



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



TESIS

**Planificación de enodeb (3G/4G) para brindar cobertura móvil al centro
poblado 09 de setiembre, región Lambayeque**

Para optar por el Título Profesional de Ingeniero(a) Electrónico(a)

Elaborada por:

Bach. Samamé Rojas Anggie Sofía

Bach. Valdiviezo Cieza Justo Jorge

Asesor:

M.Sc. Ing. Chiclayo Padilla Hugo Javier

Lambayeque – Perú

2025

TESIS

Planificación de enodeb (3G/4G) para brindar cobertura móvil al centro poblado 09 de setiembre, región Lambayeque

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Electrónico(a)

Autores:

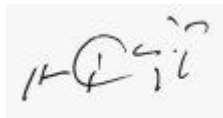


Bach. Samamé Rojas Anggie Sofía



Bach. Valdiviezo Cieza Justo Jorge

Asesor:



M.Sc. Ing. Chiclayo Padilla Hugo Javier

TESIS

**Planificación de enodeb (3G/4G) para brindar cobertura móvil al centro poblado 09 de
setiembre, región Lambayeque**

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Electrónico(a)

Aprobada por el siguiente jurado:



Dra. Ing. Lucía Isabel Chamán Cabrera
Presidente



M.Sc. Ing. Segundo Francisco Segura Altamirano
Secretario



Mtro. Ing. Carlos Leonardo Oblitas Vera
Vocal



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS
DECANATO

Ciudad Universitaria – Lambayeque

LICENCIADA - RESOLUCION DEL CONSEJO DIRECTIVO N° 015 -2023-SUNEDU / CD



ACTA DE SUSTENTACIÓN N° ...60.-2025.-D/FACFyM

Siendo las ...10:00 am... del día ...13 de agosto... del 2025, se reunieron los miembros del jurado evaluador de la Tesis titulada:

Planificación de eNodeB (3G/4G) para Brindar Cobertura Móvil...
al Centro Poblado 09 de Setiembre, Región Lambayeque

Designados por Resolución N° ...882-2024... D/FACFyM de fecha 09 de Setiembre de 2024

Con la finalidad de evaluar y calificar la sustentación de la tesis antes mencionada, conformada por los siguientes docentes:

Dra. Ing. Lucía Isabel Chamón Cabrera

Presidente

MSc. Ing. Segundo Francisco Segura Altamirano

Secretario

Mtro. Ing. Carlos Leonardo Oblitos Vera

Vocal

La tesis fue asesorada por (el) (la) MSc. Ing. Hugo Javier Chiclayo Padilla nombrado por Resolución N° ...882-2024... D/FACFyM de fecha 09 de Setiembre de 2024

El Acto de Sustentación fue autorizado por Resolución N° 707-2025 D/FACFyM de fecha 05 de Agosto de 2025

La Tesis fue presentada y sustentada por (el) (los) Bachiller (es): Valdiviezo Cieza Justo Jorge y Samamé Rojas Anggie Sofia y tuvo una duración de ...30... minutos.

Después de la sustentación, y absueltas las preguntas y observaciones de los miembros del jurado se procedió a la calificación respectiva, otorgándole el Calificativo de Diecisiete (...17...) en la escala vigesimal, mención (...Bueno...).

Por lo que queda(n) apto(s) para obtener el Título Profesional de Ingeniero Electrónico, de acuerdo con la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las ...10:50 a.m... se dio por concluido el presente acto académico, dándose conformidad al presente acto con la firma de los miembros del jurado.

Lucía Isabel Chamón Cabrera
Dra. Lucía Isabel Chamón Cabrera
Presidente

Segundo Francisco Segura Altamirano
MSc. Ing. Segundo Francisco Segura Altamirano
Secretario

Carlos Leonardo Oblitos Vera
Mtro. Ing. Carlos Leonardo Oblitos Vera
Vocal

Hugo Javier Chiclayo Padilla
M. Sc. Hugo Javier Chiclayo Padilla
Asesor

CONSTANCIA DE VERIFICACIÓN DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo, M. Sc. Ing. Hugo Javier Chiclayo Padilla, usuario revisor del documento titulado: **“Planificación de ENODEB (3G/4G) para brindar cobertura móvil al centro poblado 09 de Setiembre, región Lambayeque”**

Cuyos autores son:

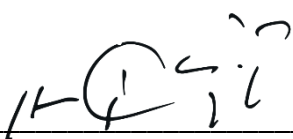
- Bach. Anggie Sofía Samamé Rojas
- Bach. Justo Jorge Valdiviezo Cieza

Identificado con Documento de Identidad 16703734; declaro que la evaluación realizada por el Programa Informático Turnitin, ha arrojado un porcentaje de similitud de 07 %, verificable en el Resumen de Reporte automatizado de similitudes que se acompaña.

El suscrito analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas dentro del porcentaje de similitud permitido no constituyen plagio y que el documento cumple con la integridad científica y con las normas para el uso de citas y referencias establecidas en los protocolos respectivos.

Se cumple con adjuntar el Recibo Digital a efectos de la trazabilidad respectiva del proceso.

Lambayeque, 27 de julio del 2025



M. Sc. Ing. Hugo Javier Chiclayo Padilla
DNI N° 16703734

INFORME DE ORIGINALIDAD

7%

INDICE DE SIMILITUD

7%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

cybertesis.unmsm.edu.pe

Fuente de Internet

1%

2

hdl.handle.net

Fuente de Internet

1%

3

dspace.ups.edu.ec

Fuente de Internet

1%

4

www.coursehero.com

Fuente de Internet

1%

5

repositorio.unprg.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

6

Submitted to Universidad Católica Boliviana
"San Pablo"

Trabajo del estudiante

<1%

7

Submitted to Universidad Nacional Pedro Ruiz
Gallo

Trabajo del estudiante

<1%

8

Submitted to Universidad Ricardo Palma

Trabajo del estudiante

<1%

9

alicia.concytec.gob.pe

Fuente de Internet

<1%

10

Submitted to Universidad Privada San Pedro

Trabajo del estudiante

<1%

11	Submitted to Universidad Privada Boliviana Trabajo del estudiante	<1 %
12	www.rsc.org Fuente de Internet	<1 %
13	repositorio.espe.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
14	repositorio.uladech.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
15	Submitted to uni Trabajo del estudiante	<1 %
16	cdn.www.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
17	repositorio.upao.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
18	Submitted to Universidad Politécnica de Madrid Trabajo del estudiante	<1 %
19	repositorio.unab.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
20	es.123rf.com Fuente de Internet	<1 %
21	documents.mx Fuente de Internet	<1 %
22	pdffox.com Fuente de Internet	<1 %
23	cienciadigital.org Fuente de Internet	<1 %
24	www.mef.gob.pe Fuente de Internet	<1 %

<1 %

25

Submitted to Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD,UNAD

Trabajo del estudiante

<1 %

26

telefonica.com.pe

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 15 words

Excluir bibliografía

Activo


Ing. HUGO JAVIER CHICLAYO PADILLA
hchiclayo@unprg.edu.pe - 920583570
ASESOR

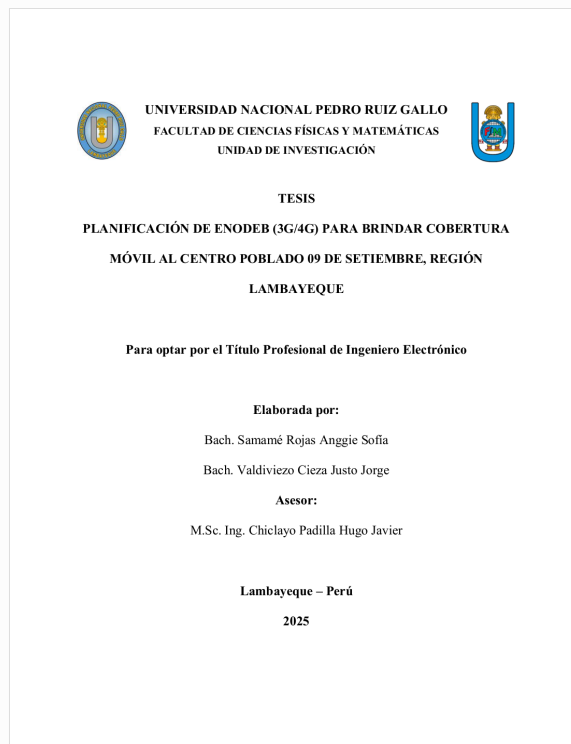


Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Anggiesamame _Justovaldiviezo Anggiesamame _Justovaldivi...
Título del ejercicio: Quick Submit
Título de la entrega: AngieSamame _JustoValdiviezo
Nombre del archivo: FINAL_Tesis_-_AnggieSamame__JustoValdiviezo.pdf
Tamaño del archivo: 3.62M
Total páginas: 86
Total de palabras: 13,089
Total de caracteres: 76,125
Fecha de entrega: 27-jul-2025 09:57p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 2721599205




Ing. HUGO JAVIER CHICLAYO PADILLA
hchiclayo@unprg.edu.pe - 920583570
ASESOR

DEDICATORIA

A Dios, por no soltar mi mano ni en los momentos más adversos. A mi madre, por ser la inspiración de mi vida; gracias por tu amor, tu esfuerzo y tu ejemplo de fortaleza y perseverancia, cada paso y cada logro son para ti. A mi hermana, por ser mi compañera de vida, mi amiga y mi luz; tu presencia ha hecho este proceso mucho más llevadero. A mi abuela por haber estado siempre acompañando desde el amor. A mi compañero de tesis y amigo en toda mi vida universitaria, por compartir conmigo esta meta.

Bach. Samamé Rojas Anggie Sofía

A Dios, por su guía eterna en cada momento de mi carrera universitaria, iluminando el camino hacia un futuro que en algún momento fue dominado por la incertidumbre. A mis padres, por todo el esfuerzo, dedicación, confianza y amor incondicional que me han brindado en este proyecto de vida, siendo pilares importantes en mi realización como profesional y como persona, siempre alentándome con empeño desde su incansable ejemplo. A mis abuelos, quienes siempre me acompañaron y alentaron a superarme. A mi compañera de tesis y amiga de tantos años, con quien decidimos iniciar este proyecto juntos. Este logro es de todos ustedes.

Bach. Valdiviezo Cieza Justo Jorge

AGRADECIMIENTO

A Dios, por permitirnos afrontar cada día y guiarnos siempre por el buen camino, ayudándonos a superar obstáculos con su bendición fraterna.

A nuestro asesor de tesis, el M.Sc. Hugo Chiclayo Padilla, por ser guía en este proceso; su experiencia, enseñanzas, consejos y apoyo incondicional fueron pilares importantes para el desarrollo de este proyecto.

A nuestras familias por ser nuestro soporte; siendo también inspiración y ejemplo de perseverancia y fortaleza.

A nuestra universidad y docentes con quienes compartimos nuestros años de formación, ya que gracias a sus enseñanzas estamos seguros que podemos afrontar el mundo y hacer de él un lugar mejor desde nuestra profesión.

Bach. Samamé Rojas Anggie Sofía

Bach. Valdiviezo Cieza Justo Jorge

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
I. INFORMACIÓN GENERAL	1
1.1. Título del proyecto	1
1.2. Autores	1
1.3. Asesor de Especialidad.....	1
1.4. Línea de Investigación	1
1.5. Lugar de Ejecución.....	1
II. RESUMEN.....	2
III. ABSTRACT.....	3
IV. INTRODUCCIÓN	4
V. DISEÑO TEÓRICO	6
5.1. Antecedentes	6
5.1.1. Antecedentes Internacionales.....	6
5.1.2. Antecedentes Nacionales	7
5.2. Bases Teóricas.....	9
5.2.1. Red de Telefonía y Comunicaciones Móviles	9

5.2.2.	<i>Arquitectura de una Red Móvil:</i>	10
✓	<i>Arquitectura de una Red GSM</i>	11
✓	<i>Arquitectura de una Red UMTS</i>	12
✓	<i>Arquitectura de una Red LTE</i>	13
5.2.3.	<i>Long Term Evolution (LTE)</i>	15
5.2.4.	<i>ENodeB</i>	16
5.2.5.	<i>Antenas RF y RRU</i>	16
5.2.6.	<i>Multiple Input Multiple Output (MIMO)</i>	18
5.2.7.	<i>BBU</i>	19
5.2.8.	<i>Throughput</i>	20
5.2.9.	<i>RSRP</i>	21
5.2.10.	<i>PRB</i>	22
5.3.	Definición y operacionalización de variables	23
VI.	DISEÑO METODOLÓGICO	24
6.1.	Diseño de Contrastación de Hipótesis	24
6.1.1.	<i>Pasos previos / Validación Inicial</i>	24
6.1.2.	<i>Ubicación de Punto Cero.</i>	28
6.1.3.	<i>Antenas Sectoriales</i>	32

6.1.4.	<i>Equipos de Radio (RRU)</i>	35
6.1.5.	<i>Tarjetería para Unidad de Banda Base (BBU)</i>	37
6.1.6.	<i>Procedimiento de simulación de cobertura.</i>	41
6.2.	Población y Muestra de Estudio	50
6.2.1.	<i>Población</i>	50
6.2.2.	<i>Muestra</i>	50
6.3.	Técnicas, instrumentos, equipos y materiales.	50
6.3.1.	<i>Técnicas</i>	50
6.3.2.	<i>Instrumentos</i>	50
6.3.3.	<i>Equipos y Materiales</i>	50
VII.	RESULTADOS	51
VIII.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	56
IX.	RECOMENDACIONES	57
X.	CONCLUSIONES	58
XI.	REFERENCIAS	59
XII.	ANEXOS	62
	ANEXO 1: Instalación y Configuración de aplicativo GNet Track Lite	62
	ANEXO 2: Plantilla utilizada para carga de datos.....	65

ANEXO 3: Modificación de leyenda en ASSET y exportar predicción en KMZ	69
ANEXO 4: Cálculo de energía del eNodeB.....	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Representación de sistema celular para telefonía	9
Figura 2: Arquitectura de la Red Móvil en Base a la Generación.	10
Figura 3: Arquitectura de una red GSM	11
Figura 4: Arquitectura de una Red UMTS	12
Figura 5: Arquitectura de una Red LTE	13
Figura 6: Arquitectura de una red LTE	15
Figura 7: Antena RF - Huawei	17
Figura 8: Modelo de RRU - Huawei	18
Figura 9: Distribución en una Tecnología MIMO.....	19
Figura 10: Arquitectura de una BBU.....	20
Figura 11: Niveles de RSRP en una señal 4G	21
Figura 12: Polígono de Centro Poblado	24
Figura 13: Medición de señal de cobertura móvil - Bitel.....	25
Figura 14: Medición de señal de cobertura móvil - Entel	25
Figura 15: Mediciones de señal de cobertura móvil – Movistar	26
Figura 16: Medición de señal de cobertura móvil – Claro	26
Figura 17: Lugares aproximados donde se realizaron las mediciones de cobertura	27
Figura 18: Vista panorámica del área total a coberturar.....	28
Figura 19: Perfil de elevación en zona	29
Figura 20: Cuenca Visual en Google Earth.....	30
Figura 21: Ubicación de Punto Cero y azimuths.....	31

Figura 22: Patrón de radiación.....	33
Figura 23: Patrón de radiación antena Huawei ASI4518R10v18.....	34
Figura 24: Apertura de antena por cada sector	34
Figura 25: Características RRUs serie 3000.....	36
Figura 26: Características RRUs serie 5000.....	37
Figura 27: UMPT.....	38
Figura 28: UBBP	38
Figura 29: Compatibilidad de tarjetas vs BBU.....	39
Figura 30: Tipos de UBBP	40
Figura 31: Inicio de sesión en software de simulación.....	41
Figura 32: Inicio de proceso de creación de eNodeB	42
Figura 33: Ingreso de datos referentes a la ubicación del eNodeB	42
Figura 34: Validación e Importación de data	43
Figura 35: Creación de nodo 3G y 4G.....	44
Figura 36: Creación de celdas 3G y 4G.....	45
Figura 37: Mapa 2D.....	46
Figura 38: Inicio de predicción de cobertura.....	46
Figura 39: Selección de carriers y tecnología 3G/4G a simular	47
Figura 40: Progreso de simulación de cobertura	48
Figura 41: Mancha de cobertura final.....	48
Figura 42: Área a simular	51
Figura 43: Simulación de cobertura UMTS 850 MHZ.....	52

Figura 44: Simulación de cobertura LTE 700 MHz	53
Figura 45: Simulación de cobertura LTE 1900 MHz	54
Figura 46: Simulación de cobertura LTE 2600 MHz	55
Figura 47: Logo Aplicativo GNetTrack Lite en Google Play Store.....	62
Figura 48: Habilidad de permisos de ubicación	62
Figura 49: Habilidad de permisos de llamadas.....	63
Figura 50: Validación de marcación de coordenadas	63
Figura 51: Referencia de medición con datos móviles.....	64
Figura 52: Pantalla para medición LTE 4G vs Pantalla para medición UMTS 3G.....	64
Figura 53: Layer Control	69
Figura 54: Cambio de valores en leyenda de colores	69
Figura 55: Redraw cobertura	70
Figura 56: Exportar KMZ.....	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Definición y operacionalización de variables.....	23
Tabla 2: Datos para creación de eNodeB: Coordenadas, AZ, etc.....	65
Tabla 3: Plantilla definición UMTS 3G.....	66
Tabla 4: Plantilla definición LTE 4G	66
Tabla 5: Ingreso de celdas 3G.....	67
Tabla 6: Ingreso de celdas 4G.....	68
Tabla 7: Equipos y consumo total.	72
Tabla 8: Número de Bancos de Batería requeridos para la estación Base.....	73
Tabla 9: Dimensionamiento de Módulos Rectificadores necesarios para la estación Base.	73

I. INFORMACIÓN GENERAL

1.1. Título del proyecto

Planificación de eNodeB (3G/4G) para Brindar Cobertura Móvil al Centro Poblado 09 de Setiembre, Región Lambayeque.

1.2. Autores

Samamé Rojas Anggie Sofía

Valdiviezo Cieza Justo Jorge

1.3. Asesor de Especialidad

Mg. Ing. Hugo Javier Chiclayo Padilla

1.4. Línea de Investigación

Telecomunicaciones

1.5. Lugar de Ejecución

Departamento de Lambayeque, provincia de Lambayeque, distrito de Mórrope

II. RESUMEN

Esta tesis detalla la planificación de una estación móvil para proporcionar cobertura en el Centro Poblado 09 de Setiembre, ubicado en la región Lambayeque, un área sin acceso a servicios de telecomunicaciones móviles.

En nuestro país, el listado de localidades sin cobertura móvil alcanza un total de 7023, una cifra preocupante, ya que, actualmente, tener acceso a la comunicación móvil es indispensable. El Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones (MTC) publica anualmente 2 listas, la primera incluye a los centros poblados sin cobertura y la segunda incluye a los centros poblados con cobertura limitada a 2G. De la primera lista se ha seleccionado el centro poblado 09 de Setiembre para el desarrollo de esta investigación.

El objetivo principal fue planificar un eNodeB que proporcione servicios móviles de 3G y 4G. Para ello, se realizó un análisis del estado actual de los servicios de telecomunicaciones en la zona y se identificó el lugar óptimo para la instalación de la estación móvil, considerando la distribución geográfica y demográfica. Posteriormente, se llevó a cabo el dimensionamiento del equipo necesario para asegurar un rendimiento adecuado del servicio. Finalmente, se simuló la cobertura final, ajustando parámetros como tilt, azimuths de los sectores y la altura de la torre, con el fin de obtener una mancha de cobertura provechosa. Aquí se destaca el uso de la tecnología de 700 MHz en LTE, con la cual se garantiza coberturar un amplio terreno con niveles óptimos de señal; demostrando así que una torre de 30 metros con 03 sectores serviría provechosamente para brindar cobertura móvil al Centro Poblado 09 de Setiembre y alrededores cercanos.

Palabras Clave:

Planificación RF, eNodeB, cobertura móvil, estación base, UMTS 3G, LTE 4G, Tilt, Azimuth.

ABSTRACT

This thesis presents the planning of a mobile station to provide mobile coverage in a place called 09 de Setiembre, located in Lambayeque, a community without an access to mobile telecommunications services.

In our country, the list of locations without mobile coverage totals 7023, a concerning figure, as mobile communication access is currently essential. The Ministry of Transport and Communications (MTC) publishes two lists annually: the first includes settlements without coverage, and the second includes settlements with limited 2G coverage. From the first list, 09 de Setiembre has been selected for the development of this research.

The main objective was to plan an eNodeB that provides 3G and 4G mobile services. To achieve this, an analysis of the current state of telecommunications services in the area was conducted, and optimal sites for the mobile station installation were identified, considering the geographic and demographic distribution. Subsequently, we sized the necessary equipment to ensure adequate service performance. Finally, the final coverage was simulated, adjusting parameters such as tilt, azimuths, and tower height in order to obtain a profitable coverage area. We highlighted the use of 700 MHz LTE technology, which guarantees coverage of a large area with optimal signal levels; demonstrating that a 30m tower with three sectors would be useful for providing mobile coverage to 09 de Setiembre and nearby surrounding areas.

Keywords:

RF Planning, eNodeB, mobile coverage, mobile station, UMT 3G, LTE 4G, Tilt, Azimuth.

III. INTRODUCCIÓN

Las telecomunicaciones son un factor clave en el desarrollo de las comunidades, el estar conectados sin importar la distancia física que separan un punto de otro resulta ser en los últimos tiempos una necesidad que a la fecha no todas las comunidades pueden gozar.

En el Perú, esto se debe, en su mayoría, a la propia geografía del lugar, ya que vienen a ser zonas que se encuentran alejadas o son de difícil acceso. Para tratar de mitigar esta brecha, el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (MTC) publica cada año una lista de localidades en las cuales no se cuenta con cobertura móvil; es en ese sentido que, para el 2024 y mediante Resolución Directoral N° 017-2024-MTC/27 se aprobaron y publicaron estas localidades (EL PERUANO, 2024, p. 23). Es un tanto alarmante que dentro de la lista de 7023 localidades sin cobertura se tengan un considerable número de puntos pertenecientes a la Región Lambayeque.

La presente tesis muestra cómo planificar un eNodeB (3G/4G) que pueda brindar cobertura móvil a uno de estos tantos Centros Poblados, específicamente nos centraremos en el Centro Poblado 09 de Setiembre, del distrito de Mórrope. Ya que este es un Centro Poblado con ubicación estratégica en la carretera Lambayeque – Mórrope, lo cual beneficiaría (según información del INEI) a un aproximado de 1600 habitantes.

En el desarrollo del presente informe se exploran los conceptos más importantes que se debe tener en cuenta al momento de realizar la planificación de una estación base de modo que se tengan bien identificados cada aspecto.

Se presenta el estado actual de la señal móvil en dicho Centro Poblado, utilizando mediciones coberturas realizadas in situ mediante el aplicativo GNetTrack, evidenciando la urgencia del caso.

También se exploran elementos importantes como son la ubicación óptima según distribución geográfica, detalles de equipamiento a utilizar y simulaciones de cobertura móvil que ejemplificarían la zona que se cubriría con la construcción de una estación base.

Finalmente, en la sección de Resultados se detallan las distintas manchas de cobertura clasificadas por tecnologías UMTS 3G y LTE 4G, en sus diversas bandas de frecuencias, así como la extensión de su propagación de señal.

Asimismo, se mencionan algunas recomendaciones que deben tomarse en cuenta al momento de llevar a la práctica este análisis, como es el caso del procedimiento de adquisición de sitio (etapa previa) y referente a la etapa de optimización (posterior a la construcción de la estación base).

En la sección de anexos se tiene información adicional como son: configuración de aplicativo de medición de cobertura utilizado, cómo exportar la simulación de cobertura en formato KMZ, los inputs de creación de site para software de simulación; así como una información adicional de un cálculo estimado de la energía necesaria para habilitar un site de las características descritas en la presente tesis. Cabe resaltar que este cálculo de energía es referencial, y no se explica a detalle dentro de la presente tesis, puesto que no forma parte del objetivo de la misma.

IV. DISEÑO TEÓRICO

5.1. Antecedentes

5.1.1. *Antecedentes Internacionales*

Granda (2021), en su trabajo de investigación titulado: Análisis comparativo de un sistema de transmisión digital MIMO 2X2 versus MIMO 4X4 para una BS SMA en el centro de Quito, cuyo objetivo es Comparar un sistema MIMO 2x2 versus MIMO 4x4 para la identificación del impacto de cada sistema radiante en una radio base del BS SMA (Estación base del sistema móvil avanzado) en el centro de Quito. Utiliza la metodología comparativa descriptiva mediante la observación sistemática, de una estación de SMA que da cobertura al sector comprendido entre las calles Manabí y Chile ubicada en el Centro de Quito. Granda concluye en su trabajo, luego del análisis de resultados que en los nuevos niveles medidos en MIMO 4T4R; se encuentra una notable mejora a nivel de experiencia usuaria y utilización de la red, demostrando así, que al modernizar una tecnología existente se obtiene un mejor rendimiento a nivel de cobertura celular, capacidad de canal, throughput, entre otros. Finalmente nos recomienda realizar las pruebas de Drive Test en dos posibles momentos: de madrugada (cuando hay pocos usuarios), y en horas pico (para identificar los problemas reales de la red).

Escobar (2021), presenta su investigación titulada Diseño de una estación base para su integración en una red celular con tecnología UMTS y LTE en una estación referencial. El objetivo es el diseño de la estación base, tal como describe el problema de investigación. El autor utiliza la metodología teórica/simulada; en donde describe los pasos a seguir cuando se busca plantear una estación base. El estudio concluye que gracias a esta simulación previa se pudo determinar que niveles de señal en UMTS 850 MHz se propaga de manera satisfactoria hasta los 1.5 Km, mientras

que la propagación LTE alcanza unos 700 m. Utilizar una herramienta de simulación previa resultó de gran utilidad ya que le permitió encontrar los parámetros óptimos para la configuración de la estación base que se plantea. Asimismo, resulta beneficioso, ya que de querer implementar nuevas tecnologías se puede recurrir a la simulación como un paso previo.

5.1.2. Antecedentes Nacionales

Trujillo (2023), nos presenta en su tesis Gestión de KPIs para la optimización de los servicios de voz y datos tras la implementación de nuevas portadoras 4G en nodos Ran Sharing, siendo el objetivo optimizar la funcionalidad de una nueva integración de tecnología 4G mediante la gestión de KPIs en un nodo con celdas Ran Sharing. La investigación realizada concluye que la gestión de KPIS en el nodo estudiado permitió realizar la optimización de los servicios de voz y datos como se puede apreciar en el resultado de KPIs a nivel de clúster donde los datos obtenidos son los correctos y justificados de acuerdo a las exigencias del operador.

Cerna (2021), realiza un estudio titulado Modelamiento de red backhaul para estimar el máximo throughput de un enlace de transporte basado en indicadores de una estación base de comunicación móvil, y su objetivo es estimar del throughput máximo de los enlaces de transporte mediante un modelamiento de la red backhaul, basado en un análisis matemático, datos experimentales y cantidad de estaciones bases dependientes. Nos presenta un método para realizar la estimación de la máxima velocidad de navegación de un enlace de transporte tomado de datos experimentales en una estación base de telefonía móvil. Concluye que los resultados de los datos experimentales tomados de la red de la operadora con el modelo matemático, en 3 escenarios distintos esta comparación presenta un error menor al 8%, lo que demuestra la validez del modelo propuesto. Finalmente, luego de haber validado el modelo, se amplía la escala experimental, para

poder planificar certeramente la ampliación de una red directamente proporcional a la demanda del servicio.

Minaya – Pérez (2022), nos presentan en su tesis una investigación Optimización de la cobertura de la red 4G LTE del operador américa móvil, en el distrito de San Antonio, prov. Mariscal Nieto, Región Moquegua, la cual tuvo como objetivo optimizar la red 4G LTE en la provincia de Mariscal Nieto - Ancash. Para la medición de cobertura, calidad y capacidad de la señal de la red a optimizar se utilizó el método de Drive Test. Se hizo utilización de la herramienta GNETTRACK, para toma de mediciones a analizar. Para este trabajo se tuvieron en cuenta indicadores claves de desempeño como SINR, RSRQ y RSRP, para tasar la operatividad de la red. Para la optimización de la señal se hicieron cambios como movimiento de tilt, cambio de azimut de las antenas, también se adiciona una estación base para mejorar la cobertura de la red móvil en esta zona.

5.2. Bases Teóricas

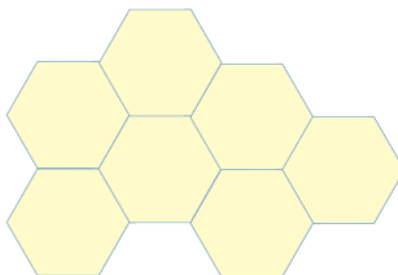
5.2.1. Red de Telefonía y Comunicaciones Móviles

Las redes de telefonía móvil son usadas por empresas de telecomunicaciones para brindar servicios de telefonía móvil, estas redes permiten entre dispositivos móviles la transmisión de voz y datos, lo que favorece la conectividad y movilidad de personas por todo el mundo.

La arquitectura en la que se basan estas redes celulares está dividida por áreas de cobertura, que a su vez se dividen en celdas, las cuales son atendidas por una base station, que a su vez se conecta con una red central y esta con la infraestructura más extensa, que ya incluye las redes de telefonía física y el internet fijo. (Axessnet, 2023)

Figura 1:

Representación de sistema celular para telefonía



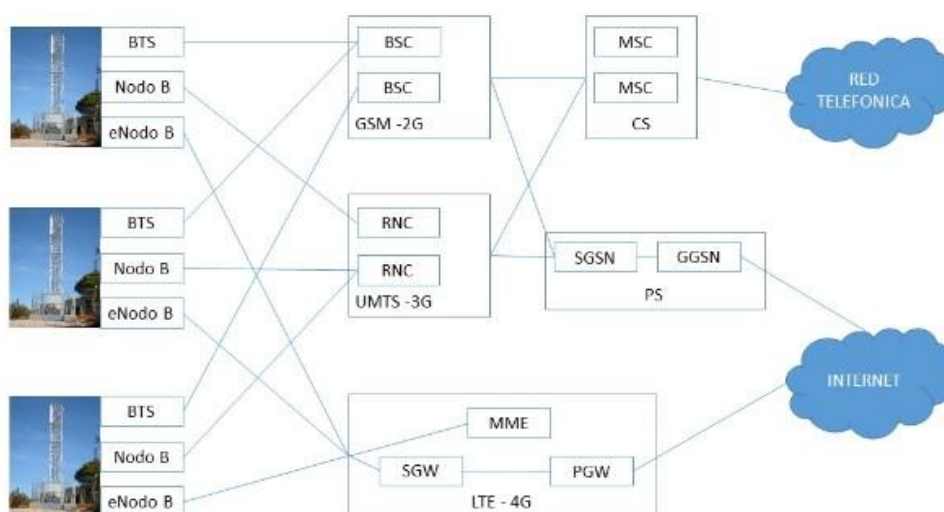
Extraído de: <https://mastermoviles.gitbook.io/tecnologias2/sistemas-de-telefonía-y-comunicaciones-moviles>

5.2.2. Arquitectura de una Red Móvil:

Cada generación de la red compone elementos diferentes, sin embargo, también poseen elementos en común, que dejan que los usuarios puedan pasar de una a otra tecnología, inclusive durante una llamada. A continuación, se ve en la siguiente figura algunos de los elementos que componen la red de acuerdo a la tecnología. (¿Qué elementos componen una red móvil?, s. f.)

Figura 2:

Arquitectura de la Red Móvil en Base a la Generación.



Extraído de: <https://www.temastecnologicos.com/redes-moviles/elementos/>

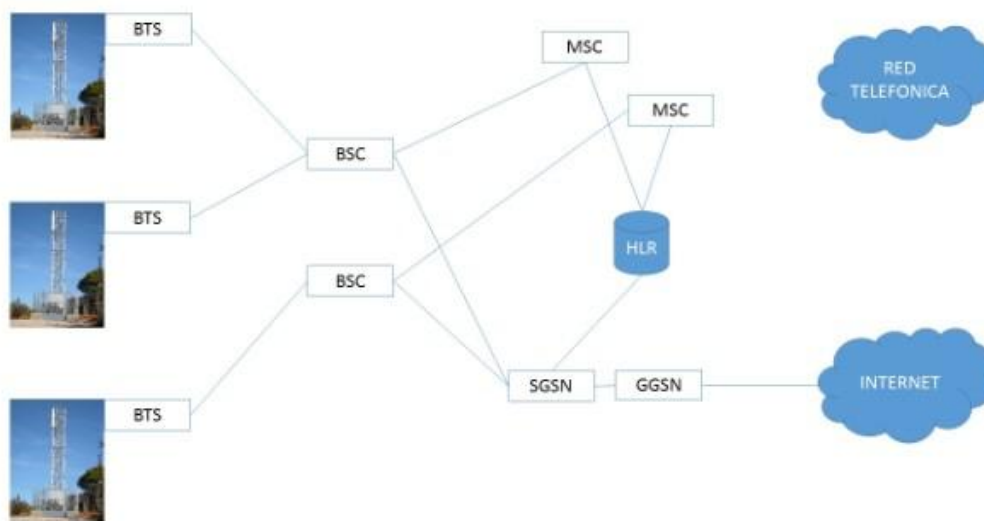
Se debe tener presente que cada site, que es donde se encuentran las antenas, tiene que proporcionar cobertura en las tres tecnologías, por lo que se ve en la figura anterior, cada uno de ellos está equipado para eso, ya que con eso se reduce un costo de renta, pago de energía eléctrica, entre otros gastos que se requieren por cada estación.

A continuación, veremos la descripción detallada de los componentes que la integran:

✓ Arquitectura de una Red GSM

Figura 3:

Arquitectura de una red GSM



Extraído de: <https://www.temastecnologicos.com/redes-moviles/elementos/>

BTS (Base Transceiver Station): Se encargan de establecer la conexión de las antenas en la 2da generación, de aquí salen los cables que reciben y emiten señales. La BTS gestiona todas las celdas que están conectadas a ella.

BSC (Base Station Controller): Es la encargada de controlar que las BTS que se conectan a ella funcionen correctamente, además de manejar la configuración de estas, para generaciones 2.5 y 2.75 diferencia tráfico de voz y de datos. Estos equipos están involucrados en el handover, proporcionando una experiencia fluida y garantizando que la conexión sea estable.

MSC (Mobile Switching Center): Son esenciales en las redes móviles para gestionar llamadas de voz, conectándose con BSCs y RNCs. Su tecnología es similar a la de telefonía fija, pero su software es más complejo debido a que permite la conexión de usuarios en movimiento. Solo gestiona llamadas de voz.

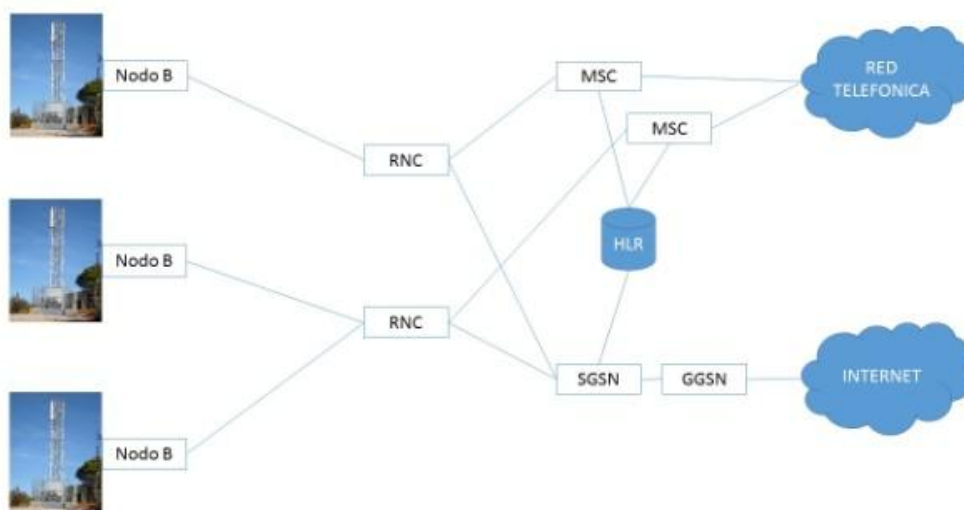
HLR (Home Location Register): Almacena datos estáticos de usuarios en la red móvil. La información que almacena abarca todos los datos estáticos como desvíos o servicios activados.

VLR (Visitor Location Register): Es parte de la MSC, contiene información sobre los abonados conectados, evitando las frecuentes consultas al HLR y proporcionando detalles de la posición del usuario y el estado actual.

✓ Arquitectura de una Red UMTS

Figura 4:

Arquitectura de una Red UMTS



Extraído de: <https://www.temastecnologicos.com/redes-moviles/elementos/>

Nodo B: Su función es equivalente a la del BTS, sin embargo, este dispositivo actúa sobre la 3era generación, controlando todas las celdas que están conectadas a él.

RNC (Radio Network Controller): su función es equivalente a la del BSC, diferencia entre conexiones de voz y datos, desde aquí toman caminos diferentes.

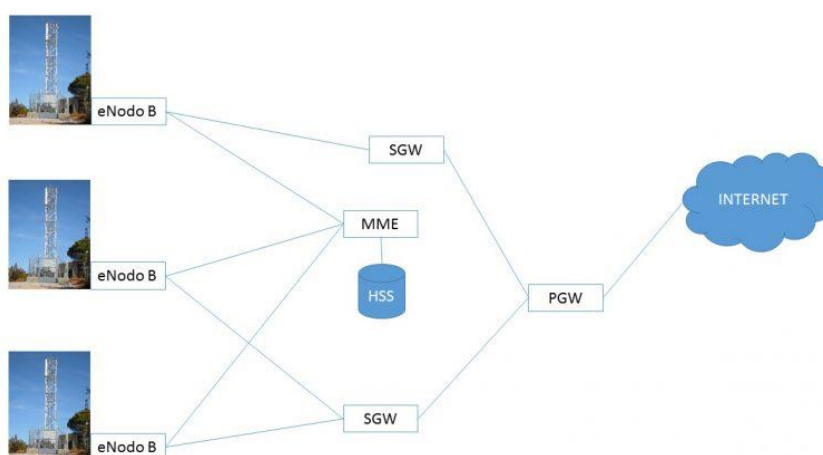
SGSN (Serving GPRS Support Node): Recibe las comunicaciones de datos de las BSCs como de las RNCs. Se encargan de distribuir los paquetes de datos, también localizan y gestionan a los usuarios conectados en el área que les corresponda. Cuando se pierde la cobertura en 4G son realmente útiles, ya que facilitan las transiciones rápidas entre las tecnologías de 3G y 4G.

GGSN (Gateway GPRS Support Node): En cuanto a datos son la fase final de la red móvil, porque desde aquí ya las comunicaciones pueden unirse a las de una red fija.

✓ **Arquitectura de una Red LTE**

Figura 5:

Arquitectura de una Red LTE



Extraído de: <https://www.temastecnologicos.com/redes-moviles/elementos/>

La arquitectura citada solo considera las conexiones de datos, ya que, en algunos casos, de acuerdo al equipo de la persona usuaria, las conexiones de voz se realizan por medio de la tecnología 3G:

eNode B (Enhanced Node B): Este Nodo B mejorado incorpora las funciones del elemento RNC, debido a eso no requiere de ningún controlador.

HSS (Home Subscriber Server): Almacena los datos estáticos, es una evolución de HRL, sin embargo, este es usado para redes 4G o LTE.

MME (Mobility Management Entity): Realiza la identificación del usuario en conjunto con el HSS hasta la elección del SGW que gestionaría la comunicación.

SGW (Serving Gateway): Aísla la gestión del cambio de un eNode B a otro de un dispositivo móvil en movimiento, todo esto para que el elemento PGW no se vea afectado, ya que no podría soportar el tráfico que comprometen los movimientos de los dispositivos en la red.

PGW (Packet Data Network): Cara a la red los datos parten de él, ya que asigna las direcciones IP para cada usuario. La información que necesitan los operadores para la facturación son tomadas de este elemento porque controla los datos y la tarificación. Es la frontera entre la red móvil y la red TCP/IP.

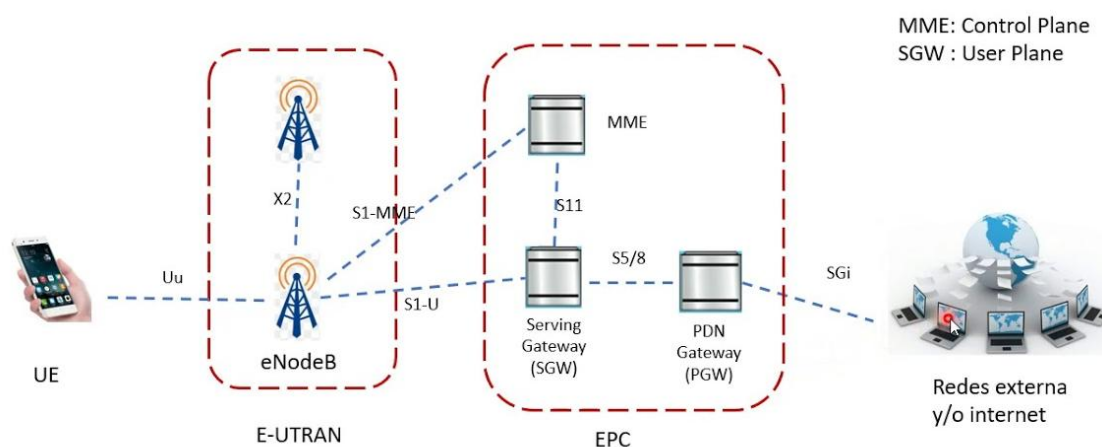
5.2.3. Long Term Evolution (LTE)

Este término hace referencia a un estándar dentro de las comunicaciones inalámbricas que permiten la transmisión de datos en alta velocidad en los teléfonos móviles y terminales de datos.

En cuanto a la arquitectura de una red LTE, esta está conformada por tres elementos primordiales: EPC (núcleo de paquetes evolucionado), RAN (red de acceso radioeléctrico) y UE (equipos de usuario). Donde, el EPC lo componen un conjunto de nodos que trabajan para gestionar y encaminar el tráfico de datos, encargándose también de autenticar usuarios y gestionar la movilidad. Mientras que la RAN se encarga de enlazar los UE con la red central, utilizando tecnologías MIMO para brindar un servicio de alta calidad para sus usuarios. (Moes, 2023)

Figura 6:

Arquitectura de una red LTE



Extraído de: https://youtu.be/Sds9GP_TeIc

5.2.4. *EnodeB*

Es el elemento de la arquitectura de LTE que representa la evolución del NodeB en las redes UMTS. Este elemento es el hardware que se conecta a la red de telefonía móvil y se comunica de forma inalámbrica con los UE. Tal como lo haría una BTS (Base Transceiver Station) en las redes GSM.

El eNodeB es parte de la red de acceso y tiene las funciones de gestionar los recursos de radio, comprimir y encriptar paquetes, programar y transmitir información. En resumen, los eNodeB son una combinación de la BTS y BSC en redes GSM, o la combinación del NodeB con la RNC en redes UMTS. (Huawei Technologies Co., Ltd., 2022)

5.2.5. *Antenas RF y RRU*

Las antenas de radiofrecuencia son dispositivos que se utilizan para recibir o emitir señales radioeléctricas en el medio aéreo, existen diversos tipos de antenas que pueden soportar diversas bandas de frecuencias. Adicionalmente, estas antenas RF tienen un comportamiento propio dependiendo de sus parámetros, entre los que destacan: el ancho de banda, la directividad, la ganancia, la impedancia, el patrón de radiación, polarización, tilt, dimensiones, entre otros. (Huidobro, 2013)

Figura 7:

Antena RF - Huawei



Extraído de: <https://carrier.huawei.com/en/products/antenna>

Una RRU es una unidad de radio remota y se encuentra en prácticamente todas las estaciones base de telecomunicaciones, su función principal es la de permitir el envío y recepción de señales. Estos equipos se pueden encontrar instalados cerca de la antena RF, ya que dependiendo de la longitud del jumper que conecta ambos equipos es que pueden existir pérdidas. Las RRU tienen la capacidad de recibir, transmitir, filtrar y amplificar señales de radiofrecuencia, y se conectan por medio de fibra óptica a la BBU. (Radiall, 2022)

Existen diferentes modelos de RRU que funcionan a diferentes bandas de frecuencia, y dependiendo de esta frecuencia es que se realiza la conexión adecuada en los puertos específicos de una antena.

Figura 8:

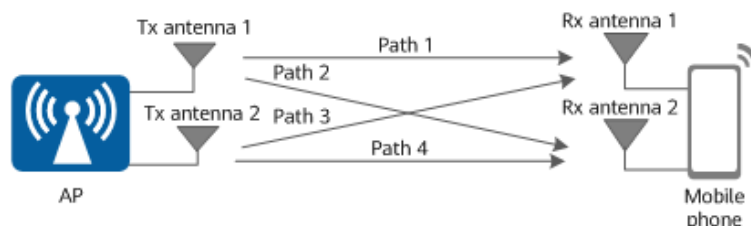
Modelo de RRU - Huawei



Extraído de: https://es.123rf.com/photo_116174048_la-unidad-de-radio-remota-al-aire-libre-de-gsm-dcs-umts-lte-es-como-parte-del-equipo-de-comunicaci%C3%B3n.html?is_plus=1

5.2.6. Multiple Input Multiple Output (MIMO)

Es un tipo de tecnología que utiliza múltiples antenas en la transmisión y en la recepción de modo que incrementa la capacidad de un enlace de radio, habilitando una variedad de rutas de señal por las cuales se transportan los datos. Existen diversos tipos de conexiones MIMO: SU-MIMO (MIMO de usuario único) se utiliza para aumentar la velocidad de datos y reducir interferencias, MU-MIMO (MIMO multiusuario) permite que más de un terminal accedan al mismo canal de manera simultánea; y el MIMO Masivo, el cual utiliza el mayor número de antenas de Tx y Rx mejorando significativamente la capacidad y la eficiencia, de modo que se vuelve una pieza clave y fundamental para el desarrollo de las redes 5G. (Huawei Technologies Co., Ltd, 2022)

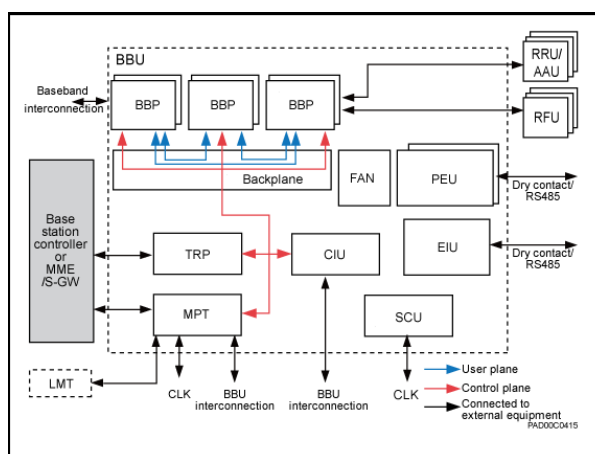
Figura 9:*Distribución en una Tecnología MIMO*

Extraído de: <https://support.huawei.com/enterprise/es/doc/EDOC1100201633>

5.2.7. BBU

Sus siglas significan Unidad de Banda Base y se emplea para el procesamiento de señales de banda base, haciendo referencia a la frecuencia original previo a la modulación. En la red de acceso tradicional se puede encontrar una BBU en la cual se pueden conectar una o más RRU. La BBU es responsable de la comunicación desde la interfaz física a la red central y, además, la BBU y la RRU se conectan entre sí por medio de fibra óptica. (VIAVI, 2023)

Dentro de las principales funciones de una BBU está la de proporcionar puertos de conexión para los equipos de transmisión, módulos RF y clock; permitir las actualizaciones de software de la estación base; y se encarga de la gestión de toda la estación base, gestionando los recursos y operación y mantenimiento. Una BBU consta de los siguientes subsistemas: subsistema de banda base, subsistema de energía y mecánico, subsistema de transmisión, subsistema de interconexión, subsistema de control principal, subsistema de monitoreo y subsistema de reloj. (Huawei Technologies Co., Ltd., 2023)

Figura 10:*Arquitectura de una BBU*

Extraído de: <https://forum.huawei.com/enterprise/es/Introducci%C3%B3n-Huawei-BBU3900-y-BBU3910/thread/667241500217589760-667212889045479424>

5.2.8. Throughput

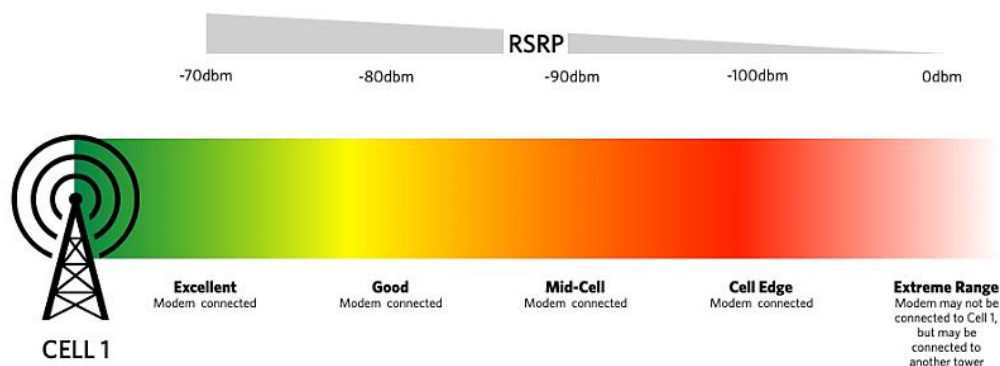
Se define como la cantidad de datos que se transmiten por la red en un momento determinado, y se mide en bits/segundo. Este parámetro de red nos permite conocer el rendimiento en términos de conexión y velocidad, aunque si existen problemas en el medio de transmisión este valor puede verse degradado. Cuando una red se encuentra saturada de usuarios de manera simultánea, el throughput también se degrada (disminuye su valor) resultando en velocidades muy bajas o en problemas para acceder a la red móvil; esto ocurre porque al existir mayor cantidad de usuarios, el tráfico aumenta, de modo que el tráfico de datos y el throughput son términos inversamente proporcionales ya que para que uno aumente su valor, el otro debe disminuir el suyo. (González Morón, 2023)

5.2.9. RSRP

RSRP significa Reference Signal Received Power, y es el parámetro de red que permite al usuario tomar decisiones de selección y traspaso de celda o de estación según sea el escenario. Esta medida es la potencia de señal que recibe un móvil desde una torre o estación base, y nos ayuda en la evaluación de la calidad de red. El rango de valores de RSRP se encuentran normalmente entre -140 dBm a -44 dBm, donde el valor más alto significa una señal mejor y más potente; por otro lado, a medida que el valor de RSRP se va acercando a -140 dBm significa que la señal es mucho más débil, pudiendo generar problemas en la navegación, bajo throughput, llamadas interrumpidas, etc. (Huawei Technologies Co., Ltd., 2023)

Figura 11:

Niveles de RSRP en una señal 4G



Extraído de: <https://forum.huawei.com/enterprise/es/Funcionamiento-del-RSRP/thread/667237238666313728-667212890693840896>

5.2.10. PRB

El Physical Resource Block (PRB) se refiere a la cantidad de recursos de radio que puede asignarse a un usuario, y está relacionado de manera directa con el ancho de banda de la tecnología de la portadora LTE. Resulta de suma importancia que una estación con más de una portadora (es decir, estaciones donde una antena posee más de una RRU conectadas) exista un balance de los PRB de cada una, de modo que se optimiza de manera constante aprovechando todos los recursos al máximo. Cuando se tienen los PRB correctamente balanceados se mejora la experiencia del usuario. Los PRBs se miden en base al porcentaje de 0% a 100%, donde 100% significa saturación total; eso significa que a mayor porcentaje de uso de PRB, menor será el throughput. (González Morón, 2023)

4.3. Definición y operacionalización de variables

Tabla 1:

Definición y operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	Instrumento
Planificación de eNodeB (3G/4G)	Conceptos que influyen en la toma de decisiones al planificar una estación base (eNodeB)	Parámetros técnicos referentes a una estación base	Ubicación de eNodeB	Ubicación óptima sin obstrucciones	Google Earth
			Equipos RF (Antenas / RRU)	Patrón de radiación que mejor se adecua a las necesidades del centro poblado.	Datasheet de equipos
			Tipo de BBU / Tarjeterías	Distribución de recursos de Red	Datasheet de equipos
Nivel de cobertura móvil en el CCPP	Calidad de la señal móvil en el Centro Poblado 9 de Setiembre	Intensidad de señal del servicio móvil	Azimuths - Tilts	Mancha de cobertura	Simulación de cobertura
			RSRP	Nivel de señal	Simulación de cobertura
			PRB	Utilización de red	Estimación de tráfico

V. DISEÑO METODOLÓGICO

6.1. Diseño de Contrastación de Hipótesis

6.1.1. Pasos previos / Validación Inicial

Como primer paso antes de iniciar con el análisis o planificación de una solución, tal cual lo indica el método científico, es necesario realizar una observación del panorama general.

Es en ese sentido que, analizando la situación actual del nivel de cobertura de los 04 operadores en Perú: Claro, Movistar, Entel y Bitel, podemos tener una primera confirmación de la situación actual por la que se atraviesa en el Centro Poblado 09 de Setiembre.

Para realizar estas mediciones de cobertura, podemos descargar un aplicativo gratuito disponible en la Play Store, lo encontramos bajo el nombre de GNet-Track. En la sección de anexos se presenta la forma de configuración inicial de la aplicación.

Estas mediciones se realizaron a lo largo del polígono que se muestra en la Figura 12, como coordenadas principales según INEI (Latitud: -6.601139° , Longitud: -79.977063°)

Figura 12:

Polígono de Centro Poblado



Fuente: Elaboración Propia

El operador Bitel es quien posee mejor señal en la zona con un valor RSRP de -113, sin embargo, este nivel de señal no es considerado como bueno ya que a este nivel se suele tener fluctuaciones hacia el lado negativo de no poseer señal alguna. Asimismo, esta medición era fluctuante, ya que por momentos la señal se cortaba y no se generaba medición alguna.

Figura 13:

Medición de señal de cobertura móvil - Bitel



G-NetTrack Lite v19.0				
Operador: BITEL				
MCC: 716	MNC: 15	TAC: 40600	Tipo: LTE	
eNB: 150208	CID: 63	PCI: 260	TA:	
ARFCN: 3150	BAND: L7	BW: 20		
F DL: 2660,0 MHz			F UL: 2540,0 MHz	
RSRP: -113	RSRQ: -11	SNR: 2.0	CQI: -	RSSI: -97
Longitud: -79.97342		Latitud: -6.600589		
Velocidad: 8 km/h	Dirección: 329°	GPS Exactitud: 1m		
NW				
Alto: 22m	Altitud: 22m	Nivel del suelo: 0m		
CARGA: 0 kbps	DESCARGA: 0 kbps			
Datos: BITEL-LTE IDLE				

Fuente: Elaboración Propia

El operador Entel, posee un nivel de señal de -164, demostrando así que inclusive haciendo triple Carrier Agregation no se llega al nivel óptimo. Cabe resaltar que un Carrier Agregation doble o triple dependerá directamente de las especificaciones del equipo celular utilizado, ya que no todos los equipos móviles soportan esta función.

Figura 14:

Medición de señal de cobertura móvil - Entel



G-NetTrack Lite v19.0				
Operador: Entel Power				
MCC: 716	MNC: 17	TAC: 1904	Tipo: LTE	
eNB: 3159	CID: 73	PCI: 11	TA: 0	
ARFCN: 9285	BAND: L28	BW: [15/20/10] CA		
F DL: 765,5 MHz			F UL: 710,5 MHz	
RSRP: -164	RSRQ: -	SNR: 0.0	CQI: -	RSSI: -113
Longitud: -79.97344		Latitud: -6.600515		
Velocidad: 53 km/h	Dirección: 326°	GPS Exactitud: 2m		
NW				
Alto: 32m	Altitud: 32m	Nivel del suelo: 0m		
CARGA: 0 kbps	DESCARGA: 0 kbps			
Datos: Entel Power-LTE DATA				

Fuente: Elaboración Propia

El operador Movistar es quien ocuparía el tercer lugar con un nivel de señal RSRP de -119, siendo este valor pésimo en comparación a los dos primeros que, a pesar de tener mejores valores, no son lo suficiente para determinar que la señal es óptima y de buena calidad.

Figura 15:

Mediciones de señal de cobertura móvil – Movistar

				G-NetTrack Lite		v19.0			
Operador: Movistar									
MCC: 716		MNC: 06		TAC: 7408		Tipo: LTE			
eNB: 474317		CID: 3		PCI: 473		TA: 0			
ARFCN: 2050		BAND: L4				BW: 10			
F DL: 2120.0 MHz				F UL: 1720.0 MHz					
RSRP: -119		RSRQ: -11		SNR: 0.0		CQI: 9		RSSI: -109	
Longitud: -79.97745				Latitud: -6.594361					
Velocidad: 80 km/h Dirección: 147° SE GPS Exactitud: 2m									
h									
Alto: 27m		Altitud: 27m		Nivel del suelo: 0m					
CARGA: 0 kbps				DESCARGA: 0 kbps					
Datos: Movistar-LTE				IDLE					

Fuente: Elaboración Propia

Por último, para el caso del operador Claro, no se logró conseguir una medición en 4G LTE, sino que de manera automática solo se podía conectar a la red 3G, en la figura se puede observar que no se visualiza un valor de RSRP, sino un RSCP de -113 (Los valores RSCP hacen referencia a la red 3G), el cual sigue siendo no óptimo.

Figura 16:

Medición de señal de cobertura móvil – Claro

 G-NetTrack Lite			v19.0	
Operador: HazloRealidad				
MCC: 716	MNC: 10	LAC: 7416	Tipo: 3G	
RNC: 1035	CID: 59606	PSC: 179	TA:	
ARFCN: 1062	BAND:		BW:	
F DL: 212,4 MHz			F UL:	
RSCP: -113	ECNO: -13			SNR:
Longitud: -79.97344		Latitud: -6.600514		
Velocidad: 0 km/h	Dirección: 0° N		GPS Exactitud: 5m	
Alto: 33m	Altitud: 33m		Nivel del suelo: 0m	
CARGA: 11 kbps		DESCARGA: 0 kbps		
Datos:	HazloRealidad-3G		DATA	

Fuente: Elaboración Propia

Es importante realizar la aclaración que el Centro Poblado en cuestión, mientras que el MTC indica que no se posee cobertura móvil en dicho lugar, se aprecia que en la realidad si existe cobertura, pero siendo mala e ineficiente como el caso de Claro que solo posee conexión 3G.

Esto sucede debido a que el MTC se rige en base a las zonas donde cada operador declara poseer cobertura móvil, acorde a lo que indica el Reglamento para la supervisión de la cobertura garantizada de los servicios públicos de telecomunicaciones móviles y fijos con acceso inalámbrico del OSIPTEL (Disponible en: https://www.osiptel.gob.pe/media/dy0j30kb/2-_reglamento_de_cobertura_vf.pdf). Esto quiere decir que, si un operador declara poseer cobertura móvil con estos valores, puede ser multado y sancionado por el ente regulador ya que no reflejan valores óptimos para el buen uso del usuario final.

Figura 17:

Lugares aproximados donde se realizaron las mediciones de cobertura



Fuente: Elaboración Propia

6.1.2. Ubicación de Punto Cero.

Una vez identificado el problema de cobertura móvil en la zona, debemos evaluar la mejor ubicación en la que se podría colocar una estación base o eNodeB, de modo que se pueda aprovechar al máximo todo su potencial.

Debemos tener en cuenta factores como densidad poblacional, aprovechamiento de superficie elevada a nivel geográfico, y aprovechamiento de azimuths o apuntamiento de cada antena para poder determinar la ubicación ideal de la torre.

Para este caso en particular podemos apreciar que existe un centro poblado hacia el sureste de nuestro centro poblado compromiso, por lo que se podría aprovechar como zona tentativa la parte inferior del polígono color Rojo.

Figura 18:

Vista panorámica del área total a coberturar



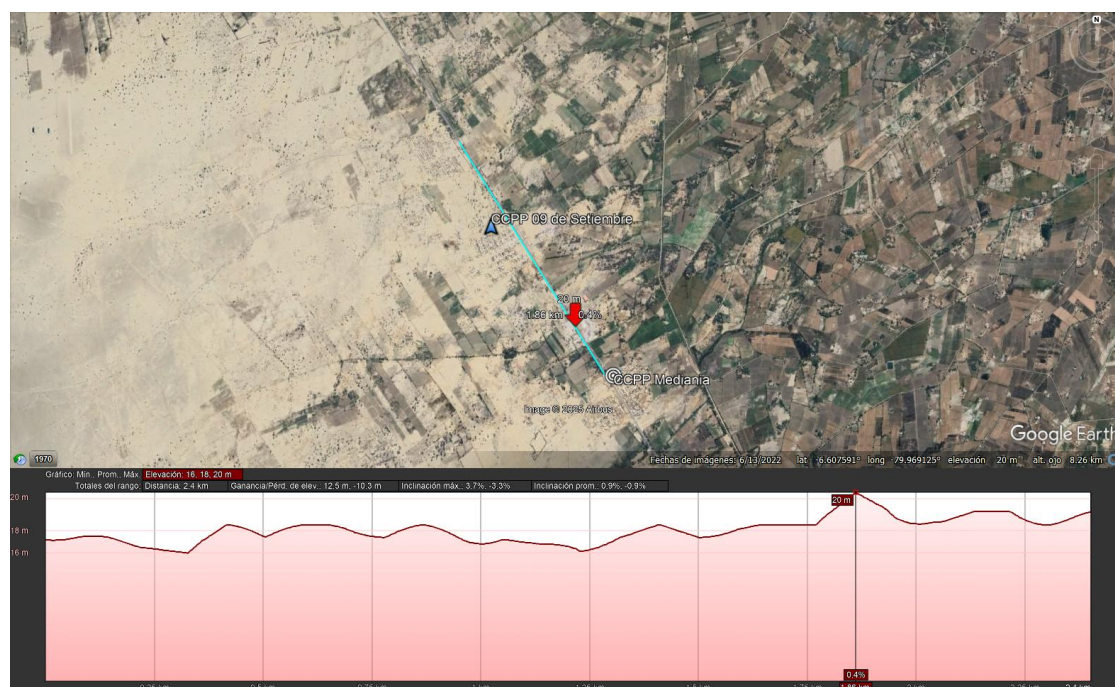
Fuente: Elaboración Propia

Es importante recalcar que la distancia que separa al CCPP 09 de Setiembre (-6.600826°; -79.975609°) del CCPP Medianía (-6.611262°; -79.966200°) es de aproximadamente 1.60 Km, lo que lo predispone a tener llegada con bandas bajas.

En cuanto a la situación geográfica de la zona, no se encuentra en relieve accidentado ni con obstrucciones geográficas visibles que impidan la correcta línea de vista. Esto se puede comprobar fácilmente trazando una línea recta y visualizando el Perfil de elevación en Google Earth. Aquí apreciamos como el punto más bajo está a 17 msnm, mientras que el más alto es de 20 msnm; generando una diferencia de 3m de altura, que con una torre de 30m de solución de manera inmediata.

Figura 19:

Perfil de elevación en zona

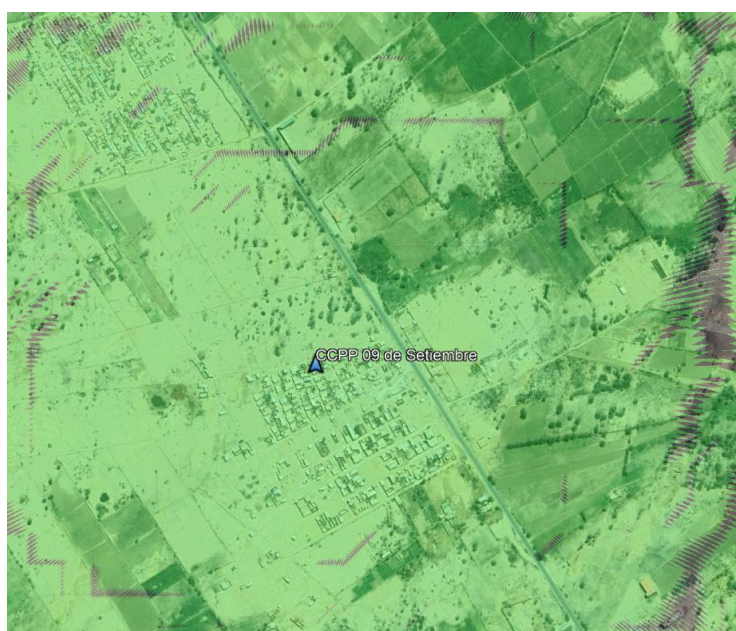


Fuente: Elaboración Propia

Otra forma de poder verificar si existe una línea de vista adecuada, es mediante la opción de Cuenca Visual que posee Google Earth, en la cual a un punto se le coloca la altura deseada y nos muestra en color verde toda área o terreno desde donde se podría ver directamente a la máxima altura configurada.

Figura 20:

Cuenca Visual en Google Earth



Fuente: Elaboración Propia

El principal motivo de realizar este análisis es el de verificar algún tipo de obstrucción aparente que impida la correcta propagación de la señal, lo cual se verifica que no sucede en este caso; ya que con una torre de 30m se podría coberturar lo deseado sin mayores inconvenientes a nivel outdoor.

En ese sentido, dado que la zona es relativamente plana, y como buscamos no solo brindar cobertura al CCPP 09 de Setiembre, sino también al pueblo aledaño de Medianía; lo óptimo sería

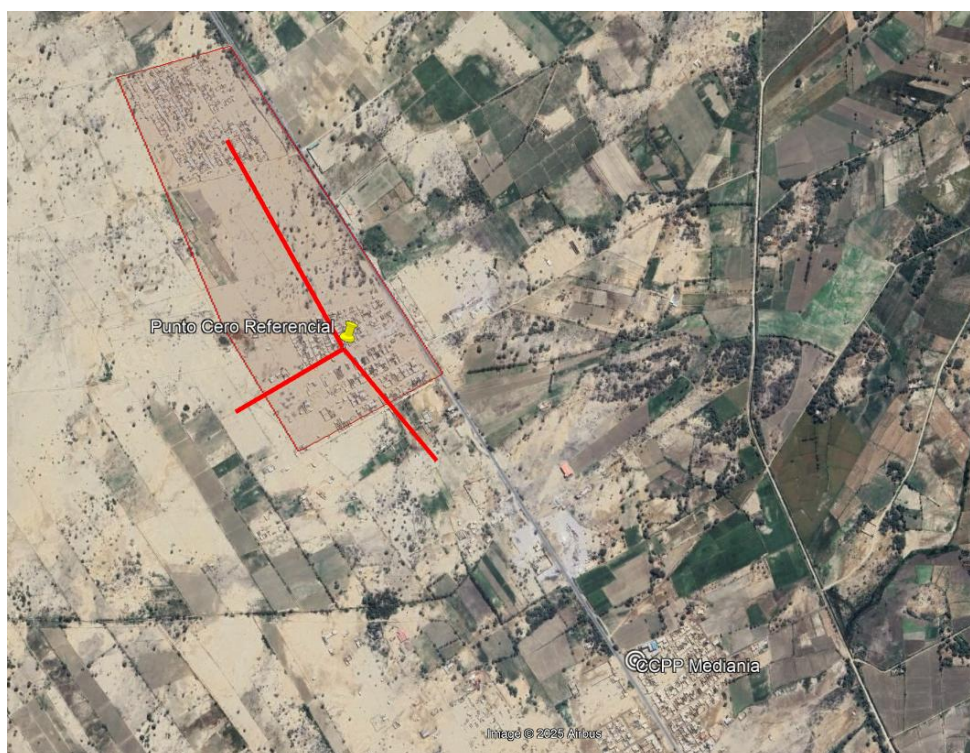
ubicar la estación en la parte inferior del polígono rojo, lo que representa casi el punto medio entre la parte superior del polígono y el pueblo aledaño.

La ventaja de ubicar la torre al centro, es que podrá propagar la señal en ambas direcciones sin que ningún flanco quede más corto que el otro. Se ha seleccionado como punto cero las coordenadas $(-6.601600; -79.975320^\circ)$, con azimuths de 140° (hacia Medianía), 240° (hacia el oeste) y 330° (hacia el norte del CCPP compromiso).

Solo consideraríamos tres sectores, ya que toda la zona noreste del mapa no cuenta con densidad poblacional según se aprecia en Google Earth.

Figura 21:

Ubicación de Punto Cero y azimuths



Fuente: Elaboración Propia

Este análisis cuando es trasladado a campo se deben realizar más tareas como son: negociaciones con propietario(s) del terreno donde se quiere construir la torre, permisos municipales, coordinaciones con la comunidad, contratos de adquisición, entre otros. Respecto a estos puntos no entraremos en detalle, debido que no forman parte del objetivo de la presente tesis.

Una vez identificado nuestro punto de ubicación tentativo con las direcciones en que apuntarán cada uno de los sectores que conforman la estación base, y previo a realizar la etapa de simulación; debemos hacer un análisis previo referente a que equipos consideraremos para la siguiente etapa.

6.1.3. Antenas Sectoriales

Uno de los gestores principales de que se pueda propagar una señal de RF son las antenas, las cuales encontramos en el mercado de muchos tipos, como, por ejemplo: antenas panel, antenas omnidireccionales, antenas sectoriales, entre otros.

Al centrarnos en una estación base para coberturar un centro poblado debemos dirigir la señal hacia un sector específico, es por ese motivo que debemos considerar el uso de antenas sectoriales para este proyecto. Puesto que, estas antenas sectoriales ayudan a optimizar el uso de las frecuencias que se puedan asignar y la calidad de servicio de cara al usuario final.

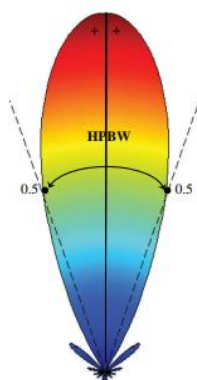
Las antenas sectoriales, no son todas iguales, ya que cada modelo tiene sus características propias (inclusive entre fabricantes); cada una en su tipo posee patrones de radiación propios que les permite desempeñarse eficientemente según la necesidad.

Considerando que un patrón de radiación de antena se define como las propiedades de radiación en función de las coordenadas espaciales o direccionales, que influyen en la dirección en la que se apunta (trayectoria). Podemos afirmar que el patrón de antena que más se adecúa a las

necesidades de este proyecto, es como el que se presenta en la Figura 22:

Figura 22:

Patrón de radiación



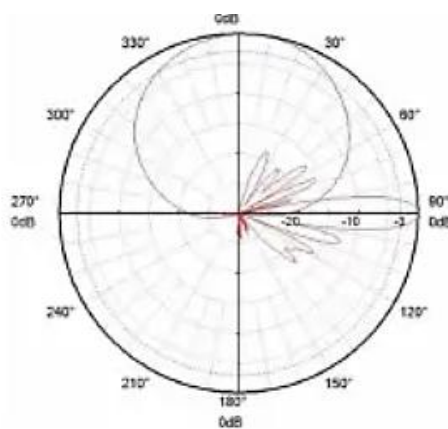
Extraído de (Constantine, 2016)

La figura expuesta nos permite identificar ciertas ventajas, entre ellas: el aprovechamiento de una propagación enfocada, sin mucha predominancia de lóbulos laterales o posteriores que generen interferencia con antenas sectoriales vecinas; ya que podrían llegar a complicarse entre ellas cuando los patrones no son los adecuados o si no se tiene una separación adecuada entre antenas sectoriales.

En la práctica, el fabricante Huawei, posee una antena sectorial de 12 puertos, cuyo patrón de radiación es muy parecido al comentado en la Figura 22. Dentro de las ventajas que la caracterizan están su cantidad de puertos, que nos permitiría integrar unidades de radio más potentes y de mayores capacidades en comparación a otras antenas que solo posee 4 u 8 puertos. El patrón descrito en la Figura 23, corresponde al modelo de antena sectorial ASI4518R10v18, el cual según datasheet (en anexos) posee aperturas de hasta 70°.

Figura 23:

Patrón de radiación antena Huawei ASI4518R10v18



Extraído de: Datasheet Antena Huawei ASI4518R10v18

Es en ese sentido que los azimuths (orientación de antena) que se plantearon en la sección 6.1.2. se encuentran correctamente espaciados, y sin que se generen inconvenientes entre cada antena según la teoría mencionada.

Figura 24:

Apertura de antena por cada sector



Fuente: Elaboración Propia

La sección en color naranja representa la propagación central de cada antena, con la apertura indicada. Básicamente, el azimuth vendría a estar ubicado a la mitad de todo el rango que ocuparía la antena sectorial (Línea roja: S1 – 140° / S2 – 240° / S3 – 330°)

A simple vista podría interpretarse como que existen zonas vacías entre antenas, sin embargo, como se aprecia en la *Figura 22*, existen pequeños lóbulos que ayudarían a completar estas zonas, lo cual quedaría demostrado mediante una simulación que se tratará más adelante.

Dicho esto, para la simulación que realizaremos se considerará el modelo de antena Huawei ASI4518R10v18, con la intención de obtener una mancha de cobertura que potencialmente cubra el centro poblado 09 de Setiembre.

6.1.4. Equipos de Radio (RRU)

Luego de haber identificado un modelo de antena adecuado para realizar la simulación final de cobertura, es importante saber identificar los equipos de radio o RRUs que serán los encargados de la transmisión y recepción de señales de banda base; realizando así la modulación, procesamiento y amplificación de las señales de RF.

Para demostrar la propagación de la señal RF, debemos identificar primero las bandas de frecuencias detalladas en el Registro Nacional de Frecuencias del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones del Perú (<https://www.gob.pe/institucion/mtc/informes-publicaciones/343585-registro-nacional-de-frecuencias>).

De este análisis podemos afirmar que los operadores móviles del territorio peruano, se encuentran utilizando las siguientes bandas:

- 698 – 806 MHz (Entel, Claro y Movistar)
- 824 – 849 MHz y 869 – 864 MHz (Movistar y Claro)

- 1850 – 1910 MHz y 1930 – 1990 MHz (Claro, Entel, Movistar y Bitel)
- 2500 – 2600 MHz (Claro, Entel, Bitel)

Dado que, para este caso se estará trabajando con una antena sectorial Huawei; significaría que los modelos de RRU deben ser del mismo fabricante; escenario bajo el cual destacamos los modelos de la serie 5000, por ser más avanzados en tecnología y permitiendo alcanzar escenarios de 4T4R con modos de trabajo híbrido soportado; en comparación con la serie 3000.

De las frecuencias detalladas, y comparando con las bandas de frecuencia soportadas por cada modelo de RRU de Huawei, optaremos por: UMTS 850 MHz y LTE 700 MHz, 1900 MHz y 2600 MHz.

Figura 25:

Características RRUs serie 3000

RRU Model	XTXR	Frequency band (MHz)	Supported RATs
RRU3262	2T4R	700 850 2600	LTE (FDD) , LM, LN (SUL)
RUR3971	4T4R	1800 1900 AWS 2100	LTE (FDD) , GL, LM, GLM, LN (SUL) , GLN (SUL)
RRU3281	4T4R	2600	LTE (FDD)

Fuente: (Huawei, 2022)

Figura 26:*Características RRUs serie 5000*

RRU Model	XTXR	Frequency band (MHz)	Supported RATs
RRU5304	4T4R	2600	LTE (FDD) , NR (FDD) , LN (FDD)
RRU5512	4T4R	700+850	700MHz: LTE (FDD) , LM, LN (SUL) , NR (FDD) , LN (FDD) , LMN (FDD) 850MHz: UMTS, LTE (FDD) , GU, GL, UL, GUL, GM, UM, LM, GUM, GLM, ULM, NR (FDD) , LN (FDD) , GN (FDD) , UN (FDD) , GUN (FDD) , GLN (FDD) , ULN (FDD) , MN (FDD) , GMN (FDD) , UMN (FDD) 700MHz+850MHz: LTE (FDD) , GL, UL, GUL, LM, GLM, ULM, GULM, LN (SUL) , GLN (SUL) , ULN (SUL) , GULN (SUL) , NR (FDD) , GN (FDD) , UN (FDD) , LN (FDD) , GUN (FDD) , GLN (FDD) , ULN (FDD) , GULN (FDD) , MN (FDD) , GMN (FDD) , UMN (FDD) , LMN (FDD) , GLMN (FDD) , ULMN (FDD) , GULMN (FDD)
RRU5904w	4T4R	1900	UMTS, LTE (FDD) , GU, GL, UL, GUL, NR (FDD) , GN (FDD) , UN (FDD) , LN (FDD) , GUN (FDD) , GLN (FDD) , ULN (FDD)

Fuente: (Huawei, 2022)

Las siglas NR, significan New Radio, lo que significa que las RRU serie 5000 están en la capacidad de escalar sobre la tecnología 5G, por ello los modelos 3000 quedarían desplazados. Por ejemplo, la sigla LN, significa funcionamiento híbrido para LTE + NR.

Es importante agregar que, para efectos de simulación de cobertura, el software a utilizar no requiere del ingreso de un modelo de RRU, sino únicamente de la frecuencia y el modo TxRx.

6.1.5. Tarjetería para Unidad de Banda Base (BBU)

Una BBU proporciona los puertos necesarios donde se conectan los equipos de transmisión RF, permite transmitir las señales y desplegar de manera remota y automática actualizaciones de software. En otras palabras, se encarga de gestionar el sistema de la estación base en su totalidad.

Para la gestión de los recursos de una estación base, de entre todos los elementos con los que cuenta una BBU, podríamos mencionar que los más importantes son la UMPT y la UBBP.

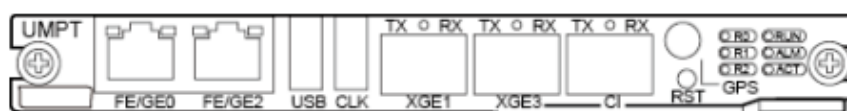
La UMPT se encarga del procesamiento de toda la estación, se puede asemejar al cerebro

del eNodeB; mientras que la UBBP se encarga del procesamiento de banda base, es decir que desde la UBBP se toman los recursos para cada portadora o celda asignada para cada frecuencia.

Si bien es cierto, dentro del proceso de simulación de cobertura no es necesario detallar algún tipo de tarjetería a utilizar; es importante que sea mencionado ya que es parte de la planificación de un eNodeB.

Figura 27:

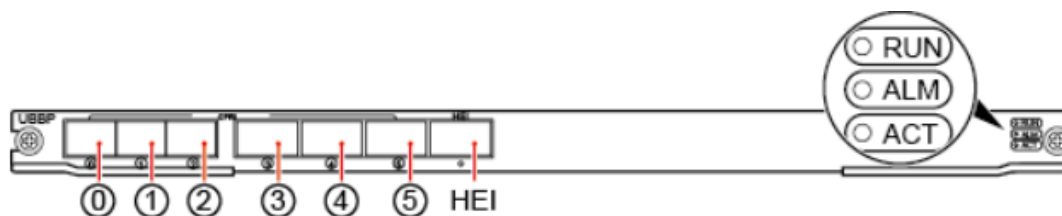
UMPT



Fuente: (Huawei Technologies Co., Ltd., 2018)

Figura 28:

UBBP



Fuente: (Huawei Technologies Co., Ltd., 2018)

Existen ciertas diferencias entre modelos de BBU, ya que podemos encontrar BBU3900, BBU3910, BBU5900 y BBU5900A; cuyas diferencias se basan principalmente en las tecnologías soportadas.

Por ejemplo, las serie 3900 se despliegan sobre tecnologías GSM, UMTS y LTE; mientras que las serie 5900 están diseñadas para soportar hasta tecnologías 5G NR.

Dicho ello, dentro de nuestra planificación del eNodeB, deberíamos de considerar el utilizar una BBU5900 con miras a la escalabilidad de tecnologías de red.

Al igual que existen diferencias entre los modelos de BBU, también existen diferencias entre los modelos de UMPT y UBBP, ya que existen modelos más actuales con mejores características y capacidad, que no son soportadas por cualquier unidad de banda base.

Figura 29:

Compatibilidad de tarjetas vs BBU

Board		Supported by the BBU3900 or Not	Supported by the BBU3910 or Not	Supported by the BBU5900 or Not	Supported by the BBU5900A or Not
UMPT	UMPTa	Yes	No	No	No
	UMPTb	Yes	Yes	Yes	No
	UMPTe	Yes	Yes	Yes	Yes
	UMPTg/UMPTga	No	Yes	Yes	Yes
UBBP	UBBPd	Yes	Yes	Yes	Yes
	UBBPe	Yes	Yes	Yes	Yes
	UBBPei/UBBPem/UBBPex2	No	Yes	Yes	Yes
	UBBPf	No	Yes	Yes	Yes
	UBBPfw	No	No	Yes	No
	UBBPg1	Yes	Yes	Yes	Yes
	UBBPg2/UBBPg2a	No	Yes	Yes	Yes
	UBBPg3/UBBPg3a/UBBPg4	No	No	Yes	Yes

Fuente: (Huawei, 2020)

Finalmente, y de acuerdo a la librería del fabricante Huawei se presentan algunas diferencias entre las tarjetas UBBP, y sus modos de trabajo: UMTS, LTE (FDD), NR (FDD), UL (UMTS + LTE) y LN (LTE + NR). Destacando entre ellas, el modelo UBBPg2, ya que permite trabajar mayores cantidades de celdas en distintos modos de trabajo, permitiendo optimizar slots de la BBU y brindando mayores recursos para tecnologías futuras.

Figura 30:*Tipos de UBBP*

Type	UBBPg1	UBBPg1a	UBBPg2
Applicable BBU Model	BBU3900, BBU3910, BBU5900, BBU5900A	BBU3900, BBU3910, BBU5900, BBU5900A	BBU3910, BBU5900, BBU5900A
Supported RATs	UMTS /LTE(FDD) /LTE(NB-IoT) /LTE(TDD) /NR(FDD) /UL co-BBP/LM co-BBP/UM co-BBP/LT co-BBP/ULM co-BBP/TM co-BBP/LTM co-BBP	UMTS /LTE(FDD) /LTE(NB-IoT) /LTE(TDD) /NR(FDD) /UL co-BBP/LM co-BBP/ULM co-BBP/LT co-BBP/TM co-BBP/LTM co-BBP/LN FDD co-BBP/LMN FDD co-BBP	UMTS /LTE(FDD) /LTE(NB-IoT) /LTE(TDD) /NR(FDD) /UL co-BBP/LM co-BBP/ULM co-BBP/LT co-BBP/TM co-BBP/LTM co-BBP/LN FDD co-BBP/LMN FDD co-BBP
Number of CPRI ports	6	6	6
Protocol type of the CPRI interface	CPRI	CPRI	CPRI
UMTS			
Number of 2R cells	12	12	12
Number of 4R cells	6	6	6
LTE (FDD)			
Number of cells specification 1	6x1.4/3/5/10/15/20MHz 2T2R	6x1.4/3/5/10/15/20MHz 2T2R	12x1.4/3/5/10/15/20MHz 2T2R
Number of cells specification 2	6x1.4/3/5/10/15/20MHz 4T4R	6x1.4/3/5/10/15/20MHz 4T4R	12x1.4/3/5/10/15/20MHz 4T4R
NR (FDD)			
Number of cells specification 1	3x5/10/15/20MHz 1T1R/2T2R/2T4R/4T4R When the UBBPg1 or UBBPg1a is used in a BBU3900, the UBBPg1 or UBBPg1a does not support NR.	3x5/10/15/20MHz 1T1R/2T2R/2T4R/4T4R When the UBBPg1 or UBBPg1a is used in a BBU3900, the UBBPg1 or UBBPg1a does not support NR.	12x5/10/15/20MHz 1T1R/2T2R/2T4R/4T4R
Number of cells specification 2	-	3x10/15/20MHz 8T8R When the UBBPg1 or UBBPg1a is used in a BBU3900, the UBBPg1 or UBBPg1a does not support NR.	6x25/30/40MHz 1T1R/2T2R/2T4R/4T4R
Number of cells specification 3	-	-	6x5/10/15/20MHz 8T8R
UL			
LTE FDD cell number specification 1	3x1.4/3/5/10/15/20MHz 4T4R	3x1.4/3/5/10/15/20MHz 4T4R	6x1.4/3/5/10/15/20MHz 4T4R 3x5/10/15/20MHz 8T8R
LN (FDD)			
LTE FDD cell number specification 1	-	3x1.4/3/5/10/15/20MHz 4T4R	6x1.4/3/5/10/15/20MHz 4T4R
LTE FDD cell number specification 2	-	-	9x1.4/3/5/10/15/20MHz 4T4R

Fuente: (Huawei, 2023)

6.1.6. *Procedimiento de simulación de cobertura.*

Una vez identificados los elementos claves para poder realizar una predicción de cobertura, como son: la ubicación óptima para la estación base celular, modelo de antena a simular, tipo de tecnología (UMTS – LTE) y tipos de frecuencia a utilizar; debemos incluir todos estos datos dentro del programa de simulación.

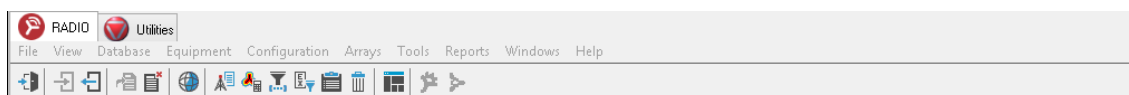
Existen diferentes tipos de software, y para esta ocasión nos centraremos en el uso del software TEOCO ASSET, ya que ofrece diversas funciones de planificación de radio que se necesita para diseñar y mejorar una red móvil. Es una herramienta que permite la planificación de redes GSM, UMTS, LTE, 5G, y todas las demás tecnologías compatibles.

Para poder utilizar este software, requerimos poseer unas credenciales de acceso, al igual que cualquier plataforma, es decir un usuario y una contraseña.

Una vez que hayamos iniciado sesión con nuestras credenciales, nos aparecerá una ventana de opciones como comúnmente tenemos en cualquier software de computadora.

Figura 31:

Inicio de sesión en software de simulación



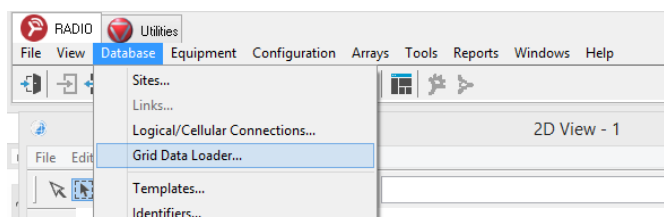
Fuente: Elaboración Propia

Como el objetivo es realizar una predicción de cobertura correcta debemos seguir algunos conceptos generales como son: creación de la estación base, según coordenadas y azimuths; y la creación de celdas 3G y 4G.

Para ello, seleccionaremos la opción Database >> Grid Data Loader.

Figura 32:

Inicio de proceso de creación de eNodeB



Fuente: Elaboración Propia

En esta sección deberemos cargar información detallada como son: nombre de la estación, coordenadas, tipo de tecnologías, azimuths, tilts mecánico y eléctrico, entre otros. El formato de carga de información utilizado se comparte en la sección de Anexos.

Figura 33:

Ingreso de datos referentes a la ubicación del eNodeB

 A screenshot of the 'Grid Data Loader' dialog box. It contains a table with 10 columns: ID, Property: ID, Property: Location: Units, Property: Location: X Coordinate, Property: Location: Y Coordinate, Property: Physical Antenna: Index, Property: Physical Antenna: Location: Absolute/Relative, Property: Physical Antenna: Location: Units, Property: Physical Antenna: Location: X Coordinate, and Property: Physical Antenna: Location: Y Coordinate. The table has 13 rows of data, all with 'Site_Simulacion' as the ID and 'decLL' as the units. The 'Import Mode' is set to 'Insert + Update'. There are buttons for 'Show Messages', 'Validate', and 'Import'.

	Property: ID	Property: Location: Units	Property: Location: X Coordinate	Property: Location: Y Coordinate	Property: Physical Antenna: Index	Property: Physical Antenna: Location: Absolute/Relative	Property: Physical Antenna: Location: Units	Property: Physical Antenna: Location: X Coordinate	Property: Physical Antenna: Location: Y Coordinate
1	Site_Simulacion	decLL	-79.97532	-6.6016	1	ABS	decLL	-79.97532	-6.6016
2	Site_Simulacion	decLL	-79.97532	-6.6016	2	ABS	decLL	-79.97532	-6.6016
3	Site_Simulacion	decLL	-79.97532	-6.6016	3	ABS	decLL	-79.97532	-6.6016
4	Site_Simulacion	decLL	-79.97532	-6.6016	4	ABS	decLL	-79.97532	-6.6016
5	Site_Simulacion	decLL	-79.97532	-6.6016	5	ABS	decLL	-79.97532	-6.6016
6	Site_Simulacion	decLL	-79.97532	-6.6016	6	ABS	decLL	-79.97532	-6.6016
7	Site_Simulacion	decLL	-79.97532	-6.6016	7	ABS	decLL	-79.97532	-6.6016
8	Site_Simulacion	decLL	-79.97532	-6.6016	8	ABS	decLL	-79.97532	-6.6016
9	Site_Simulacion	decLL	-79.97532	-6.6016	9	ABS	decLL	-79.97532	-6.6016
10	Site_Simulacion	decLL	-79.97532	-6.6016	10	ABS	decLL	-79.97532	-6.6016
11	Site_Simulacion	decLL	-79.97532	-6.6016	11	ABS	decLL	-79.97532	-6.6016
12	Site_Simulacion	decLL	-79.97532	-6.6016	12	ABS	decLL	-79.97532	-6.6016
* 13									

Settings
 Import Mode: ☐ Insert ☐ Update ☒ Insert + Update
☐ Keep Generated XML Files
 Show Messages Validate Import

Fuente: Elaboración Propia

La opción de Grid Data Loader, permite trabajar mediante plantillas, con lo cual se puede realizar cargas masivas de estaciones y celdas. Dentro del listado de sites del entorno podemos crear un nuevo eNodeB de forma manual, y explorar cada una de las opciones a nivel de antenas, frecuencias, modo TxRx, entre otros.

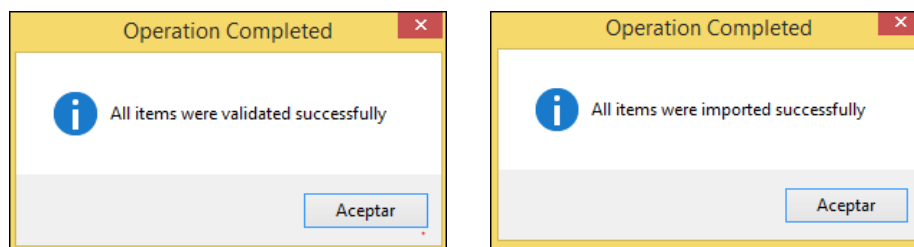
En esta oportunidad para realizar una carga de datos más rápida utilizaremos esta opción de Grid Data Loader

Siempre que carguemos algún tipo de plantilla o información, es importante que esta sea validada por el software, para ello existe la opción de Validate (verificar si todos los datos son correctos) y la opción de Import (para guardar los datos una vez hayan sido validados). Ambas opciones de encuentran en la parte inferior de la ventana Grid Data Loader, tal como se aprecia en la Figura 33.

Si no hubiese ningún inconveniente nos aparecerán los mensajes de la Figura 34, caso contrario debemos corregir donde nos marque error.

Figura 34:

Validación e Importación de data



Fuente: Elaboración Propia

Este proceso de carga se realiza varias veces, ya que también debemos crear nodos que contengan las celdas según su tipo de tecnología, en este caso crearemos un nodo UMTS 3G y un nodo LTE 4G.

Figura 35:

Creación de nodo 3G y 4G

The screenshot shows the 'Grid Data Loader' window with the following data in the table:

	Property: ID	MU Node: Identity	MU Node: 1st Name	MU Node: Fixed Technology Mode	MU Node: UMTS Technology Active	MU Node: UMTS Carriers	(Ignore)	(Ignore)	(Ignore)
1	Site_Simulacion	3G_Simulacion	Site_Simulacion	TRUE	TRUE	Carrier1			
2	Site_Simulacion	3G_Simulacion	Site_Simulacion	TRUE	TRUE	Carrier2			
3	Site_Simulacion	3G_Simulacion	Site_Simulacion	TRUE	TRUE	Carrier3			
* 4									

Settings: Import Mode: ☐ Insert ☐ Update ☒ Insert + Update
☐ Keep Generated XML Files
 Show Messages: Validate Import

The screenshot shows the 'Grid Data Loader' window with the following data in the table:

	Property: ID	MU Node: Identity	MU Node: 1st Name	MU Node: Fixed Technology Mode	MU Node: LTE Technology Active	MU Node: LTE Carriers	(Ignore)	(Ignore)	(Ignore)
1	Site_Simulacion	4G_Simulacion	Site_Simulacion	TRUE	TRUE	LTE1900_C1			
2	Site_Simulacion	4G_Simulacion	Site_Simulacion	TRUE	TRUE	LTE2600_C2			
3	Site_Simulacion	4G_Simulacion	Site_Simulacion	TRUE	TRUE	LTE2600_C3			
4	Site_Simulacion	4G_Simulacion	Site_Simulacion	TRUE	TRUE	LTE700_C4			
* 5									

Settings: Import Mode: ☐ Insert ☐ Update ☒ Insert + Update
☐ Keep Generated XML Files
 Show Messages: Validate Import

Fuente: Elaboración Propia

Una vez creados tanto el eNodeB, como sus grupos de nodos 3G y 4G, debemos proceder a cargar cada una de las celdas según tecnologías definidas, las cuales deben coincidir con el tipo de carrier asociado a cada nodo 3G o 4G, ya que de lo contrario tendremos errores.

Figura 36:

Creación de celdas 3G y 4G

The screenshot shows the 'Grid Data Loader' window with a table of 3G simulation data. The table has columns for MU Node Identity, Cell Identity, Cell: UMTS Assigned Carrier, Cell: UMTS Pilot Power (dBm), Cell: UMTS Max TX Power (dBm), Cell: Logical Antenna: Feeder Length (m), Cell: Logical Antenna: Feeder Type, Cell: Logical Antenna: Selection(s), and Cell: Logical Antenna: UMTS Technology Enabled. The data rows show 6 entries for 3G_Simulacion, each with a unique Cell Identity and assigned carrier.

	MU Node Identity	Cell Identity	Cell: UMTS Assigned Carrier	Cell: UMTS Pilot Power (dBm)	Cell: UMTS Max TX Power (dBm)	Cell: Logical Antenna: Feeder Length (m)	Cell: Logical Antenna: Feeder Type	Cell: Logical Antenna: Selection(s)	Cell: Logical Antenna: UMTS Technology Enabled
1	3G_Simulacion	Site_Simulacion_...	Carrier1	33	43	1	1/2 at 850MHz (...)	4	YES
2	3G_Simulacion	Site_Simulacion_...	Carrier2	33	43	1	1/2 at 850MHz (...)	4	YES
3	3G_Simulacion	Site_Simulacion_...	Carrier1	33	43	1	1/2 at 850MHz (...)	5	YES
4	3G_Simulacion	Site_Simulacion_...	Carrier2	33	43	1	1/2 at 850MHz (...)	5	YES
5	3G_Simulacion	Site_Simulacion_...	Carrier1	33	43	1	1/2 at 850MHz (...)	6	YES
6	3G_Simulacion	Site_Simulacion_...	Carrier2	33	43	1	1/2 at 850MHz (...)	6	YES

Settings: Import Mode: ☐ Insert ☐ Update ☒ Insert + Update
☐ Keep Generated XML Files
 Show Messages Validate Import

The screenshot shows the 'Grid Data Loader' window with a table of 4G simulation data. The table has columns for MU Node Identity, Cell Identity, Cell: LTE Assigned Carrier, Cell: LTE Power Auto-Calculate Method, Cell: LTE Reference Signal PPWR (dBm), Cell: LTE SU-MIMO TX Elements, Cell: LTE SU-MIMO RX Elements, Cell: Logical Antenna: LTE Technology Enabled, and Cell: Logical Antenna: Feeder Length. The data rows show 12 entries for 4G_Simulacion, each with a unique Cell Identity and assigned carrier.

	MU Node Identity	Cell Identity	Cell: LTE Assigned Carrier	Cell: LTE Power Auto-Calculate Method	Cell: LTE Reference Signal PPWR (dBm)	Cell: LTE SU-MIMO TX Elements	Cell: LTE SU-MIMO RX Elements	Cell: Logical Antenna: LTE Technology Enabled	Cell: Logical Antenna: Feeder Length
1	4G_Simulacion	Site_Simulacion_...	LTE700_C4	Max Tx Power	18.2	4	4	YES	3
2	4G_Simulacion	Site_Simulacion_...	LTE700_C4	Max Tx Power	18.2	4	4	YES	3
3	4G_Simulacion	Site_Simulacion_...	LTE700_C4	Max Tx Power	18.2	4	4	YES	3
4	4G_Simulacion	Site_Simulacion_...	LTE1900_C1	Max Tx Power	17.2	4	4	YES	3
5	4G_Simulacion	Site_Simulacion_...	LTE1900_C1	Max Tx Power	17.2	4	4	YES	3
6	4G_Simulacion	Site_Simulacion_...	LTE1900_C1	Max Tx Power	17.2	4	4	YES	3
7	4G_Simulacion	Site_Simulacion_...	LTE2600_C2	Max Tx Power	16.4	4	4	YES	3
8	4G_Simulacion	Site_Simulacion_...	LTE2600_C2	Max Tx Power	16.4	4	4	YES	3
9	4G_Simulacion	Site_Simulacion_...	LTE2600_C2	Max Tx Power	16.4	4	4	YES	3
10	4G_Simulacion	Site_Simulacion_...	LTE2600_C3	Max Tx Power	16.4	4	4	YES	3
11	4G_Simulacion	Site_Simulacion_...	LTE2600_C2	Max Tx Power	16.4	4	4	YES	3
12	4G_Simulacion	Site_Simulacion_...	LTE2600_C3	Max Tx Power	16.4	4	4	YES	3

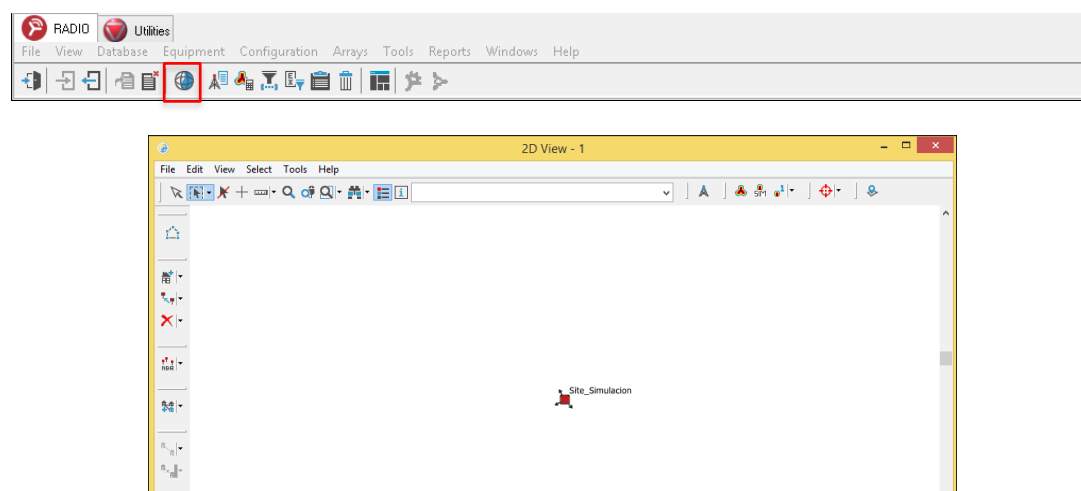
Settings: Import Mode: ☐ Insert ☐ Update ☒ Insert + Update
☐ Keep Generated XML Files
 Show Messages Validate Import

Fuente: Elaboración Propia

Cuando ya se ha finalizado la carga de información, en la opción de 2D View (básicamente un mapa), podemos observar la ubicación de nuestro eNodeB, así como el apuntamiento de cada uno de los azimuths, según como se haya configurado en el ingreso de datos.

Figura 37:

Mapa 2D

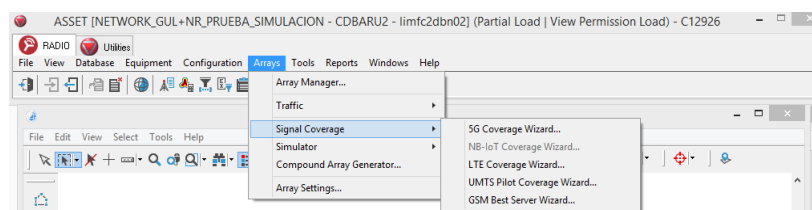


Fuente: Elaboración Propia

Para iniciar a realizar una predicción de cobertura debemos seleccionar las secciones de Array >> Signal Coverage >> LTE Coverage Wizard o UMTS Pilot Coverage Wizard.

Figura 38:

Inicio de predicción de cobertura



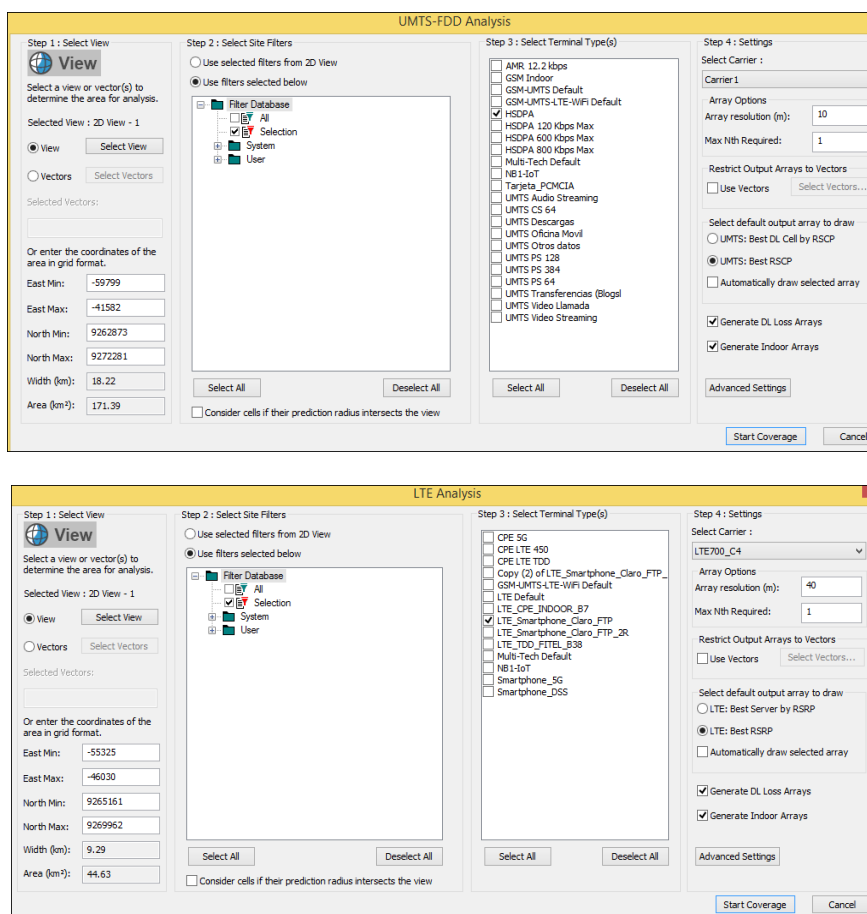
Fuente: Elaboración Propia

En cada una de las opciones, ya sea para realizar las predicciones de cobertura en 3G o 4G, es necesario que se seleccione un tipo de carrier sobre el que se realizará la simulación. El tipo de carrier permitido seleccionar está acorde a los carrier o portadoras que se definieron en el paso de carga de datos.

Tal como se muestra en la Figura 35, por ejemplo, si quisiéramos realizar la simulación en tecnología 700 MHZ para LTE, seleccionaremos la opción LTE700_C4 dada por la plataforma.

Figura 39:

Selección de carriers y tecnología 3G/4G a simular

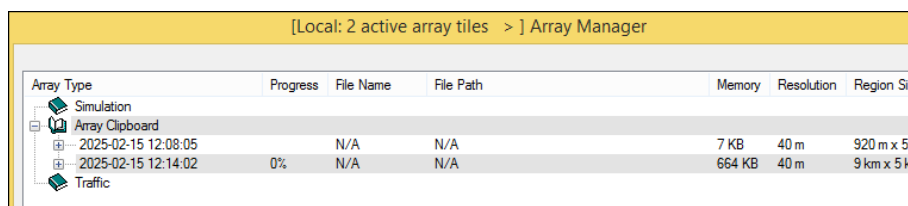


Fuente: Elaboración Propia

Una vez que se selecciona Start Coverage tendremos un cuadro de diálogo adicional donde se mostrará el progreso de la simulación de cobertura, el cual inicia en 0%.

Figura 40:

Progreso de simulación de cobertura



The screenshot shows the 'Array Manager' window with a yellow title bar. The main area is a table with columns: Array Type, Progress, File Name, File Path, Memory, Resolution, and Region Size. Under the 'Simulation' section, there are two entries: '2025-02-15 12:08:05' with 0% progress and '2025-02-15 12:14:02' with 0% progress. The 'Traffic' section is also visible.

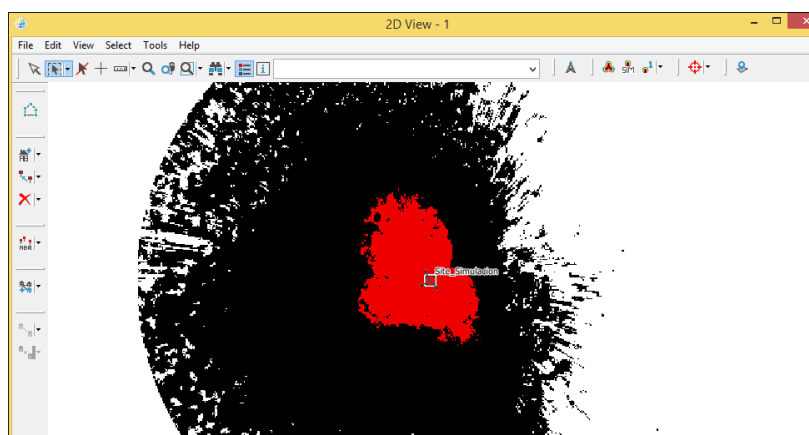
Array Type	Progress	File Name	File Path	Memory	Resolution	Region Size
Simulation						
Array Clipboard						
2025-02-15 12:08:05	0%	N/A	N/A	7 KB	40 m	920 m x 520 m
2025-02-15 12:14:02	0%	N/A	N/A	664 KB	40 m	9 km x 5 km
Traffic						

Fuente: Elaboración Propia

Una vez finalizado el paso anterior, al regresar al 2D View, podremos también visualizar la predicción de cobertura, sobre nuestro eNodeB creado. En la sección de anexos se detalla el procedimiento para cambio de leyenda de colores; así como también como se puede realizar la extracción de esta mancha de cobertura en formato KMZ y poder analizarlo sobre Google Earth.

Figura 41:

Mancha de cobertura final



Fuente: Elaboración Propia

Nota: El informe N° 000049-2025-DFI/Osiptel, presentado el último 11 de marzo del 2025, indica la actualización de los indicadores de calidad de los servicios públicos de telecomunicaciones, en el cual se encuentran los criterios para la medición del servicio móvil indica que los niveles de señal para 4G debe ser mayor o igual a -105, mientras que para 3G debe ser mayor o igual que -92. Dicho ello, en esta oportunidad se ha tomado un mismo valor de señal de -92 para efectos de simulación en ambas tecnologías.

6.2. Población y Muestra de Estudio

6.2.1. Población

Centro Poblado 09 de Setiembre.

6.2.2. Muestra

Centro Poblado 09 de Setiembre.

6.3. Técnicas, instrumentos, equipos y materiales

6.3.1. Técnicas

- Mediciones de cobertura actual utilizando chips de distintos operadores.
- Conceptos de propagación de señal para realizar una simulación de cobertura.

6.3.2. Instrumentos

- Aplicativo G-NetTrack para mediciones de cobertura.
- Software de simulación de predicción de cobertura móvil.
- Google Earth.
- Datasheet de equipos.

6.3.3. Equipos y Materiales

- Laptops
- Teléfono móvil.

VI. RESULTADOS

En lo presentado a continuación de tiene la siguiente leyenda: Mancha de cobertura color rojo: Nivel de señal entre 0 a -95 (Señal muy buena) // Mancha de cobertura color negro: Nivel de señal entre -95 a -120 (Señal regular).

En el Anexo 2 se indica los pasos para modificar los valores y cómo exportar en KMZ el archivo de simulación.

Luego de haber realizado las simulaciones de cobertura con los datos calculados previamente se obtuvieron los siguientes resultados; tomando en consideración el polígono blanco como el área total del CCPP compromiso (09 de Setiembre) y los azimuth del eNodeB definidos en Sector 1 – 140°, Sector 2 – 240° y Sector 3 – 330°.

Figura 42:

Área a simular



Fuente: Elaboración Propia

7.1. Simulación en UMTS 850 MHz

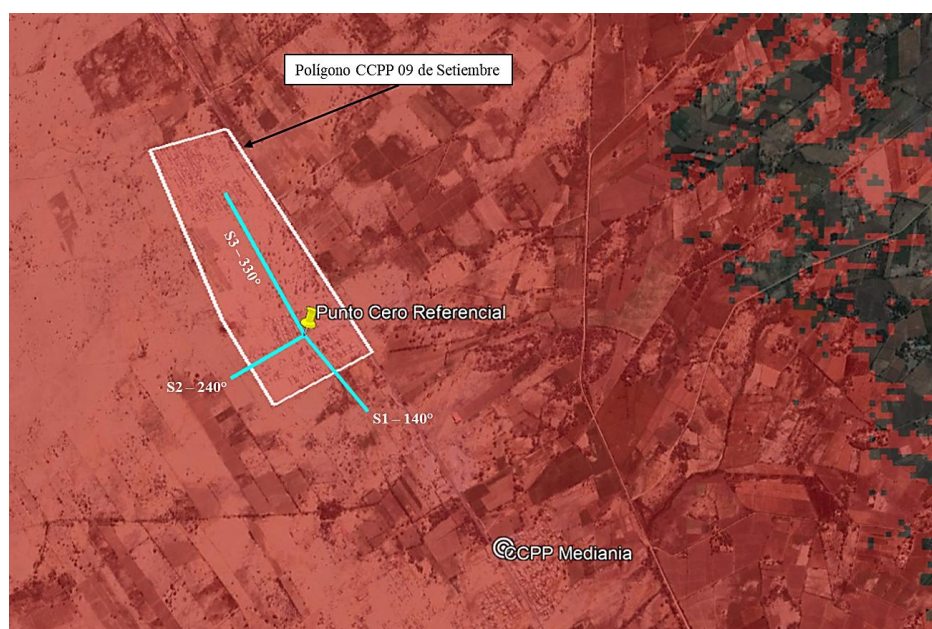
Por principio, la señal 3G tiene una mayor propagación comparado contra una propagación 4G, inclusive si ambos trabajan en bandas de frecuencia bajas. En la Figura 43 podemos apreciar cómo el área de color rojo (buena señal) cubre un amplio terreno, inclusive más lejos de lo que se ha delimitado como polígono objetivo (color blanco).

Dicho esto, se puede comprobar que la simulación de cobertura en 3G cumple su propósito de brindar una señal óptima, garantizando los niveles indicados por normativa del OSIPTEL, por lo que la ubicación de la torre, y sus azimuths son los adecuados en esta tecnología

La mancha de cobertura 3G llega a brindar un nivel de señal muy bueno inclusive hasta el CCPP vecino de Medianía, y brindando continuidad de señal en carretera.

Figura 43:

Simulación de cobertura UMTS 850 MHZ



Fuente: Elaboración Propia

7.2. Simulación en LTE 700 MHz

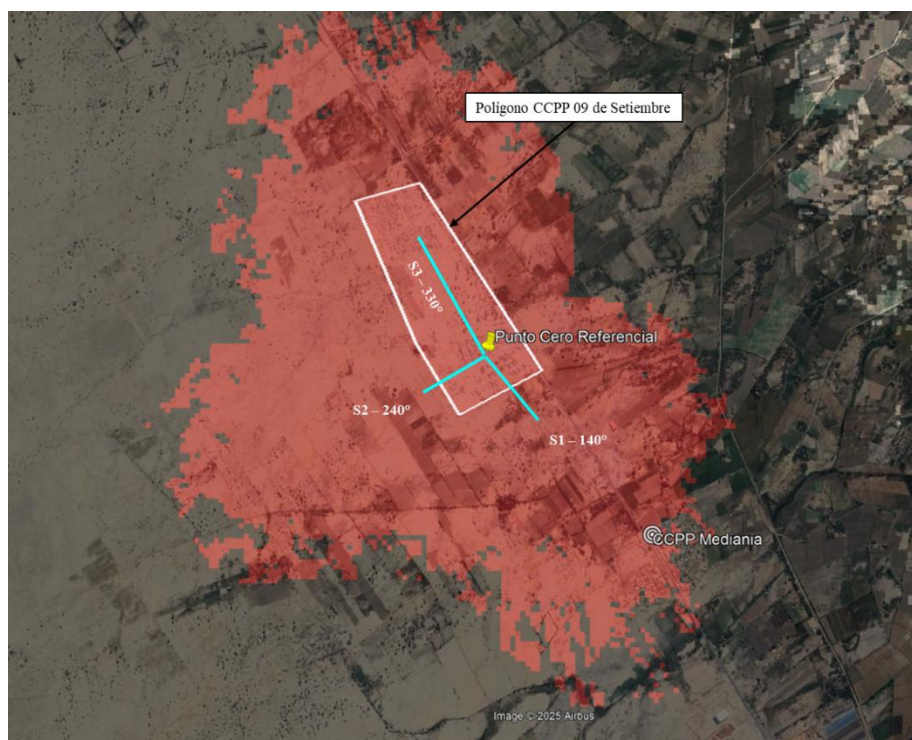
Del resultado obtenido con la simulación LTE a 700 MHz, podemos apreciar que cubre la zona objetivo del CCPP 09 de Setiembre en su totalidad, llegando inclusive a coberturar aproximadamente el 80% del vecino CCPP Medianía.

Se puede apreciar que la zona color rojo (> -92 dBm) posee una propagación provechosa, llegando más lejos que solo el polígono color blanco, el cual es el principal objetivo.

El resto del centro poblado vecino, se complementa con un nivel de señal regular, entre -92 y -120 dBm.

Figura 44:

Simulación de cobertura LTE 700 MHz



Fuente: Elaboración Propia

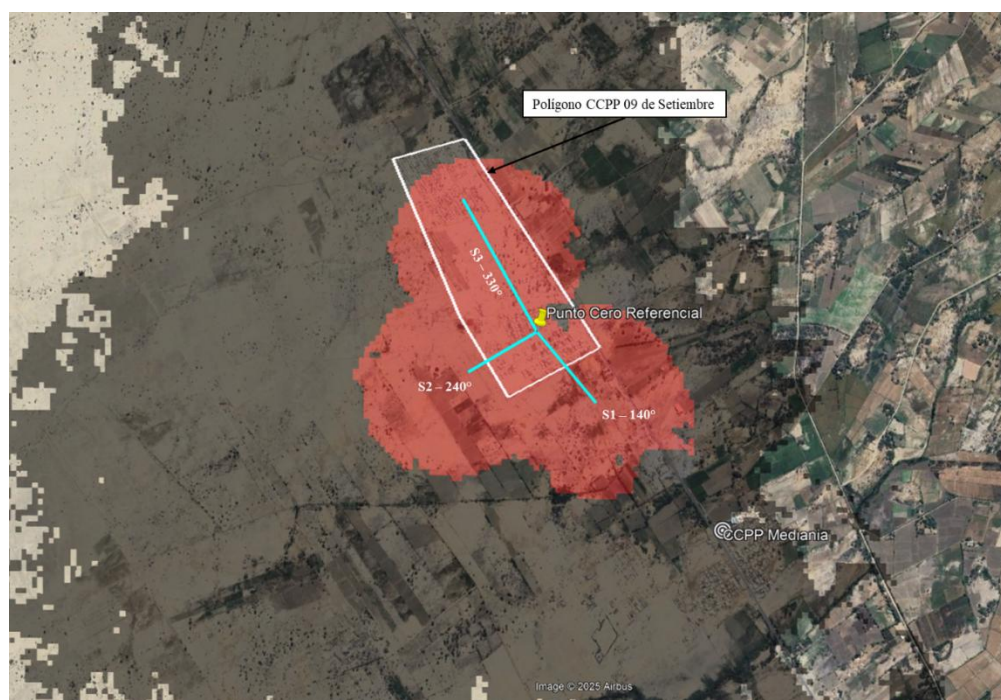
7.3. Simulación en LTE 1900 MHz

La frecuencia y el área de cobertura son inversamente proporcionales entre sí, es decir que, a mayor frecuencia, el área coberturada será menor; esto es debido al propio principio de longitud de onda.

Se puede dar fe de ello en la Figura 45, ya que se aprecia una mancha de cobertura roja menor en comparación a la simulación que se obtuvo con 700 MHz, sin embargo, ello no desmerece que el centro poblado comprometido aún mantiene más del 90% de su polígono con buena cobertura. Mientras que la zona en color negro (cobertura regular) se hace cargo del centro poblado vecino, así como de las carreteras y zonas aledañas.

Figura 45:

Simulación de cobertura LTE 1900 MHz



Fuente: Elaboración Propia

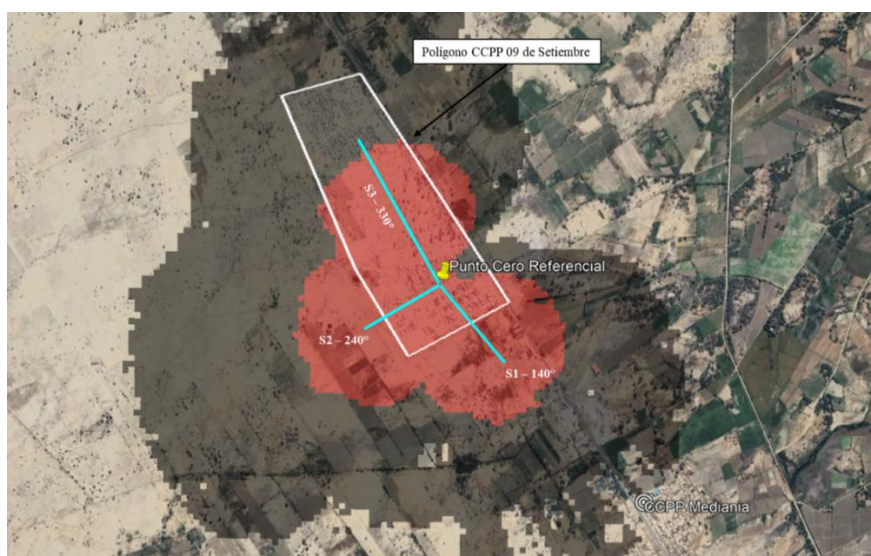
7.4. Simulación en LTE 2600 MHz

Finalmente, se presenta el resultado de la simulación de cobertura a 2600 MHz, donde se tiene un área de cobertura mucho menor en comparación a sus predecesoras. Podemos asegurar que al utilizar tecnología LTE de 2600 MHz podríamos garantizar cobertura solamente dentro del centro poblado compromiso, pero no en algún centro poblado vecino o aledaño (como sí sucedía con las tecnologías LTE 700 MHz, 1900 MHz y UMTS).

Esto se debe principalmente a la distancia que los separan, recordemos que la distancia entre el nuestro Centro Poblado compromiso (polígono blanco) y el centro poblado vecino es de aproximadamente 2Km, por lo que se puede indicar que esta distancia es muy grande para garantizar una amplia cobertura. Pero, es suficiente para un solo CCPP objetivo (ya que no es tan amplio)

Figura 46:

Simulación de cobertura LTE 2600 MHz



Fuente: Elaboración Propia

VII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- Dentro de la planificación de un eNodeB se han observado y analizado los conceptos teóricos que permiten identificar un correcto dimensionamiento a nivel de equipos para simulación, como son: Antenas, Frecuencias, Modo de Transmisión (4T4R, sobre 2T2R, para efectos de capacidad). Así como también elementos importantes que forman parte de la planificación y que se encuentran cuando se lleva a la práctica, como son: Tipos de Unidad de Banda Base, Modelos de RRU, Tarjeterías (UMPT y UBBP), entre otros.
- La propagación en zona para la tecnología UMTS 850 MHz, logró alcanzar una distancia de propagación de hasta 4 Km a la redonda.
- La propagación en zona para las tecnologías LTE trabajadas fueron de: Para 700 MHz 1.75 Km a la redonda; para 1900 MHz 1 Km a la redonda; y para 2600 MHz 07 Km a la redonda.
- Las simulaciones realizadas, resultaron en brindar una cobertura óptima para el Centro Poblado compromiso, llegando inclusive a beneficiar a un centro poblado vecino, así como tramos de carretera (sobre todo en la propagación del UMTS y LTE 700 MHz). Con ello, y sumado al hecho de utilizar equipamiento en modo 4T4R, podríamos garantizar no solo los niveles de señal óptimos solicitados por el Estado Peruano y/o el OSIPTEL; sino también las velocidades de navegación en internet móvil (en escenario de no saturación por gran flujo de usuarios).
- Para la presente tesis, no se realizó algún tipo de encuesta a pobladores referente a la señal celular; ya que nos basamos en la documentación emitida del Estado, lo cual se corrobora con las mediciones de cobertura inicial realizadas con los chips de los distintos proveedores de servicios de telecomunicaciones en territorio nacional.

VIII. RECOMENDACIONES

- Al llevar a la práctica el estudio en gabinete realizado en la presente tesis, se deben tener mayores consideraciones reales en la elección del Punto Cero Referencial, ya que se debe realizar un estudio del suelo, validar punto de energía más cercano, entablar negociaciones con el o los propietarios del predio donde se desea construir el eNodeB. Estos puntos no se hablaron al detalle dentro de la presente tesis ya que no forman parte de los objetivos; sin embargo, es importante recalcarlos.
- A la fecha, y sobre todo en zonas alejadas o zonas rurales, aún se cree el mito de que las antenas son dañinas para la salud; por lo que se recomienda que se generen charlas de concientización, exponiendo el problema de servicio de telecomunicaciones al que se enfrentan y a su vez desmintiendo este mito que impediría realizar la construcción de alguna estación base celular.
- Dentro del proceso de simulación de cobertura, si se desea cubrir un área distinta, se pueden modificar los parámetros de simulación como: potencia de celdas, tilt eléctrico (para frecuencia), tilt mecánico (para antenas), etc; de modo que se utilicen los valores adecuados para evitar una sobre propagación de la señal, o que el área a coberturar quede muy corta.
- Dentro de un escenario real, y con una red de nodos amplia, existen mayores parámetros a tomar en cuenta los cuales forman parte de la optimización de la red móvil; con los cuales debemos familiarizarnos si queremos seguir una línea de carrera de Optimización RF. Como el objetivo de la presente tesis está basado en la Planificación, estos puntos no han sido abordados; sin embargo, la presente tesis puede ser tomada como punto de partida.

IX. CONCLUSIONES

- Se logró planificar exitosamente un eNodeB con tecnologías UMTS 3G y LTE 4G, el cuál según simulación de cobertura brindaría una óptima cobertura móvil en el Centro Poblado 09 de Setiembre de la región Lambayeque.
- Se evaluó y verificó el estado actual de la señal móvil en la zona del centro poblado, demostrando el problema al que se enfrenta esta localidad.
- Se estimó el lugar más óptimo de ubicación de la estación base (eNodeB), de modo que se pueda aprovechar al máximo la propagación de señal móvil en cada una de las tecnologías abordadas.
- Se dimensionó el equipamiento a utilizar como parte de la planificación del eNodeB. Abarcando los elementos que intervienen directamente en el proceso de simulación de cobertura: antenas, bandas de frecuencia, modo de trabajo TxRx; así como también elementos importantes que no intervienen directamente del proceso de simulación: modelos de RRUs, modelos de BBU y tarjetas (UBBPg y UMLTP).
- Se simuló exitosamente las áreas de cobertura final, basándonos en parámetros identificados de altura de torre, azimuths, y frecuencias analizadas (UMTS 850 MHz; y LTE 700 MHz, 1900 MHz y 2600 MHz).

X. REFERENCIAS

- 3GPP. (08 de Agosto de 2022). *5G System Overview*. Obtenido de <https://www.3gpp.org/technologies/5g-system-overview>
- Constantine, A. (2016). *Antenna Theory - Analysis and Design (4th Edition)*.
- Escobar Chamba, A. N. (2021). *Diseño de una estación base para su integración en una red celular con tecnología UMTS y LTE en una estación referencial*. Universidad de las Fuerzas Armadas, Sangolqui.
- González Morón, A. P. (2023). *Análisis de KPIs de la red y automatización de resolución de incidencias*. Universidad Oberta de Catalunya. Obtenido de <https://openaccess.uoc.edu/bitstream/10609/148144/1/AgonzalezmorTFM0723.pdf>
- Granda Rivas, V. E. (2021). *Análisis comparativo de un sistema de transmisión digital MIMO 2x2 versus MIMO 4x4 para una BS SMA en el centro de Quito*. Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, Quito.
- Huawei. (08 de Marzo de 2020). *Diferencias entre BTS3900 y BTS5900*. Obtenido de <https://forum.huawei.com/enterprise/intl/en/thread/blog/667233285455101953?blogId=667233285455101953>
- Huawei. (04 de Marzo de 2022). *Huawei RRU Introduction 1*. Obtenido de <https://forum.huawei.com/enterprise/intl/en/thread/huawei-rru-introduction-1/667259964097445889?blogId=667259964097445889>
- Huawei. (13 de Marzo de 2022). *Huawei RRU Introduction 2*. Obtenido de <https://forum.huawei.com/enterprise/intl/en/thread/huawei-rru-introduction-2/667260208625369088?blogId=667260208625369088>
- Huawei. (13 de Abril de 2023). *UBBPg board Introduction*. Obtenido de

- <https://forum.huawei.com/enterprise/intl/en/thread/ubbbpg-board-introduction/667283895042850816?blogId=667283895042850816>
- Huawei Technologies Co., Ltd. (20 de Diciembre de 2022). *¿Qué es MIMO?* Obtenido de <https://forum.huawei.com/enterprise/es/%C2%BFQu%C3%A9-es-MIMO/thread/667234959569600512-667212889045479424>
- Huawei Technologies Co., Ltd. (2018). *BBU5900 Hardware Description*.
- Huawei Technologies Co., Ltd. (15 de Octubre de 2022). *HCIA-LTE / Descripción general de la función eNodeB*. Obtenido de <https://forum.huawei.com/enterprise/es/hcia-lte%E4%B8%A8descripci%C3%B3n-general-de-la-funci%C3%B3n-enodeb/thread/667228998196936704-667212889045479424>
- Huawei Technologies Co., Ltd. (27 de Febrero de 2023). *Funcionamiento del RSRP*. Obtenido de <https://forum.huawei.com/enterprise/es/Funcionamiento-del-RSRP/thread/667237238666313728-667212890693840896>
- Huawei Technologies Co., Ltd. (08 de Junio de 2023). *Introducción Huawei BBU3900 y BBU3910*. Obtenido de <https://forum.huawei.com/enterprise/es/Introducci%C3%B3n-Huawei-BBU3900-y-BBU3910/thread/667241500217589760-667212889045479424>
- Huidobro, J. M. (2013). Antenas de Telecomunicaciones. *Revista Digital de ACTA*. Obtenido de https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/020001.pdf
- Méndez Rodríguez, M. A. (2025). *Estudio de factibilidad de implementar una estación base de telefonía móvil con tecnología UMTS / LTE que permita la comunicación de la comunidad de la parroquia La Unión, Cantón Atacames, Provincia de Esmeraldas*. Obtenido de <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/13067/1/UPSE-MTE-2025-0007.pdf>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (29 de Abril de 2025). *Registro Nacional de Frecuencias*.

Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/mtc/informes-publicaciones/343585-registro-nacional-de-frecuencias>

Moes, T. (Julio de 2023). *SoftwareLab*. Obtenido de ¿Qué es LTE? Todo lo que necesitas saber:

<https://softwarelab.org/es/blog/que-es-lte/>

OSIPTEL. (2025). *Informe de sustento de la actualización de los procedimientos de medición de los indicadores de calidad de los servicios públicos de telecomunicaciones establecidos en el reglamento general de los servicios públicos de telecomunicaciones.*

Radiall. (10 de Mayo de 2022). *WHAT IS RRU IN TELECOM?* Obtenido de

<https://www.radiall.com/insights/what-is-rru-in-telecom>

VIAVI. (2023). *Unidad de banda base (BBU)*. Obtenido de [https://www.viavisolutions.com/es-](https://www.viavisolutions.com/es-mx/productos/unidad-de-banda-base-bbu)

[mx/productos/unidad-de-banda-base-bbu](https://www.viavisolutions.com/es-mx/productos/unidad-de-banda-base-bbu)

XI. ANEXOS

ANEXO 1: Instalación y Configuración de aplicativo GNet Track Lite

- En el Play Store buscamos el aplicativo GNetTrack Lite y hacemos clic en Instalar. También podemos ingresar al siguiente link:

<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.gyokovsolutions.gnettracklite>

Figura 47:

Logo Aplicativo GNetTrack Lite en Google Play Store

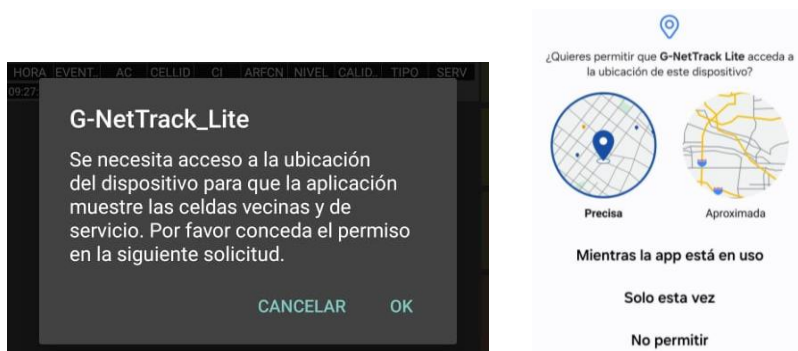


Fuente: Elaboración Propia

- Una vez instalado, procedemos a abrir la app y seleccionamos Ok para darle acceso a la ubicación. Clic en Mientras la app está en uso.

Figura 48:

Habilitación de permisos de ubicación

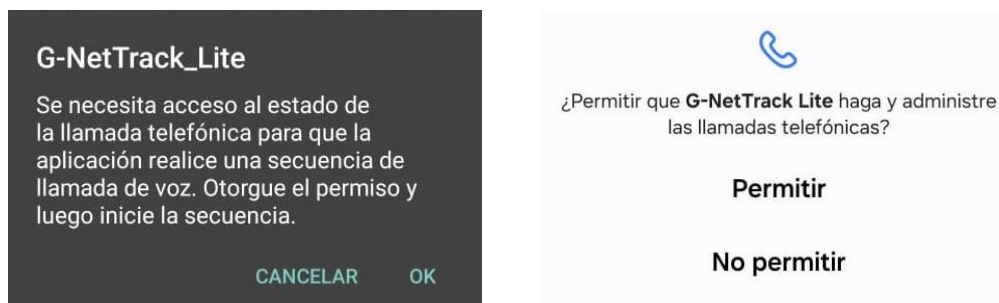


Fuente: Elaboración Propia

- Habilitamos el permiso a llamadas telefónicas.

Figura 49:

Habilitación de permisos de llamadas



Fuente: Elaboración Propia

- Luego, verificamos en la pantalla principal de la aplicación, que aparezca los valores de Longitud y Latitud. Si en caso aparece en blanco (como la Figura de la izquierda) deberán cerrar y volver a abrir el aplicativo, o reinstalar en caso extremo, de modo que al abrirlo nuevamente ya aparezcan las coordenadas (como la Figura de la derecha).

Figura 50:

Validación de marcación de coordenadas

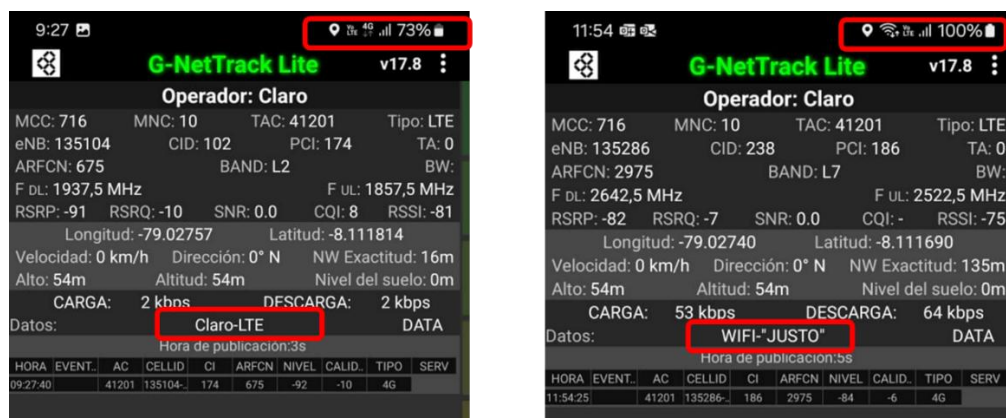


Fuente: Elaboración Propia

- Debemos asegurarnos tener los datos móviles encendidos, se muestra un comentario como en la imagen del lado izquierdo que indica Claro-LTE. Sería una medición errónea el realizar la medición conectados a una red WiFi, como en el caso de la imagen del lado derecho.

Figura 51:

Referencia de medición con datos móviles

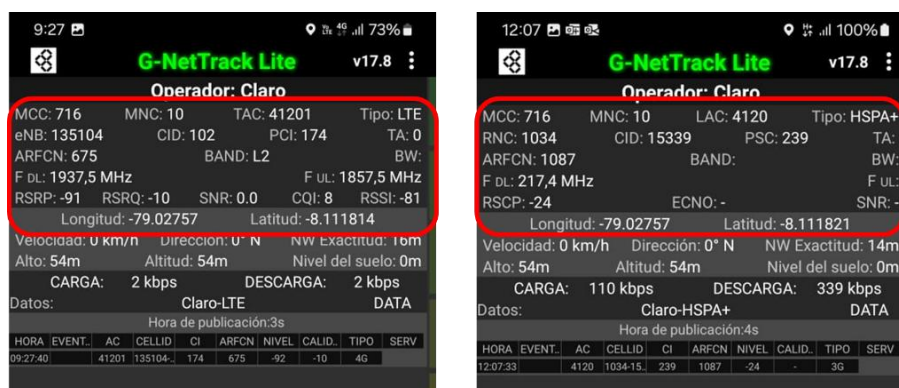


Fuente: Elaboración Propia

- Pantalla en medición 4G // Pantalla en medición 3G

Figura 52:

Pantalla para medición LTE 4G vs Pantalla para medición UMTS 3G



Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 2: Plantilla utilizada para carga de datos.

Tabla 2:

Datos para creación de eNodeB: Coordenadas, AZ, etc.

Property: ID	Property: Location:				Property: Physical Antenna:				Property: Logical Antenna:							
	Units	X Coordinate	Y Coordinate	Index	Location: Absolute/Relative	Location: Units	Location: X Coordinate	Location: Y Coordinate	Antenna Device	Azimuth (deg)	Height - Inventory (m)	Mechanical Down Tilt (deg)	Pattern	Index	Parent Physical Antenna Index	Primary Prediction: Model
Site_Simulation	decLL	- 79.9753 2	-6.6016	1	ABS	decLL	- 79.9753 2	-6.6016	ASI4518R10v1 8_0788	140	30	0	ASI4518R10v18_0788\ASI4518R10v18_0788_X_C O_M45_06T_Lr1	1	1	MYRIAD_700 MHz
Site_Simulation	decLL	- 79.9753 2	-6.6016	2	ABS	decLL	- 79.9753 2	-6.6016	ASI4518R10v1 8_0788	240	30	0	ASI4518R10v18_0788\ASI4518R10v18_0788_X_C O_M45_06T_Lr1	2	2	MYRIAD_700 MHz
Site_Simulation	decLL	- 79.9753 2	-6.6016	3	ABS	decLL	- 79.9753 2	-6.6016	ASI4518R10v1 8_0788	330	30	0	ASI4518R10v18_0788\ASI4518R10v18_0788_X_C O_M45_06T_Lr1	3	3	MYRIAD_700 MHz
Site_Simulation	decLL	- 79.9753 2	-6.6016	4	ABS	decLL	- 79.9753 2	-6.6016	ASI4518R10v1 8_0880	140	30	0	ASI4518R10v18_0880\ASI4518R10v18_0880_X_C O_M45_06T_Rr2	4	4	MYRIAD_850 MHz
Site_Simulation	decLL	- 79.9753 2	-6.6016	5	ABS	decLL	- 79.9753 2	-6.6016	ASI4518R10v1 8_0880	240	30	0	ASI4518R10v18_0880\ASI4518R10v18_0880_X_C O_M45_06T_Rr2	5	5	MYRIAD_850 MHz
Site_Simulation	decLL	- 79.9753 2	-6.6016	6	ABS	decLL	- 79.9753 2	-6.6016	ASI4518R10v1 8_0880	330	30	0	ASI4518R10v18_0880\ASI4518R10v18_0880_X_C O_M45_06T_Rr2	6	6	MYRIAD_850 MHz
Site_Simulation	decLL	- 79.9753 2	-6.6016	7	ABS	decLL	- 79.9753 2	-6.6016	ASI4518R10v1 8_1945	140	30	0	ASI4518R10v18_1945\ASI4518R10v18_1945_X_C O_M45_06T_LBy1	7	7	MYRIAD_190 0MHz
Site_Simulation	decLL	- 79.9753 2	-6.6016	8	ABS	decLL	- 79.9753 2	-6.6016	ASI4518R10v1 8_1945	240	30	0	ASI4518R10v18_1945\ASI4518R10v18_1945_X_C O_M45_06T_LBy1	8	8	MYRIAD_190 0MHz
Site_Simulation	decLL	- 79.9753 2	-6.6016	9	ABS	decLL	- 79.9753 2	-6.6016	ASI4518R10v1 8_1945	330	30	0	ASI4518R10v18_1945\ASI4518R10v18_1945_X_C O_M45_06T_LBy1	9	9	MYRIAD_190 0MHz
Site_Simulation	decLL	- 79.9753 2	-6.6016	10	ABS	decLL	- 79.9753 2	-6.6016	ASI4518R10v1 8_2622	140	30	0	ASI4518R10v18_2622\ASI4518R10v18_2622_X_C O_M45_06T_LTy2	10	10	MYRIAD_260 0MHz
Site_Simulation	decLL	- 79.9753 2	-6.6016	11	ABS	decLL	- 79.9753 2	-6.6016	ASI4518R10v1 8_2622	240	30	0	ASI4518R10v18_2622\ASI4518R10v18_2622_X_C O_M45_06T_LTy2	11	11	MYRIAD_260 0MHz
Site_Simulation	decLL	- 79.9753 2	-6.6016	12	ABS	decLL	- 79.9753 2	-6.6016	ASI4518R10v1 8_2622	330	30	0	ASI4518R10v18_2622\ASI4518R10v18_2622_X_C O_M45_06T_LTy2	12	12	MYRIAD_260 0MHz

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3:*Plantilla definición UMTS 3G*

Property: ID	MU Node: Identity	MU Node: 1st Name	MU Node: Fixed Technology Mode	MU Node: UMTS Technology Active	MU Node: UMTS Carriers
Site_Simulacion	3G_Simulacion	Site_Simulacion	TRUE	TRUE	Carrier1
Site_Simulacion	3G_Simulacion	Site_Simulacion	TRUE	TRUE	Carrier2
Site_Simulacion	3G_Simulacion	Site_Simulacion	TRUE	TRUE	Carrier3

*Fuente: Elaboración Propia***Tabla 4:***Plantilla definición LTE 4G*

Property: ID	MU Node: Identity	MU Node: 1st Name	MU Node: Fixed Technology Mode	MU Node: LTE Technology Active	MU Node: LTE Carriers
Site_Simulacion	4G_Simulacion	Site_Simulacion	TRUE	TRUE	LTE1900_C1
Site_Simulacion	4G_Simulacion	Site_Simulacion	TRUE	TRUE	LTE2600_C2
Site_Simulacion	4G_Simulacion	Site_Simulacion	TRUE	TRUE	LTE2600_C3
Site_Simulacion	4G_Simulacion	Site_Simulacion	TRUE	TRUE	LTE700_C4

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 5:*Ingreso de celdas 3G*

MU Node: Identity	Cell: Identity	Cell: UMTS: Assigned Carrier	Cell: UMTS: Pilot Power (dBm)	Cell: UMTS: Max TX Power (dBm)	Cell: Logical Antenna: Feeder Length (m)	Cell: Logical Antenna: Feeder Type	Cell: Logical Antenna: Selection(s)	Cell: Logical Antenna: UMTS Technology Enabled
3G_Simulacion	Site_Simulacion_S1_C1	Carrier1	33	43	1	1/2 at 850MHz	4	YES
3G_Simulacion	Site_Simulacion_S1_C2	Carrier2	33	43	1	1/2 at 850MHz	4	YES
3G_Simulacion	Site_Simulacion_S2_C1	Carrier1	33	43	1	1/2 at 850MHz	5	YES
3G_Simulacion	Site_Simulacion_S2_C2	Carrier2	33	43	1	1/2 at 850MHz	5	YES
3G_Simulacion	Site_Simulacion_S3_C1	Carrier1	33	43	1	1/2 at 850MHz	6	YES
3G_Simulacion	Site_Simulacion_S3_C2	Carrier2	33	43	1	1/2 at 850MHz	6	YES

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6:*Ingreso de celdas 4G*

MU Node: Identity	Cell: Identity	Cell: LTE: Assigned Carrier	Cell: LTE: Power Auto-Calculate Method	Cell: LTE: Reference Signal PPRE (dBm)	Cell: LTE: SU-MIMO TX Elements	Cell: LTE: SU-MIMO RX Elements	Cell: Logical Antenna: LTE Technology Enabled	Cell: Logical Antenna: Feeder Length (m)	Cell: Logical Antenna: Feeder Type	Cell: Logical Antenna: Selection(s)
4G_Simulacion	Site_Simulacion_S1_C4	LTE700_C4	Max Tx Power	18.2	4	4	YES	3	1/2 at 700MHz	1
4G_Simulacion	Site_Simulacion_S2_C4	LTE700_C4	Max Tx Power	18.2	4	4	YES	3	1/2 at 700MHz	2
4G_Simulacion	Site_Simulacion_S3_C4	LTE700_C4	Max Tx Power	18.2	4	4	YES	3	1/2 at 700MHz	3
4G_Simulacion	Site_Simulacion_S1_C1	LTE1900_C1	Max Tx Power	17.2	4	4	YES	3	1/2 at 1900MHz	7
4G_Simulacion	Site_Simulacion_S2_C1	LTE1900_C1	Max Tx Power	17.2	4	4	YES	3	1/2 at 1900MHz	8
4G_Simulacion	Site_Simulacion_S3_C1	LTE1900_C1	Max Tx Power	17.2	4	4	YES	3	1/2 at 1900MHz	9
4G_Simulacion	Site_Simulacion_S1_C2	LTE2600_C2	Max Tx Power	16.4	4	4	YES	3	1/2 at 2600MHz	10
4G_Simulacion	Site_Simulacion_S1_C3	LTE2600_C3	Max Tx Power	16.4	4	4	YES	3	1/2 at 2600MHz	10
4G_Simulacion	Site_Simulacion_S2_C2	LTE2600_C2	Max Tx Power	16.4	4	4	YES	3	1/2 at 2600MHz	11
4G_Simulacion	Site_Simulacion_S2_C3	LTE2600_C3	Max Tx Power	16.4	4	4	YES	3	1/2 at 2600MHz	11
4G_Simulacion	Site_Simulacion_S3_C2	LTE2600_C2	Max Tx Power	16.4	4	4	YES	3	1/2 at 2600MHz	12
4G_Simulacion	Site_Simulacion_S3_C3	LTE2600_C3	Max Tx Power	16.4	4	4	YES	3	1/2 at 2600MHz	12

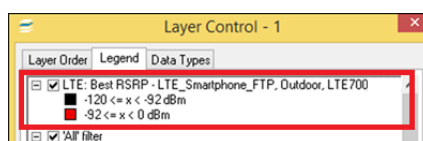
Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 3: Modificación de leyenda en ASSET y exportar predicción en KMZ

- Una vez realizado el paso detallado en la *Figura 40*, nos aparecerá una nueva ventana emergente de título Layer Control, la cual posee 03 sub pestañas. Utilizaremos la pestaña Legend y haremos doble clic en la sección señalada en la *Figura 53*:

Figura 53:

Layer Control

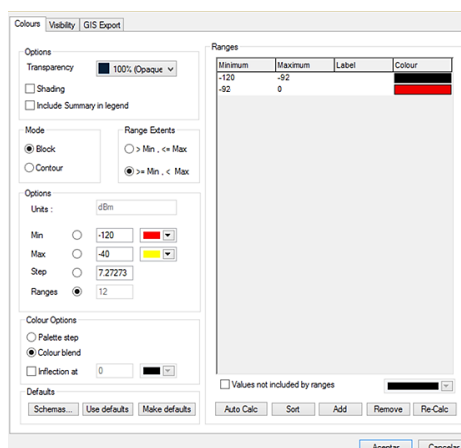


Fuente: Elaboración Propia

- Una vez hicimos doble clic en dicha zona remarcada, nos aparecerá una nueva ventana emergente donde podemos cambiar la leyenda de colores, e inclusive indicar los valores que nosotros queremos que se ejemplifique en la simulación. Luego clic en Aceptar.

Figura 54:

Cambio de valores en leyenda de colores

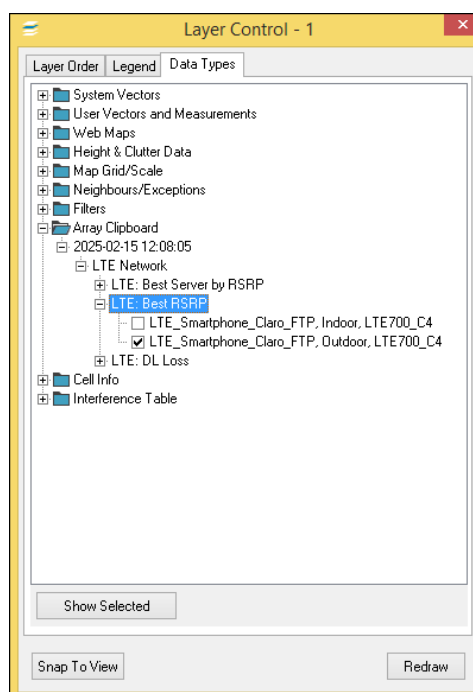


Fuente: Elaboración Propia

- Para poder exportar la mancha de cobertura en KMZ y se pueda visualizar en Google Earth, debemos ubicarnos en la pestaña GIS Export que se visualiza en la Figura 54, y seleccionar la opción Polygons. Esto nos permitirá exportar en formato KMZ.
- Una vez tenemos todo modificado según nuestra necesidad, volveremos a la venta Layer Control, y daremos clic en Redraw para visualizar la nueva imagen según los parámetros.

Figura 55:

Redraw cobertura

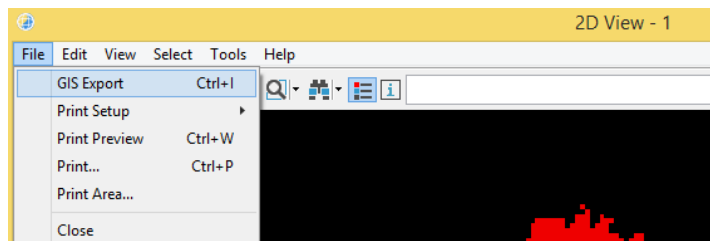


Fuente: Elaboración Propia

- Finalmente, nos situamos en la ventana 2D View, y seleccionamos File << GIS Export << Save; para poder obtener el archivo KMZ final y ver nuestra simulación en Google Earth.

Figura 56:

Exportar KMZ



Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 4: Cálculo referencial de energía mínima necesaria para un eNodeB

- El consumo de energía de nuestra estación viene a estar delimitado por la cantidad de equipos a utilizar; de modo que basándonos en el dimensionamiento descrito para la simulación, utilizaríamos lo siguiente:

Tabla 7:

Equipos y consumo total.

Equipos	Consumo (A)	Cantidad	Total(A)
RRU 2600	12	3	36
RRU 1900	12	3	36
RRU 700	12	3	36
BBU	10	1	10
TOTAL (A)			118

Fuente: Elaboración Propia

- Existe la posibilidad de cuando haya algún corte de energía, nuestra estación base deje de funcionar si no contamos un banco de baterías adecuado, que le proporcione autonomía durante cierto tiempo, hasta que la energía comercial sea restablecida. Garantizando que la estación no deje de irradiar. Dicho ello, procedemos a calcular el número de Bancos de Batería necesarios, considerando una autonomía de 10 horas:

$$N^{\circ}BB = \frac{\text{Autonomía} \times \text{Consumo de Equipos}}{\text{Capacidad} \times \text{Eficiencia}}$$

Tabla 8:

Número de Bancos de Batería requeridos para la estación Base.

Autonomía (Hrs)	Capacidad de BB (Ah)	Eficiencia (%)	Carga de baterías (A)	Nº BB
10	200	0.8	70	5

Fuente: Elaboración Propia

- Finalmente hacemos el cálculo de Módulos rectificadores necesarios para alimentar nuestra estación base:

Tabla 9:

Dimensionamiento de Módulos Rectificadores necesarios para la estación Base.

Descripción	Valores	Unidad
Carga Equipos	118	A
Carga BB	70	A
Corriente total	188	A
Voltaje	54	V
Potencia Proyectada de estación Base (Corriente Total * Voltaje/ 1000)	10.15	kW
Módulos Rectificadores necesarios (1 + (Pot. Proyectada/3*0.96))	5	Und

Fuente: Elaboración Propia