de éxito en llamadas, velocidad mínima de datos, latencia.	ARCOTEL exige mínimos en indicadores como: Velocidad de bajada: ≥ 3 Mbps (LTE) Tasa de acceso exitoso a datos: $\geq 95\%$ Retardo en acceso a Internet: < 2 segundos

3.11.16. Limitaciones del Estudio.

- ✓ Restricciones en la medición.

A pesar de aplicar una metodología técnica rigurosa para la medición de la señal 4G, existen muchas limitaciones a tener en cuenta que pueden influir en la calidad, precisión de los resultados obtenidos, estas limitaciones pueden clasificarse en dos grandes grupos:

Restricciones propias del proceso de medición y factores externos o ambientales que pueden alterar los datos.

Impedimentos al momento de recoger datos de medición.

Estas limitaciones están relacionadas con los equipos.

El diseño del estudio y el tiempo de recoger datos y la disponibilidad de información.

- ✓ Cobertura de la zona limitada:

No se podrá recorrer todo el territorio de donde están las radios base por temas de seguridad del equipo.

- ✓ Duración del estudio:

Las mediciones suelen realizarse durante un periodo corto donde se tomarán días o semanas, lo que limita la observación de comportamientos de red a largo plazo, no se capturan eventos estacionales ni fluctuaciones en feriados o vacaciones.

- ✓ Instrumentación y configuración del equipo:

Los analizadores como el FieldFox tienen límites en su sensibilidad o precisión dependiendo de su calibración y frecuencia de muestreo, la configuración de banda (700 MHz, 1800 MHz, 2600 MHz) puede no incluir todas las frecuencias usadas por los operadores, lo que subrepresenta algunas coberturas.

- ✓ GPS del equipo:

La fidelidad del GPS del equipo puede tender a tener interferencias por condiciones como clima o cobertura satelital, lo cual causaría errores de ubicación de hasta varios metros, condiciones de tráfico de red Si las mediciones se hacen en horas

donde hay baja demanda, podrían sobreestimar la calidad de la señal, pero lo contrario ocurre si se mide en horas pico.

✓ Limitaciones de acceso a información de operadores:

No siempre se tiene acceso oficial a mapas de cobertura, bandas exactas utilizadas o configuraciones de red de los proveedores por el tema de ser información sensible o confidencial. Esto limita la validación cruzada de los datos recolectados.

3.11.17. Factores que Pueden Afectar los Resultados.

No solo con las restricciones técnicas, existen elementos ambientales, sociales y tecnológicos que pueden alterar la conducta verdadera de la cobertura móvil:

▪ Condiciones del clima:

Unas de las posibles razones pueden ser las condiciones del lugar incluyendo la lluvia, la humedad y el cielo lleno de nubes, que pueden generar problemas en la TX de ondas radioeléctricas, por lo general en bandas elevadas como el 2600 MHz.

▪ Obstáculos físicos y relieve:

Estos suelen ser los ruidos físicos como montañas, árboles, edificaciones de cemento o estructuras metálicas pueden generar sombra de señal (zonas sin cobertura), las edificaciones y el lugar puede limitar la propagación eficiente de la señal, especialmente en zonas alejadas de las torres.

▪ Interferencia electromagnética:

La presencia de otros dispositivos electrónicos como también estaciones de radio o torres cercanas puede causar interferencias que degradan la señal, como en zonas rurales, interferencias no reguladas (como amplificadores caseros) pueden alterar los niveles medidos.

▪ Congestión de usuarios:

En áreas donde hay muchos usuarios conectados, por ejemplo, en eventos o concentraciones, la calidad de la señal puede disminuir drásticamente por saturación de la celda.

▪ Configuración de la red del operador:

Los operadores pueden realizar ajustes dinámicos de potencia o carga de tráfico y asignación de frecuencias que no son visibles para las personas, afectando temporalmente la cobertura, algunos sectores pueden estar en mantenimiento, pruebas o tener celdas deshabilitadas durante la medición.

- Tecnología del dispositivo RX:

Si se utiliza un teléfono móvil en lugar de un analizador especializado para las mediciones, las diferencias de hardware (antena, módem) pueden influir en los resultados, además, el soporte de bandas varía entre modelos de teléfonos, lo que puede excluir ciertas frecuencias activas en la zona.

CAPITULO IV

4.1. Metodología de Recolección de Datos

Para poder realizar este estudio se hizo un proceso de medición directamente en el campus de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Estatal Península de Santa Elena el propósito fue conocer cómo se comporta la señal 4G LTE de las operadora del servicio móvil avanzado CONECEL S.A, OTECEL y CORPORACION NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES en distintos espacios de la facultad, se utilizó el equipo Keysight FieldFox N9918B, un analizador portátil de espectro que permitió capturar datos clave como la potencia de señal, la calidad de la señal y la relación señal ruido (SINR), este equipo fue configurado para registrar automáticamente los valores mientras se recorrían zonas como el bloque académico, laboratorios y áreas exteriores, durante las mediciones también se registraron las coordenadas GPS de cada punto, los datos fueron guardados en dos formatos:

CSV para analizarlos con herramientas como Excel y PNG para contar con respaldos gráficos generados directamente por el dispositivo.

Todo el proceso se realizó en condiciones del día a día en los momentos de jornadas laborales, para reflejar con exactitud cómo se comporta la red en situaciones cotidianas de uso, posteriormente la información recogida fue procesada y organizada para facilitar su análisis y visualización, permitiendo identificar sin problemas las zonas con buena, regular o mala cobertura dentro de la facultad.

4.2. Primeros Resultados Obtenidos

11 PUNTOS DE MEDICION CON DIRECCION A RADIO BASE CONECEL (CLARO) APROXIMACIÓN DE MEDIO KILÓMETRO A LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS.

4.2.1. Punto 1: Facultad Ciencias Agrarias frente a

- ✓ **Potencia de señal (RSRP):** los 2 valores que se midieron con un promedio de -96,4 dBm en un rango: -100,5 dBm a -92,4 dBm, lo que quiere decir que la cobertura es aceptable, el teléfono capta la red, pero no siempre con la estabilidad deseada, en las zonas más débiles -100 dBm pueden

ocasionar cortes o caídas de velocidad, mientras que los picos cercanos a -92 dBm ofrecen momentos de recepción más cómoda.

- ✓ **Calidad de señal (SINR):** El SINR promedió -1,8 dB (rango: -7,1 dB a 3,4 dB), lo que quiere decir como crítica, La relación señal-ruido es deficiente en buena parte del tiempo, lo que explica páginas que tardan en cargar o vídeos que se pausan. Cuando el SINR sube hasta 3 dB la experiencia mejora; mover el equipo cerca de una ventana o usar una pequeña antena externa podría capitalizar esos momentos de mejor calidad.

Tabla 15 - Resultados obtenidos en el Punto 1, Formato Excel VNA

GPS	2°13'58.528"S	80°52'33.838"W	GPS-142,7 Feet
	Atenuación 5dB		
	Scan Results		
	Cells (CC0)	Cell-0	Cell-1
	Frequency	2,140 Ghz	2,140 Ghz
	PCI (C-S-G)	72-0-24	74-2-24
	C-RS Port	0	0
	RSRP (dBm)	-92,43	-100,45
	RSRQ (dB)	-10,88	-18,91
	RSSI (dBm)	-73,76	-73,76
	PSS (dBm)	-88,67	-92,85
	SSS (dBm)	-88,15	-92,18
	SINR (dB)	3,43	-7,07
	Freq Err (Hz)	2,33	4,37

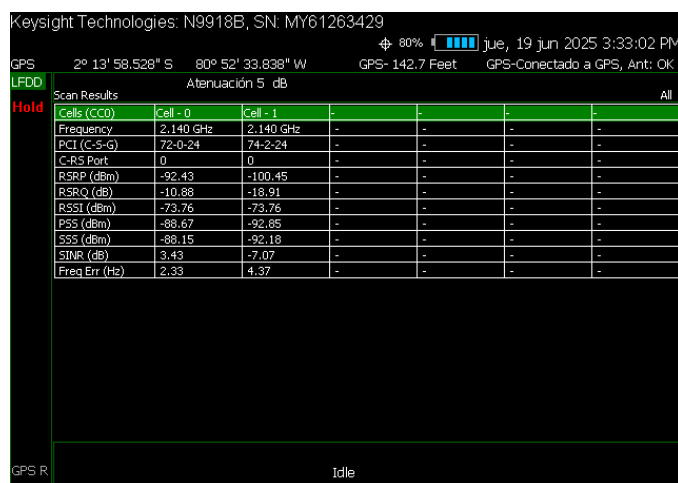


Figura 45 - Resultados con el analizador de espectros/ Punto1.

4.2.2. Punto 2: Partes traseras de la Facultad de Ciencias Agrarias

- ✓ **Potencia de señal (RSRP):** las mediciones de 3 celdas dan el promedio de -93,0 dBm (-95,9 dBm a -92,5 dBm) dentro de una cobertura aceptable-buena, no suele haber desconexiones pero la velocidad puede oscilar si el terminal se desplaza unos metros o se ubica detrás de muros gruesos.
- ✓ **Calidad de señal (SINR):** El SINR medio nos arroja un resultado de -5,5 dB (-8,8 dB a 3,4 dB) lo cual es crítica, hay momentos puntuales de SINR positivo que alivian la navegación; sin embargo la mayor parte del tiempo el ruido gana terreno, instalar un pequeño repetidor interior o reubicar el Router/antena LTE mejoraría sensiblemente la experiencia.

Tabla 16- Resultados obtenidos en el punto 2, Formato Excel VNA

GPS	2°13'58.654"S	80°52'33.992"W		GPS-142,4 Feet
		Atenuacion 5dB		
	Scan Results			
	Cells (CC0)	Cell-0	Cell-1	Cell-2
	Frequency	2,140 Ghz	2,140 Ghz	2,140 Ghz
	PCI (C-S-G)	72-0-24	74-2-24	73-1-24
	C-RS Port	0	0	0
	RSRP (dBm)	-83,34	-91,42	-104,29
	RSRQ (dB)	-12,59	-20,67	-33,54
	RSSI (dBm)	-62,97	-62,97	-62,97
	PSS (dBm)	-80,32	-86,3	-90,76
	SSS (dBm)	-80,31	-86,74	-89,37
	SINR (dB)	4,96	-10,14	-23,58
	Freq Err (Hz)	3,67	-11,07	-24,24

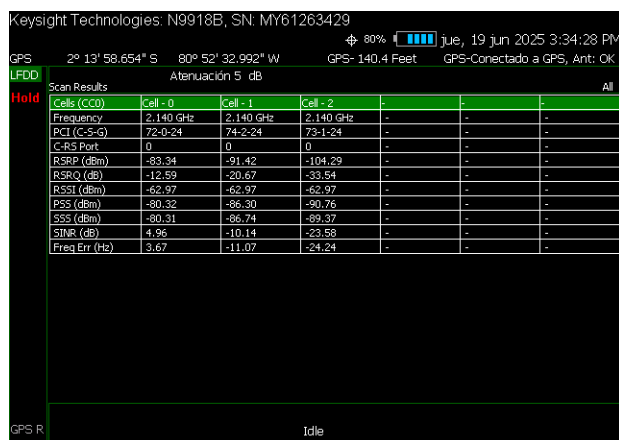


Figura 46 – Resultados en el analizador de espectros / Punto 2

4.2.3. Punto 3: Siguiendo el recorrido a unos 15m del área de la Facultad de Ciencias Agrarias UPSE.

- ✓ **Potencia de señal (RSRP):** Se registraron 3 valores con un promedio de -96,8 dBm (-107,6 dBm a -89,5 dBm), la cobertura estaría entre aceptable y débil, en el mejor escenario (-89 dBm) la conexión es estable en el peor (-107 dBm) pueden aparecer zonas muertas, sobre todo en interiores.
- ✓ **Calidad de señal (SINR):** El SINR promedió -5,6 dB (-18,5 dB a 5,3 dB), Cuando cae a -18 dB la red resulta prácticamente inutilizable el pico de 5 dB demuestra que con menos interferencia o una ubicación más elevada la calidad se recupera, como sugerencia probar antena direccional de mayor ganancia apuntando a la torre más cercana.

Tabla 17 - Resultados obtenidos del Punto 3, Formato Excel VNA

GPS	2°14'0.526"S	80°52'33.001"W		GPS-130,9 Feet
		Atenuacion 5dB		
	Scan Results			
	Cells (CC0)	Cell-0	Cell-1	Cell-2
	Frequency	2,140 Ghz	2,140 Ghz	2,140 Ghz
	PCI (C-S-G)	72-0-24	74-2-24	73-1-24
	C-RS Port	0	0	0
	RSRP (dBm)	-89,51	-93,44	-107,58
	RSRQ (dB)	-11,17	-15,1	-29,24
	RSSI (dBm)	-70,56	-70,56	-70,56
	PSS (dBm)	-87,21	-89,04	-93,14
	SSS (dBm)	-86,73	-88,57	-92,42
	SINR (dB)	5,26	-3,5	-18,52
	Freq Err (Hz))	0,54	2,48	-73,75

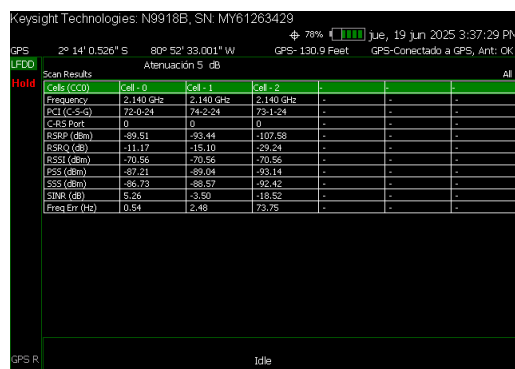


Figura 47 - Resultados del analizador de espectro / Punto 3

4.2.4. Punto 4: Siguiendo recorrido hasta la parte trasera de la Facultad distancia 20m.

- ✓ **Potencia de señal (RSRP):** Promedio -90,5 dBm (-93,0 dBm a -87,9 dBm) sobre 2 muestras clasificado como buena-aceptable, es un punto relativamente sólido dentro del campus; la navegación suele ser fluida salvo congestión de red.
- ✓ **Calidad de señal (SINR):** Nos dio una media de -2,4 dB (-6,5 dB a 1,7 dB), aunque la potencia es normal, el ruido sigue afectando cosas como streaming a 720 p se mantiene pero el salto a 1080 p puede presentar buffers.

Tabla 18 – Resultados Obtenidos del punto 4, Formato Excel VNA

GPS	2°14'1.320"S	80°52'31.557"W	GPS-125,7 Feet
	Atenuacion 5dB		
	Scan Results		
	Cells (CC0)	Cell-0	Cell-1
	Frequency	2,140 Ghz	2,140 Ghz
	PCI (C-S-G)	72-0-24	74-2-24
	C-RS Port	0	0
	RSRP (dBm)	-87,9	-93,03
	RSRQ (dB)	-12,85	-17,98
	RSSI (dBm)	-67,27	-67,27
	PSS (dBm)	-83,97	-88,24
	SSS (dBm)	-83,77	-87,79
	SINR (dB)	1,7	-6,48
	Freq Err (Hz)	-0,73	-0,7

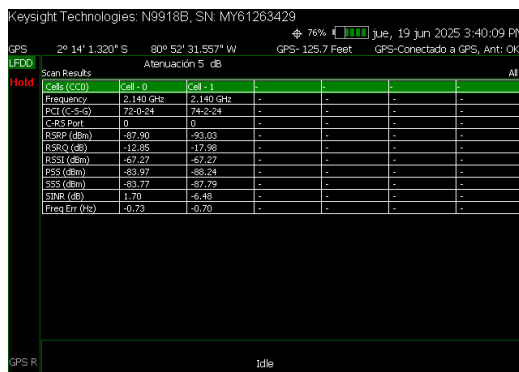


Figura 48 Resultados del analizador de espectro / Punto 4

4.2.5. Punto 5: Distancia 15m desde el Punto anterior.

- ✓ **Potencia de señal (RSRP):** Cuatro celdas arrojan un promedio de -103,0 dBm (-107,3 dBm a -101,0 dBm), la señal es débil lo cual genera que actividades de alto consumo videollamadas HD pueden fallar con facilidad.
- ✓ **Calidad de señal (SINR):** El SINR medio fue -8,9 dB (-13,2 dB a -6,5 dB), claramente crítico, aquí la interferencia es el principal enemigo: incluso mejorando la potencia seguiría habiendo ruido, recomendable un repetidor interior con filtrado de señal o, si se trabaja al aire libre, orientarse física y visualmente hacia la torre.

Tabla 19 - Resultados Obtenidos en el punto 5, Formato Excel VNA

GPS	2°14'3,304"S	80°52'32.320"W			GPS-127,6 Feet
		Atenuacion 5dB			
	Scan Results				
	Cells (CC0)	Cell-0	Cell-1	Cell-2	Cell-3
	Frequency	2,140 Ghz	2,140 Ghz	2,140 Ghz	2,140 Ghz
	PCI (C-S-G)	72-0-24	74-2-24	72-0-24	80-0-26
	C-RS Port	0	0	0	0
	RSRP (dBm)	-101,03	-101,2	-102,26	-107,34
	RSRQ (dB)	-18,21	-18,38	-19,9	-24,49
	RSSI (dBm)	-75,03	-75,03	-74,57	-75,08
	PSS (dBm)	-97,79	-94,7	-97,28	-98,58
	SSS (dBm)	-96,32	-93,97	-96,77	-99,44
	SINR (dB)	-6,92	-6,46	-9,05	-13,19
	Freq Err (Hz)	1,41	-4,55	-3,21	-12,54

Scan Results	Cell-0	Cell-1	Cell-2	Cell-3
Cells (CC0)	Cell-0	Cell-1	Cell-2	Cell-3
Frequency	2,140 GHz	2,140 GHz	2,140 GHz	2,140 GHz
PCI (C-S-G)	404-2-134	74-2-24	72-0-24	80-2-26
C-RS Port	0	0	0	0
RSRP (dBm)	-101,03	-101,20	-102,26	-107,34
RSRQ (dB)	-18,21	-18,38	-19,90	-24,49
RSSI (dBm)	-75,03	-75,03	-74,57	-75,08
PSS (dBm)	-97,79	-94,70	-97,28	-98,58
SSS (dBm)	-96,32	-93,97	-96,77	-99,44
SINR (dB)	-6,92	-6,46	-9,05	-13,19
Freq Err (Hz)	1,41	-4,55	-3,21	-12,54



Figura 49 - Resultados del analizador de espectro / Punto 5

4.2.6. Punto 6: Vía asfaltada detrás de la Facultad distancia 10m

- ✓ **Potencia de señal (RSRP):** Sobre 4 registros nos da un promedio -109,7 dBm (-114,0 dBm a -106,3 dBm) lo cual indica que la cobertura muy débil dando pérdidas de paquetes y las reconexiones son frecuentes.
- ✓ **Calidad de señal (SINR):** Media -7,0 dB (-14,1 dB a -2,9 dB) el entorno genera mucho ruido y la señal apenas sobresale, este punto exige medidas drásticas: antena externa de más de 10 dBi, reubicación del acceso o gestionar con la operadora la instalación de una micro-celda.

Tabla 20 - Resultados Obtenidos en el punto 6, Formato Excel VNA

GPS	2°14'2,433"S	80°52'27,968"W			GPS-121,7 Feet
		Atenuacion 5dB			
	Scan Results				
	Cells (CC0)	Cell-0	Cell-1	Cell-2	Cell-3
	Frequency	2,140 Ghz	2,140 Ghz	2,140 Ghz	2,140 Ghz
	PCI (C-S-G)	404-2-134	406-1-135	26-2-8,	455-2-151
	C-RS Port	0	0	0	0
	RSRP (dBm)	-103,95	-107,45	-102,26	-125,04
	RSRQ (dB)	-17,78	-21,27	-19,9	-38,86
	RSSI (dBm)	-78,39	-78,39	-74,57	-78,39
	PSS (dBm)	-98,1	-99,98	-97,28	-100,53
	SSS (dBm)	-99,43	-100,31	-96,77	-102,32
	SINR (dB)	-7,04	-10,37	-9,05	-27,75
	Freq Err (Hz)	5,7	0,85	-3,21	2,9

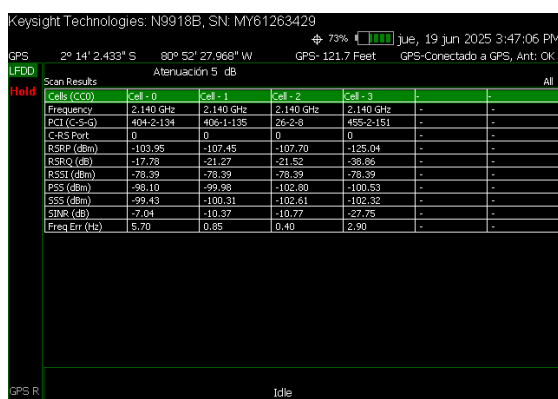


Figura 50 - Resultados del analizador de espectro / Punto 6

4.2.7. Punto 7: Vía Final sentido Oeste distancia 10m.

- ✓ **Potencia de señal (RSRP):** Cinco mediciones con promedio -109,0 dBm (-116,7 dBm a -101,5 dBm) categoría muy débil, solo usos ligeros (mensajería) y con paciencia.
- ✓ **Calidad de señal (SINR):** Promedio -10,3 dB (-18,1 dB a -2,2 dB) una señal tan baja acompañada de SINR negativo implica que, aun con repetidor, la congestión o interferencia local seguirá limitando, una sugerencia posible sería mover actividades críticas a zonas abiertas o considerar Wi-Fi institucional de respaldo.

Tabla 21 - Resultados obtenidos en el Punto 7, Formato Excel VNA

GPS	2°14'4,482"S	80°52'35,995"W			GPS-120,4 Feet	
		Atenuacion 5dB				
	Scan Results					
	Cells (CC0)	Cell-0	Cell-1	Cell-2	Cell-3	Cell-4
	Frequency	2,140 Ghz	2,140 Ghz	2,140 Ghz	2,140 Ghz	2,140 Ghz
	PCI (C-S-G)	404-2-134	405-1-135	72-0-24	74-2-24	81-0-27
	C-RS Port	0	0	0	0	0
	RSRP (dBm)	-101,46	-106,89	-108,92	-111,16	-116,71
	RSRQ (dB)	-14,12	-18,96	-21,3	-23,54	-29,37
	RSSI (dBm)	-79,56	-80,15	-79,84	-79,84	-79,56
	PSS (dBm)	-98,26	-101,25	-103,46	-108,34	-103,25
	SSS (dBm)	-97,5	-103,99	-105,3	-110,23	-101,08
	SINR (dB)	-2,2	-8,11	-10,21	-12,68	-18,11
	Freq Err (Hz)	-1,53	15,23	5,14	16,24	-1,09



Figura 51 - Resultados del analizador de espectro / Punto 7

4.2.8. Punto 8: Cancha de Futbol atrás de la UE Americano

- ✓ **Potencia de señal (RSRP):** con un promedio de -107,3 dBm (-112,7 dBm a -100,7 dBm) en 3 celdas muestran una señal muy débil, cobertura apenas funcional, susceptible a pérdidas totales dentro de edificios.
- ✓ **Calidad de señal (SINR):** Media -9,7 dB (-17,1 dB a 0,2 dB) el valor casi positivo de 0 dB demuestra que, con una antena mejor situada, puede rascarse algo de estabilidad, mientras tanto, conviene programar descargas grandes fuera de este entorno.

Tabla 22 - Resultados obtenidos en el Punto 8, Formato Excel VNA

GPS	2°14'4,934"S	80°52'38,563"W			GPS-132,5 Feet		
		Atenuación 5dB					
Scan Results							
Cells (CC0)	Cell-0	Cell-1	Cell-2	Cell-3	Cell-4	Cell-5	
Frequency	2,140 Ghz	2,140 Ghz	2,140 Ghz	2,140 Ghz	2,140 Ghz	2,140 Ghz	2,140 Ghz
PCI (C-S-G)	406-1-135	6-0-2	26-2-8,	74-2-24	405-0-135	404-2-134	
C-RS Port	0	0	0	0	0	0	
RSRP (dBm)	-98,69	-101,12	-103,05	-105,11	-110,78	-125,27	
RSRQ (dB)	-15,26	-17,22	-19,15	-21,21	-26,85	-41,37	
RSSI (dBm)	-75,65	-76,12	-76,12	-76,12	-76,15	-76,12	
PSS (dBm)	-95,34	-97,12	-97,48	-99,96	-105,9	-103,22	
SSS (dBm)	-95,96	-97,74	-96,3	-99,41	-107,3	-101,61	
SINR (dB)	-3,98	-5,92	-8,42	-9,77	-15,98	-30,56	
Freq Err (Hz)	1,34	29,69	2,61	5	615,64	6,12	

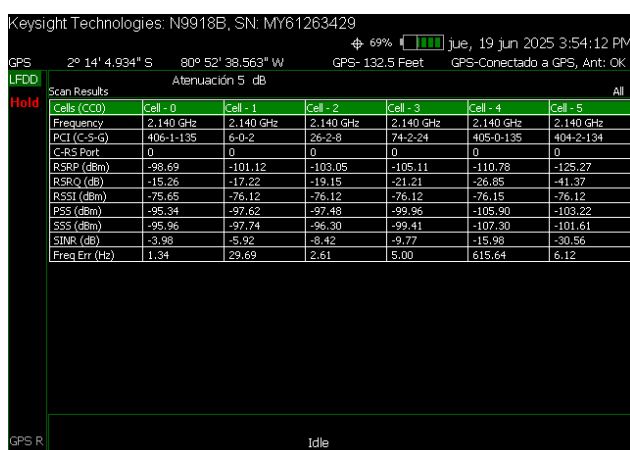


Figura 52 - Resultados del analizador de espectro / Punto 8

4.2.9. Punto 9: Esquina de cancha de futbol, siguiendo a 16 mts del anterior punto.

- ✓ **Potencia de señal (RSRP):** Con 4 lecturas, promedio -96,7 dBm (-103,5 dBm a -92,2 dBm), categoría aceptable-débil, se puede navegar, pero la velocidad baja.
- ✓ **Calidad de señal (SINR):** El SINR medio fue -7,0 dB (-12,6 dB a -0,9 dB); persiste la interferencia una solución podría ser una antena direccional pequeña.

Tabla 23 -- Resultados Obtenidos por el punto 9, Formato Excel VNA

GPS	2°14'5,581"S	80°52'44,357"W			GPS-122,7 Feet
		Atenuacion 5dB			
	Scan Results				
	Cells (CC0)	Cell-0	Cell-1	Cell-2	
	Frequency	2,140 Ghz	2,140 Ghz	2,140 Ghz	
	PCI (C-S-G)	404-2-134	6-0-2	405-0-135	
	C-RS Port	0	0	0	
	RSRP (dBm)	-88,73	-92,86	-108,63	
	RSRQ (dB)	-11,16	-14,98	-31,06	
	RSSI (dBm)	-69,79	-70,1	-69,79	
	PSS (dBm)	-84,17	-86,13	-89,83	
	SSS (dBm)	-83,49	-86,49	-89,47	
	SINR (dB)	2,06	-2,69	-19,98	
	Freq Err (Hz))	-1,43	0,79	-10,25	

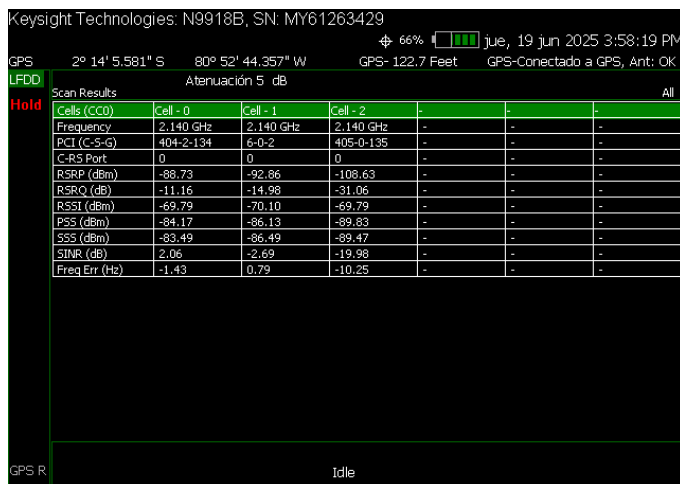


Figura 53 - Resultados del analizador de espectro / Punto 9

4.2.10. Punto 10: Taller de la Carrera de Ingeniería Industrial

- ✓ **Potencia de señal (RSRP):** El promedio -106,7 dBm (-111,9 dBm a -103,1 dBm) la señal es muy débil, las transferencias grandes fallan y la latencia sube.
- ✓ **Calidad de señal (SINR):** la Media es de -7,9 dB (-15,1 dB a -4,6 dB) lo que nos quiere decir que la mayor parte del tiempo, la señal está sumergida en ruido para trabajos esenciales.

Tabla 24 – Resultados obtenidos en el Punto 10, Formato Excel VNA

GPS	2°14'2,553"S	80°52'45,183"W		GPS-123,0 Feet	
		Atenuacion 5dB			
	Scan Results				
	Cells (CC0)	Cell-0	Cell-1	Cell-2	Cell-3
	Frequency	2,140 Ghz	2,140 Ghz	2,140 Ghz	2,140 Ghz
	PCI (C-S-G)	404-2-134	406-1-135	26-2-8,	74-2-24
	C-RS Port	0	0	0	0
	RSRP (dBm)	-102,57	-107,03	-107,05	-109,99
	RSRQ (dB)	-17,43	-22,34	-21,92	-24,74
	RSSI (dBm)	-77,35	-76,91	-77,35	-77,46
	PSS (dBm)	-97,67	-102,58	-102,19	-104,93
	SSS (dBm)	-98,29	-102,97	-102,13	-103,18
	SINR (dB)	-4,22	-11,69	-11,58	-13,66
	Freq Err (Hz))	2,92	6,51	-4,13	11,6



Figura 54 - Resultados por el analizador de espectro / Punto 10

4.2.11. Punto 11: Frente a Bienestar Estudiantil UPSE

- ✓ **Potencia de señal (RSRP):** Tres mediciones dan un promedio de -106,5 dBm (-110,1 dBm a -102,8 dBm) lo que nos da a entender que la cobertura es muy débil lo cual hace que el dispositivo se conecta, pero cualquier movimiento puede forzar reconexión.
- ✓ **Calidad de señal (SINR):** Con media -9,3 dB (-15,2 dB a -7,0 dB), el nivel es crítico, la interferencia domina, se sugiere instalar repetidor con filtro de señal o negociar con la operadora la instalación de una micro-celda o pequeña BTS cercana.

Tabla 25 – Resultados obtenidos en el Punto 11, Formato Excel VNA

GPS	2°14'0,350"S	80°52'45,569"W			GPS-131,9 Feet
		Atenuacion 5dB			
	Scan Results				
	Cells (CC0)	Cell-0	Cell-1	Cell-2	
	Frequency	2,140 Ghz	2,140 Ghz	2,140 Ghz	
	PCI (C-S-G)	74-2-24	72-0-24	404-2-134	
	C-RS Port	0	0	0	
	RSRP (dBm)	-99,57	-106,84	-113,22	
	RSRQ (dB)	-15,59	-22,99	-29,24	
	RSSI (dBm)	-76,19	-76,07	-76,19	
	PSS (dBm)	-96,16	-100,67	-104,19	
	SSS (dBm)	-95,08	-101,35	-99,66	
	SINR (dB)	-2,37	-11,68	-18,83	
	Freq Err (Hz)	-7,8	-102,56	-5,25	



Figura 55 – Imagen creada por el analizador de espectro / Punto 11

4.2.12. Niveles de Intensidad de Señal RSRP

- ✓ Puntos por celda que dio el equipo

Tabla 26 – Valores de las Celdas Identificadas por la VNA

Punto	Cell-1 RSRP (dBm)	Cell-2 RSRP (dBm)	Cell-3 RSRP (dBm)	Cell-4 RSRP (dBm)	Cell-5 RSRP (dBm)	Cell-6 RSRP (dBm)
P1	-92.43	-100.45				
P2	-83.34	-91.42	-104.29			
P3	-89.51	-93.44	-107.58			
P4	-87.90	-93.03				
P5	-101.03	-101.20	-102.26	-107.34		
P6	-103.95	-107.45	-102.26	-125.04		
P7	-101.46	-106.89	-108.92	-111.16	-116.71	
P8	-98.69	-101.12	-103.05	-105.11	-110.78	-125.27
P9	-88.73	-92.86	-108.63			
P10	-102.57	-107.03	-107.05	-109.99		
P11	-99.57	-106.84	-113.22			

Nota: Las celdas vacías indican que no se detectó señal de esa celda en el punto respectivo.

- ✓ Tabla del mejor RSRP

Tabla 27 – Clasificación y Valorización de los Puntos tomados

Punto	Mejor RSRP (dBm)	Clasificación
P1	-92.43	Regular
P2	-83.34	Buena
P3	-89.51	Buena
P4	-87.90	Buena
P5	-101.03	Deficiente
P6	-102.26	Deficiente
P7	-101.46	Deficiente
P8	-98.69	Regular
P9	-88.73	Buena
P10	-102.57	Deficiente
P11	-99.57	Regular

Criterios: Buena (≥ -90 dBm), Regular (-91 a -100 dBm), Deficiente (< -100 dBm).

4.3. Segundos Resultados Obtenidos

PUNTO 12 AL PUNTO 14 / DIRECCION A LA RADIO BASE DE OTECEL (MOVISTAR) A 1 KILOMETRO DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA.

4.3.1. Punto 12: Parte trasera en la esquina de ATUPSE.

- ✓ **Potencia de señal (RSRP):** En este punto la potencia promedio ronda los -102 dBm, con un mínimo de -103,5 dBm en el sector es un nivel muy débil.
- ✓ **Calidad de señal (SINR):** SINR medio de -3 dB; en otras palabras, la señal útil y el ruido están casi empatados, de modo que la red debe retransmitir paquetes y el rendimiento efectivo baja de categoría.

Tabla 28 – Resultados obtenidos en el Punto 12, Formato en Excel VNA

GPS	2°14'3,334"S	80°52'50.927"W	GPS-139.1 Feet
Attenuation 5dB			
Cells (CC0)		Cell-0	Cell-1
Frequency (GHz)		1.968	1.968
PCI (C-S-G)		406-1-135	404-2-134
C-RS Port		0	0
RSRP (dBm)		-99.55	-103.46
RSRQ (dB)		-13.62	-17.53
RSSI (dBm)		-78.15	-78.15
PSS (dBm)		-96.49	-97.07
SSS (dBm)		-95.64	-96.71
SINR (dB)		-1	-5.63
Freq Err (Hz)		-2.54	-5.49

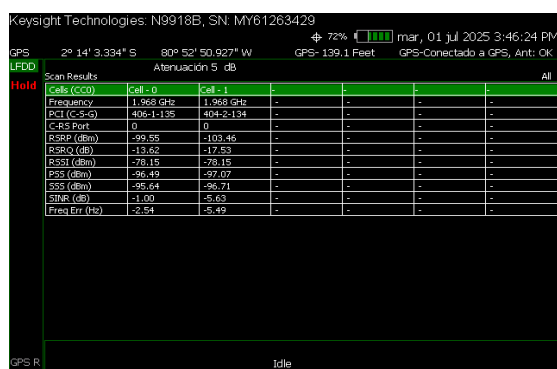


Figura 56 - Resultados por el analizador de espectro en el PUNTO 12

4.3.2. Punto 13: Avanzando unos 10 metros al ESTE.

- ✓ **Potencia de señal (RSRP):** La potencia mejora ligeramente (RSRP promedio -96 dBm, pero el alivio es engañoso por la relación señal ruido
- ✓ **Calidad de señal (SINR):** SINR por debajo de -14 dB señal de interferencia o de ecos múltiples que ahogan el canal aunque en la primera celda se muestra un -5,9 dB, apenas rescatable.

Tabla 29 – Resultados Obtenidos en el Punto 13, Formato en Excel VNA

GPS	2°14'3,382"S	80°52'49.165"W	GPS-152.9 Feet	
	Attenuation 5dB			
Cells (CC0)	Cell-0	Cell-1	Cell-2	Cell-3
Frequency (GHz)	1.968 GHz	1.968 GHz	1.968 GHz	1.968 GHz
PCI (C-S-G)	406-1-135	404-2-134	405-0-135	72-0-24
C-RS Port	0	0	0	0
RSRP (dBm)	-92.1	-94.62	-98.7	-99.47
RSRQ (dB)	-17.29	-19.8	-23.88	-24.81
RSSI (dBm)	-67.04	-67.04	-67.04	-66.88
PSS (dBm)	-93.97	-89	-98.57	-107.84
SSS (dBm)	-93.2	-89.95	-103.4	-93.74
SINR (dB)	-5.9	-6.23	-14.16	-14.07
Freq Err (Hz)	-6.66	-6.84	-13.41	-36.57

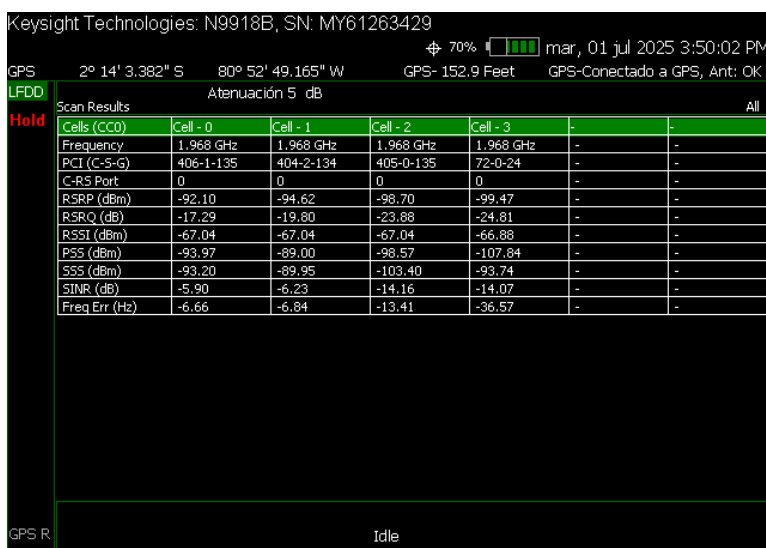


Figura 57 - Resultados por el analizador de espectro en el Punto 13

4.3.3. Punto 14: Dirección al OESTE vía Laboratorio de Telecomunicaciones a unos 8 metros aproximados

- ✓ **Potencia de señal (RSRP):** Aquí aparece el momento ideal: el sector 406-1-135 ofrece -92,5 dBm de RSRP con un SINR positivo de +4,8 dB, una combinación que garantiza modulaciones altas (64-QAM o más) y latencias estables.
- ✓ **Calidad de señal (SINR):** Dos sectores mantienen potencias aceptables -94 dBm y -101 dBm pero su SINR vuelve a zona negativa aun así el promedio global es de -96 dBm / -4,1 dB.

Tabla 30 – Resultados Obtenidos en el Punto 14, Formato en Excel VNA

GPS	2°14'3,775"S	80°52'47.626"W	GPS-115.5 Feet
	Atenuacion 5dB		
Cells (CC0)	Cell-0	Cell-1	Cell-2
Frequency (GHz)	1.968 GHz	1.968 GHz	1.968 GHz
PCI (C-S-G)	406-1-135	404-2-134	405-0-135
C-RS Port	0	0	0
RSRP (dBm)	-92.48	-94.15	-101.55
RSRQ (dB)	-13.91	-15.58	-22.99
RSSI (dBm)	-70.78	-70.78	-70.78
PSS (dBm)	-89.65	-88.62	-92.92
SSS (dBm)	-89.45	-89.63	-94.19
SINR (dB)	4.8	-5.02	-12.2
Freq Err (Hz)	1.73	-1.84	17.44

Cells (CC0)	Cell - 0	Cell - 1	Cell - 2
Frequency	1.968 GHz	1.968 GHz	1.968 GHz
PCI (C-S-G)	406-1-135	404-2-134	405-0-135
C-RS Port	0	0	0
RSRP (dBm)	-92.48	-94.15	-101.55
RSRQ (dB)	-13.91	-15.58	-22.99
RSSI (dBm)	-70.78	-70.78	-70.78
PSS (dBm)	-89.65	-88.62	-92.92
SSS (dBm)	-89.45	-89.63	-94.19
SINR (dB)	4.80	-5.02	-12.20
Freq Err (Hz)	1.73	-1.84	17.44



Figura 58 - Resultados por el analizador de espectro en el Punto 14

4.3.4. Punto 15: Dirección A Radio Base OTECEL (Movistar).

- ✓ **Potencia de señal (RSRP):** Al alejarte de la torre los valores regresan al gris: -100 dBm de RSRP aunque hay un sector más castigado que cae a -102,8 dBm cualquier subida de carga o cambio de propagación (lluvia, más usuarios simultáneos) bastará para dejarte sin servicio estable.
- ✓ **Calidad de señal (SINR):** Un SINR medio de -8 dB y el segundo aún más interferencia al tener 12,5 dB, donde la radio apenas sostiene modulaciones básicas.

Tabla 31 – Resultados Obtenidos en el punto 15, Formato Excel VNA

GPS	2°14'3,709"S	80°52'47.237"W	GPS-141.7 Feet
		Atenuacion 5dB	
	Cells (CC0)	Cell-0	Cell-1
	Frequency (GHz)	1.968 GHz	1.968 GHz
	PCI (C-S-G)	406-1-135	405-0-135
	C-RS Port	0	0
	RSRP (dBm)	-97.16	-102.83
	RSRQ (dB)	-18.14	-23.82
	RSSI (dBm)	-71.24	-71.24
	PSS (dBm)	-93.55	-94.97
	SSS (dBm)	-92.64	-95.25
	SINR (dB)	-3.75	-12.51
	Freq Err (Hz)	11.4	-5.26

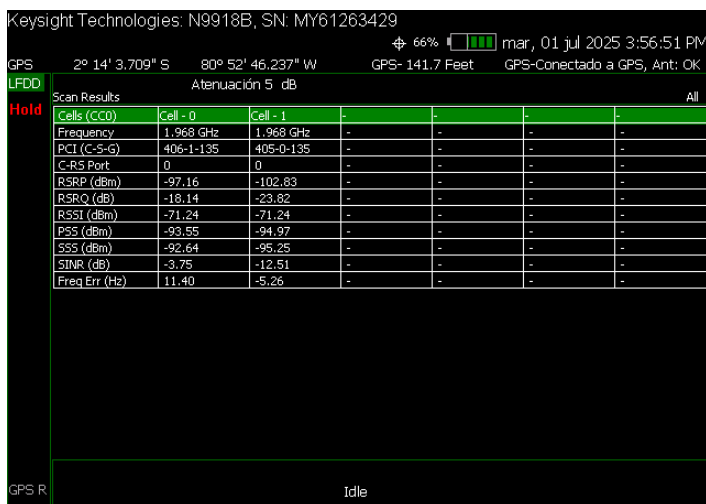


Figura 59 - Resultados por el analizador de espectro en el Punto 15

4.4. Área de Estudio

El área donde se harán los estudios es en la Universidad Estatal Península de Santa Elena Facultad de Ciencias Agrarias donde se tomarán 11 puntos que va desde la Facultad, parte de atrás de la Facultad, laboratorios por la parte de atrás, punta final de la Universidad en esa zona, canchas de futbol parte de atrás, hasta bienestar estudiantil y taller de industrial.

4.4.1 Áreas Específicas de Estudio Dentro de la Universidad.

Las mediciones se realizarán en la facultad de ciencias agrarias de la Universidad estatal península de Santa Elena será toda el área que es bien extensa y donde no hay buena cobertura 4G.

➤ Imágenes de la zona de estudio:



Figura 60 - Área de la Facultad de Ciencias Agrarias

- Separada las zonas de estudio por puntos.



Figura 61 - Zonas seleccionadas

- Área de facultad y parte trasera



Figura 62 - Estudio de la Zona para los primeros Puntos

- Parte de los demás puntos de largo por la vía de atrás



Figura 63 - Parte final sentido OESTE de la vía asfaltada de la UPSE



Figura 64 - Zona Cancha Sintética Universidad

➤ Parte de bienestar estudiantil y taller de industrial



Figura 65 – Zona entre Bienestar Estudiantil y Taller de la Carrera de Industrial

➤ Parte Trasera de Laboratorio de Telecomunicaciones – UPSE



Figura 66 - – Ruta del recorrido en las instalaciones de los laboratorios

4.5. Cronograma de Mediciones.

Tabla 32 - Cronograma de Mediciones con el equipo VNA

Día	Fecha	Horario Matutino (08h00 - 10h00)
Día 1	03/06/25	✓
Día 2	05/06/25	✓
Día 3	06/06/25	✓
Día 4	10/06/25	✓
Día 5	12/06/25	✓
Día 6	16/06/25	✓
Día 7	18/06/25	✓
Día 8	19/06/25	✓
Día 9	20/06/25	✓

4.6. Análisis de Resultados.

4.6.1. Análisis Cuantitativo.

Tabla 33 – Métrica y Resultados sobre este estudio

Métrica	Resultados
Promedio global de RSRP	-101.91 dBm
Máximo (mejor)	-83.34 dBm
Mínimo (peor)	-125.27 dBm

4.6.2. Distribución por Categoría

Tabla 34 - - Clasificación y número de puntos

Clasificación	N. de puntos	Porcentaje total
Buena (≥ -90 dBm)	0	0%
Regular (-91 a -100 dBm)	7	46.7%
Deficiente (< -100 dBm)	8	53.3%

La distribución muestra que más de la mitad de las ubicaciones medidas presentan condiciones de señal con baja cobertura y que casi la otra mitad solo alcanza un nivel regular, al no tener datos totales de posiciones calificadas como buena indica un déficit generalizado tomando con los promedios de las mediciones.

4.6.3. Análisis Cualitativo

Zonas interiores con obstáculos físicos los puntos cinco, seis y siete que están ubicados en aulas/laboratorios nos muestran RSRP < -101 dBm, usuarios reportan cortes de datos y latencias elevadas, especialmente al acceder a plataformas de streaming o videoconferencia.

Entornos abiertos punto dos, tres, cuatro y nueve zonas de exteriores y áreas verdes registran valores ≥ -90 dBm y mantienen llamadas VoLTE e incluso navegación estable. Influencia de materiales como techos metálicos y muros de hormigón contribuyen a la atenuación (> 10 dB) en los bloques académicos; la vegetación densa reduce la señal en el punto ocho (RSRP ≈ -99 dBm).

Congestión horaria durante cambios de clase (08horas – 10 horas) los usuarios perciben degradación de velocidad en los mismos puntos “regular/deficientes”, lo que sugiere que la potencia limitada se combina con sobrecarga de la celda.

4.6.4. Identificación de Patrones y Zonas Críticas.

Tabla 35 - Zona crítica y puntos afectados

Zona crítica (punto)	RSRP promedio (dBm)	Impacto esperado	Imagen del lugar
Punto 5	-103.0	Caídas de sesión y velocidad inestable servicio de voz sobre LTE propenso a cortes.	
Punto 6	-109.7	Cobertura deficiente posible pérdida de señal en interiores y bajo carga.	
Punto 7	-109.0	Igual que punto seis requiere refuerzo.	
Punto 8	-107.3	Aplicaciones de streaming quedan limitadas.	
Punto 10	-106.7	Llamadas y datos se transfieren con lentitud e interferencia.	
Punto 11	-106.5	Desconexiones recurrentes.	
Punto 12	-101.5	Conexión deficiente, altas probabilidades de buffering y latencia.	

4.6.5. Patrones clave

- **Interior vs exterior:** Cada vez que la medición se trasladó al exterior del edificio puntos cuatro y nueve la potencia mejoró entre 8 y 12 dB.
- **Sectorización de la antena:** En casi todos los registros, la Cell-1 presentaba un RSRP ~ 7 dB inferior a la Cell-0 esto indica que la antena/sector principal favorece un eje y deja zonas de sombra laterales, obstáculos recurrentes como muros de hormigón armado y estructuras metálicas (laboratorios) coinciden con los peores RSRP y los SINR más bajos registrados en los CSV originales.

CONCLUSIONES

En esta investigación curricular los resultados obtenidos mediante el uso del equipo Keysight FieldFox N9918B, una antena omnidireccional LTE MikroTik de 5 dBi y junto con una antena GPS han permitido identificar de manera precisa la situación actual de la cobertura 4G en diversos sectores dentro del campus de la Universidad Estatal Península de Santa Elena. El análisis de los parámetros técnicos como RSRP Potencia de señal recibida y SINR Relación señal/interferencia/ruido evidencia que en varios puntos evaluados especialmente en zonas interiores o alejadas de la línea visual directa hacia las torres celulares la intensidad de señal es baja o muy deficiente.

- ✓ Se registraron valores de RSRP debajo de -100 dBm en distintos puntos de los cuales se midió, lo cual es indicativo de una señal débil que puede afectar negativamente la experiencia de los usuarios, produciendo lentitud en la navegación, fallas en la transmisión de datos o incluso pérdida de conectividad, en cuanto a la relación señal ruido algunos datos estuvieron por debajo de 0 dB, lo que indica un entorno de mucha interferencia o ruido donde la calidad de la señal se ve comprometida pese a que la potencia pueda estar dentro de parámetros aceptables.
- ✓ Estos hallazgos confirman que existen zonas de baja cobertura dada la lejanía a las estaciones base dentro del campus universitario particularmente en áreas con obstáculos físicos importantes edificaciones cerradas o zonas periféricas, este panorama representa un desafío para el acceso equitativo a recursos digitales y conectividad móvil, afectando directamente actividades académicas que dependen de una conexión estable y eficiente.
- ✓ Los resultados obtenidos de este trabajo contribuyen con datos para ayudar a la toma de decisiones para la instalación de repetidores o estaciones 4G por parte del servicio móvil avanzado o antenas externas de mayor ganancia o gestiones institucionales con el servicio móvil avanzado para optimizar la cobertura en estas zonas.

RECOMENDACIONES

Instalar nuevas estaciones o repetidores de acuerdo con la necesidad de los datos tomados con esta tesis se recomienda evaluar la posibilidad de instalar repetidores o antenas externas de mayor ganancia en zonas identificadas con baja cobertura, especialmente en espacios interiores o alejados de las torres celulares principales. Esta medida permitiría mejorar la recepción de la señal y por ende la calidad del servicio 4G para estudiantes y personal académico.

Establecer una colaboración con los proveedores de servicios móviles dado que la Universidad es un punto de alta concentración de usuarios, se sugiere a las autoridades institucionales realizar gestiones formales con el servicio móvil avanzados como lo es CONECEL, OTECEL, CORPORACION NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES E.P, para exponer las zonas críticas detectadas y promover ajustes en la infraestructura de red como redireccionamiento de celdas e incorporación de micro celdas o aumento de potencia en el servicio móvil avanzado cercanas.

Diseñar una estrategia institucional para el monitoreo continuo de la cobertura es recomendable implementar un sistema periódico de monitoreo técnico en distintas zonas del campus usando herramientas como el FieldFox u otras más accesibles para dar seguimiento a los cambios en la calidad de señal, esto permitirá tomar decisiones oportunas y sostener una conectividad óptima en el tiempo, considerando que el tráfico y condiciones de red pueden variar.

Impulsar el uso de recursos digitales en zonas con buena cobertura esperando una posible implementación en mejoras estructurales, se requiere sugerir a los estudiantes y docentes para que realicen actividades en línea como las clases virtuales, exámenes, videollamadas en zonas del campus donde los datos de medición se comprobó buena calidad de señal, optimizando así el rendimiento académico y evitando interrupciones.

Ampliar el estudio hacia otras tecnologías móviles como 5G o WiFi en la proyección a futuro sería útil realizar investigaciones similares que incluyan redes 5G o el desempeño del WiFi institucional para comparar tecnologías y establecer soluciones híbridas que aseguren cobertura completa en todo el entorno universitario.

BIBLIOGRAFIA

- [1] W. Xu, W. Trappe, Y. Zhang, and T. Wood, "The Feasibility of Launching and Detecting Jamming Attacks in Wireless Networks," 2005.
- [2] A. Reyes Tigrero, D. Roxana, and S. Elena, "ESTUDIO PARA LA EXPANSIÓN DE COBERTURA DEL SERVICIO DE INTERNET PARA LA COMUNA PALMAR: CASO COMPAÑÍA SUMPA TV," 2023.
- [3] S. H. Tisalema, P. C. Torres, N. J. Cuchiparte, and B. R. Moreno., "Análisis de la calidad del servicio de las operadoras de telefonía móvil en la ciudad de Ambato," *Ciencia Digital*, vol. 3, no. 3.3, 2019, doi: 10.33262/cienciadigital.v3i3.3.770.
- [4] "Informe-IRC-MINTEL-2020".
- [5] "Resolucion-ARCOTEL-2020-0264".
- [6] F. De Sistemas, Y. Telecomunicaciones, and T. De Titulación, "Optimizacion de una red LTE de la provincia de santa elena."
- [7] C. De Telecomunicaciones, C. Historico, and D. E. Ambato, "ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA "ANALISIS DE COBERTURA RADIOELECTRICA PARA LA RED 4G DE CNT UTILIZANDO DISPOSITIVOS MOVILES EN EL," 2023.
- [8] P. DE Santa Elena Facultad De Sistemas Y Telecomunicaciones Escuela De Electrónica Y Telecomunicaciones and P. DE Provincia Santa Elena, "UNIVERSIDAD ESTATAL TERM EVOLUTION) PARA OBTENER LA ACTUALIZACIÓN TECNOLÓGICA DE TELEFONÍA MÓVIL E INTERNET DE LA CNT E," 2013.
- [9] "La cobertura de banda ancha móvil_zonas rurales".

- [10] S. H. Tisalema, P. C. Torres, N. J. Cuchiparte, and B. R. Moreno., “Análisis de la calidad del servicio de las operadoras de telefonía móvil en la ciudad de Ambato,” *Ciencia Digital*, vol. 3, no. 3.3, pp. 59–76, Sep. 2020, doi: 10.33262/cienciadigital.v3i3.3.770.
- [11] “Plan-de-Creación-de-Oportunidades-2021-2025-Aprobado”.
- [12] K. Technologies, “FieldFox Handheld Analyzers.” [Online]. Available: www.keysight.com
- [13] VIU, “Ciencia y Tecnología,” Mar. 2018. [Online]. Available: <https://www.universidadviu.com/int/actualidad/nuestros-expertos/evolucion-de-la-red-de-comunicacion-movil-del-1g-al-5g>
- [14] J. Carlos and A. Aldás, “ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE CIENCIAS ADMINISTRATIVAS,” 2016.
- [15] Ing. David Oswaldo Castillo Contreras, “UNIVERSIDAD CATÓLICA,” Aug. 2017.
- [16] “TEMA I SERVICIOS 2.5G Curso Desarrollo de Servicios para Telefonía Móvil 2.5G y 3G.”
- [17] José Manuel Huidobro, “UMTS la 3era generacion de moviles”.
- [18] G. N. Patricia Florido, ““Estudio y caracterización de la integración e implementación del estándar LTE (Long Term Evolution) a las redes existentes de la,” Sep. 2012.
- [19] C. Calle, ; María, and S. Jiménez, “Estudio y Análisis Técnico Comparativo entre las Tecnologías LTE y LTE Advanced.”

- [20] Gonzalo, “Capítulo 2: LTE o la Cuarta Generación (4G) de Comunicaciones Móviles CAPÍTULO 2: LTE O LA CUARTA GENERACIÓN (4G) DE COMUNICACIONES MÓVILES 2.1 Introducción.”
- [21] J. Luis, M. Autor, and J. Gualda Muñoz, “ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D’ENGINYERIA DE TELECOMUNICACIÓ DE BARCELONA Estudio de la arquitectura de protocolos de LTE.”
- [22] “Suplemento No 328-Registro Oficial 2 Viernes 9 de junio de 2023.”
- [23] “Listas de frecuencias disponibles”.
- [24] “Estadísticas_ telecomunicaciones en Ecuador – TeleSemana.com”.
- [25] “BoletinEstadistico-May2020-SMA-CoberturaInfraestructura”.
- [26] J. De Tomás Villamayor, “Evaluación del suelo de ruido por interferencia cocanal para la planificación LTE.”
- [27] Javier Soto Mon, “REDES 3G,4G,5G - Tech Riders,” 2018.
- [28] UIT, “UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES,” 2001.
- [29] Juan Del Brio, “¿Qué es el Nivel de Potencia en dBm?,” Apr. 2024.
- [30] Norfipc.com, “Intensidad y nivel de la señal en redes móviles 2G, 3G y 4G”.
- [31] teltonika, “Recomendaciones de intensidad de señal móvil - Wiki de Teltonika Networks”.
- [32] telcoAntenas, “Guía de referencia de la intensidad de la señal 4G LTE para redes móviles”.