

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
ELECTRÓNICA**



TESIS

“DETERMINACIÓN DE LOS PRINCIPALES PARÁMETROS DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN MÓVIL, PARA LA AMPLIACIÓN DE LA RED DE TELEFONÍA MÓVIL DE LA EMPRESA BITEL, PARA LAS ASOCIACIONES DE VIVIENDA SAN ANTONIO Y LA UNIÓN EN EL SECTOR DE VIÑANI, CIUDAD DE TACNA, AÑO 2022”

PARA OPTAR:

TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO

PRESENTADO POR:

Bach. JAIME ALEJANDRO GAJARDO QUIROZ

TACNA – PERÚ

2023

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

TESIS

“DETERMINACIÓN DE LOS PRINCIPALES PARÁMETROS DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN MÓVIL, PARA LA AMPLIACIÓN DE LA RED DE TELEFONÍA MÓVIL DE LA EMPRESA BITEL, PARA LAS ASOCIACIONES DE VIVIENDA SAN ANTONIO Y LA UNIÓN EN EL SECTOR DE VIÑANI, CIUDAD DE TACNA, AÑO 2022”

Tesis sustentada y aprobada el 23 de setiembre de 2023; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE : Mag. JOSÉ MARCIAL SUMARRIVA BUSTINZA

SECRETARIO : Ing. CARLOS ARMANDO RODRÍGUEZ SILVA

VOCAL : Mtra. MARÍA ELENA VILDOZO ZAMBRANO

ASESOR : Mag. ANIBAL JUAN ESPINOZA ARANCIAGA

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo, Jaime Alejandro Gajardo Quiroz, egresado, de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI 45114797, así como Anibal Juan Espinoza Aranciaga con DNI 06154874; declaramos en calidad de autor y asesor que:

1. Somos los autores de la tesis titulada: *“Determinación de los principales parámetros de un sistema de comunicación móvil, para la ampliación de la red de telefonía móvil de la empresa Bitel, para las asociaciones de vivienda San Antonio y la Unión en el sector de Viñani, ciudad de Tacna, año 2022”*, la cual presentamos para optar el Título profesional de *Ingeniero Electrónico*.
2. La tesis es completamente original y no ha sido objeto de plagio, total ni parcialmente, habiéndose respetado las rigurosamente las normas de citación y referencias para todas las fuentes consultadas.
3. Los datos presentados en los resultados son auténticos y no han sido objeto de manipulación, duplicación ni copia.

En virtud de lo expuesto, asumimos frente a *La Universidad* toda responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos asociados a la obra.

En consecuencia, nos comprometemos ante a *La Universidad* y terceros a asumir cualquier perjuicio que pueda surgir como resultado del incumplimiento de lo aquí declarado, o que pudiera ser atribuido al contenido de la tesis, incluyendo cualquier obligación económica que debería ser satisfecha a favor de terceros debido a acciones legales, reclamos o disputas resultantes del incumplimiento de esta declaración.

En caso de descubrirse fraude, piratería, plagio, falsificación o la existencia de una publicación previa de la obra, aceptamos todas las consecuencias y sanciones que puedan derivarse de nuestras acciones, acatando plenamente la normativa vigente.

Tacna, 23 de setiembre de 2023

Jaime Alejandro Gajardo Quiroz
DNI: 45114797

Juan Anibal Espinoza Aranciaga
DNI: 06154874

ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DE JURADOS.....	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD.....	iii
INDICE GENERAL.....	vii
INDICE DE FIGURAS.....	ix
INDICE DE TABLAS.....	xii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Descripción del Problema.....	2
1.2. Formulación del problema	3
1.2.1 Problema Principal	3
1.2.2 Problemas Específicos	3
1.3. Justificación e importancia.....	3
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1. Objetivo general	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
CAPITULO II: MARCO TEORICO	5
2.1 Antecedentes del Estudio.....	5
2.2 Bases Teóricas.....	6
2.2.1 El espectro electromagnético	6
2.2.1.1. Espectro radioeléctrico.....	7
2.2.1.2. La banda UHF.....	8
2.2.2 Los sistemas de comunicación móvil	9
2.2.2.1. Red de comunicación móvil	10
2.2.2.2. Red de celdas	10
2.2.3 Tecnología 4G LTE	11
2.2.4 Arquitectura 4G LTE.....	12
2.2.4.1. La arquitectura SAE o EPC.....	12
2.2.4.2. La arquitectura E-UTRAN	13
2.2.5 Bandas de frecuencias empleadas en la telefonía móvil 4G-LTE.....	14
2.2.6 Modelos de propagación para el diseño de una estación base 4G.....	15

2.2.6.1. Modelo Okumura- Hata.....	15
2.3 Definición de términos	16
2.3.1. Drive Test	16
2.3.2. Epc	16
2.3.3. Equipo De Usuario (Ue)	16
2.3.3. E-Utran	16
2.3.4. Evolved Node B (E Node B)	17
2.3.5. Lte.....	17
2.3.6. Umts	17
CAPITULO III: MARCO METODOLOGICO	18
3.1 Tipo, nivel y diseño de la Investigación	18
3.1.1 Tipo de Investigación.....	18
3.1.2 Nivel de la Investigación.....	18
3.1.3 Diseño de la Investigación.....	18
3.2 Acciones y actividades	18
3.2.1 Estudio de campo.....	18
3.2.2 Estudio de gabinete.....	19
3.3 Materiales y/o instrumentos.....	19
3.3.1 Materiales empleados en la recolección de datos.....	19
3.3.2 Instrumentos para la recolección de los datos	19
3.4 Población y/o Muestra del Estudio	20
3.4.1 Muestra de Estudio.....	20
3.5 Operacionalización de Variables	20
3.6 Análisis de la red móvil de BITEL en la zona de estudio.....	21
3.6.1 El operador de telecomunicaciones BITEL	21
3.6.2 Determinación de la zona de estudio	22
3.6.3 Análisis de la cobertura de la red existente LTE en zona de estudio	23
3.6.4 Mediciones realizadas en la red existente de Bitel.....	25
3.6.5 Mediciones de los KPI efectuadas y emisión de reportes	26
CAPITULO IV: RESULTADOS	29
4.1. Reporte de mediciones efectuadas en la zona de estudio	29
4.1.1 Mediciones efectuadas por el G-Net Track Pro por estación base	29
4.2. Resultados obtenidos de los indicadores claves de desempeño (KPI).....	29
4.2.1 KPI-RSRP.....	29
4.2.1.1 Valores obtenidos del RSRP para la Estación Base TAC 0139	30
4.2.1.2. Valores obtenidos del RSRP para la Estación Base TAC 0122	31

4.2.2	KPI-RSRQ	31
4.2.3	KPI-LTE RSSI.....	33
4.2.4.	Análisis de los resultados del indicador KPI-RSRP	34
4.3.1	Análisis de los resultados del indicador KPI-RSRQ	35
4.3.2	Análisis de los resultados del indicador KPI-LTE RSSI.....	36
CAPITULO V: DISCUSIÓN.....		38
5.1.	Discusión de los resultados obtenidos del DRIVE TEST	38
5.1.1	Consideraciones previas	38
Tabla 20.....		38
5.1.2	Discusión de los resultados de los indicadores KPI	38
5.2.	Diseño de una estación base 4G LTE para la zona de estudio.....	39
5.2.1	Parámetros de los equipos en el up link y el down link.....	39
5.2.2	Ubicación de la estación base.....	40
5.2.3	Selección del modelo de propagación empírico.....	43
5.2.4	Cálculo del link budget	44
5.2.5	Simulación de la Estación Base LTE propuesta.....	46
CONCLUSIONES		55
RECOMENDACIONES		55
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		56
ANEXOS		59

RESUMEN

El trabajo de tesis desarrollado, tuvo por objetivo obtener los principales parámetros radioeléctricos de un sistema de comunicación móvil, que permita la ampliación de la red móvil 4G LTE del operador Bitel en las Asociaciones San Antonio y La Unión del sector de Viñani. Para lograr ello, se tuvo que analizar la cobertura de la red móvil existente del operador BITEL en el ámbito de estudio mediante la determinación de los indicadores de desempeño (KPI) utilizando la metodología denominada Drive Test. El resultado de las 1564 mediciones efectuadas, permitió determinar que en la zona de estudio no existió una buena cobertura de la red móvil 4G LTE existente, lo cual llevó a realizar un estudio radioeléctrico para proponer una solución tecnológica de una nueva Estación Base LTE. La propuesta de una estación base en la zona de estudio se desarrolló en dos etapas; la primera etapa, la selección del sitio; la segunda etapa, la planificación y dimensionamiento de la estación base utilizando el software de simulación XIRIO ON LINE, herramienta informática empleada para la planificación de sistemas de telecomunicaciones. Producto de la simulación, se comprobó que la Estación Base propuesta en la zona de estudio, cumple con la cobertura de 2 km con un buen nivel de la señal radioeléctrica.

Palabras clave: Drive Test; Estación Base LTE; Red móvil 4G LTE.

ABSTRACT

The thesis work developed, had the objective of obtaining the main radioelectric parameters of a mobile communication system, which allow the expansion of the 4G LTE mobile network of the operator BITEL in the San Antonio and La Unión Associations of the Viñani sector. To achieve this, the coverage of the existing mobile network of the BITEL operator in the study area had to be analyzed by determining the performance indicators (KPI) using the methodology called Drive Test. The result of the 1564 measurements carried out, allowed to determine that in the study area there was no good coverage of the existing 4G LTE mobile network, which led to carry out a radioelectric study to propose a technological solution of a new LTE Base Station. The proposal for a base station in the study area was implemented in two stages; the first stage, the selection of the site; the second stage, the planning and sizing of the base station using the XIRIO ON LINE simulation software, a computer tool used for planning telecommunications systems. As a result of the simulation, it was verified that the Base Station proposed in the study area complies with the coverage of 2 km with a good level of the radioelectric signal.

Keywords: LTE Base Station; Drive Test; 4G LTE mobile network.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los desafíos que enfrentan las redes móviles en Perú incluyen los siguientes aspectos: Garantizar una cobertura móvil amplia y confiable en todo el territorio; La existencia de una brecha digital dado que existen disparidades en la infraestructura y el acceso a Internet entre las zonas urbanas y rurales; Velocidad de acceso a internet muy lento a pesar que han mejorado en los últimos años y la calidad de conexión puede variar según la ubicación geográfica; Una infraestructura limitada: en zonas rurales y remotas, dificulta la expansión de las redes móviles. La instalación de torres y antenas puede ser costosa y complicada en terrenos difíciles, lo que limita la cobertura y la calidad de las conexiones móviles; Costos de servicio tanto de los planes de datos y la adquisición de dispositivos móviles todavía puede ser una barrera para algunos usuarios en Perú. Esto afecta la adopción y el acceso generalizado a las redes móviles.

Capítulo 1:” Planteamiento del problema”, donde se detalla el estado de la problemática de la telefonía móvil en la zona de Viñani. También se explicará el problema de investigación juntamente con su objetivo general hasta los específicos.

Capítulo 2:” Marco teórico”, donde se tendrá los antecedentes de la investigación, así como las bases teóricas las cuales son el fundamento de la solución tecnológica planteada, terminando con un diccionario de terminología.

Capítulo 3:” Marco metodológico”, se presenta el tipo, nivel y diseño de la investigación, así como se identificará la variable de estudio con sus respectivos indicadores. Se presenta una solución tecnológica para la zona de estudio.

Capítulo 4:” Resultados”, donde se presentan los productos esperados que se convirtieron en las evidencias de la investigación realizada de las pruebas de campo y de la simulación con la herramienta informática “Xirio Online.

Capítulo 5:” Discusión de resultados”, se analizan los resultados obtenidos y se propone el diseño de una nueva estación base, utilizando el software de Simulación “Xirio Online”.

Finalizando con las conclusiones, recomendaciones y las referencias bibliográficas empleadas en el desarrollo de mi tesis.

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del problema

En los últimos años, la importancia de estar conectado a Internet se ha vuelto cada vez más prominente y esto se debe esencialmente a los eventos desarrollados como consecuencia de la pandemia de Covid-19. Tener una buena cobertura celular es fundamental para brindar una experiencia de usuario satisfactoria y mantenerse conectado. Sin embargo, las demandas de los usuarios no se limitan a acceder a Internet desde cualquier lugar, sino que también requieren velocidades de conexión más rápidas.

En la actualidad, los avances en tecnología móvil nos brindan mayores capacidades, velocidad de información y ancho de banda. En el Perú, la introducción de la telefonía móvil de cuarta generación, conocida como 4G, ha permitido a los proveedores de servicios LTE expandir sus redes en las principales ciudades, lo cual ha beneficiado a numerosos usuarios. Sin embargo, este despliegue ha sido lento y no se ha completado en todas las ciudades, principalmente debido a factores económicos y sociales. La falta de conocimiento y el temor de la gente hacia las antenas instaladas en las estaciones de radio han influido en esta situación. No obstante, esta situación podría cambiar si se instalan más estaciones base, ya que esto reduciría la potencia de transmisión de las antenas e incluso los dispositivos móviles funcionarían con menor potencia, lo que resultaría en una menor radiación, menor gasto y una mejor calidad en las comunicaciones y servicios.

La ciudad de Tacna es una ciudad ubicada en el extremo sur de nuestro país, perteneciente a la Región Tacna y con mercado en crecimiento para requerir los servicios de telefonía móvil, ocasionando gran tráfico de datos y mayor requerimiento de ancho de banda. Esta ciudad se divide en 8 distritos, en las cuales los operadores de los servicios de telecomunicaciones están desplegando sus redes de telefonía móvil 4G LTE para llegar a todos sus habitantes, de manera particular para atender a aquellas zonas o localidades más alejadas que no cuentan con dicho servicio.

Uno de los distritos que está experimentando un notable crecimiento económico y demográfico es Gregorio Albarracín Lanchipa. Esto se debe al fuerte desarrollo comercial y del parque industrial en la zona. Como resultado, existe una alta demanda de servicios de telecomunicaciones, con la necesidad cada vez mayor de velocidad y ancho de banda para satisfacer las necesidades de la población tacneña. Por esta

razón, esta investigación propone el diseño de una red en el sector de Viñani, ubicado en este distrito. El área de estudio abarca las Asociaciones de Vivienda San Antonio y La Unión en el sector de Viñani.

1.2. Formulación del problema

1.2.1 Problema principal

¿En qué medida la determinación de los principales parámetros de un sistema de comunicación móvil, permitirá la ampliación de la red de telefonía móvil de la empresa Bitel en las Asociaciones San Antonio y La Unión del sector de Viñani, de la ciudad de Tacna, año 2022?

1.2.2 Problemas específicos

- a. ¿En qué medida las mediciones efectuadas de los parámetros RSRP, RSRQ y LTE RSSI de la red móvil existente en la zona de estudio, determinará la propuesta de una nueva Estación Base LTE?
- b. ¿En qué medida el empleo del modelo de propagación extendido Hata, permitirá la planificación de una Estación Base LTE en la zona de estudio?
- c. ¿En qué medida la simulación d utilizando herramientas informáticas para redes móviles, facilitará el establecimiento de una Estación Base LTE de la empresa Bitel en la zona de estudio?

1.3. Justificación e importancia

La investigación tiene su justificación debido a que:

El presente proyecto pretende ser una alternativa tecnológica para ampliar la cobertura del sistema de telefonía móvil de la empresa Bitel en las Asociaciones San Antonio y La Unión del sector de Viñani, en el distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa de la ciudad de Tacna.

El trabajo de investigación a desarrollar, tiene su justificación desde los siguientes puntos de vista:

Desde un punto de vista social el ampliar la cobertura de la red Bitel va a contribuir al desarrollo y unión de la población en general, además de facilitar muchos servicios, desde el entretenimiento hasta el trabajo además de evitar la propagación de nuevos virus que van apareciendo.

Desde un punto de vista económico, el ampliar la cobertura de la red Bitel va a permitir el desarrollo de negocios y de la industria en general, ya que al tener acceso a internet tenemos infinidad de posibilidades de hacer empresa y controlar los avances y resultados de nuestros trabajos.

Desde un punto de vista tecnológico, la ampliación de la red Bitel permitirá a los nuevos usuarios el uso de celulares o cualquier computadora conexión a internet y llamadas desde la comodidad del usuario.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Determinar los principales parámetros radioeléctricos de un sistema de comunicación móvil, que permita la ampliación de la red de telefonía móvil de la empresa Bitel en las Asociaciones San Antonio y La Unión del sector de Viñani, de la ciudad de Tacna, año 2022.

1.4.2. Objetivos específicos

- a. Efectuar las mediciones de los parámetros RSRP, RSRQ y LTE RSSI de la red móvil existente en la zona de estudio, que permita la propuesta de una nueva Estación Base LTE
- b. Emplear el modelo de propagación extendido Hata, que permita la planificación de una Estación Base LTE en la zona de estudio
- c. Simular utilizando herramientas informáticas para redes móviles, que facilite el establecimiento de una Estación Base LTE de la empresa Bitel en la zona de estudio.

CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes del Estudio

Para los antecedentes a nivel nacional, se accedió al Repositorio Alicia del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYTEC), que contiene la base de datos de las tesis de Pre-Grado y Pos-Grado de las universidades del Perú.

Para los antecedentes internacionales, se tuvo acceso a los artículos científicos de investigadores internacionales, así como a los Repositorios de Tesis de la Universidades Extranjeras.

2.1.1 A nivel internacional

En el trabajo de tesis realizado por Guamán y Peñafiel (2014), se indicó que "el propósito principal de la investigación no fue sustituir los sistemas macro-celulares existentes en el área de estudio, sino ampliar el alcance de la red actual mediante el uso de femtoceldas sin la necesidad de operar ambos sistemas. Como contribución de trabajo, se obtuvieron los valores paramétricos de una celda de telefonía móvil, que representan los indicadores de desempeño (KPI) de los servicios de telefonía móvil".

Según el trabajo de tesis de Salgado (2014) se concluyó que: "la factibilidad de la tecnología 4G LTE en el ámbito de estudio no presenta mayores inconvenientes, ya que su realidad geográfica facilita una buena prestación de las redes de servicio. No obstante, es importante considerar que, debido a su terreno montañoso, se requiere un mayor número de repetidores, amplificadores y puntos de cobertura celular. La dimensión de las áreas de cobertura depende de varios factores, como el tipo de sistema irradiante utilizado, el perfil topográfico del terreno (valles, zonas montañosas, mesetas), la clasificación del ambiente poblacional (áreas rurales, urbanas)".

2.1.2 A nivel nacional

En su trabajo de tesis Limonchi (2016), tuvo como objetivo realizar una propuesta de optimización para mejorar la cobertura de red móvil 4G LTE en la región de Lambayeque en el área de estudio que comprende los distritos de Chiclayo, la Victoria y José Leonardo Ortiz, considerada el área poblada con mayor cantidad de usuarios. Esta investigación presenta dos alternativas para solucionar la carencia de cobertura en el área determinada, siendo la primera la modificación de los parámetros de potencia e

inclinación generados por el transceptor, y la segunda alternativa fue de implementar otra estación Base (BTS) para dar solución al problema de cobertura. Este trabajo contribuyó en nuestra investigación en el análisis de los indicadores de desempeño (KPI) de la calidad de servicio”.

Neira (2014), en su trabajo de tesis manifestó que “la contribución realizada en esta tesis consistió en la planificación de una red de telefonía móvil en la ciudad de Arequipa. La metodología desarrollada tomó en cuenta la selección de la tecnología de comunicación móvil, la estimación de un mercado potencial y el dimensionamiento del tráfico de voz y datos. Con base en estos recursos, se estableció la estructura de la red y se determinó la ubicación de los sitios o estaciones base. Además, se llevó a cabo el diseño de la red de transporte para la interconexión de las estaciones bases”.

En el trabajo de investigación de Barrantes y Sáenz (2019) se indicó que: “el objetivo principal fue Identificar factores que inciden en la calidad de servicio de la red de 4G LTE de un operador en la ciudad de Otuzco. Como resultado de este trabajo de investigación, se obtuvieron los valores paramétricos que inciden en la calidad del servicio móvil LTE. Además, Como consecuencia del análisis de los resultados obtenidos del drive test y post procesamiento de la información mediante gráficos y mapas, e pudo identificar dos factores asociados a la degradación de los parámetros de calidad: la inadecuada ubicación de las estaciones bases y el traslape de las señales radioeléctricas emitidas por las estaciones base”.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 El espectro electromagnético

Según Luque (2012), “el espectro electromagnético se define como el conjunto de todas las posibles frecuencias en las que se emite radiación electromagnética” (p.17).

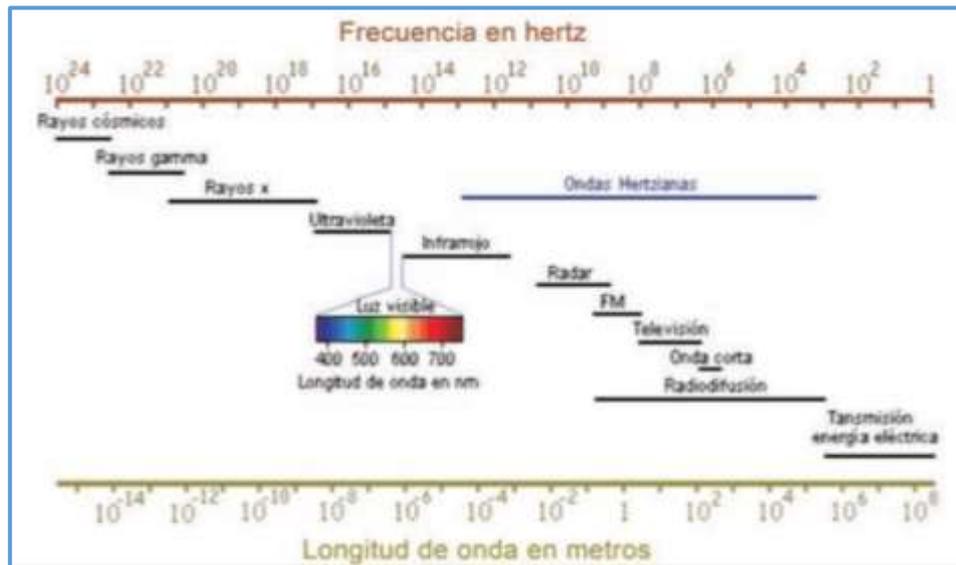
Debo indicar que las ondas electromagnéticas no se comportan de manera uniforme en un medio de propagación, y su origen y la forma en que interactúan con la materia varían. Por esta razón, es común dividir el espectro electromagnético en diferentes rangos o bandas de frecuencia.

Con respecto a la división del espectro electromagnético, Luque (2012) manifiesta que “esta división se ha realizado en función de diversos criterios, y no es exacta, produciéndose en ocasiones solapamientos en las bandas, pudiendo una frecuencia quedar por tanto incluida en dos rangos, debido a diferentes aprovechamientos de la energía radiada a una frecuencia concreta” (p.18).

Según Vildoza (2021), “esta segmentación en bandas de frecuencias se ha realizado basándose en diferentes criterios y no es exacta, lo que puede llevar a superposiciones de bandas adyacentes, donde una frecuencia puede permanecer en dos rangos debido a diferentes fenómenos físicos”, como se muestra en la figura 1.

Figura 1

División del espectro electromagnético



Nota. Tomada de Espectro electromagnético y espectro radioeléctrico (p. 19) por J. Luque, 2012 (Luque 2012).

2.2.1.1. Espectro radioeléctrico

Según Luque (2012), el espectro radioeléctrico se refiere a una parte específica del espectro electromagnético que se caracteriza por sus capacidades en el ámbito de las comunicaciones por radio, es decir, para transmitir información a través de medios no cableados. La delimitación de esta porción se basa en dos influencias principales: las propiedades de propagación de las ondas electromagnéticas a diversas frecuencias y los progresos tecnológicos creados por la humanidad.

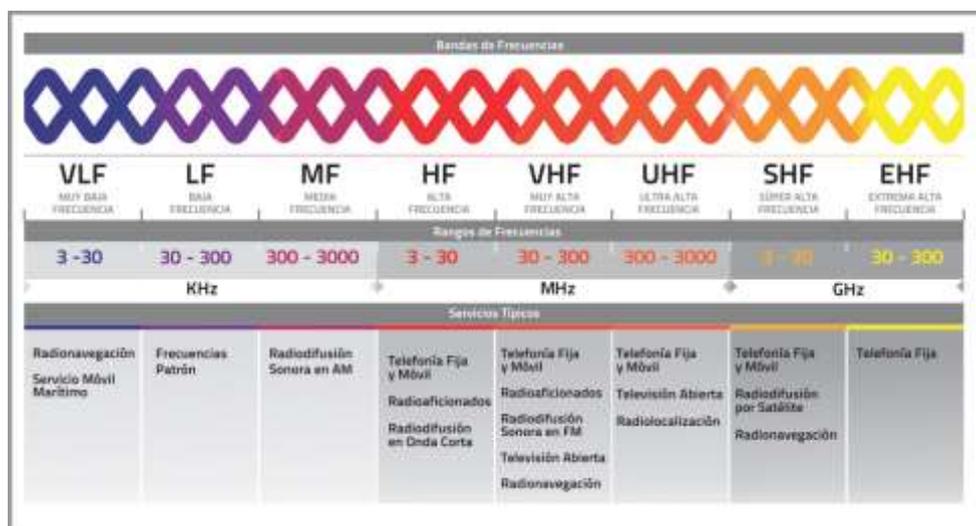
Para Espinosa (2023), el espectro radioeléctrico representa un recurso natural de disponibilidad limitada, considerado un bien público bajo la administración del gobierno. Esto significa que, al ser un recurso natural, no se puede generar artificialmente; en cambio, proviene de manera natural de nuestro planeta, lo que justifica su carácter público. Sin embargo, su uso está regulado y gestionado por el gobierno del país en el que se encuentra.”.

En concordancia al vigente Reglamento de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-R), el espectro radioeléctrico se define como el grupo de ondas cuya frecuencia se establece convencionalmente por debajo de 3.000 GHz y se transmiten a través del espacio libre (Luque, 2012).

En la recomendación UIT-R V.431-7 (2015) referido a la nomenclatura de las bandas de frecuencias y de las longitudes de onda empleadas en telecomunicaciones, se establecieron las siguientes directrices: “Primero, la banda N se extiende desde $0,3 \cdot 10^N$ hasta $3 \cdot 10^N$; Segundo, cada banda excluye el límite inferior, pero incluye el superior; Tercero, cada banda tiene una nomenclatura en función de su frecuencia y una abreviatura en función de su longitud de onda” (p. 2).

Figura 2

El espectro radioeléctrico.



Nota. Tomada de la publicación on line Qué es el espectro radioeléctrico, por O. Espinoza, 2023 (Espinoza 2023)

2.2.1.2. La banda UHF

En esta banda de frecuencia normalizada, cuyo rango de frecuencia va desde los 300 MHz hasta los 2 GHz, se produce la propagación por onda espacial troposférica con línea de vista (line on sight).

Según Luque (2012), el tamaño de las longitudes de onda en UHF permite antenas muy adecuadas para dispositivos portátiles, lo que junto con las características de propagación hacen a esta banda ideal para servicios móviles. Es por tanto una banda

muy empleada en servicios de radiocomunicación de voz, con modo de transmisión bidireccional simultáneo.

En esta banda se emiten los servicios de las tecnologías de redes inalámbricas como WiFi (WLAN) o Bluetooth (WPAN), la televisión digital terrestre (TDT) y los servicios de telefonía móvil terrestre (Luque, 2012).

2.2.2 Los sistemas de comunicación móvil

Según Chávez y Reinoso (2004) se denomina comunicación móvil “a cualquier enlace de radiocomunicación entre dos terminales, de los cuales al menos uno está en movimiento, o estático en una localización indeterminada, pudiendo ser el otro un terminal fijo, tal como una estación base” (p. 3).

En los sistemas de telecomunicaciones se distingue dos tipos de redes, la red de acceso y la red de tránsito. En el caso de los sistemas de comunicación móvil, la red de acceso es inalámbrica y se realiza a través de una interfaz aérea (Chávez y Reinoso, 2004).

Los componentes de un sistema de radiocomunicación móvil se presentan a continuación:

- a. Estaciones Fijas: Es una estación radioeléctrica que no se puede emplear en movimiento, entre las cuáles tenemos La Estación Base, la Estación de Control y la Estación Repetidora (Chávez y Reinoso, 2004).
- b. Estaciones Móviles: La estación móvil, a menudo llamada terminal, actúa como la conexión entre el usuario y la red de comunicación, generalmente siendo el único componente del sistema visible para el usuario. Esto abarca dispositivos portátiles que el usuario lleva consigo y dispositivos transportables que se pueden instalar en vehículos (Chávez y Reinoso, 2004).
- c. Equipos de control: Este componente abarca los dispositivos esenciales para la gestión de estaciones base, así como la creación, recepción y transferencia de llamadas, la localización y la identificación de usuarios (como equipos y vehículos), junto con la señalización de canales. Esto engloba terminales de datos, pequeñas computadoras y controladores (Chávez y Reinoso, 2004). Entre los que tenemos, la Central de Conmutación Móvil (MSC) y el Sistema de Multiplexación Digital (DMS)

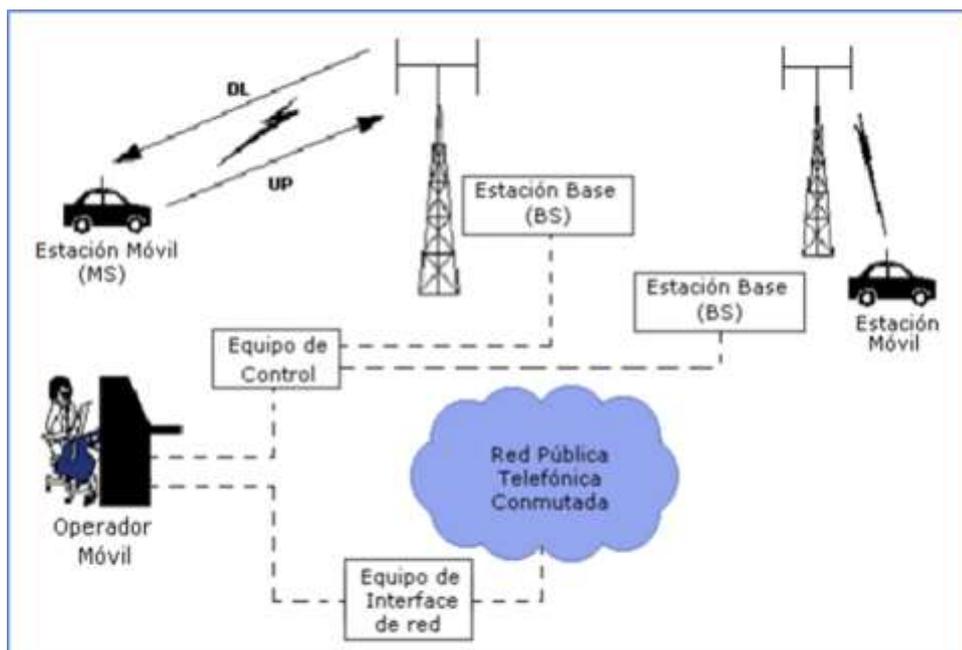
2.2.2.1. Red de comunicación móvil

Según Ccahuana (2018), las redes móviles proporcionan comunicación de voz y transferencia de datos a través de conexiones no cableada (Wireless). Estas redes constan de elementos de transmisión y recepción inalámbrica, además de una infraestructura física necesaria para brindar una amplia gama de servicios. (p.18).

Para García et al (2014), los sistemas de telefonía móvil permiten a los usuarios conectarse de manera inalámbrica a la red de telefonía fija y a otros usuarios de sistemas de comunicación móvil. Esta conexión se establece en áreas geográficas extensas que abarcan la mayoría de la población de un país. La calidad del servicio se mantiene alta gracias a la subdivisión del área total de cobertura en celdas que son atendidas por estaciones base dedicadas.

Figura 3

Esquema de un sistema de comunicación móvil.



Nota. Tomada de Diseño de una Red Móvil de Comunicación utilizando Tecnología de Espectro Ensanchado (SS) en la Ciudad de Guayaquil en la Banda de frecuencia ICM (2.4 - 2.4835) GHz (p. 8) por P. Chávez y A. Reinoso, 2004 (P. Chávez y A. Reinoso, 2004).

2.2.2.2. Red de celdas

García et al (2012), indica que “uno de los principios esenciales presentes en todos los sistemas diseñados en las últimas cuatro décadas es la utilización de la subdivisión de áreas de servicio mediante la división celular. La división celular representa una de las

estrategias clave para aumentar la capacidad de usuarios sin comprometer la calidad de la comunicación” (p.1).

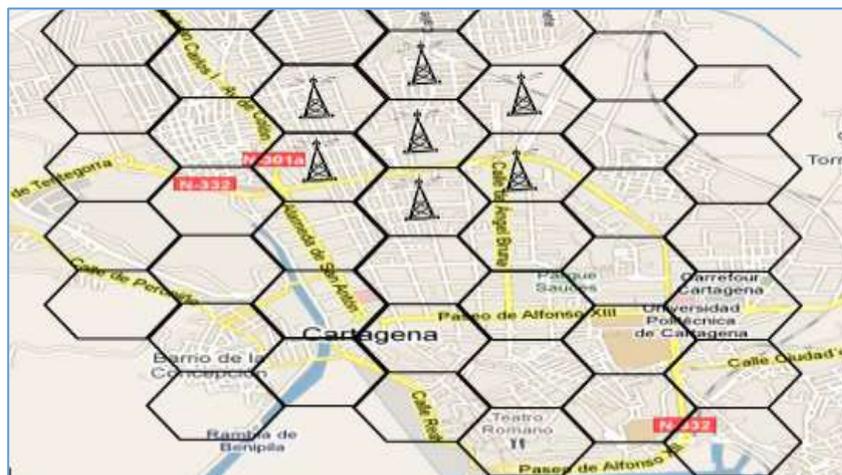
Un punto clave en la división celular radica en la determinación del tamaño de cada célula y de cuál es la distancia entre células cocanal para un patrón celular dado (García et al, 2012, p.4).

La tecnología celular requiere de un gran número de estaciones bases para dar cobertura a un área geográfica determinada.

Para More y Gavilano (2020), indican que “en la medida que en las redes móviles se requiere atender una determinada zona geográfica, también conocida como zona de cobertura, estos elementos por lo general se instalan sobre estructuras elevadas, tales como torres, mástiles, azoteas u otra similar” (p.4). La figura 4 muestra una representación esquemática de una red de telefonía móvil.

Figura 4

Representación esquemática de una red de telefonía móvil.



Nota: Imagen tomada de Sistemas de Comunicación móvil, por J. García, J. Molina y L. Llácer, 2012 (J. García, J. Molina y L. Llácer, 2012)

2.2.3 Tecnología 4G LTE

La tecnología LTE (Long Term Evolution), es el estándar internacional de los servicios de comunicaciones móviles que permitió la cuarta generación de redes móviles.

Según Iglesias y Umbert (2016), el sistema LTE, desarrollado por la 3GPP, tenía como objetivo principal ampliar considerablemente las capacidades ofrecidas por las generaciones anteriores de comunicaciones móviles. Una de las innovaciones más destacadas del sistema LTE es la provisión de todos los servicios del sistema,

incluyendo la voz, a través de un protocolo IP, reemplazando así la conmutación de circuitos por un nuevo enfoque basado por completo en la conmutación de paquetes.

Para Barrantes y Sáenz (2019), la tecnología 4G LTE mejora la rapidez de transferencia de datos, incrementa la eficiencia espectral y minimiza la latencia mediante el uso de la modulación OFDMA en la down link y SC-FDMA en up link.

2.2.4 Arquitectura 4G LTE

Para Barrantes y Sáenz (2019), la arquitectura de una red móvil LTE está compuesto por un equipo de usuario (UE) que se interconecta a la red LTE mediante un sistema de acceso de radio evolucionado, conocido como (EUTRAN), que comprende en un único elemento llamado estación base o eNodeB, como se muestra en la Figura 6.

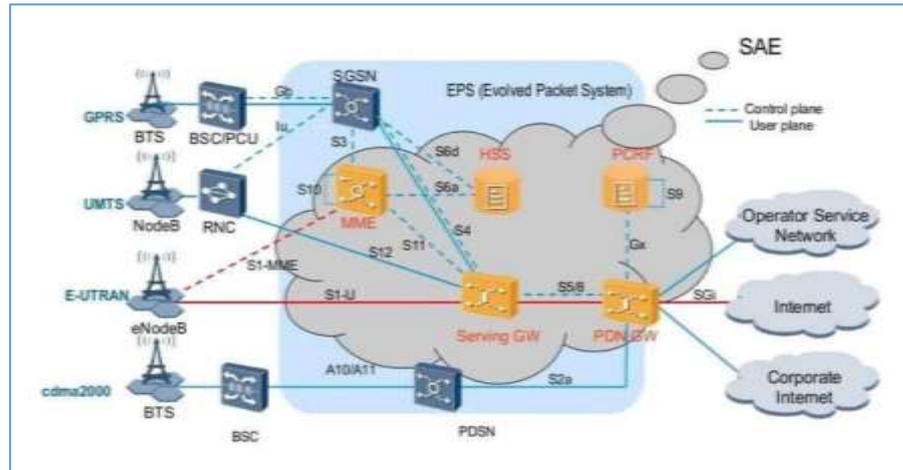
Según Vega (2023), en la arquitectura LTE los componentes del Core (Evolved Packet Core - EPC) sustituyen de manera directa a los empleados en GSM y UMTS. Aunque no existe una equivalencia exacta para la conmutación de circuitos de UMTS y GSM, esto posibilita que LTE mejore la eficiencia del tráfico de datos. Sin embargo, en lo que respecta a las llamadas de voz, es necesario utilizar la técnica Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) para sustituir directamente a UTRAN.

2.2.4.1. La arquitectura SAE o EPC

La Evolución de la arquitectura del sistema (SAE por sus siglas en inglés), también conocida como Evolved Packet Core (EPC), es el que se encarga del control de acceso en la red de telefonía móvil, de la gestión de la movilidad, de la autenticación del usuario y del control de los servicios que presta al usuario.

Según Vega (2023), “los requerimientos de la EPC incluyen mejor provisionamiento del servicio, flexibilidad en el uso de frecuencia de banda existentes y nuevas, simplificar la arquitectura de red, la reducción de costo por bit y garantizar un consumo de energía razonable en los terminales” (p. 12)

Figura 5
Arquitectura de una red LTE

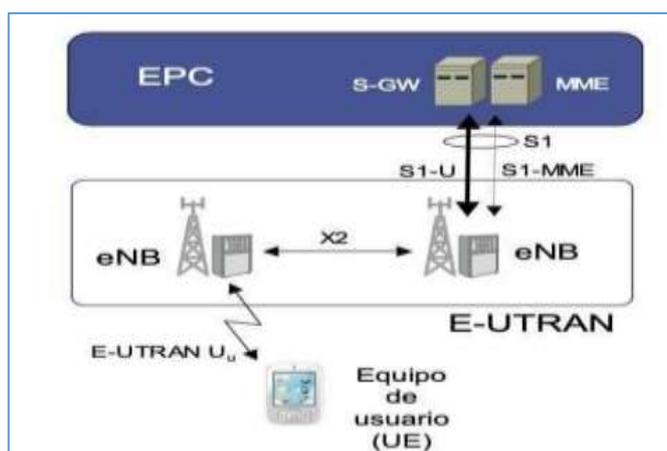


Nota. Imagen tomada de Diseño de una red LTE, para la Comunidad Campesina de Chucatamani, departamento de Tacna, año 2023 (p. 9), J. Vega, 2023 (Vega, 2023).

2.2.4.2. La arquitectura E-UTRAN

Según Vega (2023), la arquitectura E-UTRAN “está compuesto solo por el evolved NodeB (eNB), que es toda la arquitectura de la EUTRAN. A diferencia de GSM y WCDMA, todo se gestiona y controla desde el eNB. Estos realizan la conexión entre la red troncal y los UE” (p.15).

Figura 6
Arquitectura E-UTRAN



Nota. Imagen tomada de Diseño de una red LTE, para la Comunidad Campesina de Chucatamani, departamento de Tacna, año 2023 (p. 15), J. Vega, 2023 (Vega, 2023).

2.2.5 Bandas de frecuencias empleadas en la telefonía móvil 4G-LTE

Según García et al (2012), una de las características que diferencia a LTE de los sistemas precedentes es el de la capacidad para operar con diferentes anchos de banda. A continuación, se mencionan las bandas de frecuencia utilizadas con mayor frecuencia en la telefonía móvil 4G:

- Banda 1 (1920-1980 MHz)
- Banda 3 (1710-1785 MHz)
- Banda 7 (2500-2570 MHz)
- Banda 8 (880-910 MHz)
- Banda 20 (832-862 MHz)
- Banda 28 (703-748 MHz)

En el Perú, el uso de las bandas de frecuencias es reguladas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), mediante el Plan Nacional de Asignación de Frecuencias (PNAF).

Según el MTC (2023), el Perú se utiliza las siguientes bandas de frecuencias para los operadores de telefonía móvil 4G, tal como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1

Bandas de frecuencias asignadas a operadores del servicio 4G

Operador de telefonía móvil 4G	N° de banda	Rango de frecuencia
Movistar	Banda 28	700 MHz
	Banda 4 AWS	1700/2100 MHz
Claro	Banda 2	1900 MHz
	Banda 28	700 MHz
Entel	Banda 7	2600 MHz
	Banda 4 AWS	1700/2100 MHz
Bitel	Banda 28	700 MHz
	Banda 8	900 MHz
InkaCel	Banda 2	1900 MHz
	Banda 4 AWS	1700/2100 MHz
	Banda 28	700 MHz

Nota. Extraído del Plan Nacional de Asignación de Frecuencias del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, (MTC, 2023).

2.2.6 Modelos de propagación para el diseño de una estación base 4G

2.2.6.1. Modelo Okumura- Hata

El modelo Okumura-Hata forma parte de la normatividad internacional de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) que se encuentra en el Capítulo IV del Manual “Propagación de las ondas radioeléctricas en sistemas terrenales móviles terrestres en las bandas de ondas métricas/decimétricas”, referido a las técnicas de modelización para la predicción de la propagación.

Según la UIT (2002), el modelo de Okumura - Hata y otros modelos empíricos generales proporcionan predicciones razonablemente exactas de la cobertura en los sistemas radioeléctricos móviles terrestres, cuando se aplican a un entorno semejante al utilizado para establecer el modelo “(p.27).

Este modelo es ampliamente utilizado en entornos urbanos y suburbanos. Toma en cuenta factores como: la distancia entre la estación base y la unidad receptora, la banda de frecuencia, la altura del sistema irradiante en la estación base y la altura de los edificios circundantes. El modelo Okumura-Hata se basa en mediciones empíricas y proporciona una estimación de la pérdida de propagación.

Para la Unión Internacional de Telecomunicaciones (2002), el modelo Okumura Hata “se utiliza ampliamente en la planificación de los sistemas radioeléctricos móviles terrestres. Pero al diseñar un sistema particular hay que considerar cuidadosamente la diferencia que puede existir entre las condiciones y los entornos considerados por los autores del modelo y las que se dan en la realidad” (p.28).

El modelo extendido de Hata, es una extensión del modelo de Okumura-Hata para ser usado en el rango de frecuencias de 1.5 GHz a 2 GHz, aunque este modelo puede ser utilizado hasta frecuencias de 3 GHz.

Las pérdidas de propagación que se calculan con este modelo de propagación, emplean la siguiente expresión:

$$L(\text{urbano}) \text{ dB} = 46,3 + 33,9 \cdot \log f_c - 13,82 \cdot \log h_{te} - a(h_{re}) \\ + (44,9 - 6,55 \cdot \log h_{te}) \cdot \log d + C \quad (1)$$

Considerando que:

$$1500 \text{ MHz} < f_c < 3000 \text{ MHz}$$

$$30 \text{ m} < h_{te} < 200 \text{ m}$$

$$1 \text{ m} < h_{re} < 10 \text{ m}$$

f_c : frecuencia de la portadora (MHz)

hte: altura de antena de transmisión en (m) en rango 30 a 200 m

hre: altura de antena de recepción en (m) en rango 1 a 10 m

Siendo el factor de corrección $a(hre)$ para ciudades pequeñas y medianas, la cual se determina a partir de la siguiente ecuación.

$$a(hre) = (1,1 \cdot \log fc - 0,7) \cdot hre - (1,56 \cdot \log fc - 0,8) \quad (2)$$

C vale 3 dB para grandes ciudades y 0 dB para ciudades medianas y áreas suburbanas).

$$L(\text{suburbana}) \text{ dB} = L(\text{urbana}) - 2[\log (fc/28)]^2 - 5,4 \quad (3)$$

2.3 Definición de términos

2.3.1. Drive Test

Es un método o procedimiento que analiza la extensión, capacidad y calidad del servicio móvil que implica recrear las condiciones que un usuario común podría enfrentar al utilizar la red inalámbrica en una región específica. Esto se logra mediante la utilización de dispositivos de medición que detectan y registran una amplia variedad de parámetros relacionados con el servicio celular (Barrantes y Sáenz, 2019).

2.3.2. EPC

Es el acrónimo de “Evolved Packet Core”, que representa el núcleo de la red. EPC fue concebido principalmente para proporcionar un servicio de conectividad IP mediante una arquitectura de red optimizada que permite explotar las nuevas capacidades que ofrece la red de acceso E-UTRAN (Iglesias y Umbert, 2023).

2.3.3. Equipo de Usuario (UE)

Es un dispositivo que permite a usuarios del sistema LTE ejecutar los servicios de la red LTE mediante la interfaz aire (Barrantes y Sáenz, 2019).

2.3.3. E-Utran

Son las siglas en inglés de “Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network”. La red de acceso E-UTRAN está formada por eNBs que proporcionan la conectividad entre los

UE (Users Equipment) y la red troncal EPC, hecho que hace que sea denominada una arquitectura plana (Iglesias y Umbert, 2023).

2.3.4. Evolved Node B (E Node B)

Las estaciones base E NODE B que conforman las redes de comunicaciones móviles en LTE, son los puentes entre los dispositivos celulares y la EPC, también es el encargado de la asignación de recursos de radio (Vega, 2023).

2.3.5. LTE

Es la evolución de las tecnologías móviles 3G y 4G, es una tecnología flexible, que permite su uso en varias bandas. Esto lo realiza mediante técnicas de modulación y multiplexación de señales, dando pase a que los UE puedan acceder de forma rápida y eficiente (Vega, 2023).

2.3.6. UMTS

Es la abreviatura de “Universal Mobile Telecommunications System”, es un sistema muy flexible que permite abrir, mantener y cerrar diferentes conexiones simultáneas con un mismo terminal móvil, dichas conexiones pueden establecerse mediante canales de transporte independientes unos de otros o multiplexarse en un solo canal de transporte (García et al, 2012).

CAPITULO III: MARCO METODOLOGICO

3.1 Tipo, nivel y diseño de la Investigación

3.1.1 Tipo de investigación

Este tipo de investigación de esta tesis es aplicada, llamada también “investigación práctica o empírica”. En esta investigación práctica, lo más importante se encuentra en las consecuencias de los resultados obtenidos.

3.1.2 Nivel de la investigación

El nivel de investigación de la presente tesis es cuantitativa descriptiva, porque busca describir el estado actual de una variable identificada (calidad del servicio 4G LTE). Por ello, este proyecto está diseñado para proporcionar información sistemática sobre un fenómeno determinado (indicadores claves de rendimiento).

3.1.3 Diseño de la investigación

Se trata de una investigación no experimental, ya que no se realizarán modificaciones en el contexto evaluado durante el desarrollo de la tesis.

Considerando que la tesis se realizó en un único momento en el tiempo, lo que indica que se está ante un diseño transversal.

Diseñar una estación base 4G requiere un enfoque integral que incluya varios pasos, desde la selección del sitio hasta la implementación del modelo de propagación empírico.

3.2 Acciones y actividades

3.2.1 Estudio de campo

- a. Se realizaron visitas técnicas para determinar las ubicaciones de las estaciones bases del operador BITEL, cuyas señales radioeléctricas 4G dan el servicio móvil en el ámbito de estudio.
- b. Se realizaron pruebas para determinar los indicadores claves de rendimiento (KPI) en la zona de estudio, considerando que en las zonas circundantes existen estaciones bases de la empresa BITEL en el distrito

Gregorio Albarracín. De los resultados obtenidos en dichas pruebas, se concluyó que fue necesario proponer una estación base en el ámbito de estudio para que se amplíe la cobertura de la red 4G LTE.

- c. Se realizó un estudio de campo en la zona de estudio, con el propósito de verificar la posición de la estación base propuesta, que permita dar cobertura del servicio de telefonía 4G LTE a las Asociaciones de Vivienda San Antonio y La Unión. Mediante la técnica de geo-posicionamiento y el uso del dispositivo GPS, se verificó su ubicación.

3.2.2 Estudio de gabinete

- a. Con los valores obtenidos de los indicadores claves de calidad RSRP, RSRQ y LTE RSSI, se planificó una nueva estación base en C.P.M de Viñani.
- b. Se utilizó el software Xirio para la simulación de la estación base propuesta en la zona de estudio y así determinar su operatividad.

3.3 Materiales e instrumentos

3.3.1 Materiales empleados en la recolección de datos.

A continuación, se presentan los materiales y recursos utilizados para la obtención de los resultados de las mediciones efectuadas de los KPI y el cálculo de los parámetros de la nueva estación base:

- a. Un equipo de posicionamiento satelital (GPS)
- b. Una PC portátil
- c. Una tablet,
- d. Un equipo móvil 4G

3.3.2 Instrumentos para la recolección de los datos

Se utilizaron los siguientes instrumentos:

- a. Pruebas y mediciones: Se utilizó el método de medición Drive Test para recopilar datos cuantitativos de los indicadores de desempeño KPI.
- b. Registro de datos: Se emplean hojas de cálculo, bases de datos, sistemas de gestión de información Google Earth Pro.

- c. Análisis estadístico: Se utilizan programas de software estadístico para analizar los datos cuantitativos y realizar cálculos estadísticos.
- d. Software de análisis cuantitativo: Se utilizó el programa GNETTRACK, para obtener RSRP, RSRQ y LTE RSSI dentro de la zona de estudio.
- e. Planificación de la estación base propuesta en el ámbito de estudio: Se empleó la herramienta informática XIRIO ON LINE para la simulación de la nueva estación base.

3.4 Población y muestra del estudio

3.4.1 Muestra de estudio

La muestra de estudio consistió en la determinación de los principales parámetros de un sistema de comunicación móvil, para la planificación de una nueva estación base 4G LTE de la empresa Bitel en el ámbito de estudio, para dar cobertura a las Asociaciones de Vivienda San Antonio y La Unión en el sector de Viñani.

3.5 Operacionalización de variables

Para la operacionalización de variables de la tesis se consideró una variable de estudio, tal como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2

Operacionalización de variables

Variable de estudio	Dimensión	Instrumento	Indicadores	Unidad de medida
Determinación de los principales parámetros de un sistema de comunicación móvil, para la ampliación de la red de telefonía móvil de la empresa Bitel, para las Asociaciones de Vivienda San Antonio y La Unión en el sector de Viñani, ciudad de Tacna.	Dimensionamiento de la red de acceso	Modelo extendido de Okumura-Hata	Perdidas de propagación en zonas suburbanas	(dB)
		Software de simulación de red 4G LTE	Cobertura del servicio 4G LTE	(km)
		Drive test	RSRP	(dBm)
			RSRQ	(dB)
		RSSI	(dBm)	

3.6 Análisis de la red móvil de BITEL en la zona de estudio

3.6.1 El operador de telecomunicaciones BITEL

Bitel es una empresa de telecomunicaciones que opera en Perú desde el 2011 con una concesión del espectro radioeléctrico para el servicio de telefonía móvil por 20 años. Es una marca comercial de Viettel Perú S.A.C., una subsidiaria de la empresa vietnamita Viettel Group. Bitel es conocida por ser uno de los principales operadores de telefonía móvil en el país, que compete con los operadores de telecomunicaciones como Claro, Movistar y Entel.

Algunas características claves del operador Bitel en el Perú con referencia a los servicios de comunicaciones móviles son:

- a. Cobertura: Bitel ha expandido gradualmente su cobertura en Perú y actualmente brinda servicios en la mayoría de las regiones del país, incluyendo zonas rurales. A través de su red, ofrece servicios de voz, mensajes de texto y datos móviles.
- b. Precios competitivos: Bitel se ha destacado por ofrecer tarifas competitivas y asequibles en el mercado peruano. Esto ha sido especialmente atractivo para los usuarios que buscan opciones más económicas.
- c. Infraestructura: Bitel ha invertido en la mejora y expansión de su infraestructura de red para proporcionar servicios de calidad a sus clientes. Han implementado tecnologías como 4G LTE y 4.5G en diversas áreas del país, lo que ha mejorado la velocidad y la calidad de la conexión.
- d. Enfoque en áreas rurales: Bitel ha mostrado un fuerte compromiso con la inclusión digital en áreas rurales y remotas de Perú. Han trabajado en proyectos para llevar conectividad a comunidades que antes carecían de acceso a servicios de telecomunicaciones.
- e. Banda de frecuencia: Las bandas de frecuencias de 900 MHz y 1900 MHz son ofrecidas por BITEL para los servicios móvil 3G. Para los servicios 4G LTE ofrece las bandas de frecuencia LTE B8 (900 MHz), la banda 4 (1700/2100 MHz) y la banda LTE B7 (2600 MHz).

En la actualidad la empresa BITEL a nivel del país cuenta con más de 2500 estación base LTE instaladas.

3.6.2 Determinación de la zona de estudio

La ciudad de Tacna está ubicada en el extremo sur del Perú, limítrofe con Chile. Es la capital de la región de Tacna y cuya altitud es de aproximadamente 550 msnm. La ciudad tiene una importancia histórica y económica significativa debido a su ubicación estratégica en la región fronteriza.

El Centro Poblado Viñani se encuentra en el distrito Gregorio Albarracín Lanchipa de la ciudad de Tacna y está compuesto por Asociaciones de Vivienda, que lo convierte en el Centro Poblado Menor de mayor superficie en la ciudad de Tacna. La figura 7 muestra la superficie del CPM Viñani.

Figura 7

Centro Poblado Menor Viñani



La zona de estudio comprende las Asociaciones de Vivienda San Antonio y La Unión que forman parte del Centro Poblado Menor Viñani del distrito Gregorio Albarracín.

La figura 8 muestra la delimitación de la superficie que comprenden a dichas Asociaciones (color celeste).

Figura 8

Zona de estudio



La delimitación del perímetro se efectuó utilizando el software GIS Google Earth Pro, estableciéndose un polígono irregular con las coordenadas geográficas de los vértices del polígono.

3.6.3 Análisis de la cobertura de la red existente LTE en zona de estudio

La planificación de la red radio es un paso fundamental para la tecnología de comunicación inalámbrica.

Para Iglesias y Umbert (2016), en una red LTE “la planificación inicial normalmente se rige por varias operadoras, que son las que decidirán cómo será la red. Estas no son propensas a revelar sus estrategias, avances y resultados” (p.5). Por lo tanto, la planificación de una red LTE es un desafío bien elegido y un tema poco tratado en el campo académico actual.

Como parte de la planificación y el despliegue de una red LTE, es necesario realizar un análisis de la cobertura de la red existente del operador de telecomunicaciones seleccionado en la zona de estudio.

El operador BITEL cuenta con estaciones bases instaladas en el distrito Gregorio Albarracín y específicamente en las zonas aledañas al Centro Poblado Viñani.

En el estudio de campo realizado en las zonas próximas al ámbito de estudio, se encontraron 2 estaciones bases LTE 4G del operador BITEL, cuyos sistemas irradiantes inciden en el ámbito de estudio, tal como observamos en la Figura 9.

Las ubicaciones geográficas de dichas estaciones bases se obtuvieron de la lectura obtenida de un GPS, que a continuación se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3

Coordenadas geográficas de las estaciones Base en la zona de estudio

Estación Base	Coordenadas geográficas
TAC 0121	Longitud: 70° 14' 38.54" O
	Latitud: 18° 03' 37.50" S
	Altitud: 463 msnm
TAC 0139	Longitud: 70° 13' 28.62" O
	Latitud: 18° 03' 41.44" S
	Altitud: 452 msnm

Figura 9

Estaciones bases de BITEL próximas a la zona de estudio



Nota. La línea roja indica la orientación de la antena en la Estación Base TAC 0122 (Az=135°) y de la Estación Base TAC 0139 (Az=223°)

Según el análisis de la cobertura de la red existente LTE en zona de estudio, se encontró que los sistemas de radiación de las antenas que operan en banda 7 (2.6 GHz)

de cada estación, mostraron su incidencia sobre la superficie de la zona de estudio, lo que indicó que en ciertos lugares existe la señal de telefonía móvil.

De las pruebas de campo, se efectuaron mediciones para obtener los niveles de los indicadores KPI RSRP, RSRQ y LTE RSSI en la zona de estudio. Los valores obtenidos nos permitieron establecer una metodología para determinar si era necesario establecer una estación base en el ámbito de estudio o si la incidencia de las señales radioeléctricas de las 2 estaciones bases próximas al ámbito de estudio eran suficiente para dar la cobertura requerida.

3.6.4 Mediciones realizadas en la red existente de Bitel

Para efectuar las pruebas de medición de los parámetros, se procedió a utilizar la metodología del DRIVE TEST.

Para la lectura de los datos de las mediciones realizadas, se contó con un dispositivo móvil que utilice las bandas de frecuencias asignadas a BITEL y el software de medición G-NETTRACK PRO. El procedimiento establecido por la metodología del DRIVE TEST fue el siguiente:

- a. Se realizó la delimitación del área con el G-NETTRACK, donde se estableció un recorrido y un perímetro referencial dentro del ámbito de estudio que comprenden las Asociaciones de Vivienda San Antonio y La Unión., ver Figura 10.

Figura 10

Establecimiento de un recorrido para las pruebas de medición



- b. Se realizó la verificación del emplazamiento de las estaciones bases LTE y la orientación de sus sistemas irradiantes, que se encuentran en zona de estudio, ver Figura 11.

Figura 11

Verificación de las estaciones bases LTE



- c. Se generó una base de datos en Excel (.xls), que contienen: el nombre de la celda, ID de la celda, sus coordenadas geográficas, los parámetros de las estaciones bases que se encuentran en el ámbito de estudio
- d. Se instaló en el dispositivo móvil la herramienta informática GNETTRACK PRO, que contiene la información del formato de texto.

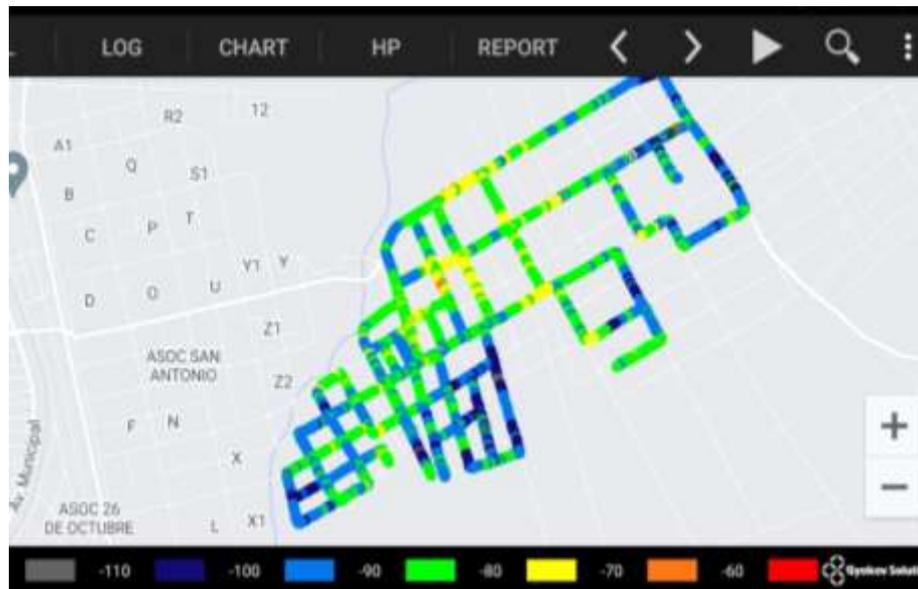
3.6.5 Mediciones de los KPI efectuadas y emisión de reportes

Verificado la instalación de la base de datos en el dispositivo móvil, se empleó el aplicativo GNETTLOCK para tomar los valores de los parámetros medidos, para luego generar los reportes y ser almacenados en el dispositivo móvil.

Se procedió a realizar las mediciones siguiendo una trayectoria predeterminada que fue cargada en la aplicación G-NETTRACK PRO, tal como se muestra en la Figura 12.

Figura 12

Desarrollo del recorrido para la toma de datos de las mediciones



Los valores obtenidos fueron almacenando en un archivo Excel. Fueron un total de 1564 mediciones que se tomaron en el ámbito de estudio como en los lugares aledaños a las Asociaciones San Antonio y La Unión, la Figura 13 muestra una porción del reporte generado.

Figura 13

Reporte de los valores de las mediciones realizadas

The screenshot shows an Excel spreadsheet with a table of measurement data. The table has the following columns: Longitude, Latitude, Operatorname, Operator, Issue, CarID, LAC, NetworkTech, Level (RMP), Qual (RMR), CTESSH, PSC, and BAND (200MHz). The data rows show various measurements with values for each column. The spreadsheet is titled 'TAC038 - local' and has a status bar at the bottom showing 'BITEL 2023.03.08 11:14:52'.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
	Longitude	Latitude	Operatorname	Operator	Issue	CarID	LAC	NetworkTech	Level (RMP)	Qual (RMR)	CTESSH	PSC	BAND (200MHz)	
2	-70.224489	-18.062185	BITEL	79033	340139	83	42300	4G	-86	-10	-89	333	17	
3	-70.224571	-18.062187	BITEL	79033	340139	83	42300	4G	-86	-10	-89	333	17	
4	-70.224577	-18.062099	BITEL	79033	340139	83	42300	4G	-86	-10	-89	333	17	
5	-70.224538	-18.062042	BITEL	79033	340139	83	42300	4G	-84	-8	-91	333	17	
6	-70.224518	-18.062043	BITEL	79033	340139	83	42300	4G	-83	-6	-94	330	17	
7	-70.224207	-18.062096	BITEL	79033	340139	82	42300	4G	-83	-6	-93	330	17	
8	-70.224022	-18.061934	BITEL	79033	340139	82	42300	4G	-83	-7	-93	330	17	
9	-70.224042	-18.061821	BITEL	79033	340139	82	42300	4G	-83	-9	-93	330	17	
10	-70.224083	-18.061730	BITEL	79033	340139	82	42300	4G	-79	-8	-92	330	17	
11	-70.224133	-18.061688	BITEL	79033	340139	82	42300	4G	-79	-8	-92	330	17	
12	-70.224175	-18.061556	BITEL	79033	340139	82	42300	4G	-77	-5	-91	330	17	
13	-70.224238	-18.061497	BITEL	79033	340139	82	42300	4G	-78	-7	-91	330	17	
14	-70.224238	-18.061427	BITEL	79033	340139	81	42300	4G	-85	-10	-89	332	17	
15	-70.224278	-18.061394	BITEL	79033	340139	81	42300	4G	-85	-10	-89	332	17	
16	-70.224391	-18.06125	BITEL	79033	340139	81	42300	4G	-83	-10	-91	332	17	
17	-70.224388	-18.061141	BITEL	79033	340139	81	42300	4G	-87	-11	-97	332	17	
18	-70.224408	-18.061034	BITEL	79033	340139	81	42300	4G	-87	-8	-90	332	17	
19	-70.224432	-18.060911	BITEL	79033	340139	81	42300	4G	-84	-6	-97	332	17	
20	-70.224539	-18.060848	BITEL	79033	340139	81	42300	4G	-82	-4	-96	332	17	
21	-70.224568	-18.060847	BITEL	79033	340139	81	42300	4G	-88	-5	-92	332	17	
22	-70.224762	-18.060899	BITEL	79033	340139	81	42300	4G	-72	-4	-91	332	17	
23	-70.224888	-18.060938	BITEL	79033	340139	81	42300	4G	-74	-7	-91	332	17	
24	-70.224972	-18.061027	BITEL	79033	340139	81	42300	4G	-80	-5	-93	332	17	
25	-70.225076	-18.061074	BITEL	79033	340139	81	42300	4G	-85	-8	-97	332	17	
26	-70.225173	-18.061127	BITEL	79033	340139	81	42300	4G	-89	-10	-93	332	17	
27	-70.22527	-18.061175	BITEL	79033	340139	81	42300	4G	-93	-11	-95	332	17	

A fin de validar la data, se tuvo que filtrar todas aquellas mediciones que no pertenecían a la zona de estudio. Las mediciones que pertenecían a la zona de estudio fueron 225, las cuales se pueden observar en la Figura 14.

Figura 14

Reporte de las mediciones efectuadas dentro de la zona de estudio

Longitudo	Latitude	Operatormame	Operator	Node	CellID	LAC	NetworkTech	Level (RSRP)	Qual (RSRQ)	LTERSSI	PSC	BAND (2600MHz)
-70.227237	-18.065204	BITEL	71615	340139	63	42500	4G	-88	-6	-59	335	L7
-70.227325	-18.065261	BITEL	71615	340139	63	42500	4G	-89	-8	-65	335	L7
-70.227429	-18.065319	BITEL	71615	340139	63	42500	4G	-85	-7	-51	335	L7
-70.227546	-18.065382	BITEL	71615	340139	63	42500	4G	-85	-7	-51	335	L7
-70.227669	-18.065441	BITEL	71615	340139	63	42500	4G	-97	-13	-65	335	L7
-70.227799	-18.065511	BITEL	71615	340139	63	42500	4G	-88	-7	-61	335	L7
-70.227938	-18.065583	BITEL	71615	340139	63	42500	4G	-92	-10	-61	335	L7
-70.228077	-18.065654	BITEL	71615	340139	63	42500	4G	-92	-9	-63	335	L7
-70.228191	-18.065715	BITEL	71615	340139	63	42500	4G	-95	-12	-61	335	L7
-70.228281	-18.065761	BITEL	71615	340139	63	42500	4G	-91	-12	-57	335	L7
-70.228385	-18.065825	BITEL	71615	340139	63	42500	4G	-93	-10	-61	335	L7
-70.228511	-18.065892	BITEL	71615	340139	63	42500	4G	-95	-11	-63	335	L7
-70.228641	-18.065962	BITEL	71615	340139	63	42500	4G	-95	-11	-63	335	L7
-70.228767	-18.066027	BITEL	71615	340139	63	42500	4G	-99	-10	-67	335	L7
-70.228893	-18.066088	BITEL	71615	340139	63	42500	4G	-98	-10	-67	335	L7
-70.229023	-18.066146	BITEL	71615	340139	63	42500	4G	-100	-14	-65	335	L7
-70.229139	-18.0662	BITEL	71615	340139	63	42500	4G	-98	-12	-65	335	L7
-70.229232	-18.066246	BITEL	71615	340139	63	42500	4G	-96	-13	-63	335	L7
-70.229324	-18.066304	BITEL	71615	340139	63	42500	4G	-100	-14	-65	335	L7
-70.229294	-18.066414	BITEL	71615	340139	63	42500	4G	-89	-10	-59	335	L7
-70.229225	-18.066497	BITEL	71615	340139	63	42500	4G	-94	-12	-59	335	L7
-70.229178	-18.066582	BITEL	71615	340139	63	42500	4G	-95	-9	-65	335	L7
-70.229134	-18.066662	BITEL	71615	340139	63	42500	4G	-94	-10	-63	335	L7
-70.229082	-18.066746	BITEL	71615	340139	63	42500	4G	-97	-11	-69	335	L7
-70.229024	-18.06683	BITEL	71615	340139	63	42500	4G	-94	-10	-63	335	L7
-70.228971	-18.066913	BITEL	71615	340139	63	42500	4G	-96	-10	-63	335	L7
-70.228921	-18.066991	BITEL	71615	340139	63	42500	4G	-95	-10	-63	335	L7
-70.228889	-18.067077	BITEL	71615	340139	63	42500	4G	-90	-10	-57	335	L7
-70.228826	-18.067164	BITEL	71615	340139	63	42500	4G	-89	-9	-57	335	L7
-70.228747	-18.067257	BITEL	71615	340139	63	42500	4G	-93	-10	-59	335	L7
-70.228683	-18.067384	BITEL	71615	340139	63	42500	4G	-83	-8	-55	335	L7
-70.22864	-18.067486	BITEL	71615	340139	63	42500	4G	-97	-13	-67	335	L7
-70.228587	-18.067587	BITEL	71615	340139	63	42500	4G	-97	-9	-69	335	L7
-70.228523	-18.067692	BITEL	71615	340139	63	42500	4G	-88	-9	-57	335	L7
-70.228461	-18.067788	BITEL	71615	340139	63	42500	4G	-91	-8	-57	335	L7

CAPITULO IV: RESULTADOS

4.1. Reporte de mediciones efectuadas en la zona de estudio

4.1.1 Mediciones efectuadas por el G-Net Track Pro por estación base

Se seleccionaron 225 mediciones en la zona de estudio y se muestran su distribución por cada estación base en la Tabla 4.

Tabla 4

Mediciones efectuadas por el G-Net Track Pro por estación base

Site Name	Cell Name	N° de muestras	(%)
eNodoB 1	TAC 0139	208	92,4
eNodoB 2	TAC 0122	17	7,6
	Total:	225	100 %

4.2. Resultados obtenidos de los indicadores claves de desempeño (KPI)

Los resultados obtenidos de las mediciones efectuadas en el ámbito de estudio, se clasificaron según los 3 indicadores claves de desempeño (KPI) para cada una de las estaciones bases existentes colindantes a la zona de estudio, que comprenden las Asociaciones de Vivienda San Antonio y la Unión, ubicados en el Centro Poblado de Viñani.

Los indicadores de desempeño que se evaluaron en el ámbito de estudio fueron: RSRP, RSRQ y LTERSSI.

En una red móvil 4G LTE, los parámetros RSRP, RSRQ y LTE RSSI son medidas de la calidad de la señal y la intensidad de la señal que se utilizan para evaluar la cobertura y el rendimiento de la red.

4.2.1 KPI-RSRP

El RSRP (Reference Signal Received Power) se refiere a un indicador que representa la potencia promedio recibida de la señal de referencia en una portadora específica dentro de una red LTE. Se expresa en dBm y los valores más altos que se obtienen indican una señal de buena calidad. Este indicador se utiliza para evaluar la cobertura

de la red y determinar si un dispositivo móvil se encuentra dentro del alcance adecuado de una estación base.

La Tabla 5 muestra la escala de niveles de la señal recibida RSRP, asociado a un rango del nivel de la señal, indicando la cantidad de mediciones que se encuentran dentro del valor mínimo aceptable.

Tabla 5

Nivel del RSRP asociado a un rango de valores

Nivel del RSRP	Rango (dBm)
Excelente	$\geq - 80$
Bueno	$- 90$ a $- 80$
Bajo	$- 100$ a $- 90$
Critico	$\leq - 100$

A continuación, se presentan los valores obtenidos del indicador RSRP para las Estaciones Bases TAC 0139 y TAC 0122

4.2.1.1 Valores obtenidos del RSRP para la Estación Base TAC 0139

La Tabla 6 muestra la distribución de los valores RSRP de la Estación Base TAC 0139 en un rango de niveles en dBm, con su respectiva calificación.

Tabla 6

Distribución de los valores RSRP de la Estación Base TAC 0139

Nivel del RSRP	Rango (dBm)	N° muestras	Porcentaje (%)
Excelente	≥ -80	6	2,88
Bueno	-90 a -80	83	39,90
Bajo	-100 a -90	109	52,40
Crítico	≤ -100	10	4,81
	Total:	208	100,00

4.2.1.2. Valores obtenidos del RSRP para la Estación Base TAC 0122

La Tabla 7 muestra la distribución de los valores RSRP de la Estación Base TAC 0122 en un rango de niveles en dBm, con su respectiva calificación.

Tabla 7

Distribución de los valores RSRP de la Estación Base TAC 0122

Nivel del RSRP	Rango (dBm)	N° muestras	Porcentaje (%)
Excelente	≥ -80	0	0
Bueno	-90 a -80	0	0
Bajo	-100 a -90	8	47,06
Crítico	≤ -100	9	52,94
	TOTAL:	17	100,00

4.2.2 KPI-RSRQ

El RSRQ (Reference Signal Received Quality) se refiere a una medida de la calidad de la señal recibida con respecto al ruido y la interferencia en la recepción. Se obtiene dividiendo la potencia de la señal de referencia (RSRP) por la potencia total de las señales de interferencia y ruido presentes en la red. El RSRQ se expresa en decibelios (dB).

La Tabla 8 muestra la escala de niveles de la señal recibida RSRQ, asociado a un rango de valores de la señal, indicando la cantidad de mediciones que se encuentran dentro del valor mínimo aceptable.

Tabla 8

Nivel del RSRQ asociado a un rango de valores

Nivel del RSRQ	Rango (dB)
Excelente	≥ 5
Bueno	$[-2$ a $5>$
Regular	$[-10$ a $-2>$
Bajo	$[-20$ a $-10>$

A continuación, se presentan los valores obtenidos del indicador RSRQ para las Estaciones Bases TAC 0139 y TAC 0122.

4.2.2.1. Valores obtenidos del RSRQ para la Estación Base TAC 0139

La Tabla 9 muestra la distribución de las muestras de los valores de RSRQ de la Estación Base TAC 0139 en un rango de valores en dB, rango que se le asignó una calificación.

Tabla 9

Distribución de los valores RSRQ de la Estación Base TAC 0139

Nivel del RSRQ	Rango (dB)	N° muestras	Porcentaje (%)
Excelente	≥ 5	0	0
Bueno	$[-2 \text{ a } 5>$	0	0
Regular	$[-10 \text{ a } -2>$	114	54,8077
Bajo	$[-20 \text{ a } -10>$	94	45,1923

4.2.2.2. Valores obtenidos del RSRQ para la Estación Base TAC 0122

La Tabla 10 muestra la distribución de las muestras de los valores de RSRQ de la Estación Base TAC 0122 en un rango de valores en dB, rango que se le asignó una calificación.

Tabla 10

Distribución de los valores RSRQ de la Estación Base TAC 0122

Nivel del RSRQ	Rango (dB)	N° muestras	Porcentaje (%)
Excelente	≥ 5	0	0
Bueno	$[-2 \text{ a } 5>$	0	0
Regular	$[-10 \text{ a } -2>$	1	5,8824
Bajo	$[-20 \text{ a } -10>$	16	94,1176
	Total:	17	100

4.2.3 KPI-LTE RSSI

El indicador LTE RSSI (Received Signal Strength Indicator) se refiere a la medida de la intensidad de la señal recibida en una red LTE. Se expresa en dBm y se utiliza para evaluar exclusivamente la intensidad de la señal. A diferencia del RSRP, el LTE RSSI no tiene en cuenta la calidad de la señal, sino únicamente su intensidad.

La Tabla 11 muestra la relación entre el nivel de señal recibida LTE RSSI, asociado a la calificación del nivel de la señal, para cada una de las 2 estaciones que operan en la zona de estudio.

Tabla 11

Nivel del LTE RSSI asociado a un rango de valores

Nivel del LTE RSSI	Rango (dBm)
Excelente	[- 60 a 0>
Bueno	[- 75 a - 60>
Regular	[- 83 a - 75>
Bajo	[- 92 a - 83>

A continuación, se presentan los valores obtenidos del indicador LTE RSSI para las Estaciones Bases TAC 0139 y TAC 0122.

4.2.3.1. Valores obtenidos del LTE RSSI para la Estación Base TAC 0139

La Tabla 12 muestra la distribución de las muestras de los valores de LTE RSSI de la Estación Base TAC 0139 en un rango de valores en dBm, rango que se le asignó una calificación.

Tabla 12

Distribución de los valores LTE RSSI de la Estación Base TAC 0139

Nivel del LTE RSSI	Rango (dBm)	N° muestras	Porcentaje (%)
Excelente	[-60 a 0>	102	49,04
Bueno	[-75 a -60>	106	50,96
Regular	[-83 a -75>	0	0.00
Bajo	[-92 a -83>	0	0.00
	TOTAL:	208	100,00

4.2.3.2. Valores obtenidos del LTE RSSI para la Estación Base TAC 0122

La Tabla 13 muestra la distribución de las muestras de los valores de LTE RSSI de la Estación Base TAC 0122 en un rango de valores en dBm, rango que se le asignó una calificación.

Tabla 13

Distribución de los valores LTE RSSI de la Estación Base TAC 0122

Nivel del LTE RSSI	Rango (dBm)	N° muestras	Porcentaje (%)
Excelente	[-60 a 0>	6	35,29
Bueno	[-75 a -60>	11	64,71
Regular	[-83 a -75>	0	0,00
Bajo	[-92 a -83>	0	0,00
	TOTAL:	17	100,00

4.2.4. Análisis de los resultados del indicador KPI-RSRP

4.2.4.1. Estación Base TAC 0139

La Tabla 14 agrupa las mediciones del indicador RSRP de la Estación Base TAC 0139 según el valor mínimo aceptable ≥ -90 dBm.

Tabla 14

Mediciones del RSRP de la Estación Base TAC 0139

Total de mediciones del RSRP	N° mediciones del RSRP ≥ -90 dBm	% de mediciones del RSRP ≥ -90 dBm	N° de muestras mínimas de RSRP que cumplan con el 95%
208	89	42,79	197

Análisis de los resultados: Los valores obtenidos del indicador RSRP debido a la estación base TAC 0139 solo representa 42.69% de las mediciones ≥ -90 dBm, por lo que no cumple con las condiciones de confiabilidad de la señal radioeléctrica LTE en la zona de estudio.

4.2.4.2. Estación Base TAC 0122

La Tabla 15 agrupa las mediciones del indicador RSRP de la Estación Base TAC 0122 según el valor mínimo aceptable ≥ -90 dBm.

Tabla 15

Mediciones del RSRP de la Estación Base TAC 0122

Total de mediciones del RSRP	N° mediciones del RSRP ≥ -90 dBm	% de mediciones del RSRP ≥ -90 dBm	N° de muestras mínimas de RSRP que cumplan con el 95%
17	0	0.0000	16

Análisis de los resultados: Los valores obtenidos del indicador RSRP debido a la estación base TAC 0122 solo representa 0 % de las mediciones ≥ -90 dBm, por lo que no cumple con las condiciones de confiabilidad de la señal radioeléctrica LTE en la zona de estudio.

4.3.1 Análisis de los resultados del indicador KPI-RSRQ

4.3.1.1. Estación Base TAC 0139

La Tabla 16 agrupa las mediciones del indicador RSRQ de la Estación Base TAC 0139 según el valor mínimo aceptable ≥ -10 dB.

Tabla 16

Mediciones del RSRQ de la Estación Base TAC 0139

Total de mediciones del RSRQ	N° mediciones del RSRQ ≥ -10 dB	% de mediciones del RSRQ ≥ -10 dB	N° de muestras mínimas de RSRQ que cumplan con el 95%
208	114	54,81	197

Análisis de los resultados: Los valores obtenidos del indicador RSRQ debido a la estación base TAC 0139 solo representa 54.81% de las mediciones ≥ -10 dB, por lo que no cumple con las condiciones de confiabilidad de la señal radioeléctrica LTE en la zona de estudio.

4.3.1.2. Estación Base TAC 0122

La Tabla 17 agrupa las mediciones del indicador RSRQ de la Estación Base TAC 0122 según el valor mínimo aceptable ≥ -10 dB.

Tabla 17

Mediciones del RSRQ de la Estación Base TAC 0139

Total de mediciones del RSRQ	N° mediciones del RSRQ > -10 dB	% de mediciones del RSRQ > -10 dB	N° de muestras mínimas de RSRQ que cumplan con el 95%
17	1	5.88	16

Análisis de los resultados: Los valores obtenidos del indicador RSRQ debido a la estación base TAC 0122 solo representa 5.88% de las mediciones ≥ -10 dB, por lo que no cumple con las condiciones de confiabilidad de la señal radioeléctrica LTE en la zona de estudio.

4.3.2. Análisis de los resultados del indicador KPI-LTE RSSI

4.3.2.1. Estación Base TAC 0139

La Tabla 18 agrupa las mediciones del indicador LTE RSSI de la Estación Base TAC 0139 según el valor mínimo aceptable ≥ -60 dBm.

Tabla 18

Mediciones del LTE RSSI de la Estación Base TAC 0139

Total de mediciones del LTE RSSI	N° mediciones del LTE RSSI > -60 dBm	% mediciones del LTE RSSI > -60 dBm	N° de muestras mínimas de LTE RSSI que cumplan con el 95%
208	102	49,04	197

Análisis de los resultados: Los valores obtenidos del indicador LTE RSSI debido a la estación base TAC 0139 solo representa 49.04% de las mediciones ≥ -60 dBm, por lo que no cumple con las condiciones de confiabilidad de la señal radioeléctrica LTE en la zona de estudio.

4.3.2.2. Estación Base TAC 0122

La Tabla 19 agrupa las mediciones del indicador LTE RSSI de la Estación Base TAC 0122 según el valor mínimo aceptable ≥ -60 dBm.

Tabla 19

Mediciones del LTE RSSI de la Estación Base TAC 0139

Total de mediciones del LTE RSSI	N° mediciones del LTE RSSI ≥ -60 dBm	% mediciones del LTE RSSI ≥ -60 dBm	N° de muestras mínimas de LTE RSSI que cumplan con el 95%
17	6	35,00	16

Análisis de los resultados: Los valores obtenidos del indicador LTE RSSI debido a la estación base TAC 0122 solo representa 35% de las mediciones ≥ -60 dBm, por lo que no cumple con las condiciones de confiabilidad de la señal radioeléctrica LTE en la zona de estudio.

CAPITULO V: DISCUSIÓN

5.1. Discusión de los resultados obtenidos del DRIVE TEST

5.1.1 Consideraciones previas

Para el análisis y discusión de los resultados obtenidos de los indicadores claves de rendimiento (KPI) para cada una de las estaciones bases ubicadas en la zona de estudio, se empleó los valores referenciales para indicadores KPI en una red 4G LTE que se encuentran tabuladas en su trabajo de tesis de Chancasana (2015). La tabla 20 muestra esos valores:

Tabla 20

Rangos aceptables de los indicadores claves de desempeño (KPI)

KPI	Rango Aceptable	% Muestras
RSRP	$\geq - 90$ dBm	95
RSRQ	$\geq - 10$ dB	95
LTE RSSI	$\geq - 60$ dBm	95

Nota: Chancasana (2015) Tesis PUCP–Diseño de una red 4G-LTE.

5.1.2 Discusión de los resultados de los indicadores KPI

La confiabilidad de la señal radioeléctrica LTE en la zona de estudio indica que el 95% de las mediciones deben ser mayor al valor referencial establecido para cada indicador de desempeño (KPI) y para cada estación base, ver la Tabla 21.

Tabla 21

Cuadro resumen de indicadores KPI por cada Estación Base

KPI	Estación Base TAC 0139 (%)	Confiabilidad de la señal	Estación Base TAC 0122 (%)	Confiabilidad de la señal
RSRP	42,79	No cumple	0	No cumple
RSRQ	54,81	No cumple	5,88	No cumple
LTE RSSI	49,04	No cumple	35	No cumple

Discusión: Los porcentajes obtenidos para los 3 indicadores de la estación base TAC 0122 y de la estación TAC 0122 del operador BITEL para su red móvil 4G LTE no cumple con los niveles mínimos requeridos para operar en la zona de estudio, por lo que se requirió proponer el diseño de una estación base cubra las Asociaciones de Vivienda San Antonio y La Unión en el Centro Poblado de Viñani.

5.2. Diseño de una estación base 4G LTE para la zona de estudio

5.2.1 Parámetros de los equipos en el up link y el down link

La Tabla 22 muestra las características de transmisión de la Estación Base en el DL.

Tabla 22

Características de transmisión de la Estación Base en el Down Link

Características de Tx de la Estación Base	Unidad	Valor
Frecuencia de portadora DL	MHz	1930-1990
Frecuencia de portadora UL	MHz	1850-1910
Ancho de banda	MHz	12,5
Potencia de transmisión (PTx)	dBm	49
Ganancia de antena	dBi	17,5
Figura de ruido	dB	5
Altura de antena	m	40

La tabla 23 muestra las características de recepción del móvil LTE en el DL.

Tabla 23

Características de Rx del móvil LTE en el Down Link

Características de Rx del móvil LTE	Unidad	Valor
Ganancia de antena irradiante	dBi	0
Ancho de banda	MHz	12,5
Figura de ruido en el receptor	dB	9

La tabla 24 muestra las características de transmisión del móvil LTE en el Up Link

Tabla 24

Características de Tx del móvil LTE en el Up Link

Características de Tx del móvil LTE en el Up Link	Unidad	Valor
Banda de trabajo LTE		P65
Frecuencia de portadora DL	MHz	1930-1990
Frecuencia de portadora UL	MHz	1850-1910
Ancho de banda	MHz	1,8
Potencia de transmisión (PTx)	dBm	23
Ganancia de antena	dBi	17,5
Figura de ruido	dB	9
Altura de antena	m	1,5

La tabla 25 muestra las características de recepción del móvil LTE en el Up Link.

Tabla 25

Características de Rx de la Estación Base en el Up Link

Características de Rx del móvil LTE	Unidad	Valor
Ganancia de antena irradiante	dBi	17,5
Ancho de banda	MHz	12,5
Figura de ruido en el receptor	dB	5

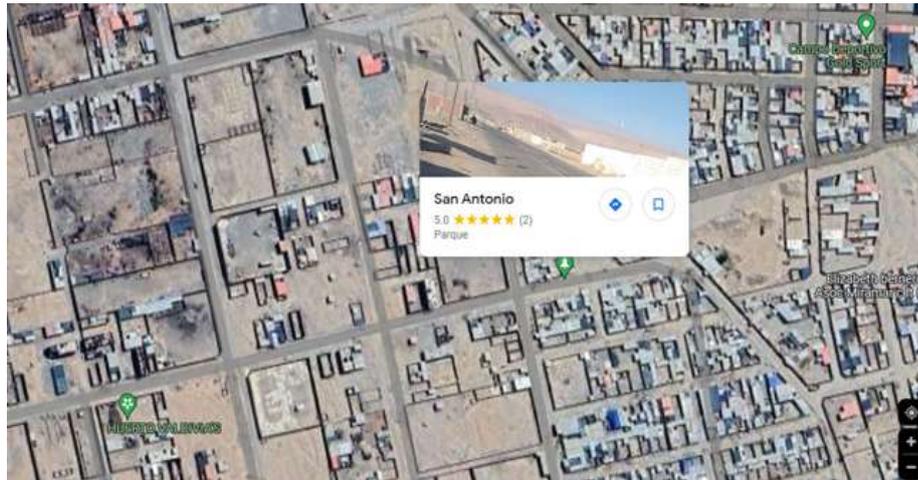
5.2.2 Ubicación de la estación base

Para el emplazamiento de la Estación Base en el ámbito de estudio, se desarrolló la siguiente metodología:

- a. Búsqueda de emplazamiento: Para el emplazamiento del sitio y la obtención del permiso de operación de la estación base, se tomó en cuenta que su ubicación se encuentre dentro de la zona de estudio. El lugar seleccionado fue establecido por ser un lugar de fácil acceso, que cuente con energía eléctrica, que su clasificación urbanística no sea de tipo inmueble, como se aprecia en la Figura 15.

Figura 15

Búsqueda del emplazamiento dentro de la zona de estudio



- b. Selección del entorno físico: La selección de bien inmueble donde se ubica la Estación Base 4G LTE considera el uso del terreno para el servicio público de telecomunicaciones y que requerirá del suministro de energía eléctrica de tipo comercial. Ver figura 16.

Figura 16

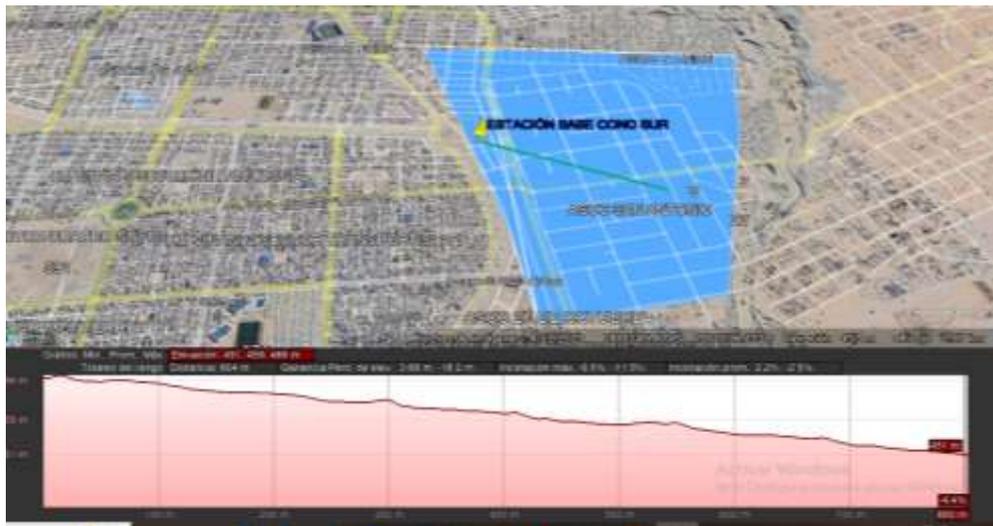
Selección del entorno físico



- c. Perfil de terreno: La zona de estudio se ubica dentro de la zona suburbana del distrito Gregorio Albarracín, con edificación de hasta 2 pisos. El suelo es plano propio de una zona desértica con poca vegetación. Estas características se obtienen desde la cartografía cargada en software Google Earth Pro. Ver figura 17.

Figura 17

Perfil del terreno



- d. Datos del sitio de la Estación Base: Una vez encontrado el sitio potencial para la ubicación de la estación base; se hace uso del software Google Earth PRO para obtener las coordenadas geográficas. Ver figura 18.

Figura 18

Perfil del terreno



5.2.3 Selección del modelo de propagación empírico

Se seleccionó el Modelo extendido de Hata. Este Modelo es una extensión del modelo de Okumura-Hata para zonas suburbanas y rurales que operan en el rango de frecuencias de 1.5 GHz a 2 GHz, con una ampliación de rango hasta 3 GHz.

5.2.3.1. Cálculo de las pérdidas de propagación

Para el cálculo de las pérdidas de propagación de un enlace 4G LTE en el ámbito de estudio, se empleó el siguiente procedimiento:

a. Cálculo del factor $a(hre)$

El factor $a(hre)$ para ciudades pequeñas y medianas se determinó a partir de la siguiente ecuación:

$$a(hre) = (1.1 \log fc - 0.7) hre - (1.56 \cdot \log fc - 0.8) \quad (\text{dB})$$

Para nuestro Modelo:

$$fc = 1960 \text{ MHz}$$

$$hte = 30 \text{ m}$$

$$hre = 1,5 \text{ m}$$

$$C = 0 \text{ dB (zonas suburbanas)}$$

$$d = 2 \text{ km}$$

$$a(hre) = (1.1 \cdot \log (1960) - 0,7) \cdot 1,5 - (1,56 \cdot \log (1960) - 0,8)$$

$$\mathbf{a(hre) = 0,046 \text{ dB}}$$

b. Pérdidas de propagación em zonas urbanas

$$L(\text{urbano}) \text{ dB} = 46,3 + 33,9 \cdot \log fc - 13,82 \cdot \log hte - a(hre) + (44,9 - 6,55 \log hte) \cdot \log d + C$$

$$L(\text{urbano}) \text{ dB} = 46,3 + 33,9 \cdot \log 1960 - 13,82 \cdot \log 30 - 0,046 + (44,9 - 6,55 \log 30) \cdot \log 2$$

$$L(\text{urbano}) \text{ dB} = 148.1 \text{ dB}$$

c. Pérdidas de propagación em zonas suburbanas

$$L(\text{suburbano}) \text{ dB} = L(\text{urbano}) - 2[\log (fc/28)]^2 - 5.4$$

$$L(\text{suburbano}) \text{ dB} = 148,1 \text{ dB} - 2[\log (1960/28)]^2 - 5.4$$

$$L(\text{suburbano}) \text{ dB} = 135,9 \text{ dB}$$

5.2.4 Cálculo del link budget

5.2.4.1. Sensibilidad de recepción (Sr)

$$Sr \text{ (dBm)} = SINR \text{ (dB)} + 10 \cdot \log (KT/1 \text{ mw}) + 10 \cdot \log (BW) + NF(\text{dB})$$

SNIR: -10 dB para QPSK, 1/8 rate en el DL (Top Optimized Technologies, 2014, p.39)

BW: 18 MHz

NF (dB): 9 dB

T: 290 °K

$$Sr \text{ (dBm)} = -10 \text{ (dB)} - 174 \text{ dBm} + 72 \text{ dB} + 9 \text{ dB}$$

$$Sr \text{ (dBm)} = - 103 \text{ dBm}$$

5.2.4.2. Link budget

Se empleó el down link para determinar el presupuesto del enlace (link budget), tal como se muestra en la Figura 18.

La potencia de recepción en la unidad móvil (UE) en el down link, se calculó utilizando la siguiente expresión:

$$PRx = PTx + GTx + GRx - L_{\text{suburbana}} - L_{\text{sistema}} - M_{\text{sombra}} - M_{\text{interf}} - L_{\text{interior}}$$

$$PTx = 80 \text{ w (49 dBm)}$$

$$Gtx = 17,5 \text{ dBi}$$

$G_{rx} = 0 \text{ dB}$

$L_{suburbana} = 135,9 \text{ dB}$

$L_{sistema} = 2,5 \text{ dB}$

$M_{sombra} = 10,24 \text{ dB}$ (Top Optimized Technologies, 2014, p.45)

$M_{interf} = 2 \text{ dB}$ (Top Optimized Technologies, 2014, p.42)

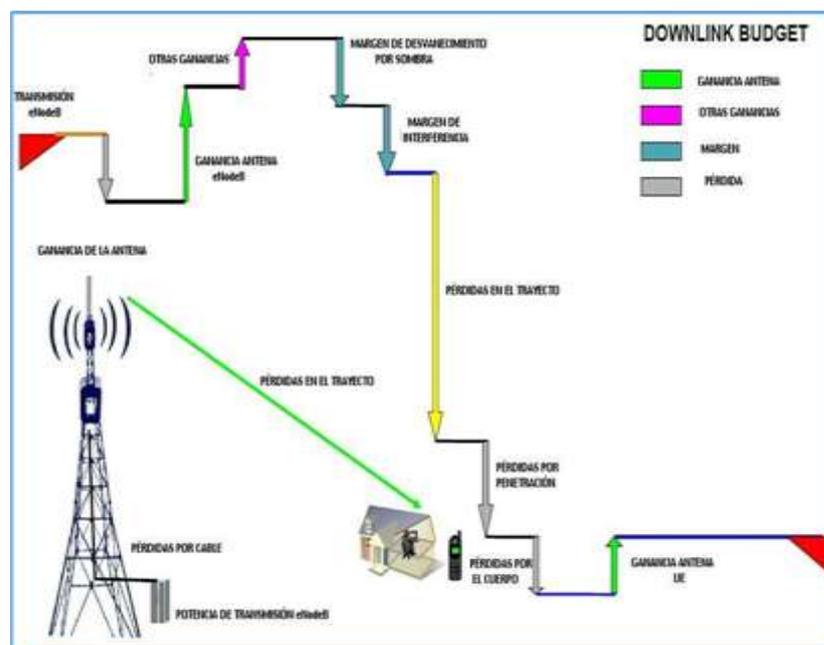
$L_{interior} = 16,5 \text{ dB}$, para 1800 MHz (Top Optimized Technologies, 2014, p.41)

$PR_x = 49 \text{ dBm} + 17,5 \text{ dB} + 0 \text{ dB} - 135,9 \text{ dB} - 10,24 \text{ dB} - 2 \text{ dB} - 16,5 \text{ dB}$

$PR_x = -98,14 \text{ dBm}$

Figura 18

Link budget para el enlace de bajada (down link)



5.2.4.3. Margen del enlace (Mlink)

$M_{link} = PR_x - S_r$

$M_{link} = -98,14 \text{ dBm} - (-103 \text{ dBm})$

$M_{link} = 4,86 \text{ dB}$

Análisis del resultado: Para una cobertura de 2 km y un margen del enlace de 4.86 dB, los parámetros establecidos para la señal radioeléctrica de la estación base propuesta, garantiza la operatividad de la red móvil en la zona de estudio.

5.2.5 Simulación de la Estación Base LTE propuesta

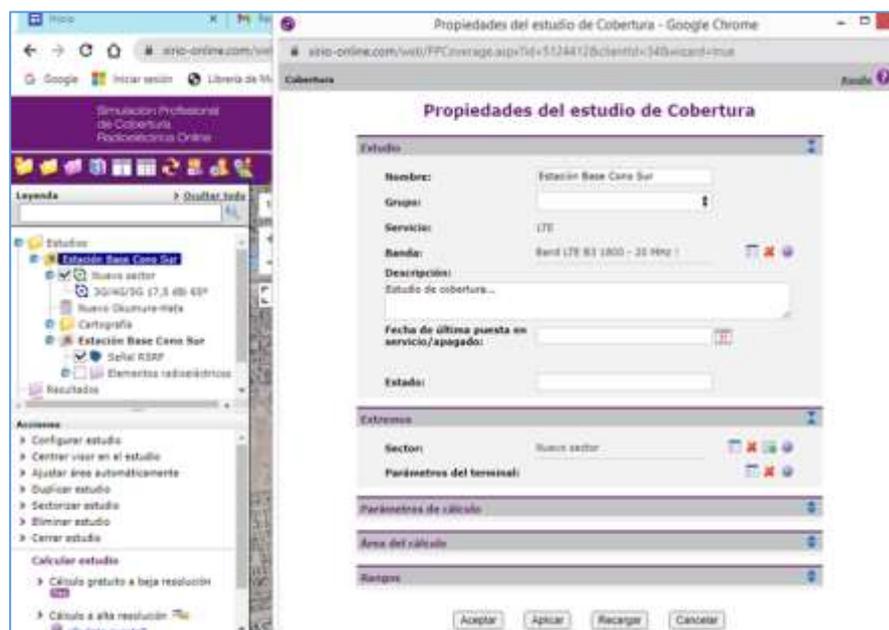
Para la simulación de la Estación Base propuesta que tenga cobertura LTE en las Asociaciones de Vivienda San Antonio y La Unión, se utilizó el software Xirio-Online, que es una herramienta informática en telecomunicaciones, que permite la planificación, la ampliación y la optimización de una red móvil 4G LTE.

a. Creación del estudio

Para comenzar a utilizar el XIRIO ON LINE, primero se crea el proyecto con el nombre de Estación Base CONO SUR, que se seleccionó para dar cobertura a los usuarios potenciales de las Asociaciones de Vivienda San Antonio y La Unión, ubicados en el Centro Poblado Menor Viñani, utilizando la banda de frecuencia de 1800 MHz, disponible en la herramienta informática para el servicio LTE. La figura 19 muestra la creación de la estación base CONO SUR para la zona de estudio.

Figura 19

Propiedades del estudio de cobertura



b. Configuración de parámetros del sector

Una vez ubicado el lugar donde se establecerá la estación base CONO SUR, se ingresan sus coordenadas geográficas.

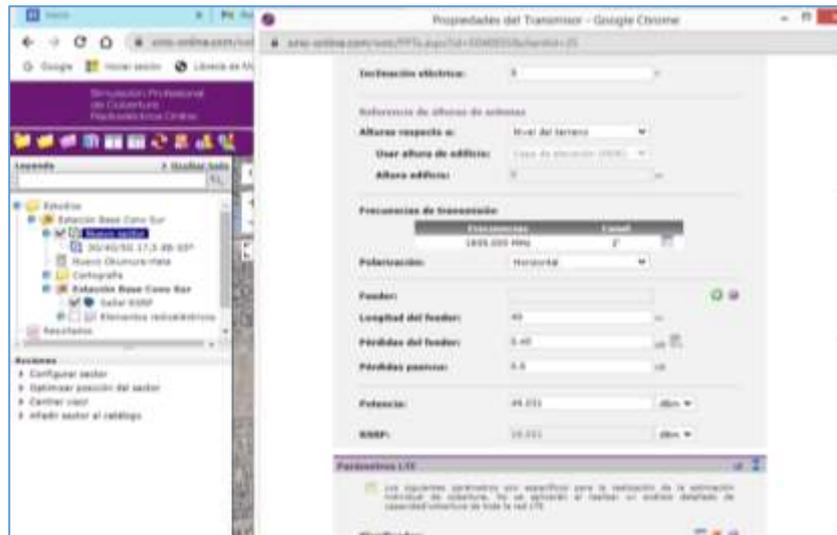
Figura 20

Propiedades del sector

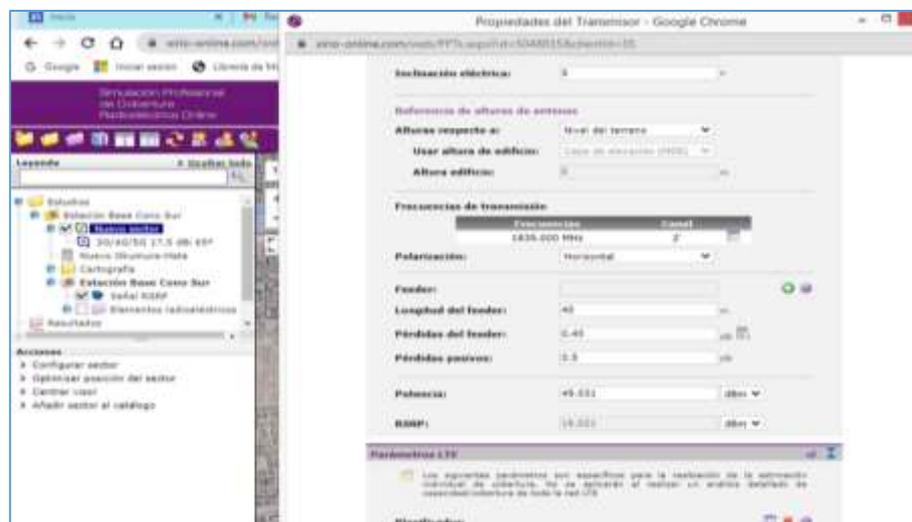
The screenshot shows the 'Propiedades del sector' configuration window. The 'Sector' section has a 'Nombre' field with the value 'Nuevo sector'. The 'Emplazamiento' section includes an 'Emplazamiento' field and a 'Coordenadas' section with 'Latitud: 30°42'30.37\"/>

c. Configuración de la estación base

Al momento de la configuración de los equipos de la estación base, se ingresaron sus parámetros radioeléctricos (banda de frecuencia, potencia de transmisión). Ver figura 21.

Figura 21*Propiedades del transmisor*

Al momento de configurar la estación base, se ingresaron sus parámetros (altura de antena, pérdidas del sistema, nivel RSRP). Ver figura 22.

Figura 22*Configuración de la estación base*

Al momento de cargar los datos del sistema irradiante seleccionado, se utilizó el catálogo virtual de las especificaciones técnicas del sistema irradiante para ingresar sus datos de propagación, tal como se observa en la figura 23.

Figura 23

Configuración del sistema irradiante



Se ingresaron las especificaciones técnicas de la unidad móvil que se tomó en cuenta (Potencia de Tx, Potencia de Rx, pérdidas del dispositivo móvil, Figura de ruido).

Figura 24

Configuración de los parámetros de la unidad móvil receptora



La figura 25 muestra la configuración de los parámetros del equipo receptor empleado en la simulación.

Figura 25*Parámetros de recepción*

d. Selección del tipo de cartografía

Se seleccionó la cartografía MDT para la representación de las curvas de nivel de la superficie del ámbito de estudio.

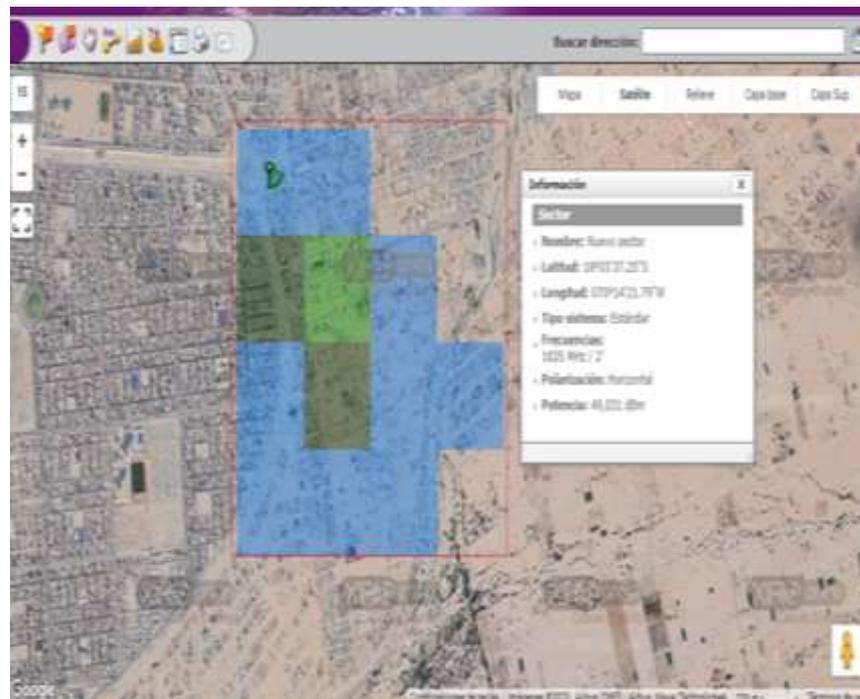
Figura 26*Propiedades del estudio de cobertura*

e. **Delimitación del ámbito de estudio**

Para determinar el perímetro de la zona de estudio, se ingresó las coordenadas geográficas de los vértices del polígono generado (color rojo). Ver Figura 27.

Figura 27*Delimitación del ámbito de estudio*

Al ejecutar la aplicación para visualizar la cobertura de la estación base propuesta, la imagen mostró en diferentes colores sectores del área de cobertura asociado a un nivel RSRP. El color verde representa el mejor nivel de RSRP en la zona de estudio. Ver Figura 28.

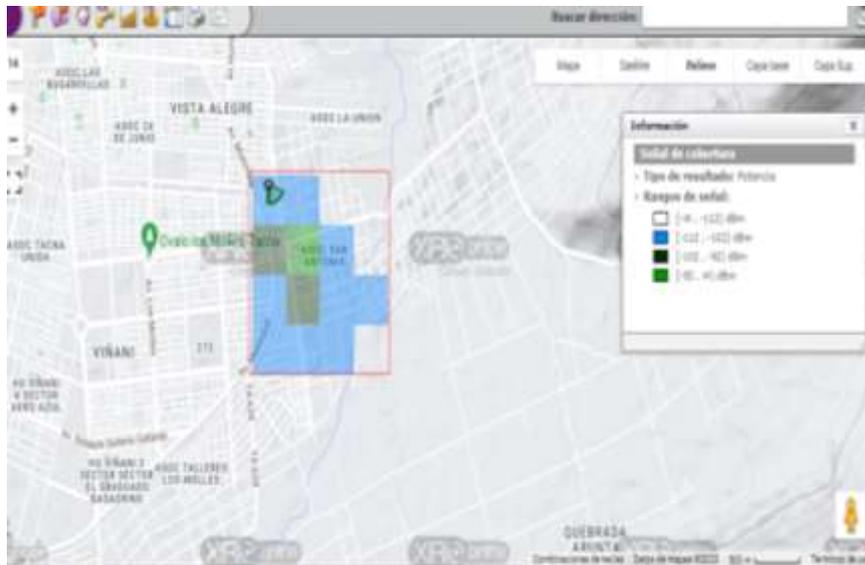
Figura 28*Configuración de la estación base propuesta*

Análisis de la cobertura: Al analizar los rangos de valores de RSRP en la Figura 29, se pudo observar que los sectores con coloración verde y marrón tienen un buen nivel de recepción, mientras que en los sectores de color celeste la señal RSRP es débil, Ello se debió a que solo configuramos una antena en el sistema irradiante en la estación base, teniendo un mejor resultado si se hubiese configurado un arreglo de 2 antenas.

El diagrama de radiación de dicho arreglo amplía la cobertura de la estación base propuesta.

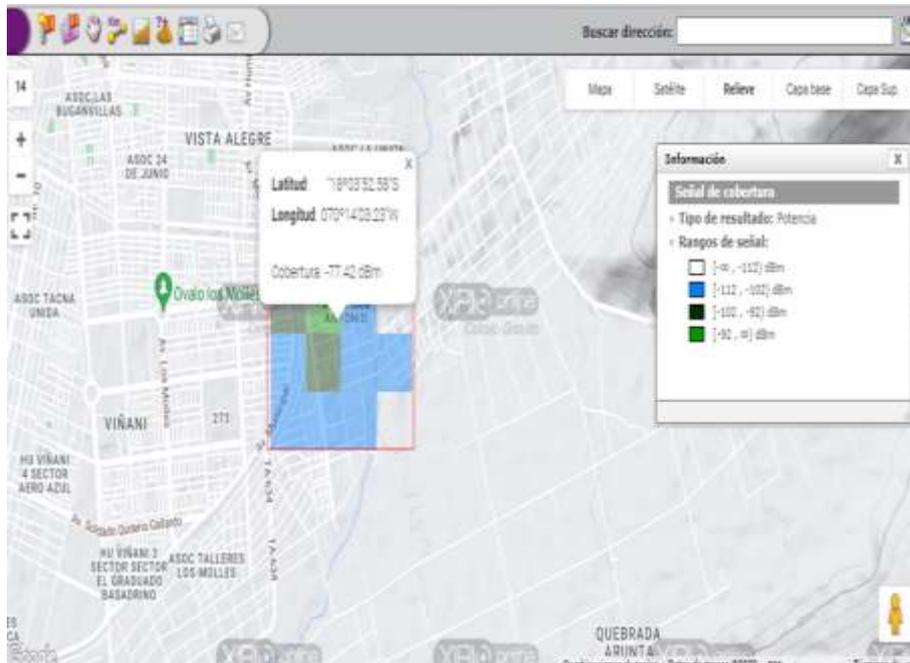
Figura 29

Rango de nivel RSRP según el color asignado



La figura 30 muestra los niveles de RSRP en el sector de color verde de la zona de cobertura de la estación base con un valor de -77 dBm, que indica un buen nivel de recepción.

Figura 30
Nivel de intensidad RSRP



CONCLUSIONES

Efectuada las mediciones de los indicadores KPI RSRP, RSRQ y LTE RSSI de la red móvil existente del operador BITEL en el ámbito de estudio ubicado en el Centro Poblado Menor Viñani, se pudo analizar que los valores obtenidos de dichas mediciones para cada estación base evaluada, no cumplen con los rangos aceptables del 95 % de mediciones para operar en la zona de estudio con confiabilidad.

Empleando el modelo de propagación extendido Hata, se pudo obtener un link budget de 4,86 dB > 0 dB para una cobertura de 2 km, operando en la banda de frecuencia de 1,8 GHz, cumpliendo con el objetivo de calidad para señales radioeléctricas de alta frecuencia, garantizando la planificación de la Estación Base LTE propuesta en el ámbito de estudio

La simulación efectuada con la herramienta informática XIRIO ON LINE facilitó la planificación de la estación base propuesta y permitió obtener los parámetros de dicha estación base, cuyos valores pueden mostrar la operatividad de la red móvil en la zona de estudio.

La determinación de los parámetros radioeléctricos de la red móvil en la zona de estudio, permitió encontrar que los niveles de los indicadores claves de desempeño no cumplían con los valores mínimos aceptables para una buena operatividad de dicha red móvil, por lo que se tuvo que proponer una nueva estación base. La simulación empleando la herramienta XIRIO ON LINE nos mostró que la operatividad de la red móvil de BITEL mejoró con esta nueva estación base LTE.

RECOMENDACIONES

La metodología empleada se ve influenciada por las características de la zona de estudio seleccionada, tales como tipo de terreno, tipo de edificaciones en la zona de estudio, clasificación de la zona como rural o urbana, banda de frecuencia. El modelo seleccionado no consideró la presencia de actividad atmosférica, por considerar que el C.P.M. de Viñani se ubica en una zona desértica, con poca lluvia. Sin embargo, las pérdidas de propagación por actividad atmosférica son elevadas y deben ser consideradas al planificar una red móvil LTE.

Dentro de la planificación de una red móvil, toma mucha importancia la ubicación de las estaciones base dentro de la zona de estudio. Por ello, es recomendable realizar un estudio de campo, para identificar el tipo de terreno, el perfil del terreno, los obstáculos naturales (vegetación, arbustos) así como de infraestructura física que pueden ocasionar pérdidas de propagación, la disponibilidad de lugares para establecer las estaciones bases, la verificación del suministro de energía eléctrica convencional.

Es de mucha utilidad para la planificación de una red móvil LTE el empleo de software de simulación para sistemas de telecomunicaciones. Si bien es cierto que la herramienta informática XIRIO ON LINE es muy amigable y de fácil configuración, presenta algunas limitaciones en la selección de algunos parámetros radioeléctricos como la disponibilidad de las diferentes bandas de frecuencias que se emplean en las redes móviles LTE. Se recomienda para optimizar una red móvil 4G LTE la herramienta informática ATOLL.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arévalo, H. (2014). *Propuesta de diseño de la red de acceso LTE para datos en la ciudad de Paris*. (Tesis de Pregrado), Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia. <https://onx.la/ac2f1>
- Barrantes, B. y Sáenz, J. (2019). *Identificación de factores que afectan la calidad de servicio de la red móvil LTE en la ciudad de Otuzco- 2018, mediante una medición Drive-Test*. (Tesis de Pregrado), Universidad Particular Antenor Orrego, Perú. <https://cutt.ly/Q1hEoAg>
- Ccahuana, J. (2018). *Diseño de una red móvil compartida para brindar servicios de telefonía móvil en zonas rurales*. (Tesis de Pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú. <https://acortartu.link/367ys>
- Chancasana, M. (2015). *Diseño de una red 4G-LTE indoor para el Centro Comercial Real Plaza Santa Clara*. (Tesis de Pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú. Disponible en: <https://cutt.ly/31hYaXV>
- Chávez, P. y Reinoso, A. (2004). *Diseño de una Red Móvil de Comunicación utilizando Tecnología de Espectro Ensanchado (SS) en la Ciudad de Guayaquil en la Banda de Frecuencia ICM (2.4 - 2.4835) GHz*. (Tesis de Pregrado). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador. <https://acortartu.link/ujzzh>
- Chino, E. (2018). *Diseño de una red 4G LTE avanzado mejorando la densificación de red de acceso mediante despliegue heterogéneo de células para la ciudad de Juliaca*. (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. Disponible en: <https://cutt.ly/R1hEH8a>
- Espinoza, O. (2023) *Qué es el espectro radioeléctrico*. Tecnologías. <https://acortartu.link/qoszt>
- García, J., Molina, JM. y Llácer L. (2014). *Sistemas de Comunicaciones Móviles: Caracterización del Canal Móvil*. Ediciones Rai. Universidad Politécnica de Cartagena, Murcia, España. <https://acortartu.link/r44vo>
- García, J., Molina, JM. y Llácer L. (2012). *Sistemas de Comunicaciones Móviles: Segunda, Tercera y Cuarta Generación*. Ediciones UPCT. Universidad Politécnica de Cartagena, Murcia, España. <http://hdl.handle.net/10317/8850>

- Guamán, P. y Peñafiel, A. (2014). *Análisis de la implementación de femtoceldas para mejorar la capacidad de un operador móvil*. (Tesis de Pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador. <https://acortartu.link/rb0hs>
- Gómez (2013). *Diseño de una red de cuarta generación LTE (Long Term Evolution) para obtener la actualización tecnológica de telefonía móvil e internet de la CNT E.P. provincia de Santa Elena, Ecuador*. (Tesis de Pregrado). Universidad Estatal Península de Santa Elena, Ecuador. <https://cutt.ly/21hmeGd>
- Iglesias, L. y Umbert (2016). *Planificación y optimización de una red LTE con la herramienta ATOLL*. (Proyecto fin de carrera), Universidad Politécnica de Catalunya, Catalunya, España. <https://acortartu.link/ppo38>
- Limonchi, C. (2016). *Propuesta de optimización de red de acceso en la banda 1900 MHz de la operadora móvil Bitel para mejorar la cobertura en la zona de Chiclayo-2016*. (Tesis de Pregrado). Universidad Privada Juan Mejía Baca, Chiclayo, Perú. <https://acortartu.link/8x8vu>
- Lozada Timana, C. (2016). *Radio planning LTE para la ciudad de Piura*. [Tesis de Pregrado], Universidad Nacional de Piura, Piura, Perú. <https://onx.la/a1e4b>
- Luque, J. (2012). *Espectro electromagnético y espectro radioeléctrico*. Revista de la Asociación de Autores Científico-Técnicos y Académicos, 62, 17-31. <https://acortartu.link/hohor>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2023). *Plan Nacional de Asignación de Frecuencias (PNAF)*. <https://acortartu.link/r4gvi>
- More, J. y Argandoña D. (2019). *Estado del espectro radioeléctrico en el Perú y recomendaciones para promover su uso en nuevas tecnologías*. Osiptel. <https://onx.la/71a61>
- More, J. y Gavilano, M. (2020). *Estimación del número de estaciones base celular para atender la demanda de servicios móviles en el Perú al año 2025*. OSIPTEL. <https://acortartu.link/3jjw0>
- Neira, D. (2014). *Análisis y determinación de los principales parámetros para la ampliación y mejora de la red de telefonía móvil para la empresa NEXTEL en la ciudad de Arequipa*. [Tesis de Pregrado]. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú. <https://acortartu.link/8j0jc>
- Pérez, N. y Molina, M. (2017). *Modelo de propagación para la ciudad de Cuenca (Ecuador), en redes WLAN operando en 2.4 GHz y 5.8 GHz, en ambientes*

- exteriores. (Tesis de Posgrado). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador. <https://onx.la/055a0>
- Puel, D. (2017). *Diseño de una red 4G-LTE outdoor de la empresa América Móvil Perú SAC para la provincia de Sechura*. (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de Piura, Perú. <https://cutt.ly/h1hRhLr>
- Rodríguez, C. y Arias, M. (2013). *Simulación y Análisis de una Red LTE en Ambientes Urbanos de la ciudad de Managua*. (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Managua, Nicaragua. <https://cutt.ly/y1hmCaB>
- Salgado, J. (2014). *Estudio de viabilidad para llevar internet 4G LTE a zonas rurales de Colombia caso de estudio: Municipio de Zipaquirá*. (Tesis de Pregrado) Universidad San Buenaventura, Colombia. <https://cutt.ly/71hvKII>
- Tafur, Ch. (2017). *Diseño de una estación base 4G LTE para la mejora de los servicios multimedia del distrito de Huanza provincia de Huarochirí*. (Tesis de Pregrado). Universidad Inca Garcilaso de la Vega, Lima, Perú. <https://onx.la/12f1f>
- Ubiquiti Networks (2020). Data sheet: Advanced RF Isolation Variable Beamwidth Antenna. <https://onx.la/c4f65>
- Unión Internacional de Telecomunicaciones (2002). *Manual: Propagación de las ondas radioeléctricas en sistemas terrenales móviles terrestres en las bandas de ondas métricas/decimétricas*. <https://acortartu.link/a04ng>
- UIT-R, Recomendación UIT-R V.431-8 (2015) Nomenclatura de las bandas de frecuencias y de las longitudes de onda empleadas en telecomunicaciones. <https://cutt.ly/cN0xnuh>
- Vega, J. (2023). *Diseño de una red LTE, para la comunidad campesina de Chucatamani, departamento de Tacna*. (Tesis de Pregrado). Universidad Privada de Tacna, Tacna, Perú. <https://acortartu.link/pumy0>
- Vélez, J. (2018). *Mecanismos para el análisis de indicadores de red LTE*. (Tesis de Pregrado). Universidad Católica de Santa de Guayaquil, Ecuador.: <https://cutt.ly/K1hUcdy>
- Vildoza, M. E. (2020). *Influencia de los hidrometeoros sobre los enlaces ópticos no guiados, en las zonas rurales de la región Tacna en el año 2020*. (Tesis de Posgrado). Universidad Privada de Tacna, Tacna, Perú. <https://acortartu.link/8j0jc>

ZTE Corporation (2015). ZXSDR B8200 Product Description. <https://onx.la/c86cf>

ZTE Corporation (2015). Volume IV Section 2 Chapter 2.3 ZXSDR BS8700 Product Description. <https://onx.la/63301>

ZTE Corporation (2017). ZTE UMTS<E Technical Proposal for Viettel Peru Expansion Project. <https://onx.la/ac69b>

ANEXOS

Anexo 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA

Problema	Objetivos	Variables	Indicadores	Metodología
<p>Problema general</p> <p>¿En qué medida la determinación de los principales parámetros de un sistema de comunicación móvil, permitirá la ampliación de la red de telefonía móvil de la empresa Bitel en las Asociaciones San Antonio y La Unión del sector de Viñani, de la ciudad de Tacna, año 2022?</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Determinar los principales parámetros radioeléctricos de un sistema de comunicación móvil, que permita la ampliación de la red de telefonía móvil de la empresa Bitel en las Asociaciones San Antonio y La Unión del sector de Viñani, de la ciudad de Tacna, año 2022.</p>	<p>Variable de estudio</p> <p>Determinación de los principales parámetros de un sistema de comunicación móvil, para la ampliación de la red de telefonía móvil de la empresa Bitel, para las Asociaciones de Vivienda San Antonio y La Unión en el sector de Viñani, ciudad de Tacna, año 2022</p>	<p>Indicadores de la variable de estudio</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perdidas de propagación en zonas suburbanas - Cobertura del servicio 4G LTE - RSRP - RSRQ - RSSI 	<p>Tipo de investigación</p> <ul style="list-style-type: none"> - Investigación aplicada <p>Nivel de investigación</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cuantitativa descriptiva
<p>Problemas específicos</p> <p>¿En qué medida las mediciones efectuadas de los parámetros RSRP, RSRQ y LTE RSSI de la red móvil existente en la zona de estudio, determinará la propuesta de una nueva Estación Base LTE?</p> <p>¿En qué medida el empleo del modelo de propagación extendido Hata, permitirá la planificación de una Estación Base LTE en la zona de estudio?</p> <p>¿En qué medida la simulación d utilizando herramientas informáticas para redes móviles, facilitará el establecimiento de una Estación Base LTE de la empresa Bitel en la zona de estudio?</p>	<p>Objetivos específicos</p> <p>Efectuar las mediciones de los parámetros RSRP, RSRQ y LTE RSSI de la red móvil existente en la zona de estudio, que permita la propuesta de una nueva Estación Base LTE</p> <p>Emplear el modelo de propagación extendido Hata, que permita la planificación de una Estación Base LTE en la zona de estudio</p> <p>Simular utilizando herramientas informáticas para redes móviles, que facilite el establecimiento de una Estación Base LTE de la empresa Bitel en la zona de estudio</p>			<p>Diseño de la investigación</p> <ul style="list-style-type: none"> - No experimental

Anexo 2

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SISTEMA IRRADIANTE DE ANTENAS



airMAX[®]
TITANIUM SECTOR

Advanced RF Isolation Variable Beamwidth Antenna

Models: AM-V2G-TI, AM-V5G-TI, AM-M-V5G-TI

Carrier-Class 2x2 MIMO PtMP BaseStation

Adjustable Beamwidth Configuration

Reduced Co-Location Interference

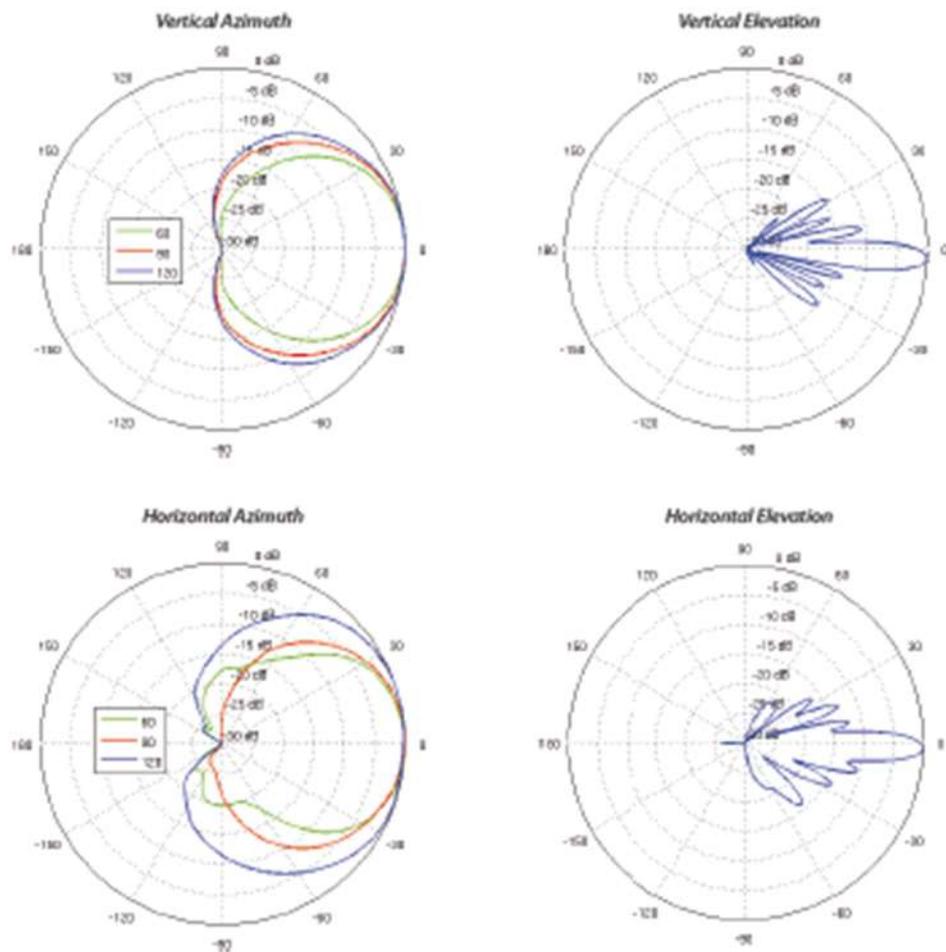

UBIQUITI[®]
NETWORKS

Specifications

AM-V2G-T1	
Dimensions	773 x 372 x 120 mm (30.43 x 14.65 x 4.72")
Weight (with Brackets)	6.40 kg (14.11 lb)
Frequency Range	2.3 - 2.6 GHz
Beamwidth Angles	60°/ 90°/ 120°
Gain (Beamwidth Dependent)	
60°	17 dBi
90°	16 dBi
120°	15 dBi
Elevation Beamwidth	9°
Electrical Downtilt	4°
Wind Survivability	200 km/h (125 mph)
Wind Loading	640.5 N @ 200 km/h (144 lbf @ 125 mph)
Polarization	Dual Linear
Cross-Pol Isolation	25 dB Typical
Front-to-Back Ratio	30 dB Typical
Max. VSWR	1.5:1
RF Connectors	2 RP-SMA Connectors (Weatherproof)
Compatible Radios	2.4 GHz Rocket
Mounting	Pole Mount (Kit Included)
ETSI Specification	EN 302 326 DN2
Certifications	CE, FCC, IC

AM-V5G-T1	
Dimensions	721 x 149.1 x 75.7 mm (28.39 x 5.87 x 2.98")
Weight (with Brackets)	3.72 kg (8.20 lb)
Frequency Range	5.45 - 5.85 GHz
Beamwidth Angles	60°/ 90°/ 120°
Gain (Beamwidth Dependent)	
60°	21 dBi
90°	20 dBi
120°	19 dBi
Elevation Beamwidth	4°
Electrical Downtilt	2°
Wind Survivability	200 km/h (125 mph)
Wind Loading	231 N @ 200 km/h 52 lbf @ 125 mph
Polarization	Dual Linear
Cross-Pol Isolation	25 dB Typical
Front-to-Back Ratio	30 dB Typical
Max. VSWR	1.5:1
RF Connectors	2 RP-SMA Connectors (Weatherproof)
Compatible Radios	5 GHz Rocket
Mounting	Pole Mount (Kit Included)
ETSI Specification	EN 302 326 DN2
Certifications	CE, FCC, IC

AM-M-V5G-Ti Antenna Information



Specifications are subject to change. Ubiquiti products are sold with a limited warranty described at www.ubnt.com/support/warranty
 ©2013-2019 Ubiquiti Networks, Inc. All rights reserved. Ubiquiti, Ubiquiti Networks, the Ubiquiti logo, the Ubiquiti beam logo, airMAX, airOS, and Rocket are trademarks or registered trademarks of Ubiquiti Networks, Inc. in the United States and in other countries. All other trademarks are the property of their respective owners.