

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

SIMULACIÓN DE REDES CELULARES PARA LA PARROQUIA CALDERÓN DEL DMQ

PLANIFICACIÓN Y SIMULACIÓN DE UNA RED LTE A 2220 MHz PARA LA PARROQUIA CALDERÓN DEL DMQ

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO SUPERIOR
EN REDES Y TELECOMUNICACIONES**

ANTHONY XAVIER CAIZA NARVÁEZ
anthony.caiza@epn.edu.ec

DIRECTOR: ANDRES FERNANDO REYES CASTRO
andres.reyes@epn.edu.ec

DMQ, agosto 2023

CERTIFICACIONES

Yo, ANTHONY XAVIER CAIZA NARVÁEZ declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

ANTHONY XAVIER CAIZA NARVÁEZ

anthony.caiza@epn.edu.ec

anthonyxcaiza2001@gmail.com

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por ANTHONY XAVIER CAIZA NARVÁEZ, bajo mi supervisión.

ANDRES FERNANDO REYES CASTRO

DIRECTOR

andres.reyes@epn.edu.ec

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

ANTHONY XAVIER CAIZA NARVÁEZ

DEDICATORIA

El amor de mi familia siempre ha estado presente en todas mis etapas académicas y la universidad no fue la excepción, por ello dedico mi esfuerzo de titulación a mis padres Jorge y Ximena que con su sabiduría y amor supieron darme apoyo incondicional en los mejores momentos y más aún en los peores, motivándome a seguir mejorando como estudiante y sobre todo como una persona de bien, no puedo olvidar a mis hermanos David y Alex quienes me han sabido aconsejar y apoyar en toda mi trayectoria universitaria dándome valiosos consejos de superación y motivación. A mis abuelitas Rebeca y Catalina quienes fueron mi inspiración de superación, admirando lo fuerte que pueden llegar a ser las mujeres y sobre todo la humildad y sencillez que caracteriza la esencia de una persona, en donde se encuentren les dedico este trabajo de titulación mis viejitas.

Anthony Xavier Caiza Narváz

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios quien me brinda salud y sabiduría en mi vida, agradezco a mi familia quien supo proporcionarme apoyo y comprensión en mis actividades universitarias. Resalto mi agradecimiento a mi tutor de tesis el Ing. Andrés Reyes que supo darme paciencia y consejos en todo el trayecto del trabajo de titulación, aprendiendo varios aspectos académicos y sobre todo valores como el respeto, dedicación y cumplimiento.

A todos los ingenieros que fueron parte de mi formación académica y supieron brindarme su conocimiento sobre la carrera, y, por último, pero no menos importante agradezco a mis amigos Lizbeth, Erick, Mateo y Jordán quienes me han brindado una verdadera amistad en momentos buenos y malos.

Anthony Xavier Caiza Narváz

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIONES	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
ÍNDICE DE CONTENIDOS	V
RESUMEN	VIII
<i>ABSTRACT</i>	IX
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO	1
1.1 Objetivo general.....	1
1.2 Objetivos específicos	1
1.3 Alcance.....	2
1.4 Marco Teórico.....	2
Tecnología LTE	2
Arquitectura LTE	3
Equipo de Usuario (UE).....	4
evolved Node B (eNB)	5
OFDMA	5
Radio Mobile	6
Google Earth	6
Grid Creator.....	7
Presupuesto de enlace	7
Sensibilidad del receptor	9
Modelo de propagación Cost 231	9
2 METODOLOGÍA	10
3 RESULTADOS.....	11

3.1	Identificación de las características de la tecnología celular LTE.....	12
	Elementos de un eNB.....	12
	Remote Radio Unit (RRU)	12
	Antena.....	13
	PRB (Physical Resource Block).....	14
3.2	Identificación de las características de la zona donde se realizará la planificación de la red LTE.....	15
	Delimitación de la parroquia de Calderón	15
3.3	Planificación de la red celular de acuerdo a criterios de cobertura.....	17
	Presupuesto de enlace implementado en la parroquia de Calderón	17
	Cálculo del presupuesto de enlace	18
	Potencia de sensibilidad del receptor	18
	Potencia de transmisión	20
	Pérdida por conectores en el transmisor	20
	Márgenes	20
	Ganancias.....	22
	Pérdida por propagación	22
	Distancia de la celda.....	22
	Distancia entre sitios.....	23
	Identificación de zonas	24
3.4	Simulación de la red LTE median el software RadioMobile.....	27
	Plano de la parroquia de Calderón	27
	Diseño de la red celular LTE en Radio Mobile	29
3.5	Verificación de la cobertura resultante y la viabilidad de los enlaces...	34
4	CONCLUSIONES	38
5	RECOMENDACIONES	39
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40
7	ANEXOS.....	i

ANEXO I: Certificado de Originalidad ii

ANEXO II: Enlaces iii

RESUMEN

En el presente Trabajo de Integración Curricular se lleva a cabo la planificación y simulación de una red celular LTE a 2220 (MHz) en la parroquia de Calderón, a través del uso de *Radio Mobile*, *Google Earth* y *Grid Creator*, además de una serie de parámetros investigados y calculados que permiten establecer parámetros de la propagación de la red celular LTE.

En la primera sección se define la tecnología LTE y la arquitectura de su red de acceso, además se presenta una investigación de los elementos que hacen posible el funcionamiento de esta tecnología.

En la segunda sección se detalla la metodología utilizada, para la recolección de información y datos en base al alcance del Trabajo de Integración Curricular.

En la tercera sección se define los elementos necesarios, así como sus parámetros, para realizar la simulación de la red LTE. También, se lleva a cabo una serie de procedimientos matemáticos que determinan la base de la simulación en *Radio Mobile* y se realiza la comprobación del área de cobertura con *Google Earth*, además de la verificación de enlaces punto-punto.

Por último, se definen conclusiones y recomendaciones de acuerdo a la simulación de la red LTE.

PALABRAS CLAVE: LTE, planificación de red, *Radio Mobile*, *Google Earth*, *Grid Creator*.

ABSTRACT

In this Curricular Integration Work, the planning and simulation of an LTE cellular network at 2220 (MHz) in the parish of Calderón is carried out through the use of Radio Mobile, Google Earth and Grid Creator, in addition to a series of investigated and calculated parameters that allow establishing parameters of the propagation of the LTE cellular network.

The first section defines the LTE technology and the architecture of its access network, and also presents an investigation of the elements that make possible the operation of this technology.

The second section details the methodology used for the collection of information and data based on the scope of the Curricular Integration Work.

The third section defines the necessary elements, as well as their parameters, to perform the simulation of the LTE network. Also, a series of mathematical procedures are carried out to determine the basis of the simulation in Radio Mobile and the verification of the coverage area with Google Earth, as well as the verification of point-to-point links.

Finally, conclusions and recommendations are defined according to the LTE network simulation.

KEYWORDS: *LTE, network planning, Mobile Radio, Google Earth, Grid Creator.*

1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

La evolución de la tecnología celular crece constantemente con la necesidad del usuario, debido al continuo desarrollo de los terminales móviles y nuevas aplicaciones. En Ecuador las redes celulares LTE están siendo implementadas con gran rapidez, debido a que cubre satisfactoriamente los requerimientos de altas velocidades de descarga del usuario, reemplazando a tecnologías antiguas cuyas velocidades son menores.

Por lo cual, es necesario planear de forma adecuada el despliegue de las redes celulares LTE, por ello en este proyecto se simula una red celular LTE a 2220 (MHz) en una zona urbana de la ciudad de Quito mediante el *software Radio Mobile*. Además, se realizan una serie de cálculos que permiten definir la dimensión y el tamaño de una celda y la distancia entre radiobases.

Una vez establecido el tamaño total de cada radiobase, se realiza una simulación compuesta con cada una de ellas, obteniendo la cobertura total sobre el área de Calderón, dicha cobertura es observada de una mejor forma en *Google Earth*, y se analiza el nivel de señal a través de enlaces punto-punto.

1.1 Objetivo general

Simular una red celular LTE para la parroquia Calderón del DMQ.

1.2 Objetivos específicos

- Identificar las características de la tecnología celular LTE.
- Identificar las características de la zona donde se realizará la planificación de la red LTE.
- Planificar la red celular LTE de acuerdo a criterios de cobertura.

- Simular la red LTE mediante el *software Radio Mobile*.
- Verificar la cobertura resultante y la viabilidad de los enlaces.

1.3 Alcance

Por medio del presente proyecto se busca realizar la planificación de la red celular LTE para la parroquia Calderón del DMQ bajo criterios de cobertura y de acuerdo a la banda de frecuencia especificada para cada componente. En primer lugar, se realizará una recopilación de las características y elementos de la red de acceso de cada tecnología. También se identificarán las características del área de planificación.

Una vez obtenidas todos los parámetros esenciales, se realizará el presupuesto del enlace para calcular el tamaño de una celda y el número de celdas necesarias. Cada celda debe contar con datos de altura, azimut y ángulo de inclinación. Con los datos y sitios de la planificación se realiza la simulación para validar los cálculos y realizar ajustes de ser necesario. En la simulación se debe garantizar que los sitios no se ubiquen en lugares indebidos (calles, ríos, quebradas, etc.).

Finalmente, con los resultados de la simulación se validará la cobertura de la red, así como la viabilidad de los enlaces *downlink* y *uplink* en los límites de cobertura de la red.

1.4 Marco Teórico

Tecnología LTE

El estándar para comunicaciones móviles *Long Term Evolution* (LTE) fue desarrollado por *3rd Generation Partnership Project* (3GPP) con el objetivo de superar las capacidades de las anteriores tecnologías 2G y 3G, es decir, aumentar la velocidad de transmisión, movilidad, eficiencia espectral, número de usuarios y la disminución de latencias. En otras palabras, LTE, ha sido implementado para brindar una mayor calidad y un mayor número de servicios al usuario que sus tecnologías antecesoras, como se puede observar en la Tabla 1.1. Otro factor

importante de esta tecnología es su funcionamiento en base al protocolo de internet (IP), por lo cual, tiene la posibilidad de manejar IPv4 e IPv6 [1] [2].

Tabla 1.1 Tabla comparativa de tecnologías celulares [2]

	WCDMA (UMTS)	HSPA	LTE	LTE Avanzado
Máx. velocidad en UL	348 Kbps	14 Mbps	100 Mbps	1 Gbps
Máx. velocidad en DL	128 Kbps	5.7 Mbps	50 Mbps	500Mbps
Latencia	150 ms	100 ms	10 ms	Menos a 5ms
Versiones 3GPP	99/4	5/6	8	10

4th Generation Long Term Evolution (4G LTE), como su propio nombre lo dice es la cuarta generación de telefonía móvil, la cual implementa en *downlink* la tecnología *Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA)* y en *uplink* utiliza *Single Carrier- Frequency Division Multiple Access (SC- FDMA)*. Los anchos de banda que maneja LTE son de 1.4, 3, 5, 10, 15 y 20 (MHz), subrayando que al máximo ancho de banda puede alcanzar las velocidades en el canal de bajada de 326.5 (Mbps) con *Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) 4x4*, mientras con *MIMO 2x2* alcanza una velocidad de 172.8 (Mbps). Por otro lado, el canal de subida tendrá un pico de 86.5 (Mbps) [2].

Arquitectura LTE

La arquitectura de LTE está basada en los estándares de 3GPP. En esta arquitectura se establece las características del equipo del usuario y una red que se estructura lógicamente en una red troncal y una red de acceso [1] [3].

El estándar LTE utiliza la red de acceso *Evolved Universal Terrestrial*

RadioAccess Network (E-UTRAN), la cual es sucesora de la red UTRAN. Mientras, la red troncal del estándar LTE que maneja conmutación de paquetes es *System Architecture Evolution* (SAE), pero, es conocida formalmente como Evolved Packet Core (EPC) [1] [3].

Por lo tanto, los elementos fundamentales de la arquitectura de la red LTE son: E-UTRAN y EPC. Tanto E-UTRAN como EPC dan su servicio basado en la transferencia de información en paquetes IP. La interfaz que permite la interconexión entre E-UTRAN con EPC se denomina S1, la interfaz Uu es la unión entre el terminal del usuario y E-UTRAN, mientras, la interfaz S-Gi de la EPC es la que permite la conexión con redes externas, esta estructura se muestra en la Figura 1.1 .

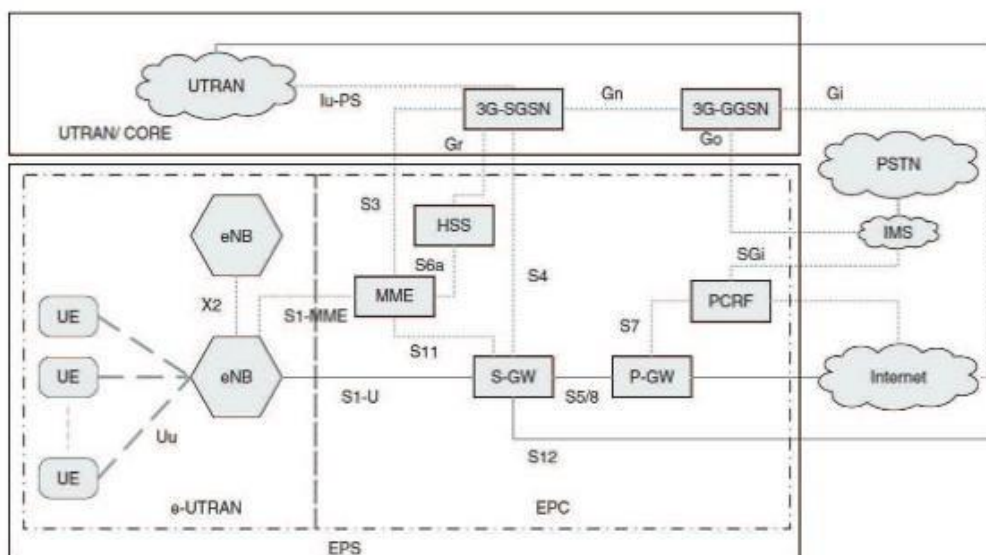


Figura 1.1 Arquitectura de una red celular LTE [3]

Equipo de Usuario (UE)

Dicho dispositivo permite acceder a los usuarios a los servicios que ofrece la red celular LTE. Este dispositivo cuenta con una tarjeta denominada *Subscriber Identity Module* (SIM). La tarjeta SIM contiene la información que es necesaria para acceder a la red móvil LTE del proveedor del servicio a través de la interfaz radio [4].

evolved Node B (eNB)

La radiobase implementada en la red celular LTE, se denomina como eNB, este equipode red celular es un elemento hibrido debido a que cumple funciones tanto de estaciónbase y controlador. Este elemento de red permite la interconexión al núcleo de EPC implementado una red IP, de la misma forma, dicho elemento utiliza en *backhaul* dos interfaces lógicas, la interfaz X2 utilizada para la comunican entre eNodeBs y la interfazS1 enfocada en el transporte del tráfico entre eNodeBs y EPC. Se debe recalcar que eNB es el único elemento funcional de E-UTRAN [5].

Algunas de las funciones que cumple eNodeB son:

- Siendo el único elemento a nivel físico en E-UTRAN, este elemento de red estáencargado de modula, demodular y codificar los canales, mientras en el control de enlace de radio los detecta y corrige errores [5].
- Control de recursos de radio, como la liberación, cambio y detección. Además, gestiona la movilidad, es decir, establece medidas y traspasos [5].
- La red celular LTE utiliza la estrategia de Round Robin, con la cual, distribuye equitativamente los recursos en frecuencias y tiempo que cuenta el eNB a los respectivos terminales de los usuarios [5].

OFDMA

La técnica que se ocupa en el enlace descendente para acceder a la red celular LTE es OFDMA. Esta técnica es empleada debido a que permite que todos los símbolos modulados sobre la subportadora sean diferentes entre sí y pertenezca a diferentes usuarios, observando un claro ejemplo de multiplexación OFDMA en la Figura 1.2. Con ello se puede implementar mayor flujo de información a través de varias transmisiones simultaneas sobre diferentes subportadoras [4].

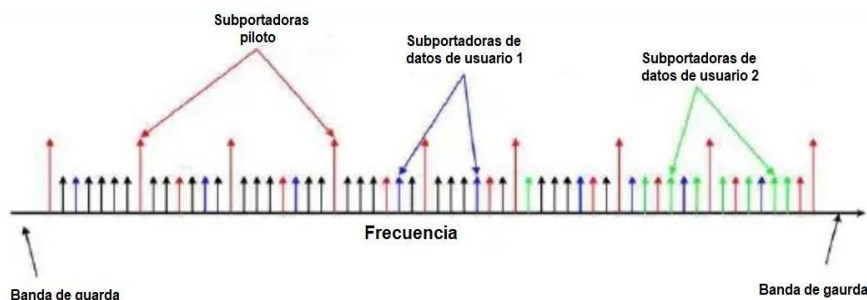


Figura 1.2 Funcionamiento de OFDMA [4]

Entre los beneficios que OFDMA ofrece están [4]:

- **Diversidad multiusuario:** permite que cada subportadora sea asignada a los usuarios de forma dinámica. Se debe mencionar que el desvanecimiento del canal radio sufre desvanecimiento en las subportadoras, por lo cual, se puede asignar las subportadoras a los usuarios que mantengan una mejor señal a ruido. Este proceso se lo denomina *scheduling*.
- **Diversidad frecuencial:** la asignación de portadora no contiguas a un mismo usuario.

Radio Mobile

Radio Mobile fue desarrollado por Roger Coudé, este software gratuito permite la simulación de radio propagación, es decir, permite simular el comportamiento de radiobases, su cobertura, entre otras características. Dicho *software* permite manejar sistemas a frecuencias entre 20 (MHz) y 20 (GHz).

Una característica de *Radio Mobile* es su trabajo con elevaciones del terreno obtenidas de internet gratuitamente, con lo cual se puede centrar en mapas específicos, obteniendo información específica de la propagación radioeléctrica. Dichos datos de elevación son obtenidos de varias fuentes como *Shuttle Terrain Mapping Mission* (SRTM) [6].

Google Earth

Este programa está enfocado en dar información geográfica, dicho

programa permite obtener información en tres dimensiones de todo el planeta Tierra. Combina imágenes satelitales, mapas e implementa el buscador de Google. Está disponible tanto para los sistemas operativos de Windows, Mac y Linux, además, se lo encuentra de forma gratuita. [7]

Google Earth tiene características educativas como [8]:

- Interacción del usuario con la Tierra con efectos tridimensionales.
- Identificar y localizar adecuadamente topónimos como volcanes mares, entre otros lugares geográficos.
- Observar relieves tanto terrestres como submarinos con una perspectiva 3D.

Grid Creator

Es una herramienta interactiva que tiene el objetivo de crear de forma fácil figuras, con información de las dimensiones en donde se realizara la implementación de dichas figuras, por lo cual es una herramienta útil que interactúa con otras herramientas como *Google Earth* facilitando el despliegue de figuras.

Presupuesto de enlace

El cálculo que se implementa para alcanzar calidad de servicio respecto a la señal de un radioenlace es el presupuesto de enlace. El cálculo considera los aspectos de ganancias y pérdidas, como se muestra en la Figura 1.3, además, usa márgenes con el fin de garantizar la señal mínima necesaria en la celda que cubrirá [9].

El presupuesto de enlace considera los factores tanto en *uplink* y *dowlink*, excepto en el caso donde el sistema sea balanceado ya que la señal se degrada de la misma forma a ambos lados [9].



Figura 1.3 Presupuesto de enlace [9]

El presupuesto de enlace utilizado para el *dowlink* de LTE se representa matemáticamente en la Ecuación 1.1:

$$P_r = P_t - L_{ft} + G_{tx} - L_p - M_{SF} - M_D + G_{MD} + G_{HO} - M_{ff} - M_{IB} + G_{rx} - L_{fr}$$

Ecuación 1.1 Formula de presupuesto de enlaces [9]

Donde:

- P_r : Sensibilidad del receptor
- P_t : Potencia de transmisión
- L_{ft} : Perdida por conectores en el transmisor
- G_{tx} : Ganancia de la antena del transmisor
- L_p : Perdida por propagación
- M_{SF} : Margen de *shadow fading*
- M_D : Margen de interferencia
- M_{ff} : Margen de *fast fading*
- G_{rx} : Ganancias del receptor
- G_{MD} : Ganancia de micro diversidad
- G_{HO} : Ganancia por *handover*
- M_{IB} : Margen dentro de edificios
- L_{fr} : Perdida por conectores en el receptor

Sensibilidad del receptor

Este parámetro determina la potencia mínima que el equipo de usuario puede recibir para decodificar las señales emitidas por un eNB y con ello acceder al servicio de la red celular con una calidad adecuada. La sensibilidad del receptor depende de las variables que se encuentran en la Ecuación 1.2 [9].

$$Pr = K * T * B * NF * SNR[W]$$

Ecuación 1.2 Formula de sensibilidad del receptor [9]

Donde:

- K : Es la constante de Boltzman ($1.38 * 10^{-23} \text{joules/}^\circ\text{K}$)
- T : Es la temperatura absoluta en $^\circ\text{K}$
- NF : Es el factor de ruido, en LTE es 9 (dB) ≈ 7.94 (veces)
- SNR : Es la relación señal/ruido
- B : Es el ancho de banda en (Hz)

- Factor de ruido: su función es indicar cuanto se degrada la relación señal/ruido. Mientras menor factor ruido el rendimiento será mejor [9].
- Relación señal/ruido: su función es indicar la cantidad de ruido que existe en la señal, se representa como el cociente entre la potencia de la señal y la potencia del ruido. Por lo cual, mientras mayor sea su valor significa que el ruido introducido en la señal es muy bajo y viceversa [9].

Modelo de propagación Cost 231

Los modelos de propagación facilitan la representación de la realidad respecto a la atenuación de las señales de radiofrecuencia de una radiobase y un terminal móvil, planteándola como una expresión matemática. Existe el modelo *OKUMURA* que es aplicado en zonas urbanas y suburbanas que usen frecuencias entre 150 (MHz) y 1500 (MHz). Además, existe el modelo Cost 231 que es una extensión del

modelo Okumura, con la diferencia de que Cost 231 trabaja con frecuencias mayores a 1500 (MHz), siendo este implementado en sistemas celulares de cuarta generación, como se indica en la Ecuación 1.3 donde C_M considera el entorno, dando un valor de 0 (dB) a ciudades medianas y áreas suburbanas mientras 3 (dB) para ciudad metropolitanas [9].

$$L_{urbano} = 46.3 + 33.9(fMHz) - 13.82 \log(hBS) - [3.2(\log(11.75h_{mobile}))^2 - 4.97] + (44.9 - 6.55 \log(hBS)) \log(dkm) + C_M$$

Ecuación 1.3 Modelo de propagación Cost 231 [9]

Donde:

- f : Frecuencia de operación de la red celular LTE
- hBS : Altura de la radiobase en metros
- h_{mobile} : Altura del terminal móvil en metros
- dkm : Distancia de la celda en kilómetros
- C_M : Entorno donde se propagará la red celular LTE
- L_{urbano} : Pérdida por propagación

2 METODOLOGÍA

Se comenzó investigando sobre la tecnología LTE abarcando la velocidad de transmisión en los enlaces *downlink* y *uplink*, latencias, anchos de banda que puede manejar, además, se definió los parámetros de los elementos de red como el tipo de antena, potencia, diagrama de antena, pérdida de conectores y demás datos que fueron pertinentes con los cuales se llevó a cabo la simulación.

Tras obtener información del Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) de Calderón, se definieron datos como el clima de la parroquia de Calderón, además, de conseguir el perfil de la jurisprudencia de Calderón, con lo cual se pudo graficar la parroquia en la herramienta *Google Earth* y obtener el área de la misma, además, de reconocer áreas

en donde no es necesario el despliegue de radiobases debido a que se trata de zonas donde no existe población.

Para establecer la cobertura de la red celular, el número de celdas y el número de radiobases se llevó a cabo varios cálculos con el fin de encontrar datos de la red celular, como, la distancia de la celda y la sensibilidad del receptor; permitiendo definir el número de radiobases necesarias para dar cobertura a la parroquia de Calderón.

Al haber establecido los sitios adecuados para las 30 radiobases se procedió a simular en el *software Radio Mobile*, con lo cual se verificó que el área de cobertura de la red LTE es la adecuada, cubriendo el área de la parroquia de Calderón.

Una vez establecido la cobertura pertinente para la red celular LTE en la parroquia de Calderón, se verificó la validez de los radioenlaces punto-punto, estableciendo dos escenarios: uno donde el usuario este ubicado dentro de la cobertura de la red celular LTE y otro escenario en donde el usuario se encuentre en el borde de la cobertura de la red celular, comprobando la potencia del receptor y comparando en los diferentes escenarios.

3 RESULTADOS

La planificación de la red celular LTE implementada en la parroquia de Calderón del DMQ, cubre todas todos los sectores poblados de la parroquia. Por lo cual, se establecieron los parámetros adecuados en las celdas de cada radiobase, garantizando la cobertura y así cubrir las necesidades de los usuarios. Además, se evitó colocar radiobases en zonas no pobladas como quebradas o ríos. Todo el diseño de la red celular fue realizado bajo las características de la red celular LTE a una frecuencia de 2220 (MHz) siendo esta una banda destinada para el

despliegue de servicios móviles avanzados.

El diseño y la simulación de la red celular LTE se llevó a cabo con la ayuda de las herramientas *Radio Mobile*, *Google Earth* y *Grid Creator*. Con *Radio Mobile* se obtuvo la simulación de cobertura de la red celular, mientras, *Google Earth* permitió observar un mejor perfil visual de las localidades de cada radiobase y *Grid Creator* facilitó la creación de los puntos que fueron considerados como radiobases en la simulación. Con ayuda de estas herramientas se pudo sectorizar la parroquia de Calderón de una forma uniforme para el despliegue de la red celular.

3.1 Identificación de las características de la tecnología celular LTE.

Elementos de un eNB

La red de acceso, que permite al usuario acceder a la red celular LTE y utilizar los servicios de la operadora, está compuesta por varios eNB desplegados en el área de servicio. Así mismo, el eNB está compuesto por subelementos que juntos conforman la radiobase, cada uno de estos subelementos cumplen una función específica para el funcionamiento adecuado de un eNB. Con la implementación de los subelementos adecuados se garantiza el uso adecuado de frecuencias y propagación de la red celular LTE.

Por ello, los equipos y parámetros de la radiobase deben ser seleccionados adecuadamente para cumplir con los requerimientos de cobertura y, evitar interferencias y zonas sin cobertura.

Remote Radio Unit (RRU)

El término RRU se refiere a una unidad de radio remota. Es un componente esencial en las redes de telecomunicaciones móviles, como las redes 4G LTE y 5G, ya que cumplen la función de recibir, transmitir y procesar frecuencias usadas por los usuarios móviles. Para el despliegue de la red celular LTE en la parroquia de Calderón se empleó la RRU3262 2T4R ya que cumple con la frecuencia y tecnología

establecida, este modelo se observa en la Figura 3.1 [10], [11].



Figura 3.1 RRU 3262 2T4R [11]

Debido a que este modelo de RRU fabricada por Huawei cumple con requerimiento de la frecuencia de 2220 (MHz), cumple con la tecnología LTE y su potencia es de 60 (W), es el elemento adecuado para la realizar la planificación de la red celular LTE en la parroquia de Calderón.

Antena

El elemento que es utilizado para la propagación de la red celular LTE es la antena. Cada antena está diseñada para manejar una o varias frecuencias específicas. Además, establece el patrón de propagación de forma horizontal y vertical.

Los parámetros que se utilizaron para la propagación y simulación de la red LTE en la parroquia de Calderón, están basadas en la antena 800 10652 65° tipo panel; en la Figura 3.2 se observa el elemento físico [12].



Figura 3.2 Antena 800 10652 65° tipo panel [12]

La antena 800 10652 65° tipo panel maneja la frecuencia de 2220 (MHz), cuya frecuencia es la necesaria para el despliegue de la red celular LTE en la parroquia de Calderón, por ello es implementada en la eNB de la

red celular. Además, su ganancia es de 18.3 (dBi), lo que significa que se reducirá el número de radiobases, optimizando el número de las mismas, las características de la antena se enlistan en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Características de la antena 800 10652 65° [12]

Especificación	Información
Rango de frecuencia	1710-2690 (MHz)
Conector	7 – 16 DIN female
Ganancia	18.3 (dBi)

La propagación de la antena 800 10652 65° tipo panel depende del patrón de propagación de la misma, ya que a función de este se direccionará las señales electromagnéticas de la radiobase a los usuarios. Por ello se debe conocer el tipo de patrón de propagación de la antena (Figura 3.3).

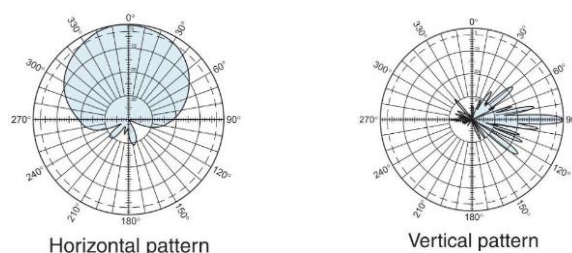


Figura 3.3 Patrón de propagación de la Antena 800 10652 65° [12]

PRB (Physical Resource Block)

El recurso más importante y limitado que ocupa la red celular LTE es el espectro de radiodifusión. Ya que este elemento, es el que permite al usuario acceder a la red celular LTE. Por lo cual, es de vital importancia administrar de forma óptima dichos recursos a los usuarios, garantizando la calidad de servicio (QoS).

En LTE el recurso radioeléctrico se asigna al usuario en unidades de PRB. Siendo estas unidades el mínimo elemento de información que asigna un eNB a una UE. Un PRB ocupa 180 (KHz), lo que equivale a

12 subportadoras de 15 (KHz) y en el mismo se transmite 7 símbolos OFDMA. Si la red LTE tiene disponible un ancho de banda de 20 (MHz), contará con 100 PRB [13] [4].

Para la simulación de la red celular LTE en la parroquia de Calderón se asignó los recursos del espectro radioeléctrico en función a la velocidad de transmisión de los usuarios en el borde de cobertura de la celda. De acuerdo a [14], [15], la velocidad de transmisión que posee un usuario en el borde de la celda en una red celular LTE es de 2 (Mbps), con este dato se determinó que se debe asignar 12 PRB, según la Figura 3.4.

I_{TBS}	N_{PRB}									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0	288	328	344	376	392	424	456	488	504	536
1	376	424	456	488	520	568	600	632	680	712
2	472	520	568	616	648	696	744	776	840	872
3	616	680	744	808	872	904	968	1032	1096	1160
4	776	840	904	1000	1064	1128	1192	1288	1352	1416
5	968	1032	1128	1224	1320	1384	1480	1544	1672	1736
6	1128	1224	1352	1480	1544	1672	1736	1864	1992	2088
7	1320	1480	1608	1672	1800	1928	2088	2216	2344	2472
8	1544	1672	1800	1928	2088	2216	2344	2536	2664	2792
9	1736	1864	2024	2216	2344	2536	2664	2856	2984	3112
10	1928	2088	2280	2472	2664	2792	2984	3112	3368	3496
11	2216	2408	2600	2792	2984	3240	3496	3624	3880	4008
12	2472	2728	2984	3240	3368	3624	3880	4136	4392	4584
13	2856	3112	3368	3624	3880	4136	4392	4584	4968	5160
14	3112	3496	3752	4008	4264	4584	4968	5160	5544	5736
15	3368	3624	4008	4264	4584	4968	5160	5544	5736	6200
16	3624	3880	4264	4584	4968	5160	5544	5992	6200	6456
17	4008	4392	4776	5160	5352	5736	6200	6456	6712	7224
18	4392	4776	5160	5544	5992	6200	6712	7224	7480	7992
19	4776	5160	5544	5992	6456	6968	7224	7736	8248	8504

Figura 3.4 Asignación de PRB según la Velocida [15]

El *Transport Block Size Index* (ITBS) indica la cantidad de bits que puede ser transportados en un PRB, en función del tipo de modulación digital. Debido a que un equipo ubicado al borde de la celda no presenta una buena potencia de señal, la cantidad de información que puede ser transportada no puede ser muy alta, por lo cual se escoge un ITBS de 10 [16].

3.2 Identificación de las características de la zona donde se realizará la planificación de la red LTE

Delimitación de la parroquia de Calderón

Para poder realizar la planificación y la simulación de la red celular LTE, se utilizó *Google Earth* debido a su facilidad de identificar la zona geográfica en cuestión. La delimitación de la parroquia de Calderón se

basó en la información de límites terrestres que ofrece el GAD de Calderón. La parroquia de Calderón cuenta con un clima desértico templado seco, con grandes vientos en la época de verano e intensa pluviosidad en los meses de noviembre a mayo [17]. Con dicha información se identificó los barrios y parroquias, como se muestra en la Figura 3.5.

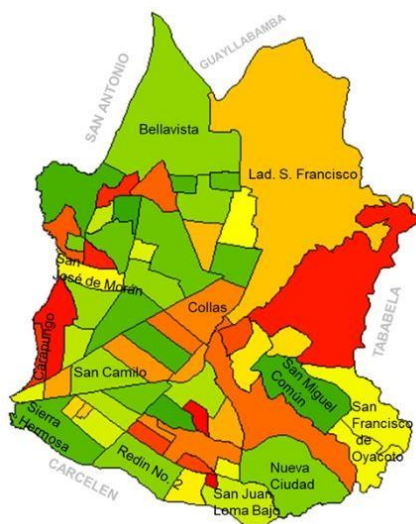


Figura 3.5 Barrios de Calderón [17]

Con la identificación de los límites de Calderón, se agregó en *Google Earth* un polígono con forma de la parroquia de Calderón. Con esta herramienta se pudo identificar de forma clara el área a ser cubierta por la red celular LTE, cuya dimensión es de 79 kilómetros cuadrados. Debido a que *Google Earth* muestra imágenes satelitales de la parroquia, se identificó que la parroquia cuenta con zonas extensas de quebradas en donde no es necesario la implementación de radiobases debido a la nula presencia de expansión urbana, dichas zonas se ven refregadas en un polígono de color azul en la Figura 3.6

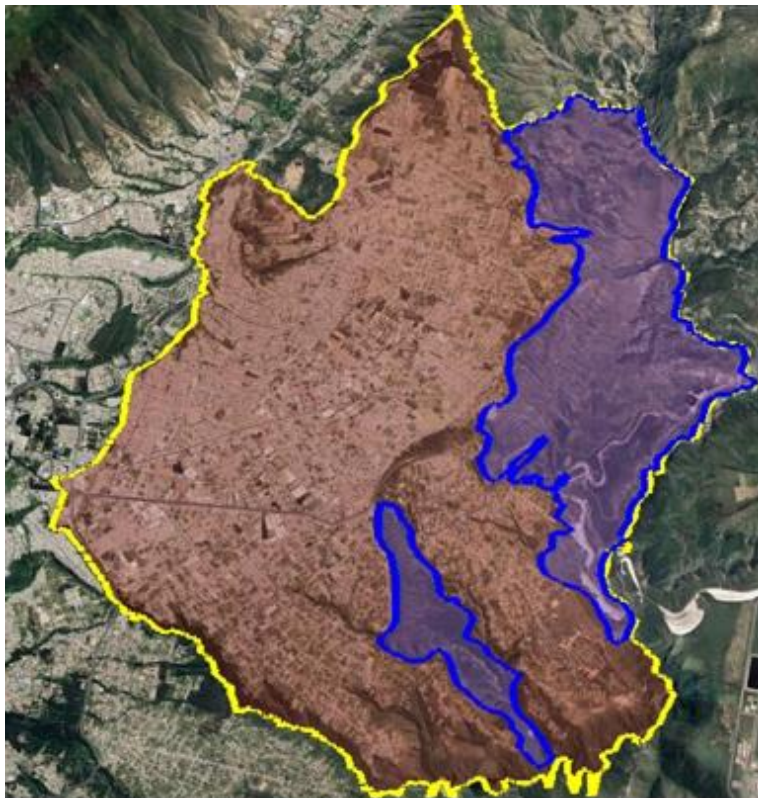


Figura 3.6 Delimitación de Calderón en *Google Earth*

3.3 Planificación de la red celular de acuerdo a criterios de cobertura

Presupuesto de enlace implementado en la parroquia de Calderón

El presupuesto de enlace definido para el diseño de la red celular LTE en la parroquia de Calderón se basó en la en la expresión matemática de la Ecuación 3.1.

$$P_r = P_t - L_{ft} + G_{tx} - L_p - M_{SF} - M_D - M_{ff} + G_{rx}$$

Ecuación 3.1 Presupuesto de enlace implementada en la simulación de la red celular LTE en la parroquia de Calderón

Al establecer la Ecuación 3.1, se realizaron los cálculos para hallar la pérdida por propagación.

Cálculo del presupuesto de enlace

Potencia de sensibilidad del receptor

Para calcular la potencia de sensibilidad se usó la Ecuación 1.2. Se comenzó transformando los PRB asignados al usuario de borde, al ancho de banda establecido para cada uno de ellos con el uso de la Ecuación 3.2.

$$B = \frac{\#PRB \times 180kHz}{1PRB}$$

Ecuación 3.2 Transformación de PRB a Hz

Una vez ya identificado que un usuario de borde ocupa 12 PRB, se reemplazó el valor en la Ecuación 3.2 obteniendo el siguiente ancho de banda:

$$B = \frac{12 PRB * 180kHz}{1PRB}$$

$$B = 2.2 (MHz)$$

Para comprobar la calidad del canal *dowlink* en LTE establecido el parámetro SNR, se utilizó la Ecuación 3.3 basada en la fórmula de capacidad de Shannon [9].

$$SNR = 10 \log \left[1.6 * \left(2^{\frac{R}{0.65B}} - 1 \right) \right] - 4.6 (dB)$$

Ecuación 3.3 SNR basada en la fórmula de capacidad de Shannon [9]

Donde:

- R : Es la velocidad de transmisión en el borde de la celda
- B : Es el ancho de banda asignado en el borde de la celda

Al identificar que la velocidad de transmisión de 2 (Mbps) y el ancho de banda de 2.16 (MHz) pertenecen a un usuario de borde en una red

celular LTE. Estos valores fueron reemplazados en la Ecuación 3.3 obteniendo la relación señal a ruido:

$$SNR = 10 \log \left[1.6 * \left(\frac{2Mbps}{20.65 * 2.2MHz} - 1 \right) \right] - 4.6 [dB]$$

$$SNR = -0.42(dB)$$

SNR se transforma de (dB) a (veces) con la Ecuación 3.4, debido a que es la unidad con la que trabaja la Ecuación 1.2.

$$veces = 10^{\frac{xdB}{10}}$$

Ecuación 3.4 Transformación de (dB) a (veces)

$$veces = 10^{\frac{-0.42dB}{10}}$$

$$veces = 0.91$$

Al realizar el proceso matemático se implementó la Ecuación 1.2 ya con los valores calculados, con el fin de hallar el valor de la sensibilidad del receptor, obteniendo el siguiente resultado:

$$Pr = 1.38 * 10^{-23} * 293 * 2.2 * 10^6 * 0.91 * 7.94[W]$$

$$Pr = 6.43 * 10^{-14}(W)$$

La Ecuación 1.2 tiene como unidad (W), sin embargo, se trabajó con potencias de señales electromagnéticas con lo cual se debe trabajar con (dBm). Para transformar las unidades se utiliza la Ecuación 3.5.

$$P(dBm) = 10 * \log(W) + 30$$

Ecuación 3.5 Transformación de (W) a (dBm)

$$P(dBm) = 10 * \log(6,43 * 10^{-14}) + 30$$

$$P(dBm) = -101.92 (dBm)$$

Potencia de transmisión

Dicha potencia se produce en el transmisor, viajará por un medio guiado hasta llegar a la antena, en la simulación se implementó el RRU3262 2T4R, que cuenta con una potencia de 60 (W) [10], [11]. Para obtener la potencia de transmisión se ocupó la Ecuación 3.6, ya que no todos los PRB disponibles son utilizados para los usuarios en el borde de la celda.

$$P_t = P_{TXMAX} + 10 \log(\text{Número de PRB asignados}) - 10 \log(\text{PRB disponibles})$$

Ecuación 3.6 Potencia de transmisión

$$P_t = 47.78\text{dBm} + 10 \log(12) - 10 \log(100)$$

$$P_t = 38.57 \text{ (dBm)}$$

Pérdida por conectores en el transmisor

Los conectores que se implementan en la radiobase tienen como objetivo enlazar el RRU con la antena y transmitir entre ellas señales, existiendo pérdidas del medio guiado. En la simulación de la red celular LTE se calculó la pérdida del conector con la Ecuación 3.7, obteniendo el siguiente dato:

$$L_f = 0.5 * \sqrt{f(\text{GHz})}$$

Ecuación 3.7 Perdida por conector [18]

$$L_f = 0.5 * \sqrt{2220\text{MHz}}$$

$$L_f = 0.74\text{dB}$$

Márgenes

- Margen de *shadow fading* o traducido como desvanecimiento por sombra, se refiere a la reducción de la señal entre una radiobase y un terminal móvil, provocada por obstáculos de gran tamaño como edificios, arboles, entre otros [9]. Al mencionar la probabilidad del éxito de cobertura de una radiobase se hace referencia de un 50% a un 90%, ya que no existen las garantías

de una cobertura al 100%. Con ello se ocupó la Tabla 3.2 que aproxima el margen de desvanecimiento comunes y su respectiva probabilidad [19].

Tabla 3.2 Tabla de margen de desvanecimiento [19].

Margen sobre nivel mínimo de RX (dB)	Probabilidad de cobertura en el borde la de celda (%)	Probabilidad de cobertura sobre toda la celda (%)
0	50	77
5	75	90
7	84	96
9	90	97
12	95	99

- Margen de interferencia, es el valor que refleja la interferencia entre dos UE, sin embargo, esta interferencia en LTE no es entre mismos usuarios de una misma celda, ya que las portadoras son ortogonales, siendo provocado por dos usuarios de celdas diferentes. El promedio que se considera de margen para DL es de 2 (dB) [20].
- Margen de *fast fading*, se refiere al rápido desvanecimiento y alteración de la señal que se propaga entre una radiobase y un terminal móvil. El desvanecimiento es provocado por fenómenos de propagación de la onda, como la reflexión, la difracción y la dispersión, causando que la señal tenga aumentos y disminuciones espontáneas de intensidad en un periodo corto de tiempo. En una simulación en donde el terminal móvil se encuentra a 1.5 (m) de altura, se considera el *fast fading* en 2 (dB) [21].

Ganancias

Los elementos que proveen ganancias a la señal, aumentan la potencia de la misma, estos elementos son las antenas tanto del transmisor como del receptor. La ganancia de la antena transmisora que se empleó para la simulación de la red celular LTE en la parroquia de Calderón es de 18.3 (dBi) según la Tabla 3.1, mientras la ganancia de la antena receptora, en otras palabras, del terminal móvil es de 0 (dBi) [9].

Pérdida por propagación

Con la obtención de las variables necesarias para resolver la Ecuación 3.1, se reemplazó los valores, obteniendo la pérdida por propagación:

$$-101,92dBm = 38.57dBm - 0.74dB + 18,3dBi - LP - 7dB - 2dB - 2dB + 0dBi$$

$$LP = 147(dB)$$

Distancia de la celda

Se utilizó la pérdida calculada y la Ecuación 1.3 para despejar la distancia máxima entre la radiobase y el UE, dicha distancia se representa en la Figura 3.7.

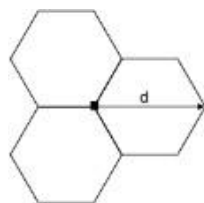


Figura 3.7 Distancia de un enlace móvil

$$147 = 46.3 + 33.9\log(2220) - 13.82 \log(20)$$

$$-0 + (44.9 - 6.55 \log(20)) \log(dkm) + 3$$

$$147.05 = 144.76 + 36.38 \log(dkm)$$

$$d = 10^{\frac{147, -144,76}{36.38}}$$

$$d = 1.15 (km)$$

Por lo tanto, 1.15 (km) es la distancia que corresponde al diámetro del sector, con dicho dato se calculó el número de celdas y radiobases, ya que se puede calcular el área de la celda con la Ecuación 3.8.

$$as = \frac{3\sqrt{3}}{2} \left(\frac{d}{2}\right)^2$$

Ecuación 3.8 Área de la celda

$$as = \frac{3\sqrt{3}}{2} \left(\frac{1.15}{2}\right)^2 = 0.86 \text{ (km}^2\text{)}$$

Con lo cual, el valor del área total de la parroquia de Calderón que es de 79.07 (km²) se dividió para el valor del área de cada celda, obteniendo como resultado el número total de celdas. Por lo tanto, el valor total de celdas debe ser dividido para tres, ya que por cada tres celdas se implementó una radiobase, obteniendo los siguientes valores.

$$\#celdas = \frac{79.07 \text{ km}^2}{0.86 \text{ km}^2} = 92 \text{ celdas} \quad \therefore \quad \frac{92 \text{ celdas}}{3} = 30 \text{ radiobases}$$

Distancia entre sitios

Una vez establecido la distancia de las celdas y el número de sitios que habrá, se procede a calcular la distancia entre radiobases, ya que probablemente existan interferencias entre radiobases causando problemas al usuario [22].

$$d_{SITIOS} = 3 \cdot r \text{ (m)}$$

Ecuación 9 Distancia entre sitios

$$d_{SITIOS} = 3 \left(\frac{1.15 \text{ km}}{2} * \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \right)$$

$$d_{SITIOS} = 1725 \text{ (m)}$$

$$d_{SITIOS} = 1.725 \text{ (km)}$$

Identificación de zonas

Fue necesario identificar un radio referencial de la parroquia, ya que este dato fue necesario para realizar cálculos posteriores. Este dato se obtuvo con la herramienta denominada como regla de *Google Earth*, se tomó como referencia un punto medio del área ya identificada y se extendió hasta un punto considerado como el más lejano, obteniendo como resultado una distancia de 7.58 kilómetros, dichos puntos se pueden observar en la Figura 3.8.

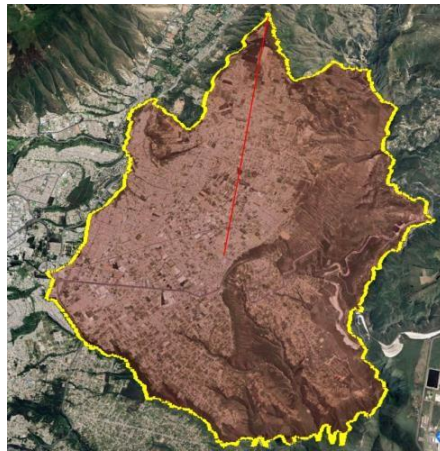


Figura 3.8 Radio referencial de Calderón

Los datos recolectados fueron digitalizados en la herramienta *Grid Creator*, entre ellos distancia entre sitios, longitud, latitud, radio, entre otros datos de la parroquia. Se designó un nombre al proyecto y con ello se creó un archivo con extensión kml, estos datos se muestran en la Figura 3.9.

Site Distance, m	1725
Azimuth (0-120)	0
Longitude	-78.420586
Latitude	-0.093625
Zone Radius, m	7580
Name	PCalderón

Create Grid

Gyokov Solutions
www.gyokovsolutions.com

Figura 3.9 Datos de la parroquia de Calderón implementados en *Grid Creator*

Al usar *Grid Creator* se creó una serie de puntos referenciales para las radiobases como se observa en la Figura 3.10. Los puntos de referencia fueron modificados según su posición evitando que se encuentren en ríos, calles y quebradas. Además, se obtuvo información como longitud y latitud de cada uno de ellos, dichos cambios se observan en la Figura 3.11.

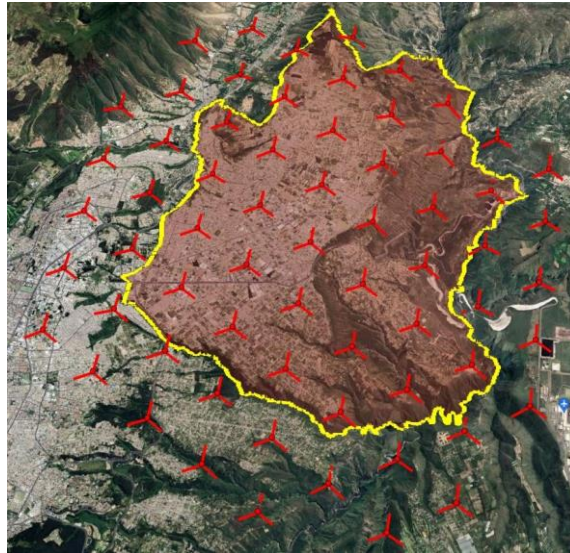


Figura 3.10 Puntos referenciales para las radiobases

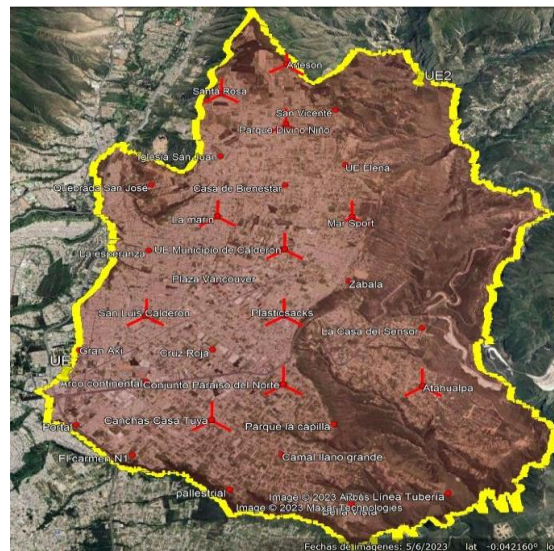


Figura 3.11 Puntos referenciales definidos y corregidos de las radiobases

Para Identificar cada radiobase se creó una tabla en la cual se enlista el respectivo nombre de la radiobase con su latitud y longitud. La información de cada radiobase se observa en la Tabla 3.3

Tabla 3.3 Información de cada radiobase

No.	Descripción	Latitud	Longitud
1	Portal	-0.114819°	-78.454598°
2	El Carmen N1	-0.120428°	-78.445119°
3	Pallestial	-0.126828°	-78.429054°
4	Gran Aki	-0.100267°	-78.455086°
5	Arco continental	-0.106462°	-78.443470°
6	Canchas Casa Tuya	-0.113837°	-78.432309°
7	Camal llano grande	-0.120402°	-78.420646°
8	Bella Vista	-0.129581°	-78.409303°
9	San Luis Calderon	-0.093400°	-78.444109°
10	Cruz Roja	-0.100227°	-78.432497°
11	Conjunto Paraiso del Norte	-0.107025°	-78.420510°
12	Parque la capilla	-0.114676°	-78.412048°
13	Ruta Línea Tubería	-0.127518°	-78.393286°
14	Atahualpa	-0.107025°	-78.396911°
15	Plasticsacks	-0.093400°	-78.420510°
16	Plaza Vancouver	-0.086530°	-78.432380°
17	La esperanza	-0.079777°	-78.444339°
18	La Casa del Sensor	-0.095428°	-78.396770°
19	Zabala	-0.086344°	-78.409404°
20	UE Municipio de Calderon	-0.079775°	-78.420510°
21	La marin	-0.072963°	-78.432309°
22	Quebrada San José	-0.065451°	-78.444555°
23	Mar Sport	-0.072963°	-78.408711°
24	Casa de Bienestar	-0.066042°	-78.420559°
25	Iglesia San Juan	-0.059853°	-78.432159°
26	UE Elena	-0.061322°	-78.409837°
27	Parque Divino Niño	-0.052526°	-78.420510°
28	Santa Rosa	-0.045714°	-78.432309°
29	San Vicente	-0.049093°	-78.411560°
30	Arteson	-0.038901°	-78.420510°

3.4 Simulación de la red LTE median el software Radio Mobile

Plano de la parroquia de Calderón

El proceso se inició con la selección del plano geográfico de la ciudad de Quito, ya que la parroquia de Calderón pertenece a dicha ciudad. Utilizando la herramienta *Map properties*, se desplegó una serie de elementos de los cuales se seleccionó *Select a city name*, seguido se buscó el nombre de la ciudad de Quito, todo este proceso se muestra en la Figura 3.12. Con el proceso realizado se obtuvo el mapa geográfico de la ciudad, como se muestra en la Figura 3.13

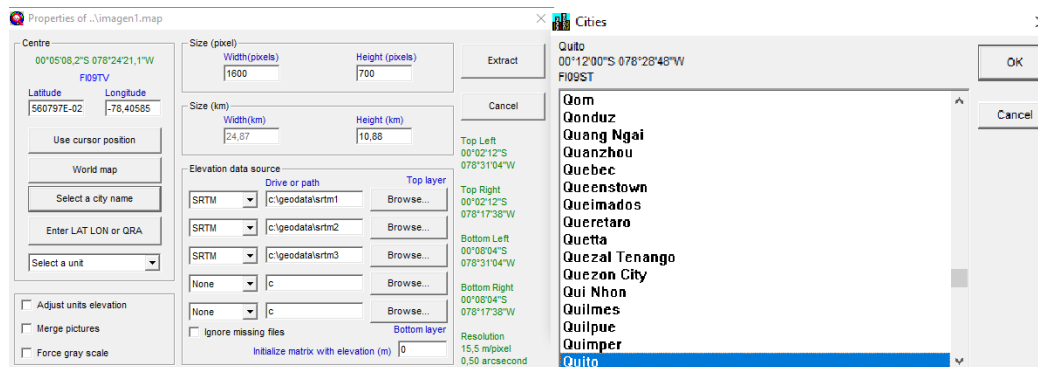


Figura 3.12 Proceso de selección de mapa en *Radio Mobile*

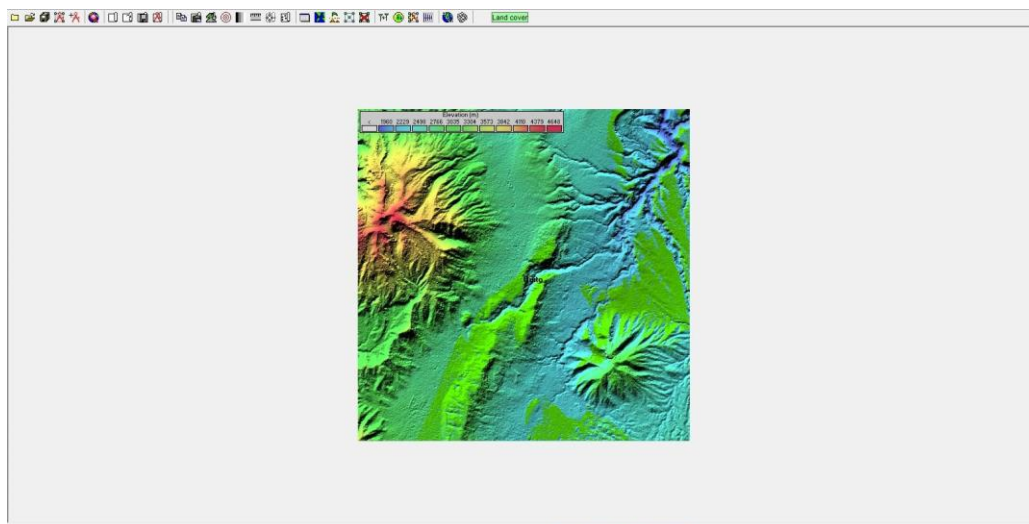


Figura 3.13 Mapa de la ciudad de Quito en *Radio Mobile*

Una vez graficada la ciudad de Quito, se procedió a ubicar la parroquia de Calderón, con la longitud y latitud del centro de la parroquia, además, se ajustó el tamaño de la imagen en la cual solo se observe la parroquia de Calderón, como se demuestra en la Figura 3.14, siendo utilizada para implementar la simulación de la red celular LTE.

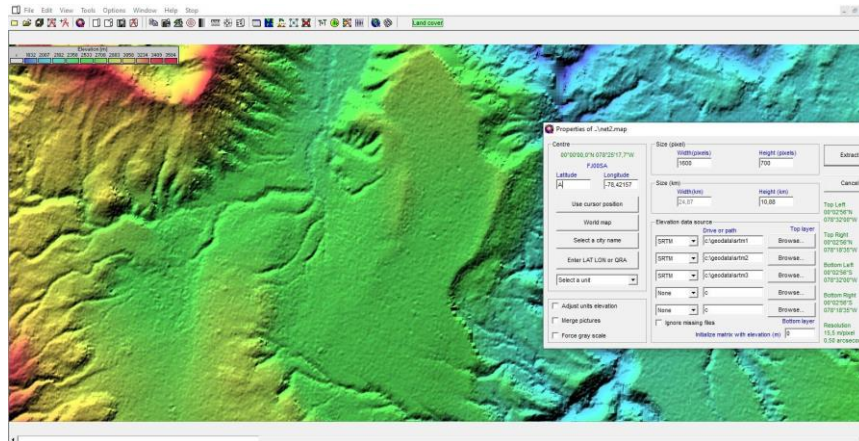


Figura 3.14 Parroquia de Calderón en *Radio Mobile*

Una vez perfilada la zona geográfica de la parroquia de Calderón en *Radio Mobile*, se procedió a utilizar la herramienta *Units properties*, en donde se ingresó las coordenadas de las radiobases con sus respectivos nombres como se encuentran en la Tabla 3.3. Por lo tanto, se obtuvo el despliegue de las radiobases como se muestra en la Figura 3.15.

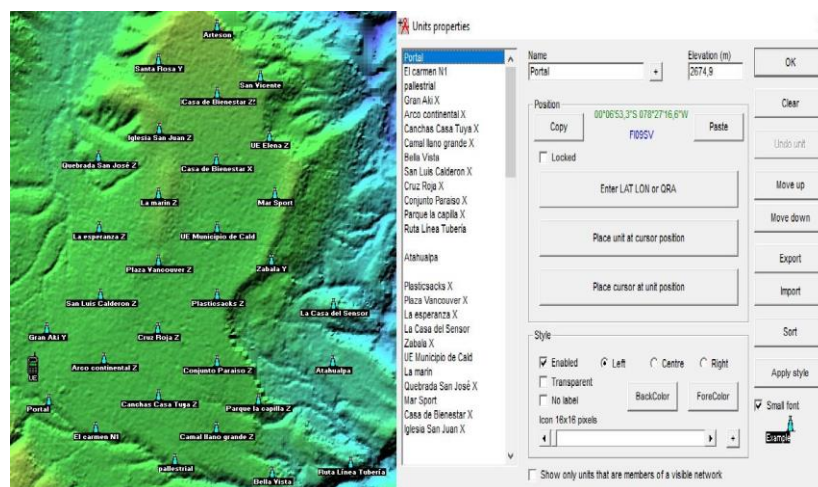


Figura 3.15 Despliegue de radiobases en Calderón en *Radio Mobile*

Diseño de la red celular LTE en Radio Mobile

Al haber establecido la ubicación de las radiobases en *Radio Mobile*, se procedió a definir el modelo de propagación con la herramienta *Networks properties*, en donde se desplegó una serie de pestañas con espacios que solicitan información de las antenas y el sistema de la red celular LTE de la parroquia de Calderón. Además, se eligió un clima templado continental, de acuerdo al clima promedio que presenta la parroquia de Calderón, como se muestra en la Figura 3.16.

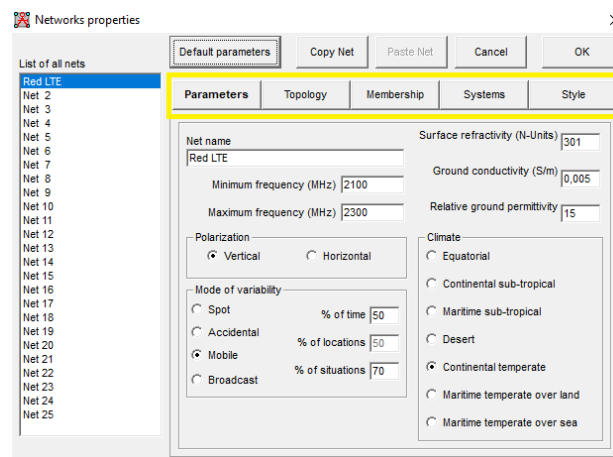


Figura 3.16 Herramienta *Networks properties*

En la pestaña *Parameters* se ingresaron los parámetros de la red celular LTE como, frecuencia mínima y máxima, nombre y clima. Todo esto aspectos de la red celular LTE que se simulada para la parroquia de Calderón se observa en la Figura 3.17.

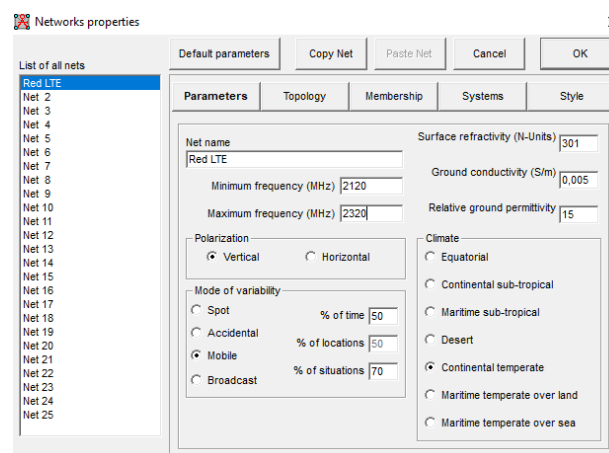


Figura 3.17 Parámetros en *Radio Mobile*

En la pestaña *Membership* se designó a cada una las antenas de las radiobases un ángulo de azimuth, ángulo que hace referencia a la orientación de la antena con respecto al punto cardinal norte, y un ángulo de elevación, la inclinación de la antena, además, del sistema al cual pertenece cada antena, como se muestra en la Figura 3.18.

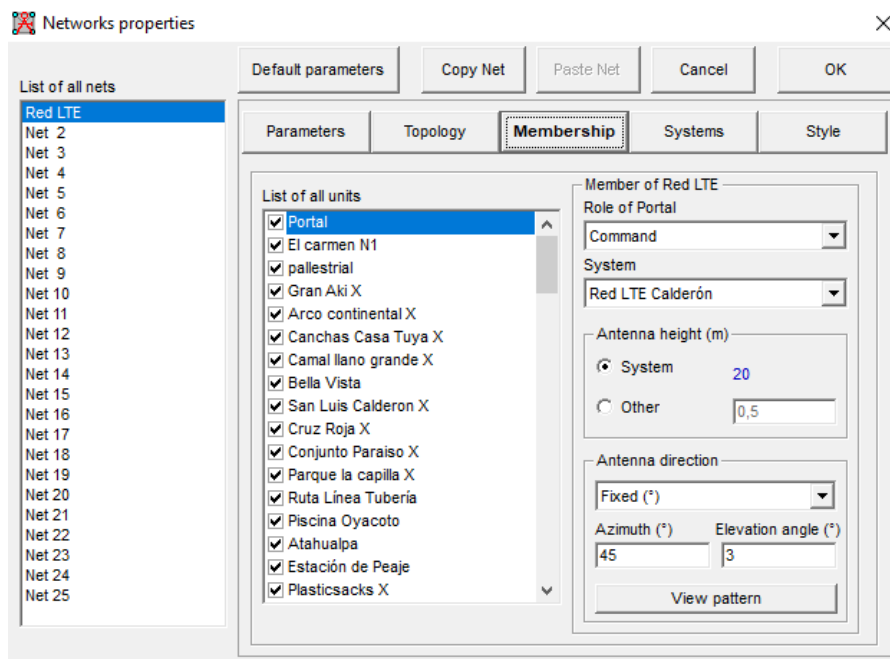


Figura 3.18 Configuración de los parámetros de la radiobase en *Radio Mobile*

En la pestaña *Systems* se estableció parámetros calculados en la sección de Planificación de la red celular de acuerdo a criterios de cobertura, entre ellos, la potencia de transmisión, sensibilidad del receptor, pérdida por conectores, el tipo de patrón de propagación, ganancia de la antena y altura de la antena. Los parámetros implementados en la pestaña *Systems* se muestra en la Figura 3.19. Además, se utilizó el software *Antenna Pattern Editor*, en donde se desarrolló el patrón de propagación de la antena 800 10652 65° tipo panel, como se muestra en la Figura 3.20.

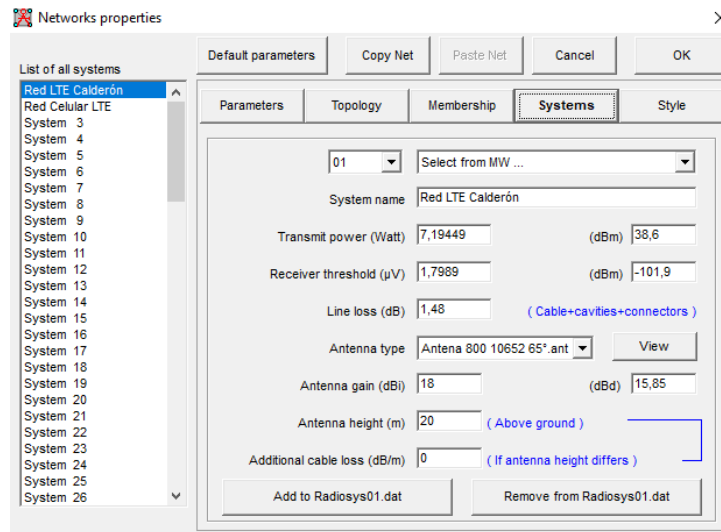


Figura 3.19 Systems en *Radio Mobile*

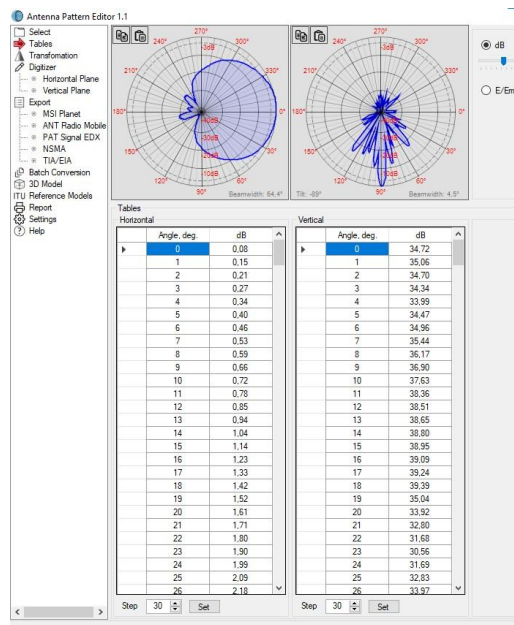


Figura 3.20 Propagación de la Antena 800 10652 65° tipo panel implementada en *Antenna Pattern Editor*

Debido a que una radiobase posee de uno a tres sectores, en la tabla 3.4 se establece el número de sectores de cada sitio y el ángulo azimuth de cada sector para la simulación. Estos ángulos fueron determinados con una respectiva prueba de cobertura como se muestra en la Figura 3.21. Además, el ángulo del tilt fue definido para todas las radiobases de 3°, ya que con dicho ángulo el patrón de radiación alcanzaba mayor

cobertura, dando como resultado una cobertura absoluta en la parroquia de Calderón.

Tabla 3.4 Ángulos azimuth de las antenas

No.	Descripción	Azimuth		
		X	Y	Z
1	Portal	45°	-	-
2	El Carmen N1	0°	-	-
3	Pallestial	359°	-	-
4	Gran Aki	45°	110°	-
5	Arco continental	0°	120°	240°
6	Canchas Casa Tuya	0°	120°	240°
7	Camal llano grande	0°	120°	240°
8	Bella Vista	275°	-	-
9	San Luis Calderon	15°	90°	160°
10	Cruz Roja	0°	120°	240°
11	Conjunto Paraiso del Norte	0°	120°	240°
12	Parque la capilla	0°	120°	240°
13	Ruta Línea Tubería	310°	-	-
14	Atahualpa	210°	-	-
15	Plasticsacks	0°	120°	240°
16	Plaza Vancouver	0°	120°	240°
17	La esperanza	20°	120°	160°
18	La Casa del Sensor	230°	-	-
19	Zabala	6°	180°	-
20	UE Municipio de Calderon	0°	120°	240°
21	La marin	0°	120°	240°
22	Quebrada San José	20°	90°	150°
23	Mar Sport	180°	-	-
24	Casa de Bienestar	0°	120°	-
25	Iglesia San Juan	0°	120°	240°
26	UE Elena	0°	120°	240°
27	Parque Divino Niño	0°	120°	240°
28	Santa Rosa	80°	160°	-
29	San Vicente	260°	-	-
30	Arteson	280°	-	-

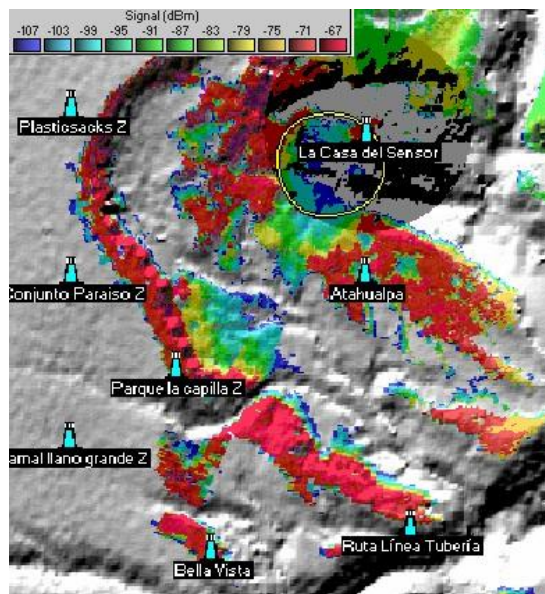


Figura 3.21 Prueba de ángulo azimuth en *Radio Mobile* del punto La Casa del Sensor

Una vez establecido los ángulos se utilizó la herramienta *Combined cartesian Radio covarege* con la cual se realiza la simulación combinada de todas las radiobases que conformar la red celular LTE en la parroquia de Calderón, como se observa en la Figura 3.22. Por lo tanto, se obtuvo la simulación de cobertura de la red celular LTE en la parroquia de Calderón como se observa en la Figura 3.23. Cabe destacar que la simulación está basada en el modelo de propagación ITM (Irregular Terrain Model), el cual es el único modelo utilizado por *Radio Mobile* para realizar simulaciones y cálculos.

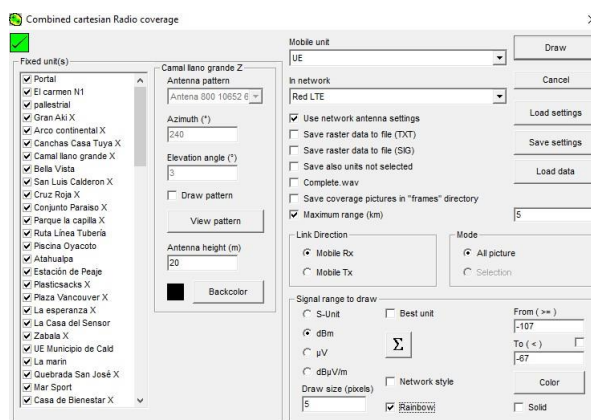


Figura 3.22 *Combined cartesian Radio covarege* en *Radio Mobile*

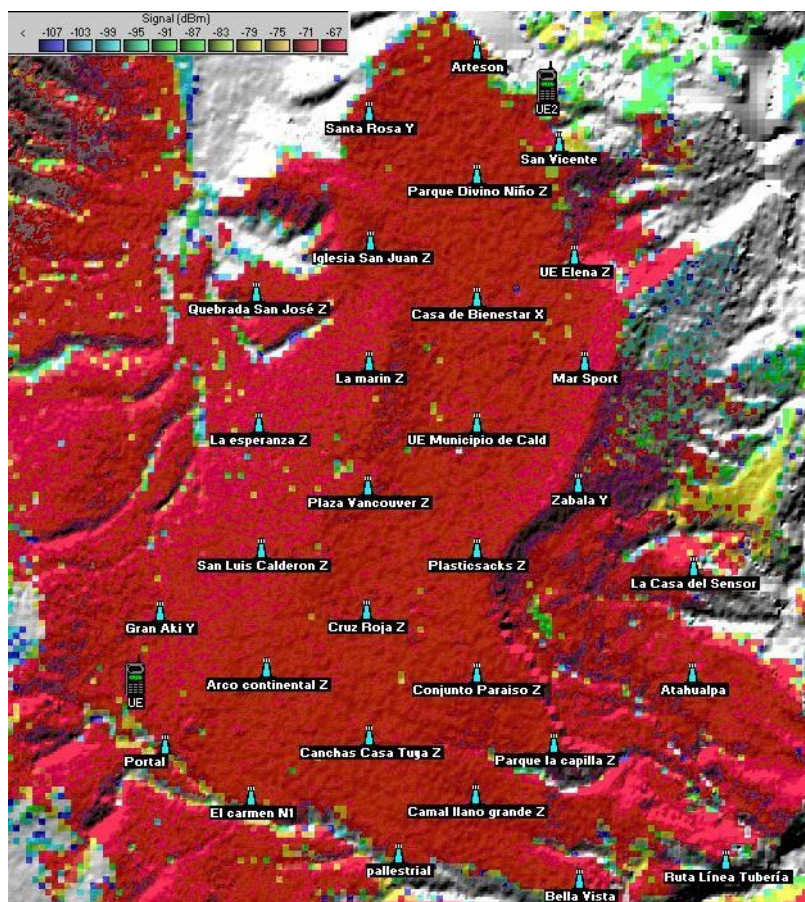


Figura 3.23 Simulación de la red LTE en *Radio Mobile* de la parroquia de Calderón

3.5 Verificación de la cobertura resultante y la viabilidad de los enlaces

Se comprobó la cobertura de la red celular LTE desarrollada en *Radio Mobile* sobre *Google Earth* verificando que el área de Calderón tiene una buena cobertura red celular, muy por encima del nivel de sensibilidad del equipo de usuario (-101.92 (dBm)), como se observa en la Figura 3.24.

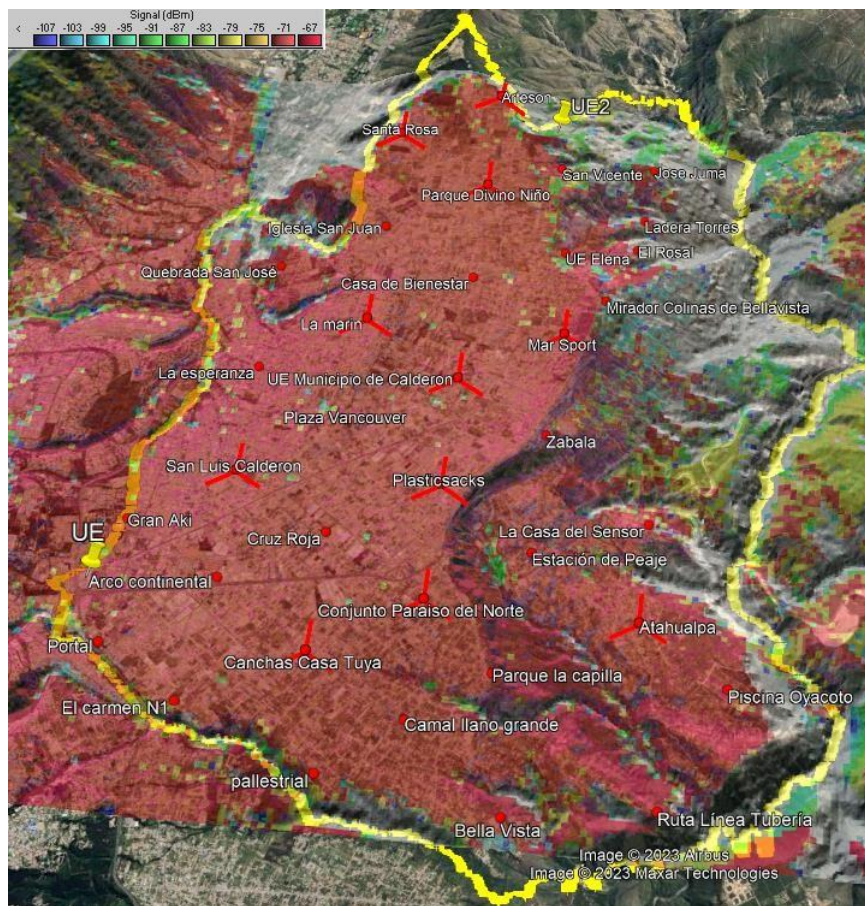


Figura 3.24 Cobertura de la red LTE en *Google Earth*

Para verificar los resultados obtenidos de la simulación compuesta, se realizó un análisis mediante un radioenlace punto-punto, donde el usuario se encuentra dentro del área de cobertura de una celda, en este ejemplo se tomó aleatoriamente como referencia la radiobase Portal respecto al UE. Los resultados del análisis indican que un usuario que se encuentre a una distancia de 0.91 (km) o menos de la radiobase puede tener una potencia de recepción de -73.5 (dBm) o superior. En la Figura 3.25 se puede observar los puntos que componen al radioenlace, así como los resultados de la simulación punto a punto.

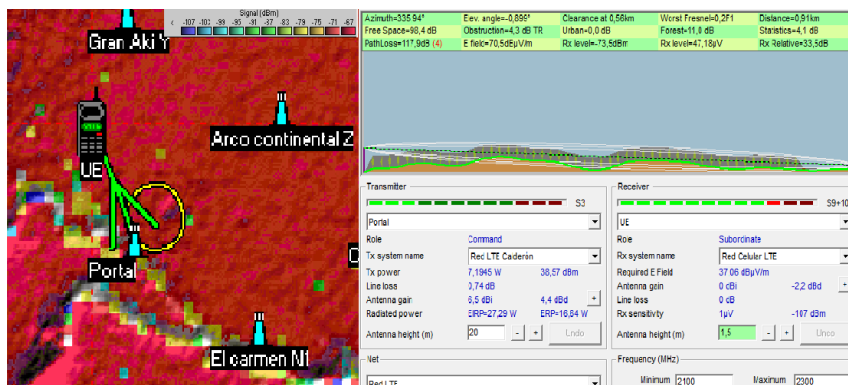


Figura 3.25 Radioenlace Portal – UE

Una vez comprobada la potencia que llega al receptor, se analizó el umbral de recepción del usuario, siendo este mejor de lo promedio con lo que se garantiza que la señal recibida por el usuario será fuerte según la Figura 3.26.

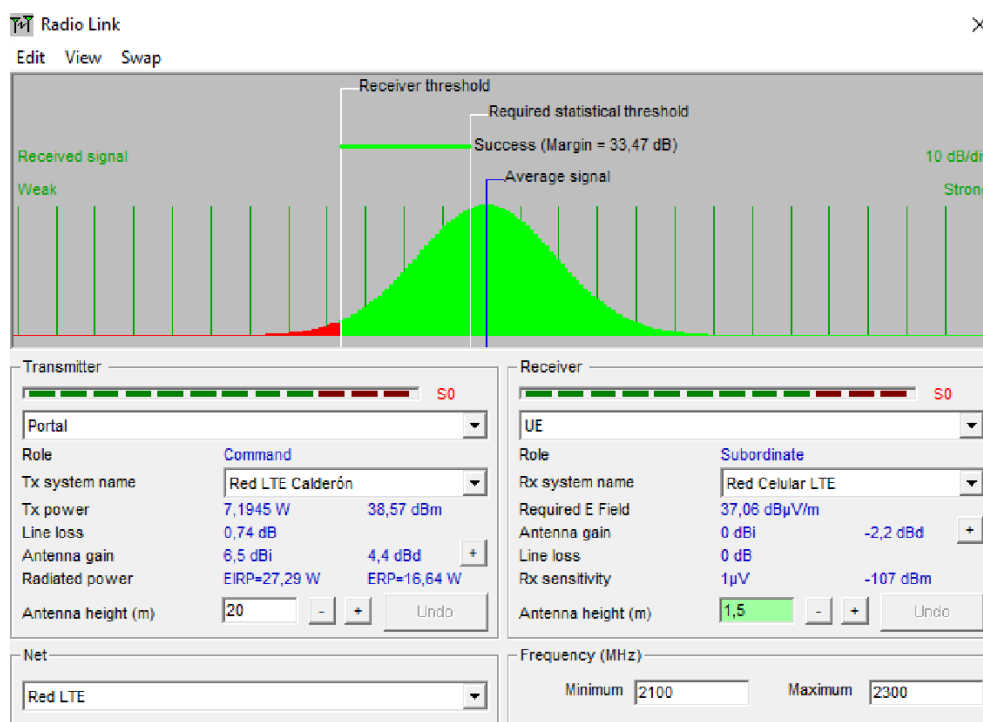


Figura 3.26 Calidad de cobertura para el usuario dentro de una celda.

De la misma forma se analiza el peor caso: el usuario se encuentra en el borde de cobertura de una celda. En el ejemplo se tomó como referencia a la radiobase Arteson respecto al UE2. El equipo de usuario

percibe una potencia de -87.3 (dBm) a una distancia de 0.93 (km) con obstáculos en el enlace punto-punto, por lo cual el usuario se encuentra en el borde de la cobertura, en una zona de color verde como se observa en la 3.27.

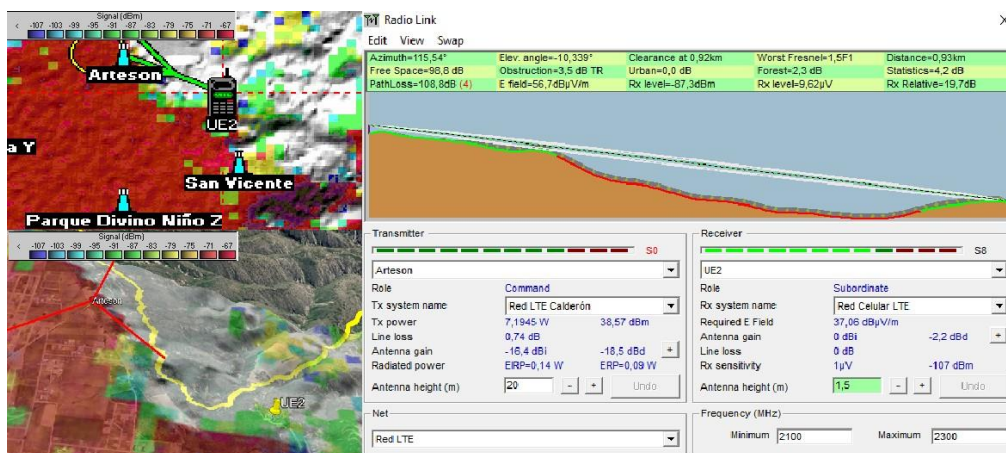


Figura 3.27 Radioenlace Arteson – UE

De la misma forma se analizó el umbral de la potencia que alcanza a percibir el usuario, se identificó que la potencia de la señal disminuye, pero aun estando por encima de la sensibilidad del UE (-101.92 (dBm)), como se observa en la Figura 3.28.

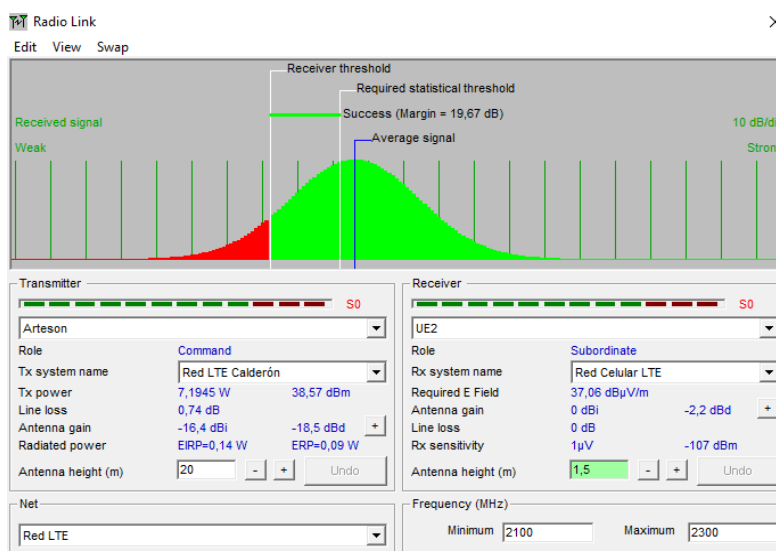


Figura 3.28 Calidad se cobertura para un usuario en el borde del área de cobertura

4 CONCLUSIONES

- La tecnología celular LTE implementa técnicas como multiplexación OFDM y designaciones de recursos en tiempo y en frecuencia a través de PRB, las mismas que hacen de la tecnología celular LTE soporte la demanda actual causada por los terminales móviles y aplicaciones modernas, además, del aumento de usuarios con necesidad de acceder a la red celular LTE.
- Para establecer la cobertura de una radiobase LTE, se debe tomar en cuenta varios aspectos, como la frecuencia, velocidad de transmisión, además, de varios cálculos que intervienen como el presupuesto de enlace y la implementación correcta del modelo de propagación según la tecnología celular y la frecuencia que se implementará.
- El uso del *software Radio Mobile*, permitió realizar la simulación de la red celular LTE, al establecer los parámetros de los ángulos azimuth y de elevación, dando una versatilidad al momento de verificar la propagación de las celdas, además, de que simula el patrón de propagación de cualquier antena.
- La red celular LTE cubre toda el área de Calderón, sin embargo, la propagación de la red celular LTE alcanza lugares más bajos como Pomasqui y una pequeña parte de San Antonio, esto se debe a la altura que se encuentra Calderón.
- Se desplegaron un total de 30 radiobases ya que la tecnología LTE simulada utilizó una frecuencia de 2220 MHz, lo que ocasionó que el radio de cobertura sea menor comparado a tecnologías como GSM, en donde se necesitaría menos radiobases para cubrir la misma cobertura que LTE.

- Al analizar los resultados de los radioenlaces se observa que a mayor distancia se encuentre el usuario menor es la potencia recibida y viceversa, es decir mientras menor sea la distancia del usuario respecto a la radiobase mayor será la potencia recibida, con lo cual, se concluye que la distancia del usuario es un factor importante al momento de conectarse a la red celular LTE.

5 RECOMENDACIONES

- Al buscar elementos como RRU y antenas se recomienda utilizar páginas de proveedores que cuenten con un catálogo detallado de los productos, ya que al momento de hacer los cálculos puede existir problemas con las características del elemento seleccionado.
- Al delimitar la zona en donde se planea simular la red celular, se debe identificar correctamente el área con una gráfica de referencia, con lo cual se evita errores respecto a la cobertura de la red celular.
- Al establecer el presupuesto de enlace, se debe considerar los márgenes que se utilizarán y los que no tendrán influencia en la simulación, lo que permite establecer una aproximación más precisa.
- Utilizar las herramientas como el software *Radio Mobile* de páginas oficiales, ya que se evita posibles fallos al momento de realizar la simulación de la red celular.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] F. R. M. R. Carlos Alberto Serra Jimenez, «Arquitectura general del sistema LTE,» *Telem@tica*, vol. XII, nº 2, pp. 81-90, 2013.
- [2] M. P. L. C. Ciro Diego Radicelli, «SciELO,» *Dyna*, Marzo 2018. [En línea]. Available: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0012-73532018000100319&script=sci_arttext. [Último acceso: 20 Julio 2023].
- [3] C. I. Calle Cáceres, «Repositorio Digital - EPN,» 15 Agosto 2013. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/6667>. [Último acceso: 20 Julio 2023].
- [4] L. Garcia, «academia.edu,» academia.edu, [En línea]. Available: https://www.academia.edu/12458306/Cap%C3%ADtulo_2_-_LTE. [Último acceso: 29 Julio 2023].
- [5] L. A. G. C. C. M. H. B. Betty Nayibe Fernández Campo, «IMPACTO DEL REUSO DE FRECUENCIA FRACCIONAL EN LA REDUCCIÓN DE INTERFERENCIA INTERCELDA EN LTE.,» *Revista de Investigaciones - Universidad de*, pp. 28-39;, 08 Marzo 2014.
- [6] PE1MEW, «Radio Mobile,» Radio Mobile: software de simulación de propagación de RF, 23 Noviembre 2022. [En línea]. Available: <http://radiomobile.pe1mew.nl/?Welcome> [Último acceso: 5 Agosto 2023].
- [7] L. C. C. A.-C. 4. Internacional, «uruguayeduca.edu,» [En línea]. Available: <https://uruguayeduca.anep.edu.uy/sites/default/files/2018-09/Google%20Earth%20%20.pdf> . [Último acceso: 29 Julio 2023].
- [8] J. E. Córcoles, «Google Earth. Uso didáctico para Escuela,» *Revista Digital Sociedad de la Información*, vol. II, nº 20, pp. 1-9, 2010.
- [9] M. D. Granja Pérez, «Repositorio Digital - EPN,» EPN, 20 Julio 2016. [En línea]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/16517>. [Último acceso: 9 Agosto 2023].

- [10] S. L. Moya, «Infraestructura para una BTS de telefonía móvil,» Dep. de Teoría de la Señal y Comunicaciones, Sevilla, 2015.
- [11] huawei, «forum.huawei.com,» huawei, 6 Mayo 2022. [En línea]. Available: <https://forum.huawei.com/enterprise/es/introducci%C3%B3n-a-huawei-rru-parte-1/thread/667228908862455808-667212889045479424>. [Último acceso: 2 Agosto 2023].
- [12] K. S. DIVISION, «www.yumpu.com,» Kathein Inc., 2023. [En línea]. Available: <https://www.yumpu.com/en/document/read/35988411/800-10652-65a-panel-antenna-kathrein-scala-division>. [Último acceso: 2 Agosto 2023].
- [13] S. P. Sunghyun Hwang, «On the Effects of Resource Usage Ratio on Data,» *ICACT*, pp. 78-80, 19 Febrero 2017.
- [14] M. B. García, «EVIDENCIA DE LA EFICIENCIA ESPECTRAL,» Universitat Politècnica de València, Valencia, 2019.
- [15] ETSI, LTE, FRANCE: Sophia Antipolis, 2009.
- [16] K. Kumar, «linkedin,» 30 Octubre 2017. [En línea]. Available: <https://www.linkedin.com/pulse/transport-block-size-determination-lte-kiran-kumar>. [Último acceso: 14 Octubre 2023].
- [17] G. Calderón, «gobierno.gadcalderon.gob.ec,» Gad Calderón , [En línea]. Available: <https://gobierno.gadcalderon.gob.ec/informacion-general/#mobile-header-left-nav>. [Último acceso: 02 Agosto 2023].
- [18] Rosenberger, «Rosenberger Codes,» Noviembre 2014. [En línea]. Available: https://www.rosenberger.com/fileadmin/content/headquarter/Downloads/RF_Coaxial_Connectors/Communication_Products_Catalog_2014.pdf. [Último acceso: 5 Agosto 2023].
- [19] P. Remko, «Radio Mobile,» Radio Mobile, 2022. [En línea]. Available: http://radiomobile.pe1mew.nl/?Calculations___Propagation_calculation___Radio_coverage_probability. [Último acceso: 10 Agosto 2023].
- [20] A. A. S. SANHUEZA, «DISEÑO DE RED 4G/LTE PARA FINES TARIFARIOS,» UNIVERSIDAD DE CHILE, Santiago de Chile, 2016.

- [21] M. E. C. CUETO, «DISEÑO DE UNA RED 4G-LTE INDOOR PARA EL CENTRO,» PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ, Lima, 2015.
- [22] D. Marcano, «PDF Free Download,» docplayer, [En línea]. Available: <https://docplayer.es/2933256-Generalidades-de-redes-celulares.html>. [Último acceso: 5 Agosto 2023].

7 ANEXOS

Lista de anexos:

ANEXO I. Certificado de originalidad

ANEXO II. Enlaces

ANEXO I: Certificado de Originalidad

CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD

Quito, D.M. 25 de agosto de 2023

De mi consideración:

Yo, ANDRES FERNANDO REYES CASTRO, en calidad de Director del Trabajo de Integración PLANIFICACIÓN Y SIMULACIÓN DE UNA RED LTE A 2220 MHz PARA LA PARROQUIA CALDERÓN DEL DMQ elaborado por el estudiante ANTHONY XAVIER CAIZA NARVÁEZ de la carrera en TECNOLOGÍA SUPERIOR EN REDES Y TELECOMUNICACIONES, certifico que he empleado la herramienta Turnitin para la revisión de originalidad del documento escrito completo, producto del Trabajo de Integración Curricular indicado.

El documento escrito tiene un índice de similitud del 12%.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, pudiendo el interesado hacer usodel presente documento para los trámites de titulación.

NOTA: Se adjunta el link del informe generado por la

herramienta Turnitin.

[LINK](#)

Atentamente,

ANDRES FERNANDO REYES CASTRO

Profesor Ocasional a Tiempo

Completo Escuela de

Formación de Tecnólogos

ANEXO II: Enlaces



Anexo II.I Código QR de la implementación y pruebas de funcionamiento