

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL
CUSCO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA,
INFORMÁTICA Y MECÁNICA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



TESIS

**MEJORAMIENTO DE LA COBERTURA DEL SERVICIO DE TELEFONÍA
MÓVIL EN EL DISTRITO DE QUIQUIJANA**

PRESENTADO POR:

BR. SANTOS AGUILAR FERNANDEZ

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO ELECTRÓNICO**

ASESOR:

Mg. ING. MILTON JHON VELASQUEZ CURO

CUSCO-PERÚ

2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro. CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada: MEJORDIMIENTO DE LA COBERTURA DEL SERVICIO DE TELEFONÍA MÓVIL EN EL DISTRITO DE QUINQUEJANA

presentado por: SANTOS AGUILAR FERNANDEZ con DNI Nro.: 40098116 presentado por: con DNI Nro.: para optar el título profesional/grado académico de INGENIERO ELECTRÓNICO

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 02 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 10 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 9 de febrero de 2024



Firma
Post firma: MILTON JHON VELASQUEZ CURO

Nro. de DNI: 41053102

ORCID del Asesor: 0000-0001-7521-8846

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid: 27259:326909147

NOMBRE DEL TRABAJO

Tesis-Santos Aguilar Fernández.pdf

AUTOR

Santos

RECUENTO DE PALABRAS

45055 Words

RECUENTO DE CARACTERES

234805 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

256 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

18.9MB

FECHA DE ENTREGA

Feb 8, 2024 9:54 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Feb 8, 2024 9:57 AM GMT-5

● 10% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 9% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 5% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)

PRESENTACIÓN

Distinguido Señor Decano de la facultad de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Informática y Mecánica, señores Miembros del Jurado Dictaminador, docentes y estudiantes de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica; de conformidad con el Estatuto de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Informática y Mecánica de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, presento el trabajo de tesis denominada "**Mejoramiento de la Cobertura del Servicio de Telefonía Móvil en el Distrito de Quiquijana**", para su calificación y aprobación, con el fin de optar el título profesional de Ingeniero Electrónico.

Para la realización de la presente tesis se ha aplicado los conocimientos alcanzados en la universidad, en la parte laboral (empresa pública y privada) y capacitaciones realizadas, así como las investigaciones efectuadas en el área de telecomunicaciones de planta interna en operadores de telefonía móvil principalmente Claro y Movistar. En la elaboración se ha tomado muchos procedimientos y normas las cuales probablemente contengan errores múltiples de aplicación, ya que poseo poca experiencia en temas de investigación y por tal motivo les solicito vuestra comprensión y así a posteriori hacer las correcciones respectivas.

Santos Aguilar Fernández.

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico a mi madre, a mis hermanos y hermanas, y familiares cercanos quienes me dan el ánimo a diario, instándome a concluir el presente trabajo y así como otros objetivos propios de mi existencia.

Santos Aguilar Fernández.

AGRADECIMIENTOS

En primer agradecimiento es a mis padres quienes me dieron la vida, la educación necesaria e infundir en mí la practica de buenos valores morales para ser persona de bien en la sociedad, y son guía en mi sendero, en seguida a mis hermanos, hermanas y familiares quienes a diario me brindan su apoyo incondicional en el seno familiar.

Por otra parte en la sociedad hay muchas personas que confiaron en mi brindándome algún trabajo, de esa forma obtuve alguna experiencia profesional en el campo laboral a ellos mi agradecimiento profundo.

Además doy las gracias eternas a mis profesores de educación primaria, secundaria, técnica y universitaria quienes a bien tuvieron formarme en conocimiento con responsabilidad y buenas prácticas del saber.

Finalmente mi agradecimiento a mi asesor y docentes calificadores del presente trabajo quienes me brindaron sus conocimientos y orientaciones en la dirección correcta para concluir con el acometido.

Santos Aguilar Fernández.

RESUMEN

El despliegue e implementación de redes móviles de 3G y 4G en nuestra región se dio no hace muchos años, 3G alrededor del año 2007 y 4G por los años 2014, sin embargo a la fecha muchos sectores principalmente poblaciones rurales no fueron beneficiarios y esto se evidenció con claridad con la pandemia COVID-19, precisamente en este trabajo se presentan los diseños necesarios de planeación para implementación futura, dicho estudio será aplicado a la jurisdicción del distrito de Quiquijana, debido a su accidentada geografía.

Para dotar de cobertura adecuada y óptima se realizó, el diseño de enlaces punto a punto, esto para los radioenlaces entre el cerro Quri y las comunidades campesinas (CCs) Ttio, Moccoraize, Callatiac y Pata Quehuar. De acuerdo a las distancias entre punto a punto y perfil de terreno se establecieron las frecuencias de transmisión. En el diseño se ha utilizado algunos parámetros importantes del fabricante Huawei de los equipos de la serie OptiX RTN 900, dado que el operador Claro hace uso de estos equipos, en tanto que las antenas son de marca COMMSCOPE.

Las estaciones base celular de tipo macrocelda se ubicaron en las CCs de Ttio, Moccoraize, Callatiac y Pata Quehuar, cada EBC se diseñó considerando un esquema de dos sectores de acuerdo a las áreas con población y la cantidad de suscriptores que generarían carga de tráfico en una celda, obtenido mediante la proyección al año 2027 en referencia a la información de los datos poblacionales del INEI. La altura de las torres de estaciones base celular nuevas se establecieron en base a los datos obtenidos de simulación, garantizando la visibilidad y cobertura adecuada, con recepción de señal óptima a los sectores con población más densa en cada zona. Al igual que en radioenlaces, se han tomado para el

dimensionamiento modelos de equipos de radio-base de marca Huawei, de la serie BBU3900, también las antenas sectoriales son de la misma marca.

La planificación de la ubicación de repetidores Rep. Hayuni, Rep. Usi y Rep. H_Laguna, ha sido pensado para las comunidades o sectores con poca población, se ha evaluado las coordenadas adecuadas donde la recepción de la señal proveniente de una estación base celular sería óptima y que, de tal punto la repetición de la señal electromagnética sea a los sectores con mayor población. En la planificación de capacidad para los repetidores Rep. Hayuni y Rep. Usi está agrupado al sitio Quri y para el Rep. H_Laguna se agrupa al sitio Pata Quehuar. En la simulación los repetidores se consideraron como otra estación base celular de un solo sector, dado por algunos inconvenientes en la configuración del software de simulación para sistemas UMTS y LTE. Las antenas son las mismas que utilizan las estaciones base celular.

Los modelos de propagación considerados en el presente trabajo fueron elegidos en base al rango de frecuencia de aplicación y en base a las librerías de los simuladores Pathloss y Atoll. Además esta elección se realizó en base a la geografía de cada zona.

En el primer capítulo, se expone el estado actual, la problemática de cobertura de telefonía móvil en la jurisdicción del distrito de Quiquijana y otros lineamientos concernientes al actual proyecto.

En el segundo capítulo se despliega la literatura y fundamentos teóricos de radioenlaces, evolución y arquitectura de las comunicaciones móviles y de las herramientas informáticas de simulación.

En el tercer capítulo se encuentra la información necesaria de la zona en estudio para luego realizar los cálculos de las redes transporte (radioenlaces) y de la red de acceso, principalmente a nivel de radiofrecuencia (RF).

En el cuarto capítulo se realizan las simulaciones y/o predicciones con las herramientas computacionales de los enlaces de microondas y sistemas 3.5G y 3.9G y en cada caso se interpretan los resultados.

Finalmente se dan las conclusiones y sugerencias del presente proyecto.

Palabras clave: radioenlaces, estación base celular (EBC), NodeB, UMTS, eNodeB, LTE, parámetros, frecuencia, línea de vista, cobertura, capacidad, predicción, área, nivel de señal y bandas.

ABSTRACT

The deployment of 3G and 4G mobile networks in our region occurred not many years ago, 3G around 2007 and 4G around 2014, however to date many sectors, mainly rural populations, were not beneficiaries and this was clearly evident with the COVID-19 pandemic, precisely in this work the necessary planning designs for future implementation are presented, said study will be applied to the jurisdiction of the district of Quiquijana, due to its rugged geography, to provide adequate and optimal coverage was carried out, design of point-to-point links, this for the radio links between Cerro Quri and the peasant communities Ttio, Moccoraize, Callatiac and Pata Quehuar. According to the distances between point to point and terrain profile, the transmission frequencies were established. In the design, some important parameters from the manufacturer Huawei of the OptiX RTN 900 series equipment have been used, given that the Claro operator uses this equipment, while the antennas are COMMSCOPE brand.

The macrocell type cellular base stations were located in the Ttio, Moccoraize, Callatiac and Pata Quehuar CCs, each EBC was designed considering a two-sector scheme according to the areas with population and the number of subscribers that would generate traffic load in a cell, obtained through the projection to the year 2027 based on INEI population data. The height of the new cellular base station towers was established based on the data obtained from simulation, guaranteeing adequate coverage, with optimal signal reception to the sectors with the densest population in each area. As with radio links, models of base radio equipment from the Huawei brand, from the BBU3900 series, have been taken for sizing, and the sector antennas are also from the Huawei brand.

The planning of the location of repeaters Rep. Hayuni, Rep. Usi and Rep. H_Laguna, has been designed for communities or sectors with little population, the appropriate coordinates have been evaluated where the reception of the signal from a cellular base station would be optimal and so that the repetition of the electromagnetic signal is to the sectors with the largest population. In the capacity planning for the Rep. Hayuni and Rep. Usi repeaters it is grouped to the Quri site and for the Rep. H_Laguna it is grouped to the Pata Quehuar site. In the simulation, the repeaters were considered as another cellular base station, due to the limitations of the simulation software for UMTS and LTE systems, it does not allow the creation of repeaters. The antennas are the same ones used by cellular base stations.

The propagation models considered in this work were chosen based on the application frequency range and based on the Pathloss and Atoll simulator libraries. Furthermore, this choice was made based on the geography of each area.

In the first chapter, the current state and problems of mobile telephone coverage in the jurisdiction of the district of Quiquijana are presented.

The second chapter displays the literature and theoretical foundations of radio links, evolution and architecture of mobile communications and computer simulation tools.

The third chapter presents the necessary information about the area under study to then carry out the calculations of the transport networks (radio links) and the access network, mainly at the radiofrequency (RF) level.

In the fourth chapter, simulations and/or predictions are carried out with the computational tools of microwave links and 3.5G and 3.9G systems and in each case the results are interpreted.

Finally, the conclusions and suggestions of this project are given.

Keywords: radio links, cellular base station, NodeB, UMTS, eNodeB, LTE, parameters, frequency, line of sight, coverage, capacity, prediction, area, signal level and bands.

INTRODUCCIÓN

Desde la antigüedad uno de los muchos problemas de humanidad ha sido la necesidad de comunicación a distancias mayores que la visión humana lo permite, por ello han venido haciendo uso de diferentes medios o elementos como cartas y otros documentos las cuales se enviaban a su destino a través de barcos, trenes, aviones y otros, por tanto demoraban en demasía en llegar a su destino. Sin embargo a finales del siglo XIX nació otra forma de comunicarse con la aparición de la telegrafía, este consistía de un circuito eléctrico, con lo cual un operador interrumpía o restablecía una señal eléctrica según un patrón determinado llamado código, el más famoso fue el código Morse, con el cual se ha superado los tiempos de retardo en llegar a su destino, después de 1900 llegó la telefonía fija de circuitería eléctrica más elaborada y con ello se superó muchos problemas de la telegrafía.

Al paso del tiempo la telefonía fija migro de lo analógico al digital el cual trajo consigo muchos avances, como por ejemplo los servicios de internet, es así que la telefonía fija seguía predominante en el mundo. Posterior a la segunda guerra mundial aparecieron los primeros teléfonos móviles dado su tamaño enorme estos iban instalados en automóviles y para un público restringido. Pero en 1973 apareció el primer teléfono móvil de la firma Motorola desarrollado por el ingeniero Martin Cooper de un tamaño muy reducido, fácil de portar, desde ese entonces se da la evolución de las comunicaciones móviles por alta demanda y esto conllevó a la incorporación de nuevas tecnologías en cada generación y fueron importantes ya que ello permitió la mejora del sistema analógico de primera generación (1G) al sistema digital desde la segunda generación (2G) y además el desarrollo de nuevas tecnologías con altas prestaciones en cobertura y capacidad de tráfico limitado por el ancho de banda, desde 3G se denominan redes de banda ancha, de esa forma el usuario final está

dotado de internet y datos móviles. En nuestro país la telefonía móvil inicia el despliegue a principios de la década de los 90, con la empresa italiana TIM.

La evolución de telefonía móvil, se da desde la primera generación (1G) con la tecnología AMPS (Advanced Mobile Phone System), la segunda generación (2G) con GSM (Global System for Mobile Communications), la tercera generación (3G) con UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) y cuarta generación (4G) con LTE-A (Long Term Evolution-Advanced) cada tecnología trabaja en la banda de concesión otorgado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones en nuestro país.

Una red de telecomunicaciones está compuesta tal como hoy en día se conoce por la red de acceso y por la red de transporte, la red de transporte también tuvo que evolucionar a tecnología digital en demanda de la red de acceso, en los principios eran analógicos. Entre ellos podemos citar los sistemas de microondas terrestres y satelitales y de fibra óptica, éstos se usan de acuerdo a la geografía de cada zona de la región y del país, pero hoy en día los sistemas de fibra óptica cada vez tienen mayor auge en su implementación. Por otro lado en la actualidad existen equipos de microondas de alta capacidad de ancho de banda, mayor fiabilidad y desempeño, poseen tecnologías de modulación y codificación adaptativa y de cancelación de interferencia de polarización cruzada (XPIC), el cual incrementa el ancho de banda tal es así será idónea para enlaces de redes de quinta generación (5G) e inferiores, en zonas de geografía agreste y de difícil acceso.

Por otro lado el despliegue de nuevas tecnologías en el área rural de nuestro país es deficiente, en particular Movistar no ha mejorado en mucho su tecnología 2G, en lugares alejados de la región Cusco, mientras que otras operadoras solamente en la mayoría de lugares se enfocaron a implementar en capitales de distrito, en tanto que el sector aledaño

sigue relegado a su suerte y esto no contribuye en alguna medida en su desarrollo. El despliegue de quinta generación se viene en curso y el sector rural no será beneficiario y así la brecha digital se ensancha.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	iv
ABSTRACT.....	vii
INTRODUCCIÓN.....	x
ÍNDICE GENERAL	xiii
LISTA DE TABLAS	xvi
LISTA DE FIGURAS.....	xviii
TERMINOLOGÍA.....	xxv
CAPÍTULO 1: GENERALIDADES	1
1.1 Ámbito geográfico	1
1.2 El problema	1
1.2.1 Descripción del problema.....	1
1.2.2 Formulación del problema.....	3
1.2.3 Antecedentes de la tesis.....	4
1.3 Objetivos	6
1.3.1 Objetivo general	6
1.3.2 Objetivos específicos.....	6
1.4 Justificación.....	7
1.5 Limitaciones.....	7
1.6 Alcances	8
1.7 Identificación de variables	8
1.7.1 Variables independientes.....	8
1.7.2 Variable dependientes	9
1.8 Metodología	9
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	12
2.1 Conceptos generales.....	12
2.1.1 Sistema de comunicación	12
2.1.2 Sistemas de comunicación inalámbrica.....	12
2.1.3 Las ondas electromagnéticas	12
2.1.4 El espectro electromagnético.....	13
2.1.5 El espectro radioeléctrico	13

2.1.6	Propiedades de las ondas electromagnéticas	14
2.1.7	Factores que afectan en la radiación electromagnética	19
2.1.8	Antena.....	20
2.1.9	Modelos de propagación.....	21
2.1.10	Ancho de banda y capacidad de información de un sistema de transmisión ..	24
2.2	Descripción general de radio de microondas digital	25
2.2.1	Comunicaciones por microondas terrestres	25
2.3	Telefonía móvil y su evolución.....	28
2.3.1	Bandas de operación de telefonía móvil en el país.....	31
2.3.2	Redes móviles de tercera generación	33
2.3.3	Redes móviles de cuarta generación.....	38
2.4	Repetidores de telefonía móvil.....	45
2.5	Planificación de redes móviles.....	46
2.6	Downlink y Uplink en UMTS y LTE	49
2.7	Software de simulación	49
CAPITULO 3: ESTUDIO DE REQUERIMIENTOS Y DISEÑO DE LOS SISTEMAS ..		52
3.1	Geografía del distrito y recolección de información.....	52
3.1.1	El distrito de Quiquijana.....	52
3.1.2	Instituciones y presencia de operadores en la jurisdicción del distrito	54
3.1.3	Penetración de telefonía móvil	60
3.1.4	Planificación de coordenadas de las EBCs.....	60
3.1.5	Población	63
3.1.6	Estimación de suscriptores	64
3.1.7	Bandas licenciadas de enlace de microondas terrestre	71
3.1.8	Elección de equipos de radioenlace de microondas y EBCs	71
3.2	Diseño y planificación de enlaces de microondas.....	73
3.2.1	Propuesta de red de enlaces en el distrito	73
3.2.2	Diseño de enlaces de microondas	73
3.3	Diseño y planificación de redes móviles.....	95
3.3.1	Propuesta de las redes de acceso	95
3.3.2	Diseño y planificación de redes 3.5G	97
3.3.3	Diseño y planificación de redes 3.9G.....	116
3.4	Sustento para consideración final cantidad de EBCs de 3.5G y 3.9G	135
3.5	Evaluación de throughput de la red de transporte basado en microondas	144

CAPÍTULO 4: SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE RADIOENLACES, 3.5G, 3.9G Y REPETIDORES DE TELEFONÍA MÓVIL.....	146
4.1 Simulación de enlaces de microondas con Pathloss y análisis de resultados	146
4.1.1 Simulación Quri-Ttio.....	146
4.1.2 Simulación Quri-Moccoraise.....	148
4.1.3 Simulación Quri-Callatiac	151
4.1.4 Simulación Quri-Pata Quehuar.....	155
4.1.5 Línea de vista de los repetidores	157
4.2 Simulación del sistema 3.5G y repetidores	160
4.2.1 Creación del proyecto en Atoll y configuración.....	160
4.2.2 Predicciones en DL.....	168
4.3 Simulación del sistema 3.9G y repetidores	180
4.3.1 Creación del proyecto en Atoll y configuraciones necesarias.....	180
4.3.2 Predicciones en DL.....	186
4.4 Niveles de señal de 3.5G y 3.9G con la propuesta de mejora del proyecto	199
4.5 Costos referenciales de equipamiento	199
CONCLUSIONES	201
RECOMENDACIONES.....	203
REFERENCIAS.....	204
ANEXOS	210

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1: Rango de frecuencias y ancho de banda.....	31
Tabla 3.1: Instituciones educativas en el distrito de Quiquijana y Cusipata.	55
Tabla 3.2: Mediciones de potencia de Rx de redes móviles en la jurisdicción del distrito de Quiquijana con G-NetTrack Lite al agosto del 2022.....	58
Tabla 3.3: Presencia de operadores de telefonía móvil (marcadas con x) en zonas pobladas del distrito.	59
Tabla 3.4: Coordenadas de torres existentes y nuevos.	61
Tabla 3.5: Proyección de la población en edad de trabajar al 2027.....	64
Tabla 3.6: Distancias de enlace permitidas [2].	71
Tabla 3.7: Coeficientes estimadas para atenuación por lluvia [34].	80
Tabla 3.8: Factor de rugosidad a [38].	88
Tabla 3.9: Factor climático b [38]	88
Tabla 3.10: Parámetros de los enlaces.	95
Tabla 3.11: EBCs existentes.	95
Tabla 3.12: Información general del Link Budget WCDMA [15] [16].	104
Tabla 3.13: Modelo de tráfico de UMTS [15].	109
Tabla 3.14: Dimensiones de carga del celda UMTS [16].	111
Tabla 3.15: Determinación de cantidad de celdas.	115
Tabla 3.16: Configuración final de UMTS.	116
Tabla 3.17: Configuración final de repetidores UMTS.	116

Tabla 3.18: Resumen de cálculos de link budget [15] [44].	122
Tabla 3.19: Throughput por servicio.	127
Tabla 3.20: Modelo de tráfico vendor Huawei [48]	128
Tabla 3.21: Throughput por usuario.	129
Tabla 3.22: Resumen de cantidad de celdas.	135
Tabla 4.1: Parámetros de diseño Quri-Ttio.	146
Tabla 4.2: Parámetros del diseño.	149
Tabla 4.3: Parámetros del diseño.	151
Tabla 4.4: Parámetros del enlace.	155
Tabla 4.5: Medición de niveles de señal en distintos sectores y puntos del mapa.	170
Tabla 4.6: Medición de niveles de señal en distintos sectores y puntos del mapa.	189
Tabla 4.7: Medición de niveles de señal (simulador) en zonas pobladas del distrito.	199
Tabla 4.8: Costo referencial de equipos.	200

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Bloques de un sistema de comunicación [1].	12
Figura 2.2: Frente de onda EM [2].	13
Figura 2.3: Espectro electromagnético de frecuencias [4].	13
Figura 2.4: Espectro electromagnético y radioeléctrico [2].	14
Figura 2.5: Refracción en la frontera de dos medios [3].	15
Figura 2.6: Reflexión en una frontera plana de dos medios [3].	15
Figura 2.7: Comparación de factor-k y gradiente de refractividad [2].	16
Figura 2.8: Esquemático de experimento de doble ranura de Young y amplificación del patrón [5].	18
Figura 2.9: Polarización de una onda radio [6].	18
Figura 2.10: Patrón de radiación bidimensional de una antena tipo bocina [7].	20
Figura 2.11: Plan de canales dúplex de RF y duplexor por división de frecuencia [2].	24
Figura 2.12: Constelaciones típicas de QAM [6].	26
Figura 2.13: Configuraciones de radio [6].	27
Figura 2.14: 1G a 5G Objetivos de rendimiento [9].	29
Figura 2.15: Estándares de sistemas de comunicaciones móviles [10].	29
Figura 2.16: 1G a 5G - Línea de tiempo, estándares, RATs y otros [9].	30
Figura 2.17: Asignación de bandas de frecuencia a operadores [11].	31
Figura 2.18: Requerimientos de espectro por tecnología [12].	32
Figura 2.19: Arquitectura de estación base contemporánea [13].	33
Figura 2.20: Evolución de UMTS [10].	34
Figura 2.21: Arquitectura red UTRAN [14].	35
Figura 2.22: Estructura del código de canalización [16].	37

Figura 2.23: Portadora de WCDMA.....	37
Figura 2.24: Arquitectura E-UTRAN. [10].	40
Figura 2.25: Espectro de la señal OFDMA [10].	41
Figura 2.26: Modo localizado (parte superior) y modo distribuido (parte inferior) [10]. ...	41
Figura 2.27: Canalización del sistema LTE [10].	42
Figura 2.28: Numero de PRBs en función de la canalización [10].	43
Figura 2.29: Concepto de radio bloque y pico de velocidades [10].	43
Figura 2.30: Canales físicos en el enlace descendente y ascendente [10].	44
Figura 2.31: Interferencia intercelular LTE [10].	45
Figura 2.32: Posibles esquemas de reuso de frecuencias de LTE [10].	45
Figura 2.33: Concepto de uso de repetidor WCDMA [18].	46
Figura 2.34: Flujo de planificación de cobertura y capacidad UMTS [20].	47
Figura 2.35: Modelo de radio link budget DL y UL para UMTS [21].	48
Figura 2.36: Flujo de planificación de cobertura de LTE [22].	48
Figura 2.37: Flujo de planificación de capacidad de LTE [22].	48
Figura 2.38: Modelo de radio link budget DL y UL para LTE [23].	49
Figura 2.39: Prediccione disponibles en Atoll [10].	51
Figura 3.1: Perímetro del distrito obtenido de Google Earth.	52
Figura 3.2: Mapa del distrito de Quiquijana [27].	53
Figura 3.3: Capital del distrito, Quiquijana.	53
Figura 3.4: Ubicación de comunidades y anexos.	54
Figura 3.5: Coordenadas de torres existentes y nuevas.	61
Figura 3.6: Estimación de áreas de y sectores de cobertura por Google Earth.	62
Figura 3.7: Puertos y patrón de radiación de la antena sectorial ADU4516R6v06 [30].	72

Figura 3.8: Propuestas de red de enlaces de microonda.	73
Figura 3.9: Distancia entre Quri-Ttio.	74
Figura 3.10: Distancia entre Quri-Moccoraise.	75
Figura 3.11: Distancia entre Quri-Callatiac.	75
Figura 3.12: Distancia Quri-Pata Quehuar.	76
Figura 3.13: Zonas hidrometereológicas para predicción de precipitación [35].	80
Figura 3.14: Zonas hidrometerelógicas de intensidad de la lluvia excedida (mm/h) [35]...	81
Figura 3.15: Perfil de elevación Quri-Ttio.....	85
Figura 3.16: Perfil de enlace Quri-Ttio y altura del pico.....	87
Figura 3.17: P(e) de un sistema QAM.	94
Figura 3.18: Propuesta de ubicación de EBCs.....	96
Figura 3.19: Modelo de servicio [48].	126
Figura 3.20: Torre y fibra óptica.....	136
Figura 3.21: Sector 1 EBC Quri.....	137
Figura 3.22: Sector 2 EBC Quri.....	137
Figura 3.23: Sector 3 EBC Quri.....	138
Figura 3.24: Sector 2 EBC Ttio.	138
Figura 3.25: Sector 3 EBC Ttio.	139
Figura 3.26: Sector 2 EBC Moccoraise.	139
Figura 3.27: Sector 3 EBC Moccoraise.	140
Figura 3.28: Sector 2 EBC Callatiac.....	140
Figura 3.29: Sector 3 EBC Callatiac.....	141
Figura 3.30: Sector 2 EBC Pata Quehuar.	141
Figura 3.31: Sector 3 EBC Pata Quehuar.	142

Figura 3.32: Único sector Rep. Hayuni.	142
Figura 3.33: Único sector Rep. Usi.....	143
Figura 3.34: Único sector Re. H_Laguna.	143
Figura 4.1: Perfil de enlace.	147
Figura 4.2: Datos del cálculo del enlace.	148
Figura 4.3: Perfil de enlace.	149
Figura 4.4: Hoja de cálculo del enlace.....	150
Figura 4.5: Perfil de elevación.	152
Figura 4.6: Zona de Fresnel.	152
Figura 4.7: Datos de claridad.	153
Figura 4.8: Hoja de cálculo del enlace.....	154
Figura 4.9: Perfil de elevación.	156
Figura 4.10: Datos del cálculo del enlace.	157
Figura 4.11: Perfil de elevación de Quri-Rep. Hayuni.	158
Figura 4.12: Perfil de elevación Quri-Rep. Usi.	159
Figura 4.13: Perfil de elevación del enlace Pata Quehuar-Rep. H_Laguna.	159
Figura 4.14: Elección de la plantilla UMTS HSPA.....	161
Figura 4.15: Elección de UTM zone.....	161
Figura 4.16: Importación del mapa del distrito.....	162
Figura 4.17: Lista de sitios.....	162
Figura 4.18: Demarcación del área de cálculo.....	162
Figura 4.19: Selección de la banda de frecuencia.....	163
Figura 4.20: Selección de UTRA Band V en cada transmisor.	163
Figura 4.21: Elección del modelo de propagación.	164

Figura 4.22: Adición de antena.....	164
Figura 4.23: Elección del modelo de antena.....	165
Figura 4.24: Elección del feeder.....	165
Figura 4.25: Configuración de potencia.....	166
Figura 4.26: Cálculo de vecinos.....	167
Figura 4.27: Cálculo de Primary Scrambling Codes.....	167
Figura 4.28: EBC Quri, medición en el sector 1.....	168
Figura 4.29: EBC Ttio, medición en el sector 3.....	169
Figura 4.30: EBC Moccoraize, medición en el sector 3.....	169
Figura 4.31: EBC Callatiac, medición en el sector 3.....	169
Figura 4.32: EBC Pata Quehwar, medición en el sector 3.....	170
Figura 4.33: Clasificación de señal de cobertura y calidad [50].....	171
Figura 4.34: Cobertura de la EBC Quri existente.....	172
Figura 4.35: Cobertura de la EBC Ttio.....	173
Figura 4.36: Cobertura de la EBC Moccoraize.....	173
Figura 4.37: Cobertura de la EBC Callatiac.....	174
Figura 4.38: Cobertura de la EBC Pata Quehwar.....	175
Figura 4.39: Cobertura del Rep. Hayuni.....	175
Figura 4.40: Cobertura del Rep. Usi.....	176
Figura 4.41: Cobertura del Rep. H Laguna.....	177
Figura 4.42: Predicción de cobertura por nivel de señal en DL, celdas todas activas.....	177
Figura 4.43: Visualización de cobertura en Google Earth.....	178
Figura 4.44: Predicción de cobertura por transmisor.....	179
Figura 4.45: Predicción de cobertura por Overlapping.....	180

Figura 4.46: Configuración de parámetros generales.	181
Figura 4.47: Adición de E-UTRA band 28 a la tabla de frecuencias.	181
Figura 4.48: Elección de la E-UTRA Band 28.	182
Figura 4.49: Asignación de planificador a Proportional Fair y MU-MIMO.	183
Figura 4.50: Asignación de vecinos.	184
Figura 4.51: Planeación automática de frecuencia.	184
Figura 4.52: Planificación de Physical Cell ID.	185
Figura 4.53: Planeación automática.	185
Figura 4.54: Planeación automática y manual de celdas.	186
Figura 4.55: EBC Quri, medición en el sector 1.	187
Figura 4.56: EBC Ttio, medición en el sector 2.	187
Figura 4.57: EBC Moccoraize, medición en el sector 3.	187
Figura 4.58: EBC Callatiac, medición en el sector 3.	188
Figura 4.59: EBC Pata Quehwar, medición en el sector 3.	188
Figura 4.60: Valores de niveles de señal versus calidad de señal [51].	190
Figura 4.61: Predicción de cobertura por nivel de señal de la EBC existente.	190
Figura 4.62: Cobertura de la EBC Ttio.	191
Figura 4.63: Cobertura de la EBC Moccoraize.	192
Figura 4.64: Cobertura de EBC Callatiac.	192
Figura 4.65: Cobertura de la EBC Pata Quehwar.	193
Figura 4.66: Cobertura del Rep. Hayuni.	194
Figura 4.67: Cobertura del Rep. Usi.	194
Figura 4.68: Cobertura del Rep. H_Laguna.	195
Figura 4.69: Cobertura con todas las celdas activas.	196

Figura 4.70: Cobertura por nivel de señal.....	196
Figura 4.71: Predicción de cobertura por transmisor.....	197
Figura 4.72: Predicción de zonas solapadas.	198

TERMINOLOGÍA

1G	First Generation
2G	Second Generation
3G	Third Generation
3GPP	Third Generation Partnership Project
4G	Fourth Generation
5G	Fifth Generation
ACP	Automatic Cell Planning
AMPS	Advanced Mobile Phone system
ARM	Adaptive Multi Rate
AS	Access Stratum
ATPC	Automatic Transmission Power Control
BBU	Base Band Unit
BER	Bit Error Ratio
BH	Busy Hour
BHSA	Busy Hour Session Attempts
BLER	Block Error Rate
bps	Bits per second
BSC	Base Station Controller
BTS	Base Transceiver Station
$C/(I+N)$	Carrier-to-Noise-and-Interference Ratio
CC	Comunidad Campesina
CDMA	Code Division Multiple Access
CN	Core Network
CP	Centro Poblado
CS	Call Service
DEM	Digital Elevation Models
DL	Downlink
DTM	Digital Terrain Model
EBC	Estación Base Celular

EIRP	Effective Isotropic Radiated Power
EM	Electromagnetic
eNodeB	Evolved NodeB
EPC	Evolved Packet Core
EPS	Evolved Packet System
E-UTRAN	Evolved-UMTS Terrestrial Radio Access Network
FDD	Frequency Division Duplex
FSPL	Free Space Path Loss
GSM	Global System for Mobile Communications
HARQ	Hybrid Automatic Repeat Request
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HSPA	High Speed Packet Access
HSPA+	Evolved High Speed Packet Access
HSUPA	High-Speed Uplink Packet Access
ICIC	Inter-Cell Interference Coordination
IDU	Indoor Unit
IEs	Instituciones Educativas
IFDMA	Interleaved FDMA
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática
IP	Internet Protocol
ITU	International Telecommunication Union
Iu	Interconnection point between RNC and a CN
Iub	Logical interface between an RNC and a NodeB
Iur	Logical interface between two RNCs
LP-OFDMA	Linearly Precoded-OFDMA
LTE	Long Term Evolution
LTE-A	Long Term Evolution-Advance
MAPL	Maximum Allowed Path Loss
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MS	Mobile Service

MTC	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
MW	Microwave
NF	Noise Figure
ODU	Outdoor Unit
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
OVSF	Othogonal Variable Spreading Factor
PCI	The Physical Cell ID
PDSCH	Physical Downlink Shared Channel
PPP	Point to Point Protocol
PRB	Physical Resource Block
PSC	Primary Scrambling Codes
PS-CDMA	Partition Spreading - CDMA
PUSCH	Physical Uplink Shared Channel
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RB	Resource Block
RF	Radiofrecuencia
RLC	Radio Link Control
RNC	Radio Network Controller
RNS	Radio Network Subsystem
RRU	Remote Radio Unit
RRSI	Received Signal Strength Indicator
RSCP	Received Signal Code Power
RSL	Received Signal Level
RSRP	Reference Signal Received Power
RSRQ	Reference Signal Received Quality
Rx	Receiver
RxLEV	Received Signal Level
S1-MME	Interface eNB-EPC control and user plane
SC-FDMA	Single Carrier-Frequency Division Multiple Access

SIG	Sistema de Informacion Geografica
SIM	Suscriber Identity Module
SINR	Signal-to-Interference and Noise Ratio
SNR	Signal-to-Noise Ratio
STM	Synchronous Transport Mode
TDD	Time Division Duplex
TDM	Time Division Multiplexing
TD-SCDMA	Time Division-Synchronous Code Division Multiple Access
TSS	Technical Site Survey
Tx	Transmitter
UE	User Equipment
UL	Uplink
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
USIM	UMTS Subscriber Identity Module
UTM	Universal Transverse Mercator
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
Uu	Radio interface that connects the UEs to the eNodeBs or vice versa
VoIP	Voice Over IP
VoLTE	Voice over LTE
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
WGS84	World Geodetic System 1984
XPIC	Cross Polar Interference Canceller

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES

1.1 Ámbito geográfico

El ámbito de estudio es el distrito de Quiquijana, provincia de Quispicanchi y región Cusco, tiene en total 22 entre ellos comunidades campesinas y anexos, la capital del distrito está ubicada en las orillas del río Vilcanota. Como todo distrito tiene instituciones públicas y privadas, en estos tiempos la interconexión a internet es imprescindible y útil para realización de diferentes tareas y funciones. En la zona hay cobertura de telefonía móvil pero la intensidad de la señal es adecuada solamente en la capital del distrito y cercanías y existen proveedores de internet y data de banda angosta.

1.2 El problema

1.2.1 Descripción del problema

En la jurisdicción del distrito de Quiquijana existen estaciones base celular (EBCs) de las operadoras de telefonía celular como Telefónica Móviles SA (Movistar), América Móvil Perú SAC (Claro), Viettel Perú SAC (Bitel) y Entel Perú SA (Entel) que proveen servicios a la población de mensajería básica, voz, datos e internet en las tecnologías segunda, tercera y cuarta generación (2G, 3G y 4G), cuyas antenas están instaladas en su mayoría en los cerros del distrito desde donde irradian ondas electromagnéticas con determinada potencia. Debido a la aparición y proliferación del mortal virus llamado COVID-19 (Coronavirus) en el mundo y en nuestro país y declarado la emergencia sanitaria y aislamiento social por el gobierno de turno del país, desde el 16 de marzo del 2020, han sido un problema muy serio a la salud mundial, dado por la aparición de nuevas variantes de este virus los cuales afectan el normal desarrollo en los sectores educación, salud, agricultura, el hogar y muchos otros sectores.

Actualmente la cobertura de servicio de telefonía móvil en distrito de Quiquijana sigue siendo igual que antes de la pandemia, hubo algunas mejoras con la instalación de puntos de acceso Wi-Fi para atender el sector educación para acceso a clases virtuales de primaria, secundaria y superior principalmente, pero fue instalada en la capital del distrito en donde existe cobertura adecuada de todas las operadoras de telefonía móvil.

Realizado un recorrido en la zona existen siete torres de telefonía móvil de las cuales tres son de Movistar ubicados, el primero está dentro de la población de Quiquijana y la antena está instalada en un mástil de 9 metros (m), el segundo en el cerro de la comunidad campesina (CC) de Ttio, las antenas están instaladas en una de torre de 45 m y el tercero en la comunidad campesina de Callatiac cuya antena está instalada en un mástil de 9 m (a la fecha inoperativo). Claro tiene antenas instalados en una torre de 48 m, ubicados en el cerro Quri de Quiquijana, y en el mismo cerro Quri Entel posee una torre de 50 m aproximadamente en ella lleva instalados las antenas. Bitel tienes dos torres de 50 m, el primero está ubicado en el cerro de Quiquijana y el segundo en el centro de la población de la comunidad campesina de Huaraypata.

De las operadoras mencionadas Movistar posee tecnologías de segunda, tercera y cuarta generación, 3G y 4G en la capital del distrito, cuyo medio de transporte es enlace por fibra óptica, 2G comunidad de Callatiac (inoperativo) y 2G y 4G en el pueblo de Ttio con medio de transporte microondas satelital; alrededor del pueblo de Ttio la calidad de servicio es pésimo, las llamadas y navegación por internet es entrecortado, debido a ello tiene número de usuarios muy reducido. Claro y Entel poseen tecnologías hasta de cuarta generación, pero en la capital del distrito del mismo nombre Quiquijana con medio de transporte de sistema de transmisión por fibra óptica en el caso de Claro y microondas terrestre en el caso de Entel y Bitel posee tercera y cuarta generación (3G y 4G) en la capital del distrito y en la

comunidad campesina de Huaraypata, con medio de transporte por fibra óptica; en la comunidad de Huaraypata Bitel tiene antenas de un solo un sector y está ubicado en la parte baja, a nivel del río Vilcanota, por ello el área de cobertura es limitado. Por otra parte en el distrito existen 37 instituciones de nivel inicial, 20 instituciones de primaria y 6 instituciones educativas de secundaria y un instituto superior pedagógico (Horacio Zevallos Gámez), los cuales debido al aislamiento social no pudieron realizar sus clases virtuales con normalidad.

El problema de cobertura está en las comunidades y anexos del distrito, en tales lugares la cobertura en la mayoría es nula y en algunos lugares se tiene señal de baja potencia en puntos más elevados, y más aún en tiempos de pandemia, la conectividad a la red es indispensable y necesario no solo para el sector educación.

1.2.2 Formulación del problema

La falta de cobertura en muchos sectores de la jurisdicción del distrito de Quiquijana es claro, esto es porque las estaciones base celular están instaladas en cercanías de la cuenca del río Vilcanota y la orografía del distrito genera zonas de sombra de la señal, la mejor cobertura se tiene en la capital del distrito de las cuatro operadoras de telefonía móvil, en tanto que en otros sectores existen problemas de cobertura de cada operadora; por ejemplo en cuanto a operadora Bitel en el poblado de Huaraypata y alrededores la EBC tiene solo un sector de tecnologías 3G y 4G, además se encuentra instalada en la parte más baja de la comunidad; en cuanto a otras operadoras también dan cobertura con señal baja fuera del área de la capital del distrito. En concreto, con lo mencionado se refiere a que trae consigo el retraso en el desarrollo sostenible en muchos sectores de la población, como en la educación, salud, agricultura, el hogar y otros por falta de conectividad al mundo digital.

1.2.3 Antecedentes de la tesis

En internet existen muchos trabajos con similitud al presente trabajo, entre ellos están los que utilizan los diseños de radioenlaces terrestres basados en microondas y otros referidos a planificación de tecnologías UMTS y LTE.

- El trabajo de grado realizado por Adrián Valencia Zambrano “Diseño de un Sistema Inalámbrico para Integrar los Servicios de Telecomunicaciones, en las Sedes que tiene en el Cauca la IPS-I Acin” analiza el contexto geográfico de la zona, plantea y realiza los diseños de radioenlaces de microondas y las simulaciones respectivas con software Radio Mobile y finalmente realiza identificación de equipos necesarios para su futura implementación.
- En el proyecto de grado elaborado por Ángel Jossep Córdova Sandoval “Diseño de Red de Radioenlaces vía Microondas para Acceso al Servicio de Internet a los Pueblos más Alejados del Distrito de Tambogrande” el trabajo consistió en el diseño de radioenlaces de microondas que proporciona el acceso a internet de pobladores de las localidades del distrito de Tambogrande en la región de Piura. Considera en el diseño una red matriz o nodo que provee el servicio, un nodo intermediario y otros cuatro nodos de última milla. Aplica enlaces punto a punto y punto a multipunto. Realiza simulaciones con software Link Planner, finalmente implementa y valida los diseños, llegando a resultados satisfactorios.
- El trabajo de grado de “Diseño de Estación Celular para Localidad de Laredo-Trujillo-La Libertad” realizado por José Rafael Guerra Amaya (2006). En dicho trabajo el autor investiga cuales son los equipamientos idóneos para dar cobertura en la ámbito del distrito de Laredo, una estación base celular o un repetidor de telefonía

móvil para ello toma como elementos de análisis, la cobertura de señal celular actual, el volumen de tráfico y análisis económico de retorno de inversión. Concluye que para proyectos de expansión uno de los temas económicos mayores es la infraestructura elemental para implementar una estación base o repetidor, por ello para lugares pequeños es apropiado empezar por instalar un repetidor.

- En el proyecto de grado efectuado por Luis Iglesias Quiñones “Planificación y Optimización de una Red LTE con la Herramienta Atoll”, (2016). El autor propuso la planificación y optimización, donde establece que en cada nueva implementación de tecnología móvil muchos de los parámetros concernientes a radiofrecuencia entran en un proceso de reajuste con la finalidad de encontrar un valor óptimo, esto trae consigo bastante tiempo y es muy laboriosa. Por ello, antes de su despliegue se hace las simulaciones de la red previamente y de acuerdo a los resultados hacer los reajustes los parámetros. Con la cual desplegar una red mejorada u optimizada y con un menor presupuesto. Realizó estudio teórico acerca de GSM, como técnicas y tácticas de proyección y dimensionamiento de red de acceso radio para emplear al sistema LTE en función a las especificaciones técnicas del sistema LTE. Y previas a la planificación realizó estudios del software de simulación Atoll.
- En la tesis monográfica elaborados por Norlan Benito Vílchez e Ismael Antonio García Sánchez “Diseño de una estación base para su integración en una red celular basada en tecnologías GSM/UMTS”, (2014). Los autores realizan la planificación de la red GSM y UMTS en la comunidad de Pacayita, a posterior realizan el emplazamiento e integración a red celular, hacen uso del software Atoll para las predicciones de cobertura, antes de su implementación muchas simulaciones de la red y se ajustan los parámetros importantes a nivel de radio frecuencia. Para el

emplazamiento realizan todas las coordinaciones con ente regulador de telecomunicaciones, con el municipio y con el operador. Logran integrar a la red de manera satisfactoria.

- El trabajo de grado de “Dimensionamiento de un clúster de red LTE para brindar cobertura en la zona comercial de la ciudad de Loja” elaborado por Carlos Javier Castillo Cuenca (2017). En ese trabajo el autor realiza el dimensionamiento con la matemática necesaria para estimar la cantidad de eNodeB en función a la capacidad de la red, diseña el clúster en Atoll, muestra las predicciones de cobertura y los parámetros de desempeño de la red LTE. Finalmente da un costo referencial para el despliegue de la red LTE.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Mejorar la cobertura de servicio de telefonía móvil con el diseño de radioenlaces, estaciones base celular y repetidores de telefonía móvil en las zonas pobladas sin cobertura del distrito de Quiquijana.

1.3.2 Objetivos específicos

- Analizar el relieve geográfico del distrito de Quiquijana.
- Diseñar los radioenlaces, estaciones base celular y repetidores de señal móvil.
- Validar el diseño de radioenlaces, estaciones base celular y repetidores de señal móvil; utilizando software de simulación.
- Analizar los resultados de las simulaciones.

1.4 Justificación

En los tiempos actuales la cobertura de telefonía móvil con adecuada disponibilidad es una necesidad indispensable lo que las poblaciones en nuestro país y en cada región de forma tácita esperan. De los despliegues realizados por los operadores de telefonía móvil principalmente las capitales de distritos tienen cobertura adecuada y más no así las comunidades campesinas y sus anexos a pesar que estas poseen en muchos casos un gran número de habitantes. Es sabido que los lugares rurales de las regiones del país están relegados, por ello en muchos lugares siguen aún con cobertura de segunda generación, y la implementación de quinta generación para ellos está muy lejos del alcance. Es por ello se propone el presente proyecto de diseño para implementación futura de más estaciones base celular y repetidores en las bandas 3.5G-850 MHz y 3.9G-700 MHz, la razón de la propuesta en estas bandas es por ser un área suburbana y rural, y de una geografía accidentada, además que las bandas bajas tienen mayor cobertura y de esa forma llegar a dotar a la población la cobertura adecuada, con servicio de calidad y disponibilidad de red las 24 horas del día, el presente proyecto quedará listo para ser presentado al operador América Móvil Perú SAC (Claro) y caso de repetidores el mismo municipio distrital podría implementar con fondos propios. En un futuro no se sabe si algo similar al virus COVID-19 se pueda dar; pero debemos estar preparados ante alguna futura emergencia sanitaria o de otra índole y una solución a la comunicación son precisamente las redes inalámbricas.

1.5 Limitaciones

En el presente trabajo comprende el diseño analítico de la red de transporte, tomando como sitio de referencia la actual EBC de Claro ubicado en el cerro Quri, y la red de acceso, en ambos casos el diseño es a nivel de RF, el sitio de Claro posee una infraestructura

adecuada para enlazar distintos puntos del distrito como comunidades y anexos que actualmente no tienen cobertura. Las bandas de telefonía móvil 900 MHz, 1700 MHz, 1900 MHz, 2100 MHz y 2600 MHz no son el propósito de estudio en el presente trabajo, también no son objeto de estudio los enlaces por fibra óptica.

1.6 Alcances

En el presente trabajo solo se realizó el diseño a nivel de RF de los enlaces punto a punto, estaciones base celular y repetidores necesarios para conseguir una cobertura adecuada en la zona, en este caso en las bandas de radiofrecuencia 3.5G-850 MHz y 3.9G-700 MHz, no alcanza la implementación y también no alcanza el estudio para el operador Bitel dado que sus enlaces son en base a fibra óptica. Finalmente el presente trabajo será una propuesta de mejora, que el operador América Móviles Perú SAC puede decidir su implementación futura, también Entel Perú SA o Telefónica Móviles SA a bien pueden tomar esa decisión, en dicha jurisdicción.

1.7 Identificación de variables

1.7.1 Variables independientes

- Potencia de transmisión de los radioenlaces, EBCs y repetidores.
- Tipo, ganancia y altura de antenas.
- Ubicación geográfica de EBCs y repetidores.
- Distancia entre los enlaces punto a punto.
- Frecuencias y las bandas de transmisión de las EBC y radioenlaces.

1.7.2 Variable dependientes

- Área de cobertura: El indicador es porcentaje de cobertura = $(\text{área con cobertura} / \text{área total del distrito de Quiquijana}) \times 100$. El indicador es porcentaje sin cobertura = $(\text{área sin cobertura} / \text{área total del distrito de Quiquijana}) \times 100$.
- Potencia de recepción y potencia de ruido en el receptor para calcular Eb/No (relación SNR).
- Parámetros de desempeño o calidad de la transmisión: eficiencia de ancho de banda, tasa de error de bits (BER).

1.8 Metodología

La metodología utilizada en el presente trabajo es cuantitativa y aplicada.

El concepto de dimensionamiento y planificación conduce a una evolución fluida a todas las redes IP 3G/4G y la introducción de inteligencia hacia la creación de infraestructuras inteligentes más allá del mundo inalámbrico 5G, por lo que este proyecto se basa completamente en libros sobre esta área, trabajos de tesis, diferentes artículos, revistas, y búsqueda de datos en internet en páginas oficiales, estudios previos sobre este tema específicamente sobre la planificación de redes de radio de cada tecnología de acceso de radio.

En el proceso de realizar la planificación de la red de microondas y de radios UMTS y LTE, se inició el trabajo con un estudio preliminar sobre la planificación y diseño de los mismos uno por uno. En el caso de microondas (MW) se realizó el análisis del operador que tiene una adecuada infraestructura para concentrar los cuatro enlaces propuestos y por información obtenida del tipo y marca de equipamiento que utiliza el operador Claro se consideraran las características eléctricas y mecánicas principalmente del equipo para los

cálculos. Y para UMTS y LTE también se obtuvo información de las características del equipamiento que hace uso el operador Claro y se especificarán las estimaciones y consideraciones de la demanda de tráfico de voz y datos de la red celular en dicho distrito y el pronóstico de demanda a largo plazo.

En seguida, se realizará un análisis de información para identificar las limitaciones de la infraestructura existente. En base a ello, se realizarán procesos de dimensionamiento teórico cuidando la visibilidad sin afectación de la línea de vista caso de MW y acceso peatonal o vehicular al punto de ubicación de cada sitio y referente a la red celular se analizarán la adecuada cobertura y mejor manejo de capacidad para cada zona del distrito y también se tendrá en cuenta la planificación de frecuencias.

En concreto, los siguientes puntos se incluirán en la metodología:

- Encuesta del sitio: Identificar y recopilar las necesidades actuales de los pobladores y monitoreo de cobertura de telefonía móvil y calidad de los servicios de voz, datos y multimedia, además de los problemas existentes en el servicio de red.
- Análisis poblacional: Se analizará la cantidad de población que requiere los servicios de telefonía móvil y en base a una proyección en cinco años se estimará la cantidad de nodos necesarios.
- Diseño de sistemas: incluye estudiar problemas de red y establecer el flujo del sistema. Analizando las técnicas de modelado matemático y diseñando cada sistema propuesto para posterior simulación y de esa forma validar lo diseñado.
- Simulación: consiste en implementar el flujo del sistema utilizando los software de simulación Pathloss y Atoll.

- Análisis e interpretación de los resultados: implica la conclusión de escenarios de diseño y de simulación y viabilidad de implementación de MW y redes de acceso a posterior. Además dar un balance del cumplimiento de los objetivos del presente trabajo.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 Conceptos generales

2.1.1 Sistema de comunicación

Un sistema de comunicación tiene como propósito transportar la información de una ubicación a otro o dicho de otra forma desde el transmisor o fuente al receptor o destino. El diagrama esquemático clásico de Shannon de un sistema de comunicación habitual se aprecia a continuación.

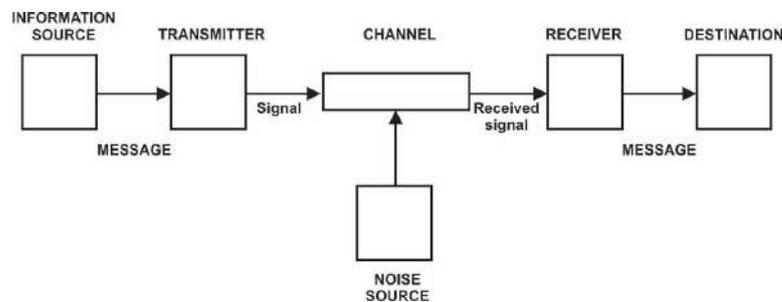


Figura 2.1: Bloques de un sistema de comunicación [1].

2.1.2 Sistemas de comunicación inalámbrica

Los sistemas inalámbricos de comunicaciones han venido haciéndose más presentes en la vida cotidiana de la humanidad, prestando el servicio de acceso a la información y por ello en la parte técnica, la comprensión de la propagación de radiofrecuencia (RF) para el propósito de la planificación de RF se vuelve cada vez más importante.

2.1.3 Las ondas electromagnéticas

Los campos electromagnéticos varían en el espacio y en el tiempo donde el campo eléctrico es transversal al magnético, transportan energía a la velocidad de la luz. Se usa notaciones vectoriales para su representación matemática. Las ecuaciones 2.1 y 2.2 para campos eléctrico y magnético, lejos de la fuente y para el caso monocromático [2] son:

$$\nabla^2 \vec{E} + k_0^2 \vec{E} = 0 \tag{2.1}$$

$$\nabla^2 \vec{H} + k_0^2 \vec{H} = 0 \tag{2.2}$$

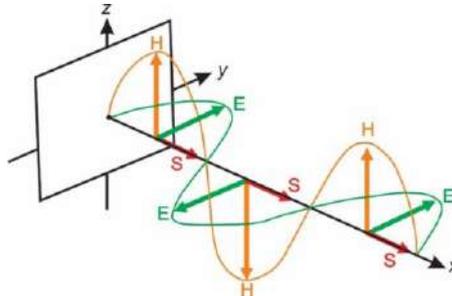


Figura 2.2: Frente de onda EM [2].

En el estudio de ondas electromagnéticas es imprescindible conocer las características elementales los que le dan forma y éstas son: Longitud de onda, amplitud, frecuencia y periodo.

2.1.4 El espectro electromagnético

Es una distribución de frecuencias en un rango, desde las frecuencias muy bajas (subsónica) hasta extremadamente elevadas (rayos cósmicos). Cada frecuencia tiene una propiedad singular que la hace distinto de las otras bandas [3].

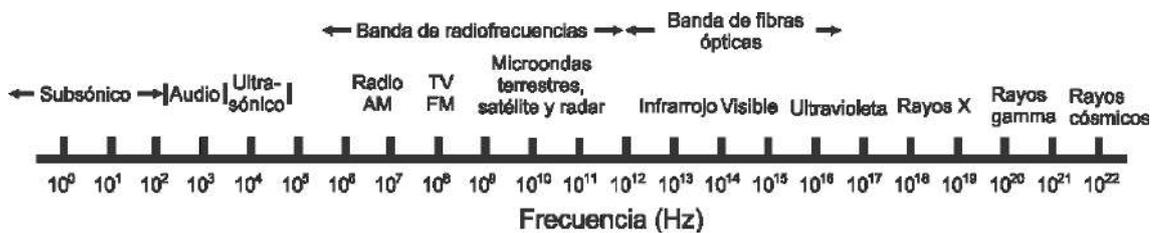


Figura 2.3: Espectro electromagnético de frecuencias [4].

2.1.5 El espectro radioeléctrico

Referencia al canal de frecuencias, por el cual se transmite y recibe la información de cualquier índole, por el espacio libre utilizando diversas tecnologías. El hardware

desarrollado a la actualidad, para los enlaces de radio comerciales cubre el espectro de frecuencias entre 300 MHz a 90 GHz aproximadamente. Los arreglos de RF están cubiertos por la ITU [2].

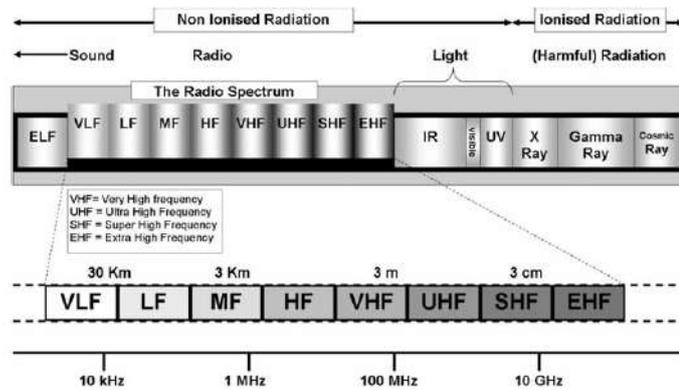


Figura 2.4: Espectro electromagnético y radioeléctrico [2].

2.1.6 Propiedades de las ondas electromagnéticas

Absorción atmosférica

La propagación del frente de onda en la atmosfera terrestre puede ser perturbada por el comportamiento del espacio libre, los principales elementos que absorben la energía electromagnética son el oxígeno y el vapor de agua. El fenómeno de la resonancia de oxígeno se produce a aproximadamente 0.5 cm (60 GHz) y la resonancia de vapor de agua se produce a 1.3 cm (23 GHz). Para frecuencias por debajo de 5 GHz, el efecto es insignificante. La atenuación del trayecto es la adición de atenuaciones debida a los gases atmosféricos y la lluvia.

Refracción

Es el cambio de orientación que la onda electromagnética experimenta cuando el rayo pasa de un medio a otro en forma oblicua, con diferentes velocidades de propagación, dependiendo de la densidad del medio.

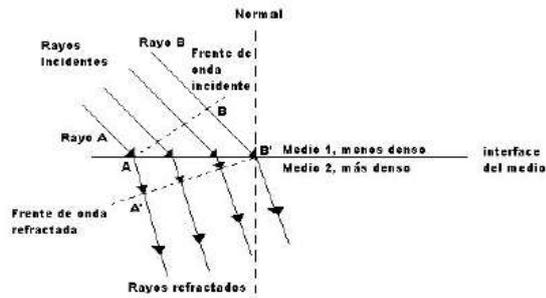


Figura 2.5: Refracción en la frontera de dos medios [3].

Reflexión

Es la colisión que sufre una onda incidente con un obstáculo de dos medios y una parte o todo de la onda incidente no entra al Medio 2. Las ondas que no logran entrar se reflejan. Debido a que la onda reflejada permanece en el Medio 1 la velocidad de esta es la misma. En cuanto a la intensidad del haz reflejado es menor que la incidente.

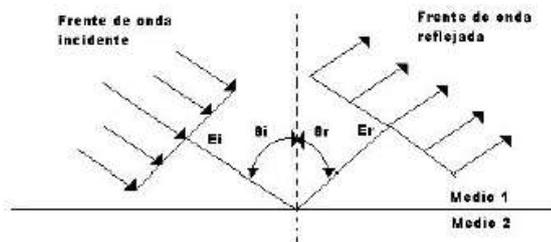


Figura 2.6: Reflexión en una frontera plana de dos medios [3].

Difracción

Es definida como el reparto de energía dentro de un frente de onda cuando transita cerca de un extremo de un objeto obscuro. Esta manifestación admite que las ondas de luz o de radio se irradian a la vuelta de las aristas como el de las edificaciones [3]. El desvanecimiento por difracción y las zonas de Fresnel, se refiere a ciertos perfiles de superficie terrestre y dependiendo de la altura de las dos antenas, podría implicar en una pérdida de visibilidad y una pérdida por difracción [2]. Para asegurar que la pérdida por difracción, generada por la pérdida de línea de vista sea admisible de baja magnitud bajo las variaciones de k (factor k está ligada al gradiente del índice de refracción) atmosféricas posibles, es esencial que se dibuje un perfil de la trayectoria que muestre las alturas de la antena y del terreno ajustadas para considerar la variación del factor k [2]. Se muestra los valores de k .

<i>k</i>-factor	Radio Refractivity Gradient <i>G</i>
$k = 1$	$G = 0$
$k = 4/3$	$G = -39$
$k = \infty$ (infinity)	$G = -157$
$k < 1$	$G > 0$

Figura 2.7: Comparación de factor-k y gradiente de refractividad [2].

La zona de Fresnel es el volumen del espacio entre el transmisor y receptor, está en función de la frecuencia y las distancias entre ellos, se sabe que la velocidad de la luz es $c=3 \times 10^8$ m/s, $\lambda = c / f$, d_1 y d_2 en km y f en GHz, se tiene:

$$F_1 = 17.3 \sqrt{\frac{(d_1 d_2)}{f(d_1 + d_2)}} \text{ m} \quad (2.3)$$

Para la subsecuente zona de Fresnel se tiene la siguiente ecuación.

$$F_n = F_1 \sqrt{n} \quad (2.4)$$

La línea de vista es la trayectoria dada por las dos antenas que poseen comunicación, en un espacio libre sin obstrucciones, reflexiones, refracciones y difracciones en el cual siquiera se está propagando libremente el 60 % de la zona de Fresnel. Como regla general, la obstrucción máxima permitida es del 40 %, pero la obstrucción recomendada es del 20 % o menos.

Interferencia

La interferencia de ondas es otra piedra angular de la óptica de ondas. Las ondas electromagnéticas son ondas armónicas con oscilación periódica a lo largo de un rayo. Las oscilaciones de dos ondas en un punto dado se superponen o se suman. Se producirá una interferencia si en un punto dado hay dos ondas coherentes (de la misma longitud de onda) con la misma o comparable amplitud A y un cambio de fase constante durante un largo tiempo. Se dan los siguientes casos:

- Si las ondas difieren en fase en $2m\pi$, entonces están en fase y la oscilación resultante tiene una amplitud de $2A$.
- Si la diferencia de fase es $(2m+1)\pi$, entonces están en antifase y la amplitud resultante es cero.
- En general, la amplitud se encuentra entre estos dos casos extremos.

El Reglamento de Radiocomunicaciones de la ITU define la interferencia como: "El efecto de la energía no deseada debido a emisiones, radiaciones o inducciones, manifestado por cualquier degradación del rendimiento, mala interpretación o pérdida de información, que podría extraerse en ausencia de dicha energía no deseada".

En áreas con despliegue denso de sistemas de radio pueden ocurrir interferencias inesperadas, si ocurre esto puede verse afectado la ruta significativamente. Una prueba común utilizada durante la fase de puesta en servicio de un enlace de radio de microondas es del margen de desvanecimiento.

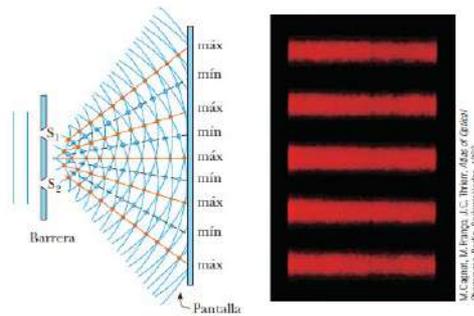


Figura 2.8: Esquemático de experimento de doble ranura de Young y amplificación del patrón [5].

Polarización

Una onda EM puede tener polarización lineal, circular y elíptica. La polarización de la onda está determinada con referencia al plano de oscilación del vector campo eléctrico. Cuando en este plano, el vector del campo eléctrico oscila verticalmente se dice que está polarizado verticalmente y cuando la oscilación es en el plano horizontal se dice que la polarización es horizontal. La Figura 2.9 ilustra dichas polarizaciones de onda [2].

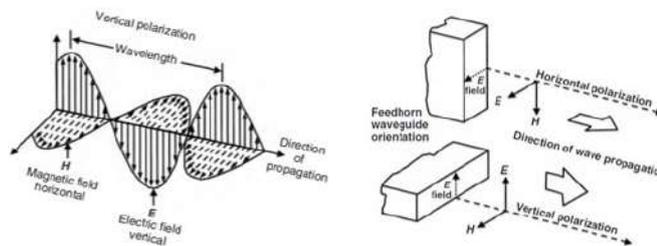


Figura 2.9: Polarización de una onda radio [6].

2.1.7 Factores que afectan en la radiación electromagnética

Atenuación

Este fenómeno se describe por la ley del cuadrado inverso, de como disminuye la densidad de potencia con la distancia, es decir los campos eléctrico y magnético constantes se disgregan cuando el frente de onda toma distancia del origen, haciendo que las ondas se separen mas, como resultado se tendrá menor cantidad de ondas por una unidad de área.

Desvanecimiento

Cuando las ondas EM penetran en cierto tipo de cuerpo se debilitan, la cuantía de potencia absorbida está en correspondencia a la frecuencia de la onda y del cuerpo, siendo los más perjudiciales los metales y el agua. Por otra parte las lluvias intensas, niebla, nubes bajas y vapores de agua son fenómenos que incrementan desvanecimiento en los enlaces.

Ruido

El ruido eléctrico es una señal de una energía determinada como otras, en este caso es una energía eléctrica no deseable que tiene lugar en la banda de paso de la señal de información, estas se suman a la señal que lleva información de un lugar a otro.

Multitrayecto

Se define como diferentes caminos los que toma la onda electromagnética para llegar de la fuente hasta el receptor, esto se debe que hay obstáculos que reflejan las ondas haciendo que la distancia sea mayor la que debe recorrer, por lo que son recibidas con diferentes retardos.

2.1.8 Antena

Es un dispositivo utilizado en la transmisión o recepción de ondas EM, otra definición, es un elemento resonante a una determinada frecuencia. Para emitir ondas al espacio, un módulo generador de energía eléctrica a cierta frecuencia es el encargado de suministrar la energía.

Patrón de radiación de la antena

Es una gráfica de la magnitud de la intensidad del campo en la zona lejana frente a la posición alrededor y a una distancia fija de la antena [7]

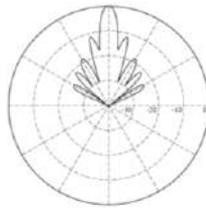


Figura 2.10: Patrón de radiación bidimensional de una antena tipo bocina [7].

La principal propiedad de una antena es la habilidad de enfocar en una determinada dirección la potencia y excluir otras direcciones. Así una antena con un ancho de haz principal amplio puede transmitir (o recibir) potencia en un amplio región angular, mientras una antena con una haz principal angosto lo hace a una pequeña región angular.

Directividad

Es la relación de intensidad máxima de radiación en el haz principal a la intensidad promedio de radiación sobre todo el espacio [7]. La antena que transmite igual en todas las direcciones es llamada antena isotrópica. Mayor ganancia es indicador que la antena es de elevada directividad.

Ganancia y eficiencia de antena

Las pérdidas resistivas debido a materiales metales y dieléctricos no perfectos, existe prácticamente en todas las antenas. La diferencia de potencia deliberada a la entrada de una antena y la potencia irradiada por la antena es la pérdida resultante. Se define la eficiencia de radiación de una antena como la razón de potencias de salida deseada y la alimentada a la entrada.

Eficiencia de la apertura y área efectiva

Algunas antenas pueden ser clasificadas como antenas de apertura, significa que la antena tiene bien definido el área de apertura del cual ocurre la radiación. Ejemplos podemos citar antenas reflectoras, de bocina, lentes, y de arreglo. Se puede demostrar que el área máxima de apertura efectiva de una antena está relacionada con la directividad de la antena como [7].

2.1.9 Modelos de propagación

Existen varios modelos de propagación, como modelos teóricos de propagación y modelos empíricos de propagación. Después de realizado una revisión de tales modelos de propagación, en el presente trabajo solo se describen los dos modelos que se harán uso.

Modelo de propagación del espacio libre (FSL)

La tierra y la atmosfera circundante afectan a las ondas de radio. Para enlaces punto a punto de microondas, un punto importante es el segmento inferior de la atmosfera no ionizada, menor a los 20 km aproximadamente, denominada tropósfera, a los efectos de la proyección del trayecto, es práctico definir una perspectiva de referencia adecuada para que las ondas de radio no se vean afectadas en su propagación por la superficie de la tierra. La

pérdida no afectada por la tierra entre dos antenas es llamada Atenuación del Trayecto del Espacio Libre (FSPL, Free Space Path Loss).

Consideremos una fuente puntual de potencia P_t . Si uno imagina que este está encerrado por una esfera de radio d , la relación de potencias entre las antenas de transmisión y recepción P_r al punto d es expresada como [2] (ecuación modificada de Friis):

$$\frac{P_t}{P_r} = \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \quad (2.5)$$

Donde $\lambda = c / f$, en una situación ideal si se usan dos radiadores isotrópicos como antenas de transmisión y recepción, si $c=3 \times 10^8$ m/s, d en km y f en GHz, entonces la FSLP entre las dos antenas se puede expresar como:

$$FSPL(dB) = 10 \left[\log \left(\frac{4\pi}{c} \right)^2 + \log (df)^2 \right] = 92.44 + 20 \log d + 20 \log f \quad (2.6)$$

Modelo de propagación Okumura-Hata

El modelo de Okumura-Hata se utiliza ampliamente para el cómputo de cobertura en la proyección y/o planificación de redes de macrocélulas. Sobre la base de las mediciones realizadas por Y. Okumura en Tokio a frecuencias de hasta 1920 MHz, estas mediciones han sido ajustadas a un modelo matemático por M. Hata. En el modelo original, la pérdida de trayectoria se determinó por cálculo del factor o coeficiente de corrección de atenuación empírico para ambientes urbanos en función de la distancia entre la EBC y el UE (User Equipment) y la frecuencia. Este factor se sumó a la pérdida de espacio libre. El resultado fue corregido por los factores de altura de antena de la EBC y altura de antena del UE. Se

proporcionaron factores de corrección adicionales para la orientación de la calle, las áreas suburbanas y abiertas y para el terreno irregular [8].

Según varias fuentes de información, las limitaciones son respecto al rango de frecuencias de la portadora que son desde 150 MHz a 1500 MHz, el rango de distancias de la estación base entre 1 km a 20 km, la altura de la antena de la EBC entre 30 m a 200 m y la altura de la antena del equipo móvil entre 1 m a 10 m. Hata creó modelos matemáticos de pérdida de trayectoria para casos como urbano, suburbano y áreas abiertas [8]. Básicamente este modelo se hará uso para redes móviles en el presente trabajo.

Pérdida de trayectoria para ambiente urbano en dB.

$$L_p(\text{Urban}) = 69.55 + 26.16 \log(f) - 13.82 \log(h_b) - a(h_m) + [44.9 - 6.55 \log(h_b)] \log d \quad (2.7)$$

Donde:

f : Frecuencia de la portadora en MHz

h_b : Distancia desde piso a la antena del Nodo

h_m : Distancia desde piso a la antena del UE

$a(h_m)$: Correlación de la antena móvil

d : Longitud del transmisor al receptor en km

Para calcular la correlación de altura para una ciudad media se tiene la ecuación 2.8.

$$a(h_m) = [1.1 \log(f) - 0.7] h_m - [1.56 \log(f) - 0.8] \quad (2.8)$$

Pérdida de trayectoria para ambiente suburbano en dB.

$$L_p(\text{Suburban}) = L_p(\text{Urban}) - 2 \left[\log \left(\frac{f}{28} \right) \right]^2 - 5.4 \quad (2.9)$$

Pérdida de trayectoria para un ambiente abierto en dB.

$$L_p(\text{Open country}) = L_p(\text{Urban}) - 4.78[\log(f)]^2 + 18.33\log(f) - 40.94 \quad (2.10)$$

2.1.10 Ancho de banda y capacidad de información de un sistema de transmisión

Ancho de banda

En un sistema de transmisión real, hay dos entes limitantes principales que afectan el adecuado funcionamiento, estos el ancho de banda y el ruido. El ancho de banda de una señal de información o canal de transmisión se determina como la resta entre las frecuencias máxima y mínima contenidas en la misma. En consecuencia como una norma general, es que a un canal de transmisión no le es posible propagar una señal de mayor frecuencia que la del canal [4]. El ancho de banda de RF real está determinado por la capacidad del enlace y el esquema de modulación utilizado. El espaciado T-R está establecido por los requisitos prácticos de filtrado para lograr un aislamiento adecuado. A altas frecuencias, como 23 GHz, esta separación puede superar 1 GHz [2].

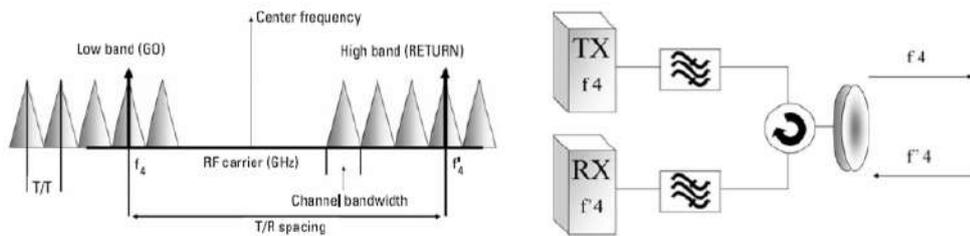


Figura 2.11: Plan de canales dúplex de RF y duplexor por división de frecuencia [2].

En redes móviles el ancho de banda tiene un impacto significativo en los rendimientos máximo, promedio y en el borde de celda. Por lo tanto, el factor de ancho de banda debe tenerse en cuenta al determinar los objetivos apropiados para la optimización de la red.

Capacidad de una canal de comunicación

La capacidad de un canal debe describirse en términos de su capacidad para transmitir lo que se produce a partir de una fuente de información dada. La capacidad no mide el número de símbolos transmitidos por segundo, sino la cantidad de información transmitida por segundo, utilizando bits por segundo (bps) como unidad [1].

2.2 Descripción general de radio de microondas digital

2.2.1 Comunicaciones por microondas terrestres

Actualmente los sistemas de microondas son de tecnología digital, estos sistemas para transmitir información requieren línea de vista libre de obstáculos en la superficie terrestre, con antenas orientadas adecuadamente y cumplir ciertas características importantes. El despliegue de microondas viene desde la segunda generación de tecnología celular hasta la cuarta generación y probablemente seguirá para las futuras generaciones.

Transmisores y receptores de radio

Los transmisores y receptores de radio de microondas se emparejan para transmitir información de un lugar a otro. Están sujetos a muchos impedimentos potenciales de este proceso, el grado de deterioro es una función del entorno externo y las opciones de diseño interno. El rendimiento general estará fundamentalmente limitado por la Tasa de Error de Bit (BER, Bit Error Rate) de radio para niveles de señal recibida (RSL, Received Signal Level) muy bajos (debido al ruido del receptor) y distorsión de sobrecarga del receptor [6].

Radio digital QAM

La arquitectura de radio QAM (Quadrature Amplitude Modulation) está bastante estandarizada. Los datos binarios en serie ingresan al transmisor, es codificada por un

codificador de sincronización automática para eliminar patrones periódicos de los datos entrantes. Luego, los datos se convierten de serie a datos paralelos. El modulador utiliza los datos paralelos para crear estados de amplitud I y Q. Estas señales I y Q se convierten a la frecuencia de transmisión deseada y se suman para formar un estado de constelación. En la Figura 2.12 se muestran las constelaciones hasta 64 QAM.

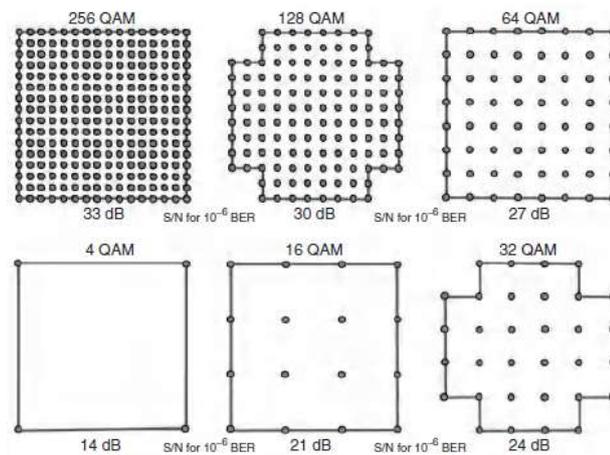


Figura 2.12: Constelaciones típicas de QAM [6].

Configuraciones de radio

Las radios de microondas punto a punto fijas comerciales tienen dos configuraciones básicas de hardware: radio integrada y radio de paquete dividido (es decir funciones de banda base IDU (Indoor Unit-IDU) y funciones de RF (Outdoor Unit-ODU) generalmente ubicada junto a la antena).

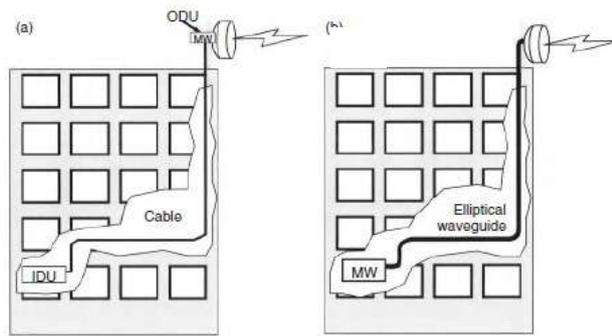


Figura 2.13: Configuraciones de radio [6].

Latencia de transmisión

Algunas aplicaciones de radio son muy sensibles al retardo de transmisión. En general, cuanto mayor sea la velocidad de transmisión de la radio, menor será la latencia. Las siguientes son algunas estimaciones típicas de la latencia de transmisión de un solo salto (transmisor a receptor):

- Aire (radio) 5.4 $\mu\text{s/milla}$ (1 ms/190 millas)
- Cable de fibra óptica (óptico) 8.3 $\mu\text{s/milla}$ (1 ms/120 millas)

Control automático de potencia del transmisor

Del Automatic Transmitter Power Control (ATPC) es una función de un enlace de radio de microondas digital que ajusta la potencia de salida del transmisor en función del nivel variable de la señal en el receptor. ATPC permite que el transmisor funcione a un nivel de potencia inferior al máximo la mayor parte del tiempo. Cuando se produce el desvanecimiento de la señal recibida, la potencia de transmisión aumenta según sea necesario hasta alcanzar el nivel máximo de potencia [6].

Modulación adaptativa

Es bien conocida la necesidad de incrementar el ancho de banda fijo de radio de microondas punto a punto. Para muchos trayectos de radio, existe un margen de desvanecimiento adecuado para la transmisión de radio que utiliza formatos de modulación relativamente altos durante la mayor parte del tiempo. Ante la prioridad del tráfico IP es necesario la reducción de la modulación por períodos cortos ante situaciones climáticas adversas principalmente, de esa forma mantener la calidad del servicio (Q&S) [6].

2.3 Telefonía móvil y su evolución

La telefonía móvil está referido a la transmisión y recepción de información por un sistema estacionario y un sistema móvil, el cual representa el usuario con un aparato móvil y este puede o no estar en movimiento.

La evolución de telefonía móvil desde su aparición en la década de los 70, ha venido desarrollándose de forma gradual y en los últimos años de forma acelerada y es así que hasta el día de hoy contamos con los servicios de 2G, 3G, 4G y está entrando en despliegue la tecnología 5G en algunos lugares de nuestro país. En nuestra región al mes de junio de 2023 aún no se ha tenido despliegue del 5G en ninguna de las operadoras existentes, según se sabe por información del personal técnico de los diferentes operadores. En la Figura 2.14 se ilustra la evolución de telefonía móvil con sus objetivos de rendimiento.

Generation	Data rate/Throughput*	Spectrum flexibility/Channel bandwidth	Spectral efficiency	Latency
1G	9.6kbps	Analog Up to 30KHz (radio channel)	UL: Analog frequency channel (BS) DL: Analog frequency channel (MS)	>1000ms
2G	64kbps	200kHz 1.25MHz (CDMA)	-	300-1000ms**
2.5G	384kbps	200kHz	-	600-750ms**
2.75G (2.9G)	2Mbps	200kHz	-	600-750ms**
3G	2.4Mbps	5MHz 1.25MHz (CDMA)	-	100-500ms** Typical 120ms
3.5G	DL: 14.4Mbps UL: 5.76Mbps	5MHz 1.25MHz (EV-DO)	-	150-400ms**
3.75G	DL: 28.8-168Mbps UL: 11.5-22Mbps	1.4MHz - 20MHz	-	100-200ms** <100ms
3.9G	DL: 100-300Mbps UL: 50-75Mbps	Up to 20MHz (LTE)	DL: 15bps/Hz UL: 3.75bps/Hz	UP: ~10ms (<10ms) CP: <100ms 40-50ms**
4G, 4.5G (pre-5G)	DL: 1-3Gbps UL: 0.5-1.5Gbps	Up to 100MHz (LTE-A)	DL: ~30bps/Hz UL: ~15bps/Hz	CP: <100ms, typically 45ms (actual) UP: ~5ms (sub 10ms) 40-50ms**
5G	1Tbps (over 100m) DL: ≥20Gbps UL: ≥10Gbps	Up to 100GHz	DL: 30bps/Hz UL: 15bps/Hz	≤1ms

*Values denote peak or theoretical maximum potentially achievable unless stated otherwise

**Typical/actual values for deployed networks

Figura 2.14: 1G a 5G Objetivos de rendimiento [9].

En la Figura 2.15 se muestra las propiedades más importantes de cada una de las generaciones de telefonía móvil.

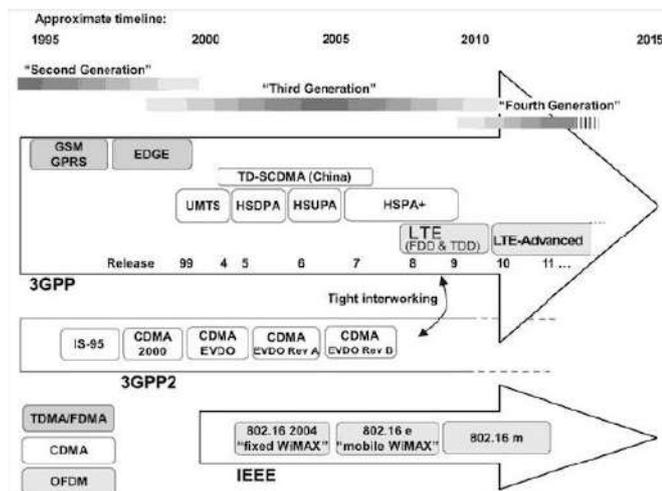


Figura 2.15: Estándares de sistemas de comunicaciones móviles [10].

En la siguiente figura se muestra con detalle cada generación, la línea de tiempo, los estándares, familia de protocolos, esquemas de modulación y otros datos.

Generation	Development period	Standard/Technology	Protocol family/Release	Modulation scheme/ MIMO techniques	Protocol RAT	Forward Error Correction (FEC)
1G	1980s	AMPS NMT TACS/ITACS PSTN	IS-95 TIA-EIA 95 CDMAOne	FM FSK	FDMA	-
2G	1992-1997	GSM	CDMAOne	GSMK	FDMA TDMA CDMA	-
2.5G	1998	GPRS	3GPP Release 97	GSMK	TDMA CDMA	-
2.75G (2.9G)	1999	EDGE EGPRS ECSD	3GPP Release 98	8PSK	TDMA CDMA	-
3G	2000-2001	UMTS	CDMA2000 1T-2000 3GPP Release 99 (R99) 3GPP Release 4	QPSK	TDMA CDMA WCDMA EV-DO Rev. A EV-DO Rev. B TD-SCDMA	Turbo codes
3.5G	2002-2007	HSPA: HSDPA HSUPA	3GPP Release 5 3GPP Release 6	DL: 16QAM or QPSK (HSDPA)	EV-DO	Turbo codes
3.75G	2007-2008	HSPA+	3GPP Release 7	DL: 64QAM or 2x2 MIMO Stream UL: 16QAM	EV-DO	Concatenated codes
3.9G	2009-2010	LTE	3GPP Release 8 3GPP Release 9	DL: 4x4 MIMO UL: 64QAM SISO	DL: OFDMA UL: SC-FDMA	Concatenated codes
4G	2011-2015	LTE-A	3GPP Release 10 1T-Advanced 3GPP Release 11	DL: MU-MIMO 8x8 UL: SU-MIMO (4x4) TDD FDD	DL: OFDMA UL: SC-FDMA	Turbo codes
4.5G (Pre 5G)	2015-2016	LTE-A Evolution LTE-M LTE-U LTE-Pro (LTE-LAA); LTE-LWA and LTE MultiFire	3GPP Release 12 3GPP Release 13 eMTC-A	eMIMO FD-MIMO Elevation beam forming eCoMP UL: SU/MU MIMO DL: 3D-MIMO FDD-TDD CA 256QAM	DL: OFDMA UL: SC-FDMA	Turbo codes
5G	2016-date 2020*	NR?	3GPP Release 14 3GPP Release 15 3GPP Release 16 ITU/1T-2020	FQAM FBMC Masive MIMO Advanced MIMO	BDMA Multi-RAT NOMA	Low-density parity check codes

Figura 2.16: 1G a 5G - Línea de tiempo, estándares, RATs y otros [9].

2.3.1 Bandas de operación de telefonía móvil en el país

Las bandas de frecuencia de telefonía móvil pública para distintos operadores, han sido asignadas bajo concesión por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). Se aprecia en la siguiente imagen.

Operador	2G	3G	4G	5G
Claro	1900 (B2)	850 (B5)	1900 (B2) 700 (B28) 2600 (B7) <small>oLo</small>	3500 proyectado
Movistar	850 (B5)	1900 (B2) 850 (B5)	AWS.1 (B4) 700 (B28)	3500 proyectado
Entel	1900 (B2)	1900 (B2)	AWS.1 (B4) 700 (B28) 2300 (B40) Internet hogar	3500 proyectado
Bitel	--	1900 (B2) 900 (B8)	900 (B8) 2600 (B7)	--

Figura 2.17: Asignación de bandas de frecuencia a operadores [11].

Características técnicas del espectro radioeléctrico

La utilización de los segmentos del espectro radioeléctrico es dependiente de la tecnología que se pretende implementar sobre el mismo. Por lo tanto, cada tecnología requiere una determinada franja del espectro para su funcionamiento, es así que para el caso de las tecnologías como 4G y 5G se tiene mayor flexibilidad en cuanto se refiere al uso el espectro radioeléctrico. En la Tabla 2.1 y Figura 2.18 se muestran las características y el ancho de banda que demanda cada tecnología. [12].

Tecnología	Banda	UL (MHz)	DL (MHz)	Ancho de banda (MHz)
3.5G	850 MHz, UTRA Band B5	824-849	869-894	5
3.9G	700 MHz, E-UTRA Band B28	703-748	758-803	3, 5, 10, 15 y 20

Tabla 2.1: Rango de frecuencias y ancho de banda.

Tecnología	Ancho de banda por portadora
2G	<ul style="list-style-type: none"> • Una portadora: 200+200 kHz. • Al ser una tecnología que no tiene reuso unitario de frecuencias, en un despliegue real se requiere una cantidad mayor de espectro (en el orden de 1 a 5 MHz).
3G	<ul style="list-style-type: none"> • Una portadora: 5+5 MHz. • Es posible la existencia de despliegues con dos portadoras o más. Lo cual podría sumar hasta 15+15 MHz de espectro, en caso se usen 3 portadoras.
4G	<ul style="list-style-type: none"> • En su versión básica, se pueden hacer despliegues con 5+5 MHz, 10+10 MHz, 15+15 MHz y 20+20 MHz de ancho de banda. • Usando la técnica de agregación de portadoras, por medio de la tecnología LTE-Advanced o superior, se puede tener despliegues que usen 100+100 MHz de espectro o inclusive más.
5G	<ul style="list-style-type: none"> • De acuerdo con el grupo 3GPP, se pueden hacer despliegues desde 5 MHz hasta 400 MHz. • Sin embargo, para bandas del Rango 1 (FR1) los despliegues son de hasta máximo 100 MHz. • Para el caso del Rango 2 (FR2) se puede tener despliegues de hasta 400 MHz.

Figura 2.18: Requerimientos de espectro por tecnología [12].

BTS

Del Base Transceiver Stations (BTS), el sistema transceptor base es responsable principalmente de recibir y transmitir señales de radio hacia y desde la unidad móvil. Es responsable de transmitir diversa información de señalización a la unidad móvil. Cualquier comunicación realizada entre MS (Mobile Service) y BSC se realiza a través de BTS. BTS también envía regularmente señales de corrección de tiempo y frecuencia tanto a la unidad móvil como al BSC para asegurarse de que todos los relojes estén correctamente sincronizados para evitar la pérdida de paquetes o el retraso de tiempo.

Posee la tarjeta de medios que es responsable de los canales de tráfico y también BTS tiene su código de estación base única que utilizan los usuarios móviles para detectar el servicio BTS. Por lo general, una BTS tiene antenas para radiación, transceptores, equipos para encriptación y varios otros equipos de interfaz para la comunicación entre BSC y MS

junto con equipos para control de tráfico. Para generalizarlo el BTS está hecho de 2 componentes: unidad de banda base y una unidad de recursos de radio [13].

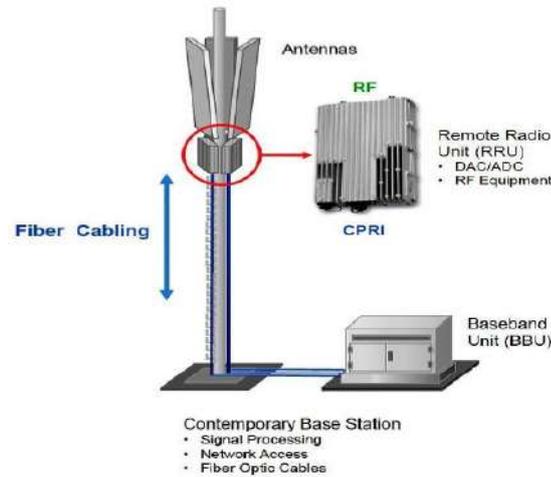


Figura 2.19: Arquitectura de estación base contemporánea [13].

En los siguientes párrafos se expone con más amplitud de las generaciones 3G y 4G.

2.3.2 Redes móviles de tercera generación

En las siguientes líneas se aborda temas sobre 3G y la propia evolución para pasar a 4G.

Evolución y características

La tercera generación aparece de la necesidad de tener redes celulares de que permitan acceso a internet con velocidad elevada en transferencia de datos. Está basado en estándar UMTS sucesora de GSM, y bajo las normas de 3GPP (Third Generation Partnership Project). La mejora del UMTS se introdujo en el *Release 5*, a través de la adición del HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*) y en el *Release 6* con el HSUPA (*High Speed Uplink Packet Access*). HSPA introduce la mejora en el tiempo de servicio de entrega de paquetes con mayores velocidades y minúsculas demoras, del mismo modo, mantienen la apropiada

calidad en la cobertura y capacidad del sistema. Todo ello HSPA alcanza con la incorporación de nuevas técnicas de modulación, control acelerado de potencia, *fast scheduling* y dispositivos de retransmisión compuesta HARQ con redundancia incremental. De forma que se pueden obtener velocidades de 14.4 Mbps en DL y 5.76 Mbps en UL [10].

En la Figura 2.20 se nombran los *Releases* de la evolución de la tecnología UMTS.

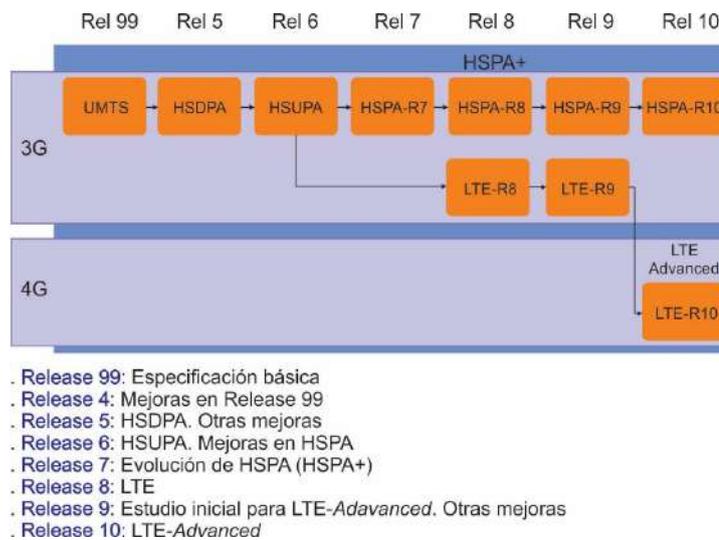


Figura 2.20: Evolución de UMTS [10].

Arquitectura

La arquitectura básica de la red UTRAN se muestra en la Figura 2.21, imagen que se encuentra líneas abajo, consta de tres elementos:

CN (Core Network), es el encargado del procesamiento y gestión central en el sistema, de movilidad, es el ente global que se vincula a las redes externas, como a la red de telefonía pública y a otras redes celulares. CN provee funciones de transferencia de información de tráfico y señalización incluyendo la conmutación, el enrutamiento que son prestaciones de la lógica y el control de los servicios ofrecidos en función a las interfaces determinadas con exactitud.

UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network), también conocido con otro nombre RNS (Radio Network Subsystem) provee y maneja la interfaz aérea de la red global, está compuesto de una gama de subsistemas de redes de radio y modo de comunicación de la red. Entre las funciones de una RNS tiene la responsabilidad administrar los recursos de la transmisión/recepción en un grupo de celdas, está formado por las RNC (Radio Network Controller) y los NodeB, es el encargado de control de los recursos lógicos de uno o varios NodeB y éstas se corresponden con las estaciones base. Los NodeB convierten el flujo de data entre las interfaces Uu e IuB, y la interfaz IuR aprueba el traspaso suave entre RNC de diferentes vendors y por lo tanto complementa la interfaz Iu abierta [14].

UE es el terminal móvil o puede ser cualquier terminal que tenga la capacidad de hacer uso de una USIM (UMTS Subscriber Identity Module).

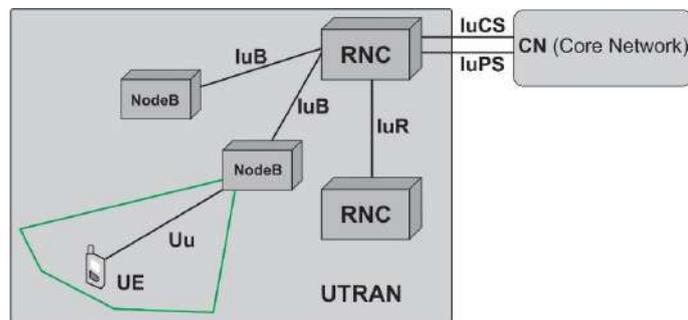


Figura 2.21: Arquitectura red UTRAN [14].

Dentro del 3G hay dos estándares que asientan su funcionamiento en el tipo de duplexado FDD (Frequency Division Duplex) utiliza la técnica de acceso WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) y en TDD (Time División Duplex) la técnica de acceso el TD-SCDMA (Time Division - Synchronous Code Division Multiple Access).

FDD utiliza dos bandas de frecuencias separadas para DL y UL, cuyos canales son de 5 MHz y separadas por 109 MHz. La técnica de acceso WCDMA puede transmitir datos

simultáneamente utilizando la misma frecuencia, bajo las limitaciones del medio como por ejemplo el aire. Está basada en el protocolo de varias capas, cada uno con diferentes funciones y servicios, con interfaces de comunicación entre ellas y varios procedimientos para lograr la transferencia de datos y voz entre los MS/UE [14]. WCDMA, según 3GPP Release 99 utiliza modulación QPSK para la transmisión de enlace descendente. Además de QPSK, HSDPA también puede utilizar modulación 16 QAM para suministrar velocidades de datos más elevadas. Debido a que 16 QAM tiene el doble de capacidad de velocidad máxima que QPSK, hace un uso más eficaz del ancho de banda que QPSK [14].

TDD utiliza también 5 MHz de canales en los enlaces DL y UL, la técnica de acceso TD-SCDMA está fundamentado en la asistencia de servicios de voz (por conmutación de circuitos) y de datos (por conmutación de paquetes) con tasas de transmisión de hasta 2 Mbps. En TDD las señales de transmisión y recepción son enviadas en la misma frecuencia pero en diferentes intervalos de tiempo. Pero el WCDMA es la que predomina en el mercado del 3G.

Control de potencia

El control eficiente de la energía es muy trascendental para el rendimiento de la red WCDMA. Es necesario minimizar la interferencia en el sistema y, dada la naturaleza del DS-SS-CDMA (todas las señales se transmiten utilizando la misma frecuencia al mismo tiempo), un apropiado algoritmo de control de potencia es esencial. El control de potencia es imprescindible tanto en DL y UL, aunque por diferentes motivos. En la dirección ascendente, todas las señales deberían llegar al receptor de la estación base con la misma potencia de señal.

Espectro ensanchado

El acceso múltiple por división de código de banda ancha, permite que muchos suscriptores utilicen la misma frecuencia al mismo tiempo. Para distinguir entre los usuarios, la información se somete a un proceso conocido como difusión, es decir, la información se multiplica por un código de canalización y codificación, por lo que se hace referencia a WCDMA como una tecnología de espectro ensanchado. La flexibilidad admitida por WCDMA se logra con el uso de códigos de factor de dispersión variable ortogonal (OVSF) para la canalización de diferentes usuarios [15].

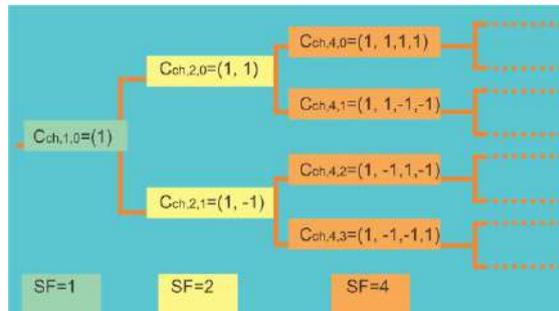


Figura 2.22: Estructura del código de canalización [16].

La tasa con la cual los datos se difunden se llama tasa chip, el cual es 3.84 Megachips por segundo (Mcps) los cuales quepan en el canal de 5 MHz disponible en UMTS.

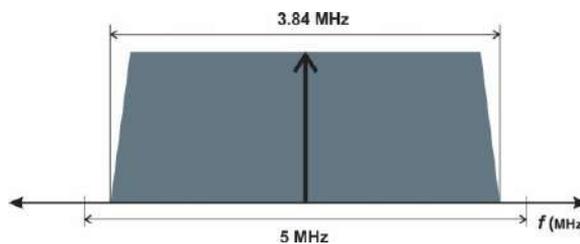


Figura 2.23: Portadora de WCDMA.

2.3.3 Redes móviles de cuarta generación

El sistema LTE (Long Term Evolution) fue elaborado por la 3GPP con la noción ampliar, en gran medida, las capacidades que ofrecían las anteriores generaciones de comunicaciones móviles, aparece en el año 2007 con el propósito de mejorar las prestaciones del sistema previo (3G), con una arquitectura más simplificada; es denominada comercialmente sistema 4G.

Evolución y características del LTE

El sistema LTE introduce varias modificaciones, la más innovadora quizá sea de ofrecer los servicios completos del sistema, incluida el soporte de voz sobre IP, omitiendo la conmutación de circuitos para saltar a una nueva técnica basado completamente en conmutación de paquetes, algunas características son, las velocidades alcanzadas de 100 Mbps en DL y 50 Mbps en UL, modulación hasta de 64 QAM, canalizaciones de 1.4, 3, 5, 10, 15 y 20 MHz. En tanto que LTE_A (LTE Advanced) alcanza velocidades mayores a 100 Mbps para altas movilidades y 1 Gbps para ambientes en alguna medida fijos, canalizaciones flexibles tal como ya se a mencionado, menores tiempos de latencia y entre otros [17]. La primera versión de LTE se dio en la *Release 8* (LTE-R) como aparece en la Figura 2.20, en donde se utilizan las ventajas y desarrollos del HSPA y HSPA+ con posibilidades de añadir tecnologías sin restricciones de compatibilidad. Pero LTE debe cubrir nuevas demandas como la relación de flexibilidad del espectro puede operar en FDD y TDD. Por otra parte además de reunir las características del HSPA+ en LTE hay un aprovechamiento fenomenal de tecnología radio, es por tal motivo, la interfaz radioeléctrica está basada en OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) para DL y SC-FDMA (single Carrier –

Frequency Division Multiple Access) para UL. La segunda versión se tiene en el Release 9 y la Release 10 continuo con el avance trascendental del LTE-Advanced [14].

Arquitectura

Su diseño ha sido basado en tres puntos primordiales, reajuste de costes, baja latencia y el requisito de ser completamente de conmutación de paquetes. Para ello se formuló una distribución plana, con ausencia de jerarquía, con una mínima cantidad de eNBs e interfaces. En la Figura 2.24 se observa una arquitectura E-UTRAN (Evolved-UMTS Terrestrial Radio Access Network), con nuevo dominio de paquetes EPC (Evolved Packet Core) de la red troncal, y el vínculo de estas dos redes se denomina EPS (Evolved Packet System). La interconexión física de sistemas de E-UTRAN con la EPS es a través de tecnologías de red basadas en IP. A su vez la red física se usa para entrelazar los diversos mecanismos de la red LTE, denominado por lo común red de transporte, siendo esta una red IP estándar [10].

Una red de acceso se compone de un solo ente eNodeB (evolved NodeB) que viene a ser la estación base de E-UTRAN, el cual incorpora las funcionalidades de administración de recursos de radio, protocolos para efectuar el despacho de datos y examinar la operativa de la interfaz Uu. Para efectuar lo mencionado antes, los eNB deben estar interconectado a los UE por medio de la interfaz Uu en el que emplean los protocolos de AS (Access Stratum). Del mismo modo la interfaz X2 es la que conecta entre si los eNB y, los eNB se conectan a través de la interfaz S1 con la red troncal de EPC. Ésta interfaz se divide en S1-MME y la interfaz S1, el primero es para el plano de control y el segundo para el plano de usuario [10].

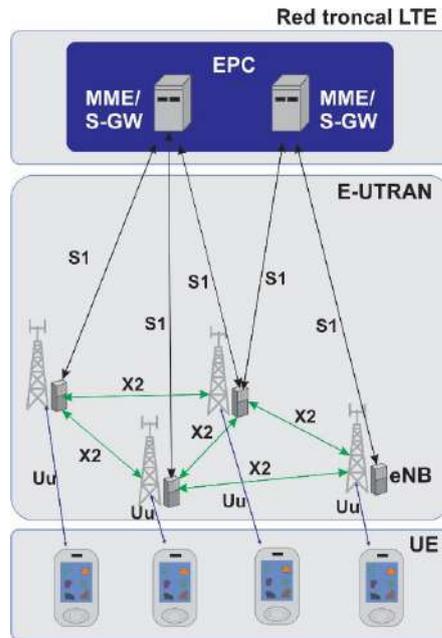


Figura 2.24: Arquitectura E-UTRAN. [10].

Técnicas de acceso múltiple

Una técnica de acceso múltiple admite a una cantidad determinada de suscriptores conectados a una misma red, transmitir y recibir información compartiendo su capacidad [10]. Se basa en la multiplexación de los usuarios y se da lugar en la capa física. Entre ellos son OFDMA y SC-FDMA.

OFDMA

Es la evolución de la técnica OFDM que sirve a varios usuarios de manera efectiva y eficiente, en el enlace descendente, cuando tienen acceso simultáneamente a los recursos de comunicación, como canales aéreos compartidos, para ello se divide el canal en un conjunto de subportadoras. En lugar de una asignación consecutiva de símbolos OFDM a múltiples consumidores, OFDMA asigna un conjunto único de subportadoras a cada usuario en función de su necesidad. Se ilustra en la Figura 2.25.

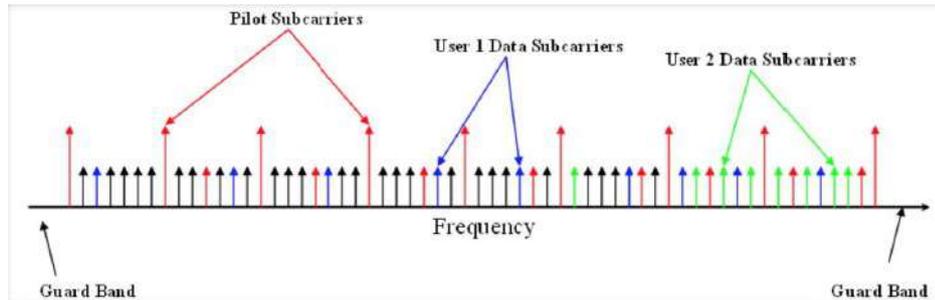


Figura 2.25: Espectro de la señal OFDMA [10].

SC-FDMA

SC-FDMA, que también se conoce como OFDMA precodificado linealmente (LP-OFDMA), esta técnica aprovecha la modulación de portadora única en la sección de transmisión y la ecualización en el dominio frecuencial de la sección de recepción. Se utiliza en el enlace ascendente en este caso. Tiene dos modos de mapeo de las subportadoras; localizado, el cual posibilita que los usuarios o suscriptores tengan subportadoras adyacentes, este es el modo de operación de LTE; el otro modo es el distribuido, y esto a su vez tiene dos formas de operación, una de ellas se llama interleaved FDMA (IFDMA), se distingue por tener subportadoras equiespaciadas unas de otras y la otra forma se llama FDMA distribuido puro, este tiene distribución desuniforme de las subportadoras en la banda libre [10].

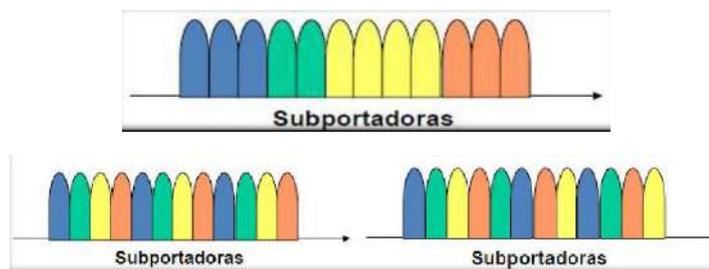


Figura 2.26: Modo localizado (parte superior) y modo distribuido (parte inferior) [10].

MIMO

En sistema LTE, consiste en la utilización de varias antenas para recibir como para transmitir las señales de RF con el propósito de lograr mayor rendimiento del sistema. Una transferencia de datos a tasas elevadas se divide en varias tramas más pequeñas y la separación de tramas de datos en el receptor es mediante algoritmos basados en estimaciones de todos los canales de transmisión-recepción. Además de aumentar significativamente la tasa de transferencia al tener más antenas, el rango de cobertura también crece debida a la capacidad de disponer de antenas con diversidad.

Interfaz radio

Capa física

La capa física de la interfaz radio del sistema LTE se basa en la utilización de técnicas de acceso múltiple OFDMA y SC-FDMA, en ambos casos, entre las subportadoras la separación es fija e igual a 15 kHz [10].

Canalización	1.4 MHz	3 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz.
Tamaño FFT	128	256	512	1024	1536	2048
Número de subportadoras disponibles	73	181	301	601	901	1201

Figura 2.27: Canalizacion del sistema LTE [10].

Los esquemas de modulación para DL son: QPSK, 16- QAM y 64-QAM y asimismo para UL son QPSK, 16-QAM, 64-QAM dependiendo de la característica del UE o terminal móvil.

Bloque de recursos físicos

Se denomina PRB (Physical Resource Block) a la unidad fundamental de información, la asignación de PRB la realiza el eNB a un terminal móvil en correspondencia a la demanda de tráfico y calidad de servicio. Un PRB en el dominio frecuencial tiene 180 kHz de banda, es igual a 12 subportadoras equidistantes entre sí a 15 kHz y en el dominio temporal se tiene una duración de 0.5 ms un slot de tiempo. Para una modulación de elevada eficiencia espectral, como el 64-QAM en donde se transmiten 6 bits/símbolo, en un PRB es posible enviar un total de 504 bits cada 0.5 ms, lo que permite una rapidez pico de transmisión de aproximadamente, $PRB=504 \text{ bits}/0.5 \text{ ms} \approx 1 \text{ Mb/s}$ [10].

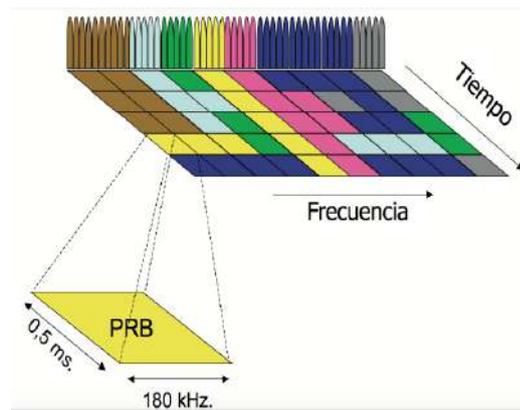


Figura 2.28: Numero de PRBs en función de la canalización [10].

Canalización	1,4 MHz	3 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz.
Número de PRB	6	15	25	50	75	100

Canalización	1,4 MHz	3 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz.
Velocidad de Pico Total (Mb/s)	≅ 6	≅ 15	≅ 25	≅ 50	≅ 75	≅ 100
Velocidad de pico bruta de usuario (Mb/s) (15% de los recursos destinados a control y señalización)	≅ 5,1	≅ 12,8	≅ 21	≅ 42,5	≅ 63,7	≅ 85

Figura 2.29: Concepto de radio bloque y pico de velocidades [10].

Canales físicos

En discrepancia a los sistemas anteriores, el estándar LTE no considera el uso de canales exclusivos sino compartidos. En otras palabras, se instituyen solo cuando un subscriptor debe recibir datos consignados a él. Además se requieren para permitir una transmisión eficaz de información los llamados canales físicos de control, los cuales son los encargados de llevar la respectiva señalización. Se detalla en la Figura 2.30.

Nombre Canal	Descripción
<i>Physical Downlink Shared Channel (PDSCH)</i>	Transmite información de usuario, de control tanto dedicada como común (p.e., aviso o <i>paging</i> , y de ciertos parámetros de radiodifusión)
<i>Physical Multicast Channel (PMCH)</i>	Se utiliza para transportar información MBMS destinada a los usuarios unicast en redes isofrecuencia (SFN)
<i>Physical Broadcast Channel (PBCH)</i>	Transporta la información de radiodifusión básica de la red, que permite la conexión inicial de un terminal móvil a la misma.
<i>Physical Downlink Control Channel (PDCCH)</i>	Canal de control genérico del enlace descendente. Informa sobre los recursos en el enlace descendente asignados al PDSCH.
<i>Physical Control Format Indicator Channel (PCFICH)</i>	Informa al terminal móvil sobre el número de símbolos (1,2 ó 3) utilizados para transmitir el PDCCH.
<i>Physical Hybrid ARQ Indicator Channel (PHICH)</i>	Transporta información de reconocimientos (ACK/NACK) correspondientes a las transmisiones del enlace ascendente.

Nombre Canal	Descripción
<i>Physical Uplink Shared Channel (PUSCH)</i>	Transmite información de usuario y de control dedicada procedente de capas superiores a la capa física.
<i>Physical Uplink Control Channel (PUCCH)</i>	Contiene información de control del enlace ascendente. En particular transmite: Peticiones de asignación de recursos (<i>Scheduling Request</i>); Reconocimientos (ACK/NACK) correspondientes al enlace descendente, información de la calidad del canal (<i>Channel Quality Indicator-CQI</i>).
<i>Physical Random Access Channel (PRACH)</i>	Canal físico de acceso aleatorio. Envía un preámbulo para iniciar, por parte del móvil, el procedimiento de conexión al sistema..

Figura 2.30: Canales físicos en el enlace descendente y ascendente [10].

Reuso frecuencial

Se refiere a la capacidad de utilizar las mismas frecuencias en un sistema celular. Dado que cada célula utiliza radiofrecuencias sólo dentro de sus límites, las mismas frecuencias pueden reutilizarse en otras células no muy lejanas con una posibilidad limitada de interferencia. Por lo tanto, alguna técnica que faculte reducir las interferencias entre celdas será un progreso en las prestaciones de la calidad de servicio de LTE a los usuarios en el borde de celda.

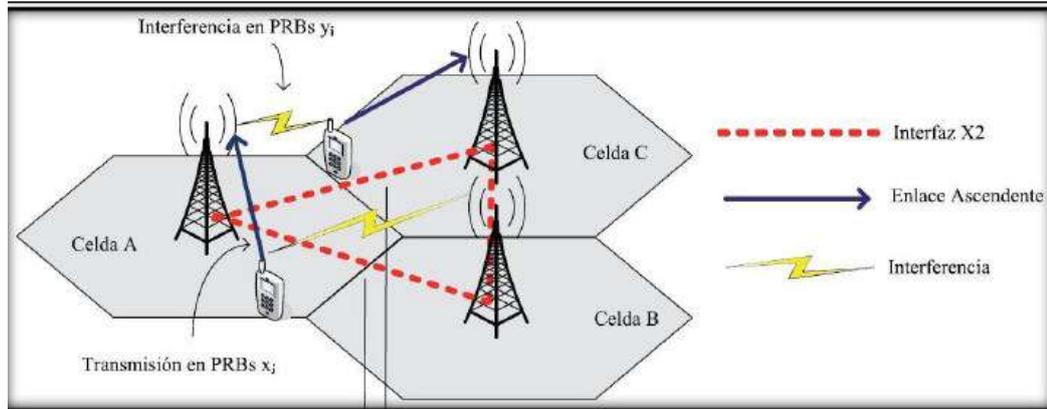


Figura 2.31: Interferencia intercelular LTE [10].

La coordinación de interferencias entre las celdas es un método integrado en el conjunto de funciones del scheduler (planificador), dicho método involucrará usar ciertas limitaciones en las misiones de scheduling en el dominio de frecuencial, en ambos enlaces, de tal forma se ajusta a los metodos de reúso de frecuencia distintos para el interior y el exterior de las células, se observa algunos detalles en la siguiente imagen.

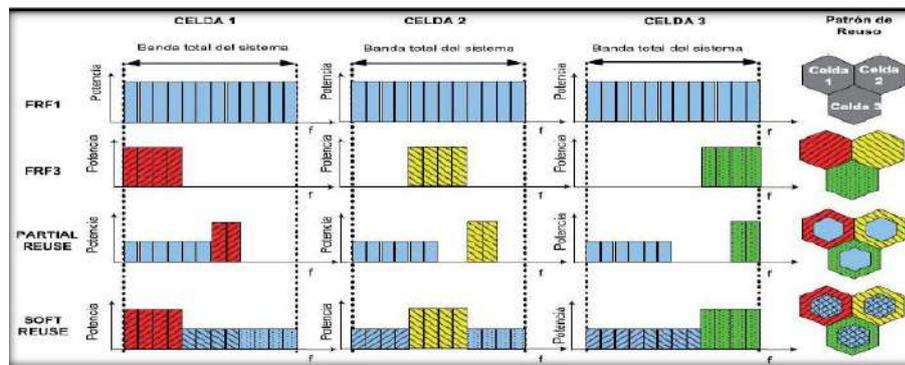


Figura 2.32: Posibles esquemas de reúso de frecuencias de LTE [10].

2.4 Repetidores de telefonía móvil

Los repetidores de RF se han utilizado en redes móviles durante mucho tiempo, estos amplifican todo el ancho de banda de RF sin ninguna funcionalidad de decodificación o codificación. Han sido útiles para brindar cobertura en ubicaciones aisladas, por ejemplo, cubriendo ubicaciones subterráneas, campamentos mineros, etc. Hay más desafíos con los

repetidores de RF cuando se usan al aire libre, ya que los repetidores de RF también amplifican la interferencia. Los repetidores generalmente están conectados a su celda donante a través de un enlace de radio direccional. El uso de un enlace de radio direccional ayuda a proporcionar un rendimiento favorable en términos de maximizar la ganancia de la antena y minimizar cualquier interferencia y efectos de trayectos múltiples.

Un sitio repetidor se asemeja a una EBC, también está provisto de equipamientos de infraestructura como torre, equipos de energía, repetidor/amplificador de señal de radiofrecuencia y antenas. De manera específica, cuenta con una antena receptora o comúnmente conocido como donadora, equipo de radio con amplificador de RF y antena de cobertura o de servicio. Estos equipos son también de tecnologías 2G, 3G y 4G y cada uno de estos sistemas tienen una determinada potencia de transmisión. La capacidad en estos casos dependerá de la estación base a la cual se encuentra enlazada la antena y del propio repetidor. Los repetidores de 2G, 3G y 4G tienen la misma topología al de la Figura 2.33.

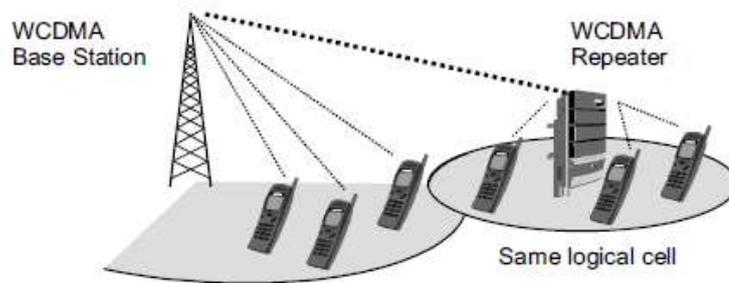


Figura 2.33: Concepto de uso de repetidor WCDMA [18].

2.5 Planificación de redes móviles

En el paso del desarrollo del acceso de radio, existen diversas ramas de estudio, en el presente proyecto se enfocará en los aspectos de ingeniería de RF que se necesitan

comprender con amplitud los principios clave en la planificación y optimización de redes de radio [18].

La fase inicial de una planificación de red, es el dimensionamiento, facilita la primera estimación de la cantidad de elementos de red y la capacidad de los mismos. El propósito del dimensionamiento es estimar la cantidad requerida de estaciones base necesaria para admitir una carga de tráfico específica en un área y el servicio específico para los usuarios en el borde de la celda. La planificación es un proceso iterativo que abarca el diseño, la síntesis y la realización [19].

Para planificación de cobertura y capacidad de UMTS, se considera básicamente los siguientes diagramas de flujo considerados por el fabricante Huawei, con algunas variantes en cada tecnología de radio.

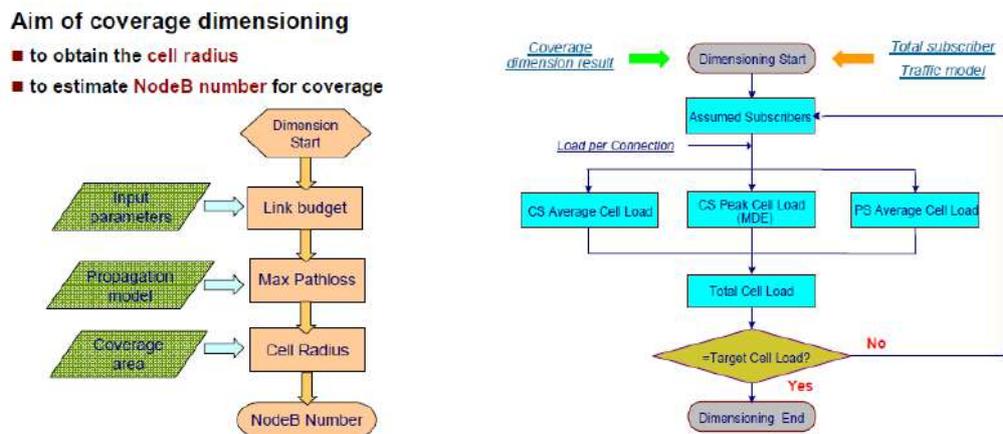


Figura 2.34: Flujo de planificación de cobertura y capacidad UMTS [20].

El esquema de link budget para DL y UP del 3G se pueden observar en la Figura 2.35.

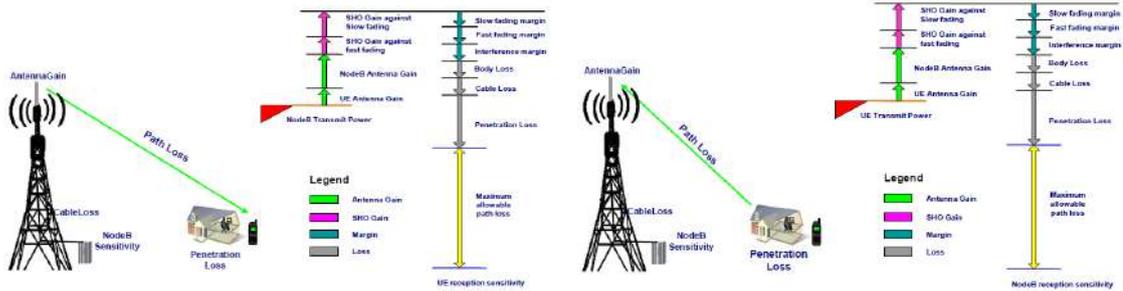


Figura 2.35: Modelo de radio link budget DL y UL para UMTS [21].

Para LTE se muestra en las figuras siguientes los diagramas de flujo de planificación de cobertura y capacidad.

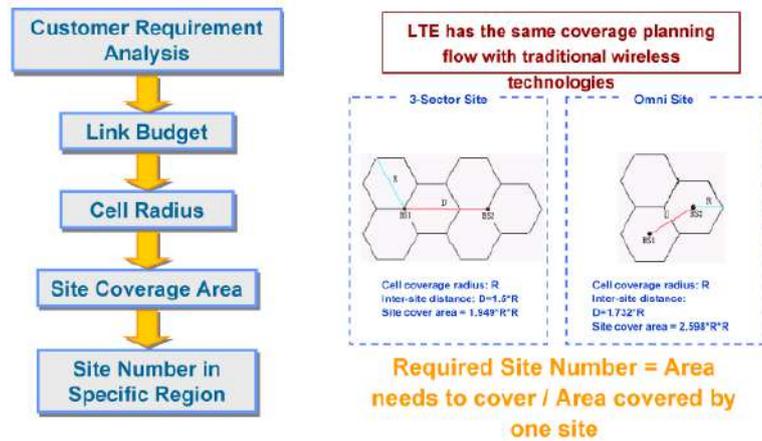


Figura 2.36: Flujo de planificación de cobertura de LTE [22].

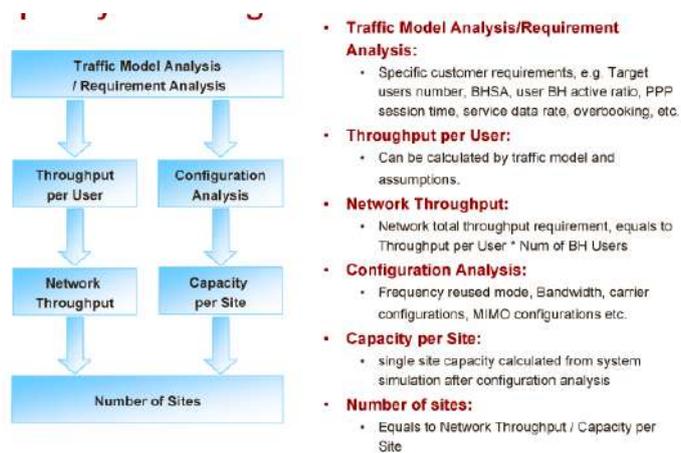


Figura 2.37: Flujo de planificación de capacidad de LTE [22].

La Figura 2.38, muestra los modelos de radio link budget de DL y UL respectivamente.

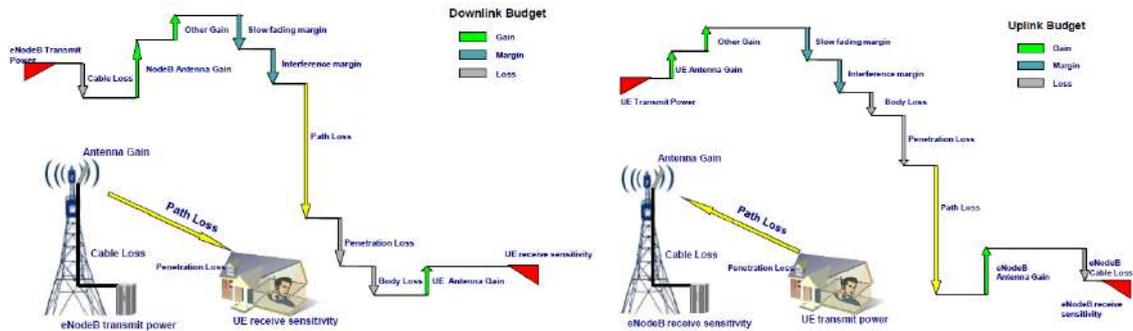


Figura 2.38: Modelo de radio link budget DL y UL para LTE [23].

En el presente trabajo se harán uso de los diagramas de flujo y modelos de link budget, para UMTS y LTE.

2.6 Downlink y Uplink en UMTS y LTE

El tráfico de la red UMTS y LTE es asimétrico, es decir, la cantidad de transmisión de datos en el enlace ascendente difiere del enlace descendente. El ingeniero de planificación de redes debe calcular los valores en dos direcciones y luego combinarlos adecuadamente. Por lo cual, el trabajo de planificación de la red tiene un carácter complicado. El enlace ascendente es un factor límite típico para el rango de cobertura válido de la celda UMTS y LTE, o podemos decir que el enlace ascendente tiene cobertura limitada y el enlace descendente tiene capacidad limitada. La potencia de transmisión en el enlace ascendente la proporciona el UE y la del enlace descendente la proporciona el NodeB y/o eNodeB.

2.7 Software de simulación

Un software de simulación es aquella que se usa para analizar, evaluar y en alguna medida validar de forma virtual previamente un diseño, existen diversos software de simulación sin licencia y de libre descarga e instalación, en cuanto se refiere al campo de

telecomunicaciones, en el presente trabajo se hará uso de Pathloss, Atoll, Google Earth y otros. Con Pathloss se realizara la simulación y observar la factibilidad de vista punto a punto de radioenlaces de microondas, con Atoll la simulación de cobertura de las celdas y repetidores de forma que podamos obtener niveles de recepción en múltiples puntos del área.

Pathloss

El software Pathloss es una herramienta integral para diseñadores de redes inalámbricas permite el diseño de rutas de enlace de radio para frecuencias de operación en el rango de 30 MHz a 100 GHz. El programa está estructurado en ocho bloques de diseño de rutas, un bloque de cobertura de señal de área y un bloque de red que agrupa las rutas de radio y el estudio de cobertura de área.

Atoll

Atoll es un programa creado para el diseño y optimización de redes sin hilos multitecnología. Atoll es abierto, escalable, flexible y da soporte a los operadores inalámbricos a lo largo del ciclo de vida de la red, desde la fase inicial de diseño hasta la masificación y optimización. Atoll en su cometido es un software ideal para planificar las redes de telefonía móvil, analizar los comportamientos de la interfaz radio, evaluar áreas de cobertura y mejorar los parámetros de red. Dentro de las plantillas en cuanto se refiere redes de telefonía móvil, permite elaborar proyectos con las tecnologías 3GPP (GSM/UMTS/LTE/NB-IoT) y 3GPP2 (CDMA/LTE/NB-IoT) [24].

Atoll esta en capacidad de realizar predicciones de cobertura sin mapas de tráfico, llamadas predicciones básicas y con mapas de tráfico para predecir la calidad de señal. En la siguiente figura se muestra una descripción completa. En el presente proyecto se realizaran las tres primeras predicciones que no dependen de la carga de tráfico, es suficiente para los objetivos del proyecto. En la Figura 2.39 se definen conceptos de predicciones disponibles.

Clasificación	Nombre	Depende del tráfico	Descripción
Por nivel de señal	<i>Coverage by Signal Level</i>	No	Permite predecir las zonas de cobertura según los niveles de señal del transmisor en cada píxel del mapa.
	<i>Coverage by Transmitter</i>	No	Permite predecir las zonas de cobertura por transmisor analizando para cada píxel del mapa el mejor transmisor.
	<i>Overlapping Zones</i>	No	Permite calcular las zonas donde existe cobertura de dos o más transmisores.
	<i>Effective Signal Analysis</i>	No	Permite calcular los niveles de señal de diferentes señales LTE (señales de referencia, SS, PBCH, PDSCH, PDCCH, PUSCH).
	<i>Coverage by C/(I+N) Level</i>	Sí	Permite predecir los niveles de interferencia y de portadora a interferencia y ruido $C/(I+N)$ para cada píxel del mapa.
Por calidad de señal	<i>Service Area Analysis</i>	Sí	Permite calcular y mostrar los mejores <i>Radio Bearers</i> disponibles para cada píxel del mapa basados en las $C/(I+N)$ de los mismos.
	<i>Effective Service Area Analysis</i>	Sí	Permite mostrar las zonas donde un servicio se encuentra disponible, tanto en el DL como en el UL.
	<i>Coverage By Throughput</i>	Sí	Permite calcular y mostrar para cada píxel del mapa los <i>Channel Throughputs</i> y <i>Cell Capacities</i> basados en los niveles de $C/(I+N)$ y en los <i>Radio Bearers</i> disponibles. Además, permite mostrar el <i>Aggregate Cell Throughput</i> para resultados de simulaciones.
	<i>Coverage by Quality Indicator</i>	Sí	Permite Calcular y mostrar diferentes indicadores de calidad (BLER, BER, entre otros) basados en los <i>Radio bearers</i> y en los niveles de $C/(I+N)$ de cada píxel.

Figura 2.39: Prediccione disponibles en Atoll [10].

Google Earth

Google Earth es un software online que muestra diversa información geográfica del globo terráqueo, como por ejemplo la múltiple cartografía, fundamentado en imágenes satelitales y asimismo en la interfaz de usuario permite la creación de objetos geométricos como los puntos, las líneas y polígonos, además de crear mapas. Los mapas de Google Earth están compuestos por una transposición de imágenes obtenidas por satélites, fotografías aéreas, información geográfica proveniente de modelos de datos (SIG) de todo el mundo y modelos creados por computadora [25]. El software está disponible en varias licencias, pero en el presente proyecto se utilizará la versión gratuita, la cual está a disposición en internet para dispositivos móviles, tabletas y ordenadores personales.

CAPITULO 3: ESTUDIO DE REQUERIMIENTOS Y DISEÑO DE LOS SISTEMAS

3.1 Geografía del distrito y recolección de información

En los párrafos siguientes se despliega la información importante y necesaria para consideraciones durante el diseño, planificación y simulación, estas han sido obtenidas por búsqueda en internet y recopilación directa durante las visitas a cada zona poblada del distrito de Quiquijana.

3.1.1 El distrito de Quiquijana

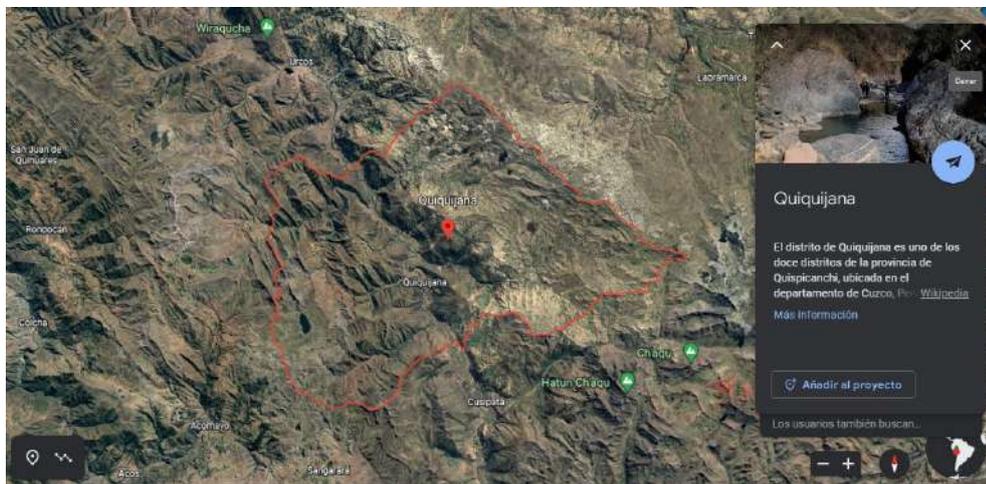


Figura 3.1: Perímetro del distrito obtenido de Google Earth.

Quiquijana es uno de los 12 distritos de la provincia de Quispicanchi, perteneciente a la región Cusco, tiene una extensión de 364 km² con una población de 10,336 habitantes (al 2017) y densidad poblacional de 30.1 hab/km² [26]. Tiene en total 21 comunidades campesinas y 1 centro poblado, está situado al sur-este de la ciudad de Cusco, algunas de sus comunidades forman parte de la cuenca del río Vilcanota y la mayor parte están alrededor y alejados de la capital del distrito. La zona más baja tiene una elevación de 3162 msnm y la montaña más alta tiene una altitud de 4650 msnm, la orografía es agreste y accidentada, clima frígido en gran parte. En la Figura 3.1 demarcada en rojo se muestra el perímetro del

distrito. El mapa del distrito, con sus respectivas comunidades y anexos se muestra en la Figura 3.2.

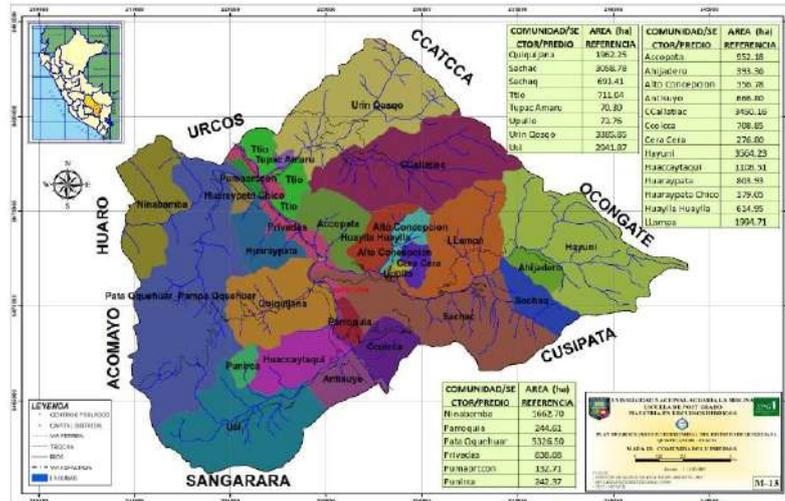


Figura 3.2: Mapa del distrito de Quiquijana [27].

La capital del distrito de Quiquijana tiene por coordenadas, $13^{\circ}49'21.44''S$ de latitud y $71^{\circ}32'31.75''W$ de longitud, cuyo área es de 28.7 km^2 [26], se muestra en la Figura 3.3.



Figura 3.3: Capital del distrito, Quiquijana.

Entre las comunidades campesinas y anexos son: Accopata, Alta Concepción, Antisuyo, Callacunca, Callatiac, Ccolcca, Ceracera, Hayuni, Huaccaytaqui, Huayllahuaylla,

Huaraypata, Huathualaguna, Llampa, Ñañuran, Pampa Quehuar (CP), Pata Quehuar, Kemporay, Quiquijana, Sachac, Urinccoscco, Usi y Ttio. En la Figura 3.4 se muestra la ubicación de las comunidades campesinas y un centro poblado.



Figura 3.4: Ubicación de comunidades y anexos.

Las actividades principales son la agricultura, ganadería, floricultura, crianza de animales menores y truchas en pequeña proporción.

El promedio de temperatura anual es de 11.25 °C según la “Estación Meteorológica de Cusco” ubicado en el distrito de Ccorca, mínima de 1 °C y máxima de 22 °C [28].

3.1.2 Instituciones y presencia de operadores en la jurisdicción del distrito

En cada centro poblado, comunidades y sus anexos existen instituciones educativas de inicial, primaria y en algunos sectores hay IEs de secundaria. Según el recorrido realizado por las zonas pobladas el distrito se registró 37 instituciones educativas de inicial, 20 instituciones educativas de primaria, 6 instituciones de nivel secundario, 1 centro técnico productivo y 1 instituto superior pedagógico, en algunos casos están ubicados en los anexos

Capítulo 3 – Estudio de requerimientos y diseño de los sistemas

de las comunidades, tal como se muestra en la Tabla 3.1. Se muestra además algunas instituciones educativas del distrito vecino (Cusipata).

Nombre de IE	Lugar	Nombre de IE	Lugar
Quiquijana			
Inicial		Primaria	
253	Ccolcca (CC)	50717	Callacunca (anexo)
70 Dulce Nombre de Jesús	Quiquijana (cap. distrito)	50483	Quiquijana (cap. distrito)
631	Quiquijana Occidental (CC)	50484 Virgen Inmaculada Concepcion	Ccolcca (CC)
174	Pata Quehuar (CC)	50485	Ttio (CC)
176	Pampa Quehuar (CP)	50486 Virgen de Guadalupe	Pampa Quehuar (CP)
232 San Miguel	Ttio (CC)	50487	Pata Quehuar (CC)
333	Llampa (CC)	50515	Llampa (CC)
376	Usi (CC)	50516	Huaccaytaqui (CC)
721	Huaraypata (CC)	50517	Huaraypata (CC)
722	Callatiac (CC)	50518	Usi (CC)
832	Sachac (CC)	50519 San Martin de Porres	Callatiac (CC)
Banda Occidental	Quiquijana Occidental (CC)	50520	Sachac (CC)
Chimpacallqui	Chimpacallqui (anexo)	50521 Virgen del Rosario	Urinccoscco (CC)
Callqui Central	Callqui Central (anexo)	50522	Quiquijana Occidental (CC)
Callacunca	Callacunca (anexo)	50523	Accopata (CC)
Accopata	Accopata (CC)	50524	Antisuyo (CC)
Huacaytaqui	Huacaytaqui (CC)	50525	Hayuni (CC)
Antisuyo	Antisuyo (CC)	50834	Huathua Laguna (anexo)
Cruz Pata	Cruz Pata (anexo)	501227	Ceracera (CC)
Mancuran	Mancuran (anexo)	501401 Pedro Huilca Teese	Kemporay (CC)
Puma Wasi	Puma Wasi (anexo)	Secundaria	
Mahuaypampa	Mahuaypampa (anexo)	José Carlos Mariátegui	Quiquijana (cap. distrito)
1085	Huathua Laguna (anexo)	Revolucionario Juan Velasco Alvarado	Huaraypata (CC)
1086	Sector Huaman (anexo)	Anilmayo	Anilmayo (CC)
1087	Urinccoscco (CC)	Javier Pérez de Cuellar	Sachac (CC)
1165	Hayuni (CC)	Miguel Ttupa Luthua	Pata Quehuar (CC)
1235	Huayllahuaylla (CC)	Alfonso Ugarte Vernal	Urinccoscco (CC)
1227	Ceracera (CC)	Superior	
1228	Kemporay (CC)	Técnico Productiva	Quiquijana (cap. distrito)
1307	Alto Mayuhuasi (anexo)	Horacio Zeballos Gámez	Quiquijana Occidental (CC)
1371	Sachac (CC)	Cusipata	
1372	Mayuhuasi (anexo)	Inicial	
Virgen Del Carmen	Accopata (CC)	626, 50488	Cusipata (dist. Cusipata)
Ccauchani	Ccauchani (anexo)	323	Moccoraise (CC)
1382	Kuchuyrumi (anexo)	Primaria	
Sumaq Sonqo	Cuchuyrumi (anexo)	50488	Cusipata (dist. Cusipata)
Los Claveles	Huayllahuaylla (CC)	50489	Moccoraise (CC)
-	-	Secundaria	
-	-	Túpac amaru II	Cusipata (dist. Cusipata)

Tabla 3.1: Instituciones educativas en el distrito de Quiquijana y Cusipata.

Por otra parte, en el sector salud existen 1 Centro de Salud y 1 Posta Médica. Una comisaría ubicada en la capital del distrito, entre otras instituciones privadas y estatales.

En la jurisdicción del distrito existen operadores de telefonía móvil, y son siete las torres/mástiles de telefonía móvil, de las cuales en tres lugares están ubicados de Movistar, uno está dentro de la población de Quiquijana y la antena está instalada en un mástil de 9 m, tal parece es una microcelda con tecnologías 3G y 4G, otro está ubicado en el cerro de la comunidad campesina de Ttio, las antenas sectoriales están instaladas en una torre autoportante alquilada (propiedad de la torrera Telxius el cual servirá para coubicar la operadora Claro) de 30 m, presta servicio de 2G y 4G correspondiente al proyecto IPT (medio de transporte enlace satelital) y el tercero en la comunidad campesina de Callatiac cuya antena está instalada en un mástil de 9 m, servicio de 2G (inoperativo a la fecha). La operadora Claro tiene antenas sectoriales instalados en una torre de 48 m, ubicada en el cerro Quri de Quiquijana, dispone servicios de 2G, 3G y 4G (medio de transporte enlace de fibra óptica). Entel posee una torre de 50 m aproximadamente, ubicado también en el cerro Quri (cerca a Claro) en ella lleva instalados las antenas sectoriales, dispone de servicios de 2G, 3G y 4G (medio de transporte enlace de microondas terrestre). Bitel tiene dos torres de 50 m aproximados, el primero está ubicado en el cerro de Quiquijana y el segundo dentro de la población de la comunidad campesina de Huaraypata, como es de conocimiento el medio de transporte es a través de enlaces de fibra óptica y dispone de servicios de 3G y 4G. Cerca al límite (en jurisdicción del distrito de Cusipata) del distrito existen dos torres, una torre ventada de Bitel dispone de servicios de 3G y 4G y una autoportante de torreta Telxius (en ella opera Movistar con 2G, 3G y 4G, esta última serviría para coubicar la operadora Claro).

Para saber qué zonas tienen cobertura por los operadores de telefonía celular, se realizó en alrededor y en las áreas pobladas las mediciones de los niveles de potencia de recepción de la señal celular, haciendo uso del aplicativo *G-NetTrack Lite* instalados en dos

Smartphone dual SIM, dado que son cuatro operadores de telefonía móvil, los resultados se ilustran en la Tabla 3.2. El mismo aplicativo también nos brinda las coordenadas.

Nro	Lugar (CC/CP/D)	Coordenadas		Movistar			Claro			Bitel		Entel		
				2G	3G	4G	2G	3G	4G	3G	4G	2G	3G	4G
		Longitud	Latitud	RXLEV (dBm)	RSCP (dBm)	RSRP (dBm)	RXLEV (dBm)	RSCP (dBm)	RSRP (dBm)	RSCP (dBm)	RSRP (dBm)	RXLEV (dBm)	RSCP (dBm)	RSRP (dBm)
1	Accopata	-71.54695	-13.80346	-83	-99	-90	-41	-53	-91	-81	-91	-63	-37	-89
2	Alto Concepción	-71.50887	-13.80982	-	-	-	-80	-76	-97	-97	-102	-91	-75	-95
3	Antisuyo	-71.53311	-13.85308	-95	-104	-115	-	-	-	-99	-107	-	-77	-
4	Callacunca	-71.50192	13.83761	-	-	-	-60	-47	-70	-	-	-95	-87	-95
5	Callatiac	-71.51274	-13.75690	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	Ccolcca	-71.52263	-13.85856	-81	-86	-106	-	-105	-	-98	-100	-	-47	-111
7	Ceracera	-71.502828	-13.819778	-	-	-	-93	-67	-101	-	-	-91	-89	-102
8	Hayuni	-71.44099	-13.80498	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	Huaccaytaqui	-71.53707	-13.84781	-91	-93	-108	-	-111	-126	-104	-79	-	-61	-112
10	Huayllahuaylla	-71.52366	-13.81034	-	-	-	-	-105	-	-89	-103	-	-	-
11	Huaraypata	-71.57649	-13.77906	-69	-	-90	-95	-77	-102	-66	-80	-71	-45	-93
12	Huajhualaguna	-71.61058	-13.85365	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	Llampa	-71.47742	-13.80326	-	-	-	-	-107	-122	-	-	-	-	-
14	Ñañuran	-71.57756	-13.83267	-	-	-	-81	-94	-89	-78	-90	-88	-92	-103
15	Pampa Quehuar	-71.58177	-13.77632	-67	-94	-93	-113	-105	-118	-99	-106	-91	-	-89
16	Pata Quehuar	-71.60784	-13.81941	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	Kemporay	-71.55351	-13.75154	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	Cap dist. Quiquijana	-71.53984	-13.82730	-71	-98	-81	-63	-69	-110	-62	-88	-57	-53	-98
19	Quiquijana	-71.54605	-13.82065	-69	-92	-86	-60	-63	-99	-57	-72	-55	-60	-94
20	Sachac	-71.46882	-13.82005	-	-105	-	-67	-51	-96	-	-	-91	-65	-
21	Urincoscco	-71.52928	-13.74622	-	-82	-96	-	-	-	-	-	-	-	-
22	Usi	-71.58247	-13.87875	-	-	-	-	-91	-	-	-	-	-	-
23	Ttio	-71.57413	-13.77167	-91	-	-106	-	-	-	-92	-108	-111	-	-

Tabla 3.2: Mediciones de potencia de Rx de redes móviles en la jurisdicción del distrito de Quiquijana con G-NetTrack Lite al agosto del 2022.

La toma de coordenadas se aplicó en el centro de cada sector poblado, para de esa forma diseñar la red de acceso con sectores dirigidos hacia dichos sectores poblados.

En la Tabla 3.3 se ordena la información de zonas pobladas atendidas por los operadores de servicio de telefonía móvil pública en la zona de estudio, realizada en base a la Tabla 3.2.

Zona-Lugar	Movistar	Claro	Bitel	Entel
Accopata	x	x	x	x
Alto Concepción		x	x	x
Antisuyo	x		x	x
Callacunca		x		x
Callatiac				
Ccolcca	x		x	x
Ceracera		x		x
Hayuni				
Huaccaytaqui	x		x	x
Huayllahuaylla			x	
Huaraypata	x	x	x	x
Huajhualaguna				
Llampa		x		
Ñañuran		x	x	x
Pampa Quehuar	x		x	x
Pata Quehuar				
Kemporay				
CC Quiquijana	x	x	x	x
Quiquijana	x	x	x	x
Sachac		x		x
Urincoscco				
Usi				
Ttio	x		x	

Tabla 3.3: Presencia de operadores de telefonía móvil (marcadas con x) en zonas pobladas del distrito.

En la tabla anterior se observa que 7 comunidades no tienen cobertura de telefonía móvil de ningún operador y representa el 30.435 %.

Por otro lado, el análisis de cobertura por cada operador viene a ser:

Movistar da cobertura a 9 zonas pobladas con 40.909 %, sin cobertura en 14 zonas pobladas y representa el 60.869%.

Claro tiene cobertura en 10 zonas pobladas con 43.478 % y no tiene cobertura en 13 zonas pobladas y representa el 56.522%.

Bitel en 12 zonas pobladas con el 52.164 % y no da cobertura a 11 zonas pobladas y representa el 47.826%.

Entel no tiene presencia en 10 zonas pobladas, representa el 43.478%.

3.1.3 Penetración de telefonía móvil

Está referido a la cantidad de suscriptores móviles por cada 100 habitantes, en ello están incluidos las suscripciones prepago y postpago.

Penetración de teléfonos inteligentes (smartphones)

En nuestro país el mercado de telefonía celular ha venido creciendo y con ello la penetración de teléfonos inteligentes (smartphones) también, según datos reportados por OSPITEL al año 2021 se tiene que la penetración de los smartphones en las familias peruanas fue de 66.3 % en 2016 a 88.4 % en 2021, siendo este un incremento en más de 22 % en cinco años. Por lo que la tasa de posesión de smartphones en los hogares creció en todos los ámbitos, acentuándose en el área rural, en donde se registro el pasó de 39.9 % en 2016 a 70.3 % en 2021. En Lima Metropolitana, la posesión de smartphones aumento en más de 13 % en el último quinquenio, al pasar de 81.2 % en 2016 a 94.6 % en 2021. En cuanto en el llamado Resto Urbano alcanzo al 90.9 % de hogares [29].

3.1.4 Planificación de coordenadas de las EBCs

Las coordenadas de las torres de telefonía existentes y de las nuevas se han registrado mediante dos métodos, uno por Google Earth como se muestra en la Figura 3.5 y otra por las visitas realizadas a los lugares y/o puntos, registrándose las posibles coordenadas para

ubicación de las EBCs y repetidores, considerando la factibilidad del acceso y cercanía de la red eléctrica comercial, los sitios existentes no representan un problema, debido a que ya están dotados de infraestructura, pero para Callatiac, Pata Quehuar, Rep. Hayuni, Rep. Usi y Rep. H_Laguna ha sido necesario evaluar bien cada punto, para realización de tendido e instalación de la red eléctrica, además el acceso por vías como trocha y caminos de herradura. Las coordenadas se muestran en la Tabla 3.4.



Figura 3.5: Coordenadas de torres existentes y nuevas.

Nombre Sitio	Tipo de Sitio	Latitud	Longitud	Altitud
Quri (Quiquijana)	Existente	13° 50' 6.53" S	71° 31' 8.77" W	4243m
Ttio	Nuevo	13° 46' 49.79" S	71° 33' 52.45" W	3583m
Moccoraise	Nuevo	13° 52' 54.98" S	71° 30' 8.02" W	3752m
Callatiac	Nuevo	13° 44' 47.66" S	71° 30' 35.35" W	4230m
Pata Quehuar	Nuevo	13° 49' 55.81" S	71° 35' 39.70" W	4092m
Rep. H_Laguna	Nuevo	13° 51' 12.99" S	71° 36' 10.86" W	4370m
Rep. Usi	Nuevo	13° 52' 42.47" S	71° 34' 49.4" W	3852m
Rep. Hayuni	Nuevo	13° 48' 4.97" S	71° 26' 35.84" W	4010m

Tabla 3.4: Coordenadas de torres existentes y nuevos.

En la Figura 3.6 se realiza la estimación de áreas para cada EBC mediante Google Earth, se consideran las zonas con población y áreas de cultivos y pastoreo. Los sectores de cada sitio están representados por segmentos de circunferencias, considerando 120° teóricos de apertura de horizontal de campo de radiación de antena. El sitio Quri existente es la única representada en esquema de tres sectores, los demás serán de dos sectores solamente.

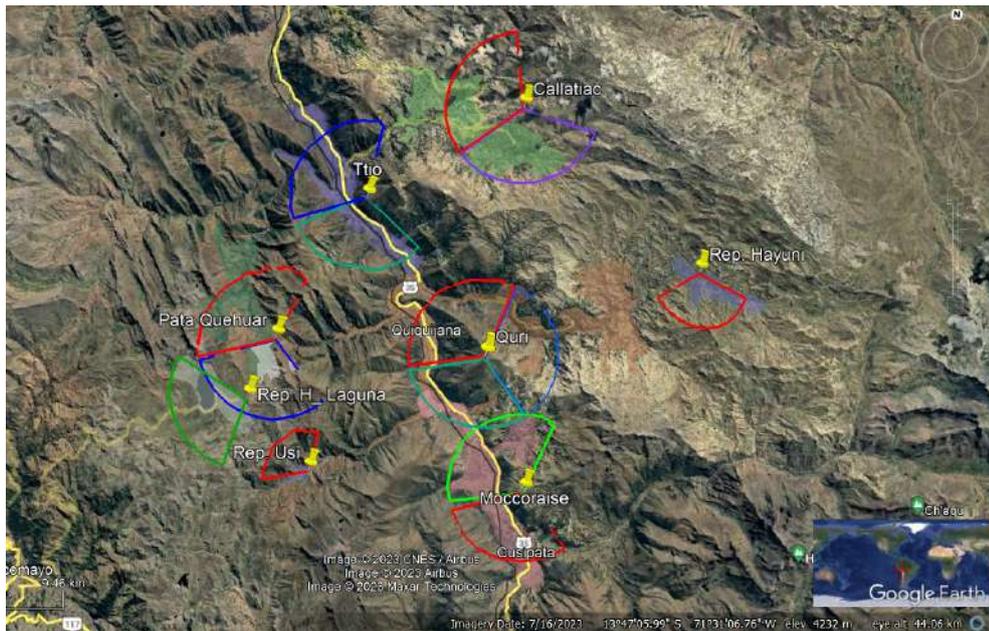


Figura 3.6: Estimación de áreas de y sectores de cobertura por Google Earth.

Sitio Quri, área estimada 18.4 km^2 .

Sitio Ttio, área estimada 7.6 km^2 .

Sitio Moccoraize, área estimada 11.8 km^2 .

Sitio Callatiac, área estimada 11.7 km^2 .

Sitio Pata Quehwar, área estimada 7.97 km^2 .

Las áreas estimadas para los repetidores son:

Rep. Hayuni, daría cobertura a 2.89 km², Rep. Usi, daría cobertura a 0.71 km² y Rep. H_Laguna a un área de 3.85 km², todos de un solo sector.

El área total estimada por Google Earth es la sumatoria de todas las áreas 64.92 km². Estas áreas es probable que requieran modificaciones, por la razón de que la geografía de la zona no permite colocar una antena en el centro o punto medio de las poblaciones beneficiarias que requieren cobertura se señal de telefonía móvil.

3.1.5 Población

La información en cuanto a cantidad de población en cada comunidad campesina y anexos se ha realizado por búsqueda en el portal web del INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática).

La población en edad de trabajo según INEI es desde los 15 años a más.

La relación matemática siguiente se utiliza para proyección poblacional:

$$P_n = P_o(1+r)^n \quad (3.1)$$

Donde, P_n es número previsto de usuarios en n años, P_o es número inicial de usuarios y r es el factor de crecimiento.

Al censo 2007 en el distrito se tiene 6159 habitantes (Anexo N° 1) y al censo 2017 se tiene un total de 6689 (Anexo N° 2) de *Población en Edad de Trabajar* según INEI. Con estos datos hallamos el factor de crecimiento poblacional.

$$r = \sqrt[n]{\frac{P_n}{P_o}} - 1, \quad r = \sqrt[10]{\frac{6689}{6159}} - 1 = 0.0083, \quad r\% = 0.83$$

Para sitio Quri al 2027 habría una población de:

$P_{20} = 2092(1+0.0083)^{20} = 2468.067 \approx 2468$ y de la misma forma se realizan los cálculos para otras EBCs.

Se presenta en la Tabla 3.5 el total de población en edad de trabajar, bajo la proyección al año 2027, utilizando la ecuación 3.1.

Quiquijana-Proyección de población en edad de trabajar		
EBC	Censo al 2007	Al año 2027
Quri	2092	2468
Ttio	1104	1305
Moccoraise	1581	1865
Callatiac	1096	1293
Pata Quehuar	572	675

Tabla 3.5: Proyección de la población en edad de trabajar al 2027.

Al censo 2027 sumarían un total de 7606 de población en edad de trabajar.

Al censo 2017 no se tiene los datos de las cantidades de población en edad de trabajar, al realizar la búsqueda en la página de INEI no se encontró dicha información en forma detallada, por tal razón la proyección se realizó con datos del censo 2007.

3.1.6 Estimación de suscriptores

Se sabe que, la totalidad de la población en edad de trabajar, no representan los suscriptores activos para una EBC y por consiguiente para una celda. Para ello se tiene que especificar en forma detallada la cantidad de suscriptores para cada celda aplicando la tasa de penetración en este caso al 70.3 % (0.703) para sector rural.

La estimación de la densidad de población se realiza en referencia a las áreas estimadas por Google Earth. En este caso se determinará en función al año de proyección y el área total estimada por sitio.

Existe presencia de operadores como Movistar, Bitel y Entel, en algunos casos, por lo que la cantidad total de la población proyectada deberá ser dividida de forma homogénea por dos o tres, esta consideración es en razón de que no todos los posibles suscriptores serían de un solo operador de telefonía móvil.

Según las áreas estimadas para cada EBC, estas comprenden una determinada cantidad de zonas pobladas, dichas zonas pobladas en algunos casos se asume la cobertura será dada por dos o tres sectores, a continuación se mencionan:

EBC Quri

La población proyectada total al 2027 es 2468. Aplicando el factor de penetración de smartphones de 0.703, habría 1735 posibles suscriptores. Pero existe presencia de cuatro operadores, si se asume una división homogénea, se tendría 434 posibles suscriptores.

Cada sector en la actualidad da cobertura (en las tecnologías 2G, 3G y 4G) a los siguientes lugares:

Primer sector: Quiquijana (capital del distrito), CC Quiquijana y anexo Ñañuran. En este sector al 2007 había 1117 de población, al 2027 habría 1318 y aplicando el factor de penetración de 0.703 vendría a ser 927, pero existe presencia de cuatro operadores, por lo que 232 serían de posibles suscriptores con smartphones. Dentro del área de cobertura están las instituciones educativas:

Inicial: 70 Dulce Nombre de Jesus, 631 y Banda Occidental.

Primaria: 50483 y 50522.

Secundaria: José Carlos Mariátegui.

Superior: Técnico Productiva y Horacio Zevallos Gamez.

Segundo sector: CC Alto Concepción, CC Ceracera, CC Llama, CC Sachac (Llactasachac), anexo Callacunca y estos se agregaría el repetidor Rep. Hayuni. En este sector existían 735 de población hasta 2007, al 2027 habría 867 y aplicado el factor de penetración se tendría 610, de los cuales 153 sería los posibles suscriptores para una operadora. Dentro del área de cobertura están las instituciones educativas:

Inicial: 333, 832, Callacunca, Cruz Pata, Mahuaypampa, 1227, 1371 y Ccauchani.

Primaria: 50717, 50515, 50520 y 501227.

Secundaria: Javier Pérez de Cuellar.

Tercer sector: CC Huaccaytaqui, y a ello se agregaría el repetidor Rep. Usi. Al 2007 había 240 de población, al 2027 habría 283, aplicado un factor de 0.703 habría 199, pero hay cuatro operadores y, 50 serían los posibles suscriptores. Dentro del área de cobertura están las instituciones educativas:

Inicial: Huaccaytaqui.

Primaria: 50516.

Los repetidores tendrán por donadora a EBC Quri (existente) y para tal propósito tendrá que pasar el proceso de optimización el cual consiste en modificación de azimuts y tilt mecánicos principalmente.

EBC Ttio

La cantidad de habitantes proyectado es 1303. Si se aplica el factor de penetración de smartphones, viene a ser 916, de estos entre tres operadores sería 306 posibles suscriptores por operador.

Esta daría cobertura a los lugares siguientes:

Primer sector: No es necesario.

Segundo sector: CC Accopata, Carretera Cusco-Sicuani, CC Huaraypata, CC/CP de Pampa Quehuar. En 2007 había una población de 423, al 2027 se tendría 499 y aplicado el factor serían 351, de estos distribuidos para tres operadores habrían 117 posibles suscriptores. Dentro del área de cobertura estarían las instituciones educativas:

Inicial: Accopata y Virgen del Carmen.

Primaria: 50523.

Tercer sector: CC Ttio, anexo San José, anexo Cuchuypampa, CC/CP Pampa Quehuar y carretera Cusco-Sicuani. Al 2007 contaba con 681 de población, al 2027 habría 803 y al aplicar el factor de penetración resultaría 565, de los cuales entre los tres operadores sería 188 probables suscriptores. Dentro del área de cobertura estarían las instituciones educativas:

Inicial: 176, 232 San Miguel y 721.

Primaria: 50485, 50486 Virgen de Guadalupe y 50517.

Secundaria: Revolucionario Juan Velasco Alvarado.

EBC Moccoraise

El total de habitantes proyectados suman 1865 al 2027. Si se aplica el mismo factor de penetración se tiene 1311 posibles suscriptores, también en la zona existirían tres operadores y por cada uno habría 437 de probables suscriptores.

Darían cobertura a los siguientes pueblos:

Primer sector: No sería necesario.

Segundo sector: Distrito de Cusipata, Peaje Saylla, CC Moccorayse y carretera Cusco-Sicuani. Se tenía 1170 de población al 2007, al 2027 se tendría 1380 y aplicado el factor viene a ser 970, para tres operadores 323 de posibles suscriptores. Dentro del área de cobertura estarían las instituciones educativas:

Inicial: 626, 50488 y 323.

Primaria: 50488 y 50489.

Secundaria: Túpac Amaru II.

Tercer sector: CC Antisuyo, CC Ccollca, anexo Patacollca, y carretera Cusco-Sicuani. Al 2007 había 411 y al 2027 se tendría 485 y aplicado el factor de penetración sería 341, de estos distribuido para tres operadores serían 114 de posibles suscriptores. Dentro del área de cobertura estarían las instituciones educativas:

Inicial: 253 y Antisuyo.

Primaria: 50484 y 50524.

EBC Callatiac

Tiene 1293 habitantes proyectados al 2027. Aplicando el factor de 0.703 se tiene 909 posibles suscriptores. En el momento no hay presencia de otros operadores.

Cada sector daría cobertura a los pueblos siguientes:

Primer sector: No es necesario.

Segundo sector: CC Callatiac y anexos. En el año 2007 se registró 479 de población, al 2027 se tendría 565 y de los cuales 397 serían los posibles suscriptores. Dentro del área de cobertura estarían las instituciones educativas:

Inicial: 722, Chimpacallqui, Calqui Central, 1307, 1372, 1382 y Sumaq Sonqgo.

Primaria: 50519 San Martín de Porres.

Tercer sector: CC Urinccoscco y CC Kemporay, y anexos. Al año 2007 había 617 de población y al 2027 se tendría 728 y aplicado el factor sería 512 de posibles suscriptores. Dentro del área de cobertura estarían las instituciones educativas:

Inicial: 1087, 1228 y 1372.

Primaria: 50521 Virgen del Rosario y 501401 Pedro Huillca Tecse.

Secundaria: Anilmayo y Urinccoscco.

La propuesta de solo dos sectores es debido a que el área de cobertura así lo demanda, por lo que el primer sector no sería necesario.

EBC Pata Quehuar

Tiene 675 habitantes proyectados. Aplicado el factor de 0.703 vendría a ser 475 posibles suscriptores. En el momento no hay presencia de algún operador de telefonía móvil.

Darían cobertura a:

Primer sector: No es necesario.

Segundo sector: Anexos Huajhualaguna y Pumahuasi. Se incluye Huajhualaguna debido a que la donadora será un sector de la EBC Pata Quehwar. En 2007 había 172 de población, al 2027 se tendrá 203 y de los cuales los posibles suscriptores serán 143. Dentro del área de cobertura estarían las instituciones educativas:

Inicial: Mancuran.

Tercer sector: La CC Pata Quehwar y anexo Huamanccasa. En el 2007 había una población de 400 y al 2027 habría 472 y los posibles suscriptores serían 332. Dentro del área de cobertura estarían las instituciones educativas:

Inicial: 174 y 1086.

Primaria: 50487.

Secundaria: Miguel Ttupa Luthua.

Rep. Hayuni, daría cobertura a las instituciones educativas:

Inicial: 1165.

Primaria: 50525.

Rep. Usi, daría cobertura a las instituciones educativas:

Inicial: 376.

Primaria: 50518.

Rep. H_Laguna, daría cobertura a las instituciones educativas:

Inicial: 1085.

Primaria: 50834.

Cabe mencionar que no se han estimado los suscriptores temporales que transitan por la carretera Cusco-Sicuani, existe regular tránsito vehicular en dicha vía.

3.1.7 Bandas licenciadas de enlace de microondas terrestre

Parte de la banda de microondas en nuestro país está concesionada a los operadores de telefonía, para la prestación del servicio de telecomunicaciones, la cual es otorgada por Ministerio de Transportes y Comunicaciones, en la Tabla 3.6 se muestra algunas bandas que utiliza el operador Claro, una franja del espectro de dichas bandas hace uso el operador mencionado.

Frequency Link Band	Maximum Distance Allowed
7 GHz	> 30 km
13/15/18 GHz	15 km to 30 km
23/26 GHz	5 km to 15 km
38 GHz	Up to 5 km

Tabla 3.6: Distancias de enlace permitidas [2].

3.1.8 Elección de equipos de radioenlace de microondas y EBCs

Por experiencia laboral se sabe, los equipos de radioenlace que utiliza el operador Claro es de la serie OptiX RTN 900 (Anexo 3) y para las estaciones base la serie BBU 3900 (Anexo 9) ambos de la marca Huawei. En el transcurso del tiempo los equipos han venido modernizándose debido a la alta demanda de usuarios y/o suscriptores de la red, uno es la necesidad de mayor capacidad de transmisión de datos. Se propone para futura implementación reutilizar estos equipos sean en los radioenlaces y EBCs.

Las antenas son de tipo parabólicas para los radioenlaces se proponen de la marca COMMSCOPE (Anexo 6) compatible con las ODUs Huawei, en la mayoría de los enlaces existentes se ha venido utilizándose dicha marca.

Las antenas son de tipo sectorial, serán de la marca Huawei, para las EBCs y repetidores está basado en el requerimiento según las tecnologías de telefonía móvil a emitir por ello deben ser de dual band (para 700 y 850 MHz), por banda dos puertos de polarización de -45° y $+45^\circ$, con una apertura estándar a 3 dB de 62° y 68° de beam width horizontal para proveer una cobertura adecuada y la impedancia es de 50 Ohms. En la Figura 3.7 se muestra los puertos y el diagrama del patrón de radiación de la antenna.

Respecto a los repetidores en el mercado hay diversas marcas, se ofrecen todo el kit de montaje, en el presente está previsto usar las mismas antenas sectoriales que las EBCs.

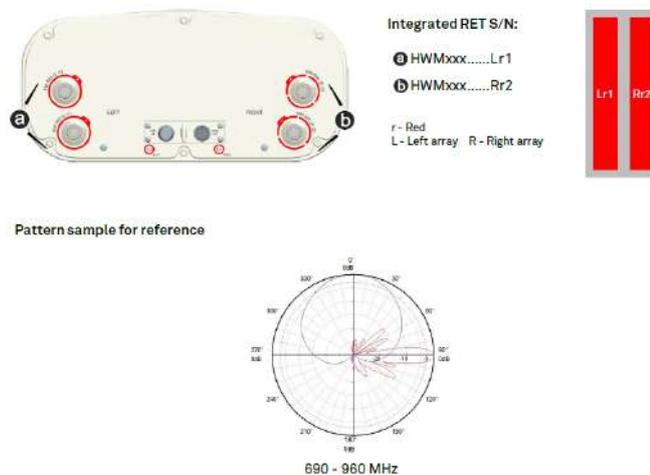


Figura 3.7: Puertos y patrón de radiación de la antena sectorial ADU4516R6v06 [30].

3.2 Diseño y planificación de enlaces de microondas

3.2.1 Propuesta de red de enlaces en el distrito

En el presente trabajo se elige como el nodo principal la EBC existente en el cerro Quri (denominado como EBC Quri), cercano a la capital del distrito, en ese punto existe actualmente una torre de telefonía de 48 m propiedad de la operadora Claro, desde donde presta servicios de 2G, 3G y 4G. Este nodo concentrará todos los enlaces dado que está ubicado a una altitud adecuada y la línea de vista a todos los otros posibles puntos es aceptable, además que este nodo posee red de enlace de fibra óptica para el enrutamiento del 3.5G y 3.9G (LTE) al Core Network.

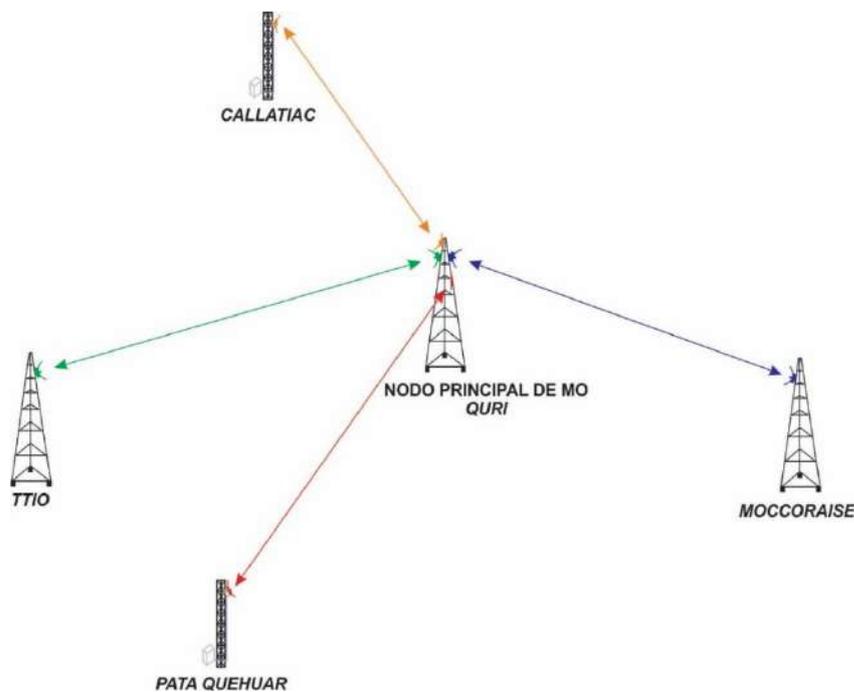


Figura 3.8: Propuestas de red de enlaces de microonda.

3.2.2 Diseño de enlaces de microondas

La viabilidad de un radioenlace, esta basado en dos criterios, uno es la validación de la línea de vista, consiste en la visibilidad radioeléctrica entre las dos antenas, como la zona

de Fresnel, como mínimo el 60 % debe estar despejada la primera zona de Fresnel; y otro es el presupuesto de potencia del enlace, consiste en la sumatoria de potencias y las pérdidas a lo largo del enlace, donde se debe garantizar que la potencia de recepción debe ser mayor a la sensibilidad del receptor.

En base a algunos parámetros del equipo Huawei OptiX RTN de la serie 900 (Anexo 7) y de las antenas, se procede a realizar los diseños.

Tal como se tiene en la Figura 3.8 en la propuesta existen 4 enlaces. La elección de las frecuencias está en base a tres puntos primordiales, uno por la distancia entre dos puntos, el segundo factor es por la interferencia, para ello se proveerá la adecuada canalización y tercero es que el operador Claro utiliza la banda de 18 GHz asignada por MTC.

Enlace Quri-Ttio, a través de Google Earth se ha realizado la medición de distancia entre los extremos, también la evaluación del perfil de elevación. Se tiene una longitud lineal de 7.79 km.

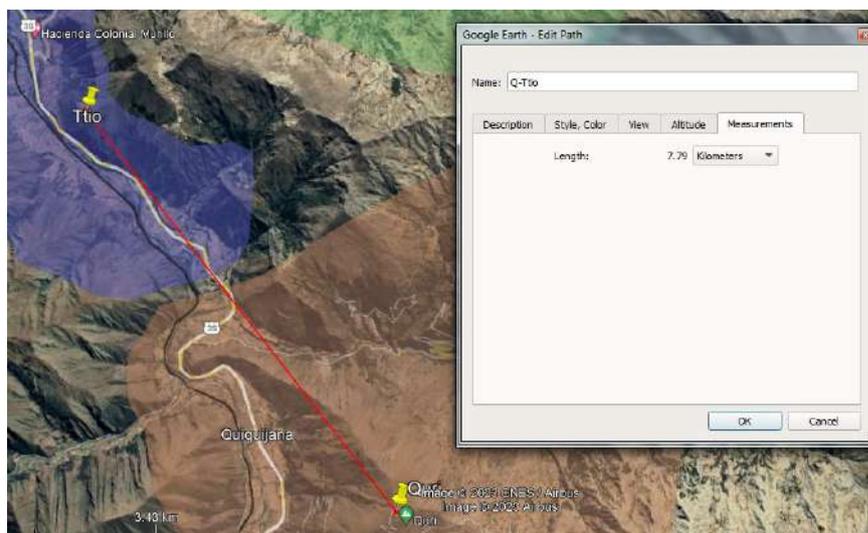


Figura 3.9: Distancia entre Quri-Ttio.

Enlace Quri-Moccorayse, mediante Google Earth se ha realizado la medición de distancia entre los dos puntos, también la evaluación del perfil de elevación. Se tiene una longitud lineal de 5.49 km.

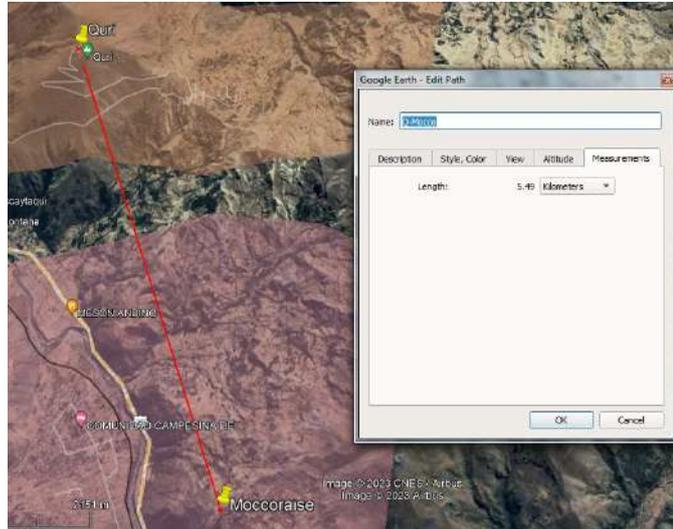


Figura 3.10: Distancia entre Quri-Moccorayse.

Enlace Quri-Callataic, al igual que los anteriores lo obtenemos por Google Earth. Se tiene una longitud lineal de 9.85 km.

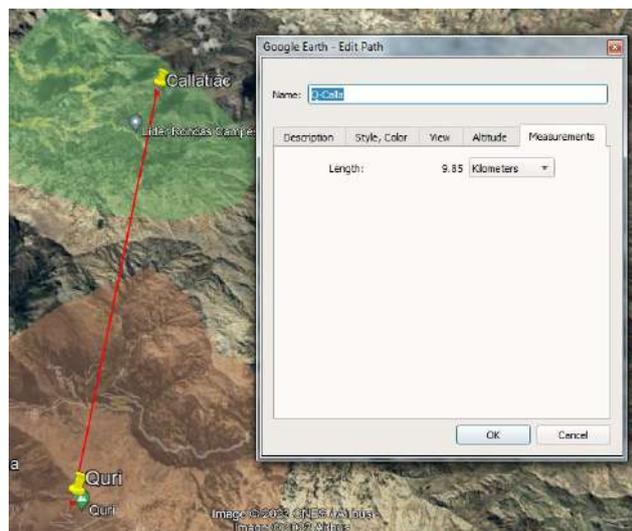


Figura 3.11: Distancia entre Quri-Callataic.

Enlace Quri-Pata Quehwar, se tiene una longitud lineal de 8.15 km.

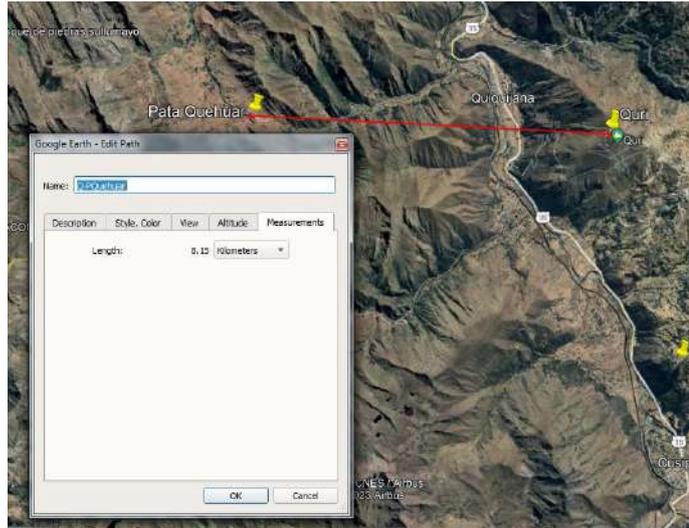


Figura 3.12: Distancia Quri-Pata Quehuar.

Atenuación del espacio libre (Free Space Path Loss), para el cálculo utilizamos la relación matemática, ecuación 2.6.

$$FSPL(dB) = 92.44 + 20 \log d + 20 \log f ; d \text{ en km y } f \text{ en GHz}$$

Se realizan los cálculos para los datos: $d=7.79, 5.49, 9.85$ y 8.15 km y 18 GHz.

$$FSPL(dB) = 92.44 + 20 \log 7.79 + 20 \log 18 = 135.38, \text{ enlace Quri-Ttio}$$

$$FSPL(dB) = 92.44 + 20 \log 5.49 + 20 \log 18 = 132.34, \text{ para enlace Quri-Moccoraise}$$

$$FSPL(dB) = 92.44 + 20 \log 9.85 + 20 \log 18 = 137.41, \text{ para enlace Quri-Callatiac}$$

$$FSPL(dB) = 92.44 + 20 \log 8.15 + 20 \log 18 = 135.77, \text{ para enlace Quri-Pata Quehuar}$$

Este modelo ha sido elegido debido a que principalmente el enlace será entre picos de cerros y no existirían obstáculos como edificios y vegetación densa.

Potencia isotrópica radiada efectiva (EIRP, Effective or Equivalent Isotropically Radiated Power), es igual a la potencia de entrada a la antena multiplicada por la ganancia

del mismo. Para bandas no licenciadas existen límites en el país es regulado por MTC, el valor máximo es de 36 dBm (4W); en tanto para bandas licenciadas según búsqueda de información no se ha encontrado una restricción alguna. Se calcula con la siguiente relación matemática.

$$EIRP(dBm) = P_{Tx}(dBm) - L_{Tx}(dB) + A_{Tx}(dBi) \quad (3.2)$$

Donde:

P_{Tx} : Potencia de transmisión de la ODU

L_{Tx} : Pérdidas en las derivaciones de transmisión

A_{Tx} : Ganancia de la antena de transmisión

La potencia de transmisión de una ODU Huawei, modelo RTN XMC-2 ODU,IS3 (Anexo 4) para un formato de modulación 1024 QAM para 18 GHz es de 17 dBm [31] como máximo. Además se considera los datos de una antena COMSCOPE modelo VHLP4-18/C de ganancia de banda media de 44.7 dBi de 1.2 m de diámetro [32]. En el presente se considera un acople directo de la ODU a la antena con una pérdida de 1.5 dB, no tiene derivaciones ni uso de guía de onda, por lo que las pérdidas en las derivaciones es nulo ($L_{Tx} = L_{Rx} = 0$) [2]. La elección de estos equipos es debido a que los operadores normalmente las utilizan estas o muy similares.

$$EIRP(dBm) = 17 - 1.5 + 44.7 = 60.2, \text{ para } 18 \text{ GHz}$$

Absorción atmosférica, se refiere a la atenuación generada por gases atmosféricos (incluido vapor de agua) y la lluvia (temporal). La expresión matemática es:

$$A_a(dB) = d(\gamma_o + \gamma_w) \quad (3.3)$$

En donde, γ_o es la atenuación específica del aire seco (oxígeno), γ_w es del vapor de agua (ambos expresados en dB/km) y d es la distancia en km entre los dos puntos del enlace.

Para el oxígeno, la atenuación específica en la dependencia horizontal viene dada por [33]:

$$\gamma_o(dB/km) = \left[7.19 * 10^{-3} + \frac{6.09}{f^2 + 0.227} + \frac{4.81}{(f - 57)^2 + 1.5} \right] f^2 * 10^{-3} \quad (3.4)$$

Para $f < 57$ GHz. Donde f esta expresada en GHz.

Para el vapor de agua, la atenuación específica en la dependencia horizontal viene dada por [33]:

$$\gamma_w(dB/km) = \left[0.067 + \frac{3}{(f - 22.3)^2 + 7.3} + \frac{9}{(f - 183.3)^2 + 6} + \frac{4.3}{(f - 323.8)^2 + 10} \right] f^2 \rho 10^{-4} \quad (3.5)$$

Para $f < 350$ GHz. Donde, f es la frecuencia en GHz y ρ es la densidad del vapor de agua en g/m³, en este estudio se considera 15 g/m³ (para meses de mayor intensidad de lluvia, diciembre a febrero), por recomendación de ITU-R P.836-3 para la zona en estudio.

Los cálculos de se realizaran para frecuencia de 18 GHz, se utilizan las ecuaciones 3.6 y 3.7.

$$\gamma_o(dB/km) = \left[7.19 * 10^{-3} + \frac{6.09}{18^2 + 0.227} + \frac{4.81}{(18 - 57)^2 + 1.5} \right] 18^2 * 10^{-3}$$

$$\gamma_o(dB/km) = 0.00944$$

$$\gamma_w(dB/km) = \left[0.067 + \frac{3}{(18 - 22.3)^2 + 7.3} + \frac{9}{(18 - 183.3)^2 + 6} + \frac{4.3}{(18 - 323.8)^2 + 10} \right] 18^2 * 15 * 10^{-4}$$

$$\gamma_w(dB/km) = 0.08928$$

Se tienen la atenuación específica de:

$$\gamma_o + \gamma_w = 0.00944 + 0.08928 = 0.09872 \text{ dB/km}$$

Para distancias de 7.79 y 5.49, 9.85 y 8.1 km se tienen las atenuaciones para los cuatro enlaces:

$$A_a(dB) = 7.79(\gamma_o + \gamma_w) = 7.79 * 0.09872 = 0.769$$

$$A_a(dB) = 5.49(\gamma_o + \gamma_w) = 5.49 * 0.09872 = 0.542$$

$$A_a(dB) = 9.85(\gamma_o + \gamma_w) = 9.85 * 0.09872 = 0.972$$

$$A_a(dB) = 8.15(\gamma_o + \gamma_w) = 8.15 * 0.09872 = 0.805$$

Atenuación por efectos de precipitación

En la zona de estudio la atenuación preponderante es a causa de la lluvia intermitente entre los meses de noviembre marzo, la cual se considera el peor de los casos (worst month), donde puede haber más afectación temporal a los sistemas de enlaces, provocando el impacto negativo en la disponibilidad.

$$A(dB) = \gamma_R d_{eff} \tag{3.6}$$

En donde, γ_R es atenuación específica de la lluvia en dB/km y d_{eff} es la distancia efectiva del trayecto del enlace en km, considerada de la recomendación ITU-R P.530-7.

Según las especificaciones ITU-R P.838-3 para hallar γ_R se tiene la relación matemática siguiente:

$$\gamma_R = kR_{0.01}^\alpha \tag{3.7}$$

En donde, R es tasa anual de la lluvia y los coeficientes k y α tienen valores según el tipo de polarización (en este caso es vertical) y frecuencia, dadas por ITU-R P838-3; se tiene la siguiente tabla:

F (GHz)	k_H	α_H	k_V	α_V
18	0.07078	1.0818	0.07708	1.0025

Tabla 3.7: Coeficientes estimadas para atenuación por lluvia [34].

$R_{0.01}$ es la precipitación pluvial en mm/hr, para un tiempo de exposición de 0.01%, este se obtiene de la recomendación ITU-R PN.837-1 de la Figura 3.13.

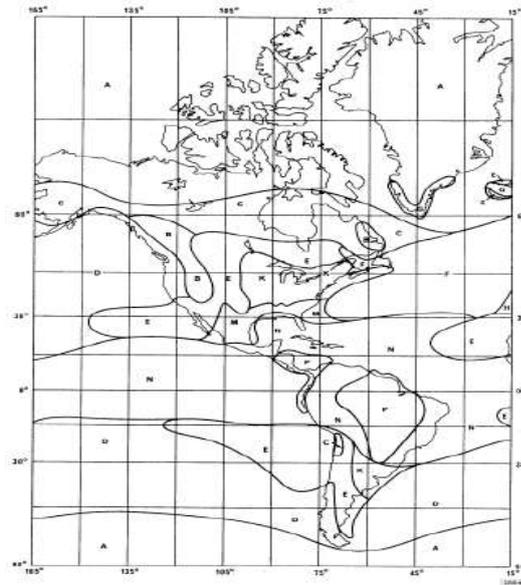


Figura 3.13: Zonas hidrometeorológicas para predicción de precipitación [35].

Porcentaje de tiempo (%)	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q
1,0	<0,1	0,5	0,7	2,1	0,6	1,7	3	2	8	1,5	2	4	5	12	24
0,3	0,8	2	2,8	4,5	2,4	4,5	7	4	13	4,2	7	11	15	34	49
0,1	2	3	5	8	6	8	12	10	20	12	15	22	35	65	72
0,03	5	6	9	13	12	15	20	18	28	23	33	40	65	105	96
0,01	8	12	15	19	22	28	30	32	35	42	60	63	95	145	115
0,003	14	21	26	29	41	54	45	55	45	70	105	95	140	200	142
0,001	22	32	42	42	70	78	65	83	55	100	150	120	180	250	170

Figura 3.14: Zonas hidrometeorológicas de intensidad de la lluvia excedida (mm/h) [35].

En la ecuación 3.5, para hallar la distancia efectiva d_{eff} y el factor de reducción r , las relaciones son:

$$d_{eff} = \frac{d_0 d}{d_0 + d} \quad (3.8)$$

En donde, d_0 es el factor dependiente del nivel de precipitación.

Si $R_{0,01} \leq 100 \text{ mm/h}$ se tiene:

$$d_0 = 35e^{-0.015R_{0,01}} \quad (3.9)$$

Sea $R_{0,01} = 95 \text{ mm/h}$, entonces $d_0 = 35e^{-0.015*95} = 8.4178$

Para 18 GHz, $k_v = 0.07708$ y $\alpha_v = 1.0025$

$$\gamma_R = 0.07708 * 95^{1.0025} = 7.4064 \text{ dB/km.}$$

Ahora se calcula las atenuaciones producidas por la lluvia:

Para enlace Quri-Ttio, $d = 7.79 \text{ km}$:

$$d_{eff} = \frac{8.4178 * 7.79}{8.4178 + 7.79} = 4.046$$

$$A_{0,01}(dB) = 7.4064 * 4.046 = 29.97$$

Para enlace Quri-Moccoraise, $d = 5.49$ km:

$$d_{eff} = \frac{8.4178 * 5.49}{8.4178 + 5.49} = 3.323$$

$$A_{0,01}(dB) = 7.4064 * 3.323 = 24.61$$

Para enlace Quri-Callatiac, $d = 9.85$ km:

$$d_{eff} = \frac{8.4178 * 9.85}{8.4178 + 9.85} = 4.539$$

$$A_{0,01}(dB) = 7.4064 * 4.539 = 33.62$$

Para enlace Quri-Pata Quehuar, $d = 8.15$ km:

$$d_{eff} = \frac{8.4178 * 8.15}{8.4178 + 8.15} = 4.141$$

$$A_{0,01}(dB) = 7.4064 * 4.141 = 30.67$$

Por lo tanto, se requieren márgenes de desvanecimiento de 29.97 dB, 24.61 dB, 33.62 dB y 30.67 dB para alcanzar el objetivo de interrupción del 99,99%, la evaluación será haciendo el contraste con los valores de FM; sin embargo en caso de considerar el uso de una banda de frecuencia más alta, como 23 GHz, para algunos enlaces, en tales casos se requerirán márgenes de desvanecimiento mayores.

Potencia de recepción nominal, incluida la absorción atmosférica, hacemos el uso de la relación matemática siguiente:

$$P_{Rx}(dBm) = EIRP(dBm) - FSPL(dB) - A_a(dB) + A_{Rx}(dBi) - L_{Rx}(dB) \quad (3.10)$$

Donde:

A_a : Absorción atmosférica

A_{Rx} : Ganancia de la antena de recepción

L_{Rx} : Pérdida en las derivaciones de recepción

Se realizan los cálculos de la potencia de recepción de los enlaces Quri-Ttio, Quri-Moccoraise, Quri-Callatiac y Quri-Pata Quehuar respectivamente.

$$P_{Rx} (dBm) = 60.2 - 135.38 - 0.769 + 44.7 - 1.5 = -32.75$$

$$P_{Rx} (dBm) = 60.2 - 132.34 - 0.542 + 44.7 - 1.5 = -29.48$$

$$P_{Rx} (dBm) = 60.2 - 137.41 - 0.972 + 44.7 - 1.5 = -34.98$$

$$P_{Rx} (dBm) = 60.2 - 135.77 - 0.805 + 44.7 - 1.5 = -33.18$$

Margen de desvanecimiento (Fade Margin, FM), es definida como la diferencia entre los niveles de recepción nominal y del umbral del receptor (sensibilidad del receptor) para diferentes tasas de BER (Bit Error Rate) es un indicador de margen de seguridad contra el desvanecimiento. El desvanecimiento es la alteración del nivel de señal de recepción a causa de condiciones atmosféricas y también debido a reflexiones por el agua y tierra presentes en la trayectoria el enlace, además por problemas de multitrayecto. Es un requisito fundamental que el nivel de la potencia de recepción sea mayor al nivel del umbral de recepción, el mínimo de valor aceptable de FM es 3 dB. El margen de desvanecimiento que debe lograrse debe cumplir los objetivos de disponibilidad y rendimiento establecidos [2].

$$FM(dB) = P_{Rx} - P_u > 3 \quad (3.11)$$

Donde:

P_{Rx} : Nivel de recepción nominal

P_u : Potencia umbral de recepción

Según referencia se considera -62.5 dBm (RSL@ BER=10⁻⁶ (dBm)) de sensibilidad del receptor para la frecuencia de 18 GHz con espaciamiento de canal de 28 MHz y para una modulación de 1024-QAM [36], con ello se calcularán en cada caso:

$$FM(dB) = -32.75 - (-62.5) = 29.75, \text{ para enlace Quri-Ttio.}$$

$$FM(dB) = -29.48 - (-62.5) = 33.02, \text{ para enlace Quri-Moccoraise.}$$

$$FM(dB) = -34.48 - (-62.5) = 28.02, \text{ para enlace Quri-Callatiac.}$$

$$FM(dB) = -33.18 - (-62.5) = 29.32, \text{ para enlace Quri-Pata Quehuar.}$$

Se obtuvo valores de FM mayores a 3 dB, sin embargo de los enlaces Quri-Callatiac y Quri-Pata Quehuar son menores a la atenuación por lluvia. Aquí se requiere aplicar la modulación adaptativa, para lo cual se calculará para una modulación de 512-QAM, se tiene la sensibilidad de -65.5 dBm (para una interface física IP) y potencia de transmisor de 19 dBm.

$$P_{Rx} (dBm) = 62.2 - 137.41 - 0.972 + 44.7 - 1.5 = -32.98, \text{ enlace Quri-Callatiac.}$$

$$P_{Rx} (dBm) = 62.2 - 135.77 - 0.805 + 44.7 - 1.5 = -31.18, \text{ enlace Quri-Pata Quehuar.}$$

Los nuevos márgenes de desvanecimiento:

$$FM(dB) = -32.98 - (-65.5) = 32.52, \text{ para enlace Quri-Callatiac.}$$

$$FM(dB) = -31.18 - (-65.5) = 34.32, \text{ para enlace Quri-Pata Quehuar.}$$

El margen de desvanecimiento para enlace Quri-Callatiac es muy cercana al valor obtenido de atenuación por lluvia, por lo tanto es posible inferir que los enlaces Quri-Ttio,

Quri-Callatiac y Quri-Pata Quehuar no tendrán cortes en presencia de lluvia cuando este habilitado la modulación adaptativa, entre 256 QAM y 1024 QAM.

Zona de Fresnel, o radio de Fresnel, se calcula con las ecuaciones 2.3 y 2.4 la primera y cuarta zona de Fresnel ($n=1$ y 4). Para distancias mayores a 10 km se debe considerar la tierra con la curvatura correspondiente, haciendo la corrección del perfil entre el transmisor y el receptor.

Del perfil de elevación dado por Google Earth, se han tomado las distancias a los posibles obstáculos o en su defecto se ha considerado la mitad del total del trayecto.

Enlace Quri-Ttio, $f=18$ GHz y distancia total de $d=7.79$ km, el máximo radio se dará en $d_1 = d/2 = 3.895$ km y $d_2 = d/2 = 3.895$ km.

$$F_1(m) = 17.3 \sqrt{\frac{3.895(3.895)}{18(7.79)}} = 5.69, \quad F_2(m) = 5.69\sqrt{2} = 8.05 \quad \text{y} \quad F_3(m) = 5.69\sqrt{3} = 9.86$$

El 60 % del primer radio de Fresnel es 3.0204 m, esta distancia de despeje debería garantizarse, en la Figura 3.15 a la mitad del trayecto no se observa algún obstáculo, se puede afirmar que existe 100 % de despeje.

Si consideramos obstáculos dados por Google Earth.



Figura 3.15: Perfil de elevación Quri-Ttio.

Si $d = 7.79$ km, $d_1 = 0.0676$ km y $d_2 = 7.722$ km

$$F_1(m) = 17.3 \sqrt{\frac{0.0676(7.722)}{18(7.79)}} = 1.06, F_4(m) = 1.06\sqrt{4} = 2.12, \text{ el } 60\% \text{ de } F_1 \text{ es } 0.64\text{m.}$$

Enlace Quri-Moccoraise, $f=18$ GHz y distancia total de $d=5.49$ km, obstáculo cercano está a $d_1 = 5.34$ km y $d_2 = 0.15$ km.

$$F_1(m) = 17.3 \sqrt{\frac{5.34(0.15)}{18(5.49)}} = 1.56 \text{ y } F_4(m) = 1.56\sqrt{4} = 2.21, \text{ el } 60\% \text{ de } F_1 \text{ es } 0.94 \text{ m.}$$

Enlace Quri-Callatiac, $f=18$ GHz y distancia total de $d=9.85$ km, el obstáculo está a $d_2 = 6.25$ km y $d_1 = 3.6$ km.

$$F_1(m) = 17.3 \sqrt{\frac{6.25(3.6)}{18(9.85)}} = 6.16 \text{ y } F_4(m) = 6.16\sqrt{4} = 12.32, \text{ el } 60\% \text{ de } F_1 \text{ es } 3.7 \text{ m.}$$

Debido a que existe un pico elevado en el trayecto del enlace Quri-Callatiac, es necesario evaluar la altura de despeje con la ecuación 3.12, en el que h_1 y h_2 son las alturas de las antenas y h_o la altura del pico medidos desde el nivel del mar, $k=4/3$ (curvatura de la tierra) y A es el radio de la tierra, 6371 km [37].

$$Fn' = h_1 + \frac{d_1}{d_1 + d_2} (h_2 - h_1) - \left(h_o + \frac{d_1 d_2}{2kA} \right) \quad (3.12)$$

La altura de las antenas $h_1=4230+30=4260$ m, $h_2=4243+40=4283$ m, $h_o=4240$ m, $d_1=3.6$ km y $d_2=6.25$ km.



Figura 3.16: Perfil de enlace Quri-Ttio y altura del pico.

$$Fn'(m) = 4260m + \frac{3.6km}{9.85km} (23m) - (4240m + \frac{3.6km * 6.25km}{2 * 1.33 * 6371km})$$

$$Fn'(m) = 27.078$$

La altura de despeje es mayor a la cuarta zona de Fresnel, por lo que no se tendría algún inconveniente, esto se verificará con la simulación.

Enlace Quri-Pata Quehuar, $f=18$ GHz y distancia total de $d=8.15$ km, el obstáculo está a $d_1=4.5$ km y $d_2=3.65$ km.

$$F_1(m) = 17.3 \sqrt{\frac{4.5(3.65)}{18(8.15)}} = 5.79 \text{ y } F_4(m) = 5.79 \sqrt{4} = 11.58, \text{ el } 60\% \text{ de } F_1 \text{ es } 3.47 \text{ m.}$$

Confiabilidad (R), del enlace es un parámetro que indica el tiempo promedio de operación o disponibilidad de un sistema de radioenlace, sin que ocurra una interrupción de servicio. Está expresado en valor porcentual. Se calcula con la siguiente relación matemática (método Vigants-Barnett):

$$R = (1 - 6 * 10^{-7} abfd^3 * 10^{-FM/10}) * 100\% \quad (3.13)$$

Donde:

R: Confiabilidad del sistema

a: Variable del tipo del terreno

b : Factor climático del lugar

f : Frecuencia en GHz

d : Distancia del trayecto en km

FM : Fade Margin (margen de desvanecimiento)

a	Tipo de terreno
4	Terreno muy suave o agua
1	Terreno poco montañoso
1/4	Terreno montañoso

Tabla 3.8: Factor de rugosidad a [38].

b	Tipo de terreno
1/2	Zonas con costas
1/4	Clima con temperatura normal
1/8	Zonas montañosas o muy secas

Tabla 3.9: Factor climático b [38]

Para todos los casos se considera $a=1/4$ y $b=1/8$ y la frecuencia $f=18$ GHz.

Enlace Quri-Ttio distancia total de $d=7.79$ km.

$$R = (1 - 6 * 10^{-7} * 0.25 * 0.125 * 18 * 7.79^3 * 10^{-19.004/10}) * 100\%$$

$$R = 99.999983\%$$

Enlace Quri-Moccoraise distancia total de $d=5.49$ km.

$$R = (1 - 6 * 10^{-7} * 0.25 * 0.125 * 18 * 5.49^3 * 10^{-22.896/10}) * 100\%$$

$$R = 99.999997\%$$

Enlace Quri-Callatiac distancia total de $d=9.85$ km.

$$R = (1 - 6 * 10^{-7} * 0.25 * 0.125 * 18 * 9.85^3 * 10^{-32.52/10}) * 100\%$$

$$R = 99.999982\%$$

Enlace Quri-Pata Quehuar distancia total de $d=8.15$ km.

$$R = (1 - 6 * 10^{-7} * 0.25 * 0.125 * 18 * 8.15^3 * 10^{-34.32/10}) * 100\%$$

$$R = 99.999993\%$$

Especificaciones técnicas del RTN 950

Es un equipo de radio flexible que proporciona enlaces de microondas de alta capacidad y disponibilidad para redes TDM, basadas en IP e híbridas. Los sistemas de la serie OptiX RTN 900 admiten transmisión de voz en redes 2G, servicios de voz y datos en redes 3G y servicios de datos de banda ancha en redes LTE.

En base a la hoja de características técnicas se ilustran datos del mencionado equipo de enlace de microondas.

Ancho de banda, está relacionado con el espaciamiento de canales, en este caso el equipo de referencia tiene 7, 14, 28 y 56 MHz (Anexo 5) [39], también especificados por ITU-R F.595-7, la cual provee un ancho de banda máximo de 56 MHz [40], en tanto que la versión RTN 950A posee un espaciamiento hasta 112 MHz. Mas adelante se elegirá el espaciamiento según requerimientos de diseño de redes móviles.

Formatos de modulación, posee desde QPSK hasta 1024-QAM, con modulación adaptativa y cada formato posee una potencia de transmisión máxima, en el presente se ha considerado 1024-QAM como máximo en la frecuencia de 18 GHz, para espaciamiento de 28 MHz de una interface física IP [31].

Throughput, el equipo en mención usa una serie de configuraciones destinadas concretamente para High Throughput. El equipo Optix RTN de la serie 900 posee un Throughput hasta 2.5 Gbps por portadora [41], tal como se verifica en la hoja de especificaciones técnicas.

Otras características son como, tipo de interfaz, E1, STM-1 (e/o), FE (e/o), GE (e/o), 2.5GE (o) y 10 GE (o). Para encaminamiento del tráfico telefónico generado por una estación base celular, como las tecnologías 3G y 4G son redes IP, es posible utilizar FE o GE.

Parámetros de desempeño de radioenlaces

Eficiencia de ancho de banda

Se usa para comparar el funcionamiento de dos técnicas de modulación digital, es la relación de velocidad de transmisión de bits entre el ancho mínimo de banda para cierto esquema de modulación [4]. Se tiene la siguiente relación.

$$\text{Eficiencia}_{AB} = \frac{\text{Rapidez de Transmisión}(\text{bps})}{\text{Ancho mínimo de banda}(\text{Hz})} \quad (3.14)$$

El ancho mínimo de banda (B) para una modulación M-aria se determina con la siguiente relación:

$$B = \frac{f_b}{N} \quad (3.15)$$

Donde, f_b es la rapidez de entrada de bits (bps) y N en este caso es la cantidad de bits codificados [4].

Sea $f_b=62.2$ Mbps y una modulación máxima de 1024-QAM, de donde $N=10$. El ancho mínimo de banda es:

$$B = \frac{62.2 \text{ Mbps}}{10} = 6.22 \text{ MHz}$$

$$\text{Eficiencia}_{AB} = \frac{62.2 \text{ Mbps}}{6.22 \text{ MHz}} = \frac{10 \text{ bps}}{\text{Hz}}, \text{ o dicho de otra forma } 10 \text{ bits/ciclo la eficiencia del}$$

ancho de banda.

Densidad espectral del ruido térmico

En todo sistema se tiene:

$$N_o = kT \quad (3.16)$$

Donde, k es la constante de Boltzman ($1.381 \times 10^{-23} \text{W/Hz}$) y T es la temperatura de operación estándar del amplificador (290 K) [6].

$$N_o \left(\frac{dB}{Hz} \right) = 10 \log \left(1.381 * 10^{-23} \frac{W}{HzK} 290K \right) = -203.974$$

Potencia del ruido térmico

Dado que:

$$N = kTB \quad (3.17)$$

Donde, B es el ancho mínimo de banda necesario para 3.5G y 3.9G.

$$N(dB) = 10 \log \left(1.381 * 10^{-23} \frac{W}{HzK} 290K * 6.22 * 10^6 \text{ Hz} \right) = -136.036, \text{ en dBm sería,}$$

$$N(dBm) = 10 \log \left(1.381 * 10^{-23} \frac{W}{HzK} 290K * 6.22 * 10^6 \text{ Hz} * \frac{1000mW}{W} \right) = -106.036$$

Relación señal a ruido

Se calcula con la siguiente relación:

$$\frac{C}{N} = \frac{P_{Rx}}{N} (dB) = 10 \log \left(\frac{P_{Rx}}{N} \right) = P_{Rx} (dBm) - N (dBm) \quad (3.18)$$

Para cada radioenlace:

$P_{Rx} (dBm) = -32.75$, para enlace Quri-Ttio, entonces:

$$SNR(dB) = -32.75 - (-106.036) = 73.29$$

$P_{Rx}(dBm) = -29.48$, para enlace Quri-Moccoraise, se tiene:

$$SNR(dB) = -29.48 - (-106.036) = 76.56$$

$P_{Rx}(dBm) = -34.98$, para enlace Quri-Callatiac, se tiene:

$$SNR(dB) = -34.98 - (-106.036) = 71.06$$

$P_{Rx}(dBm) = -33.18$, para enlace Quri-Pata Quehuar, entonces:

$$SNR(dB) = -33.18 - (-106.036) = 72.86$$

En todos los enlaces se tiene buen nivel de SNR, esto indica que los enlaces cumplirán el adecuado desempeño.

Cálculo de E_b/N_o

E_b/N_o es la relación de energía por bit a densidad espectral de ruido en un canal de comunicación, conocida también como SNR por bit.

$$\begin{aligned} \frac{E_b}{N_o}(dB) &= 10\log(E_b) - 10\log(N_o) = 10\log\left(\frac{C}{f_b}\right) - 10\log(N_o) \\ &= 10\log(C) - 10\log(f_b) - 10\log(N_o) \\ &= P_{Rx} - 30 - 10\log(f_b) - 10\log(N_o) \end{aligned} \quad (3.19)$$

Dónde, C es la potencia de la portadora antes de ser demodulada (P_{Rx}) y f_b es la frecuencia de bits.

Las EBCs planificadas tienen las tecnologías 3.5G y 3.9G, por ello se considera el throughput total de 62.2 Mbps.

Para enlace Quri-Ttio:

$$\begin{aligned}\frac{E_b}{N_o} (dB) &= -32.75 - 30 - 10 \log(62.2 * 10^6) - (-203.974) \\ &= 63.29\end{aligned}$$

Para enlace Quri-Moccoraise:

$$\begin{aligned}\frac{E_b}{N_o} (dB) &= -29.48 - 30 - 10 \log(62.2 * 10^6) - (-203.974) \\ &= 66.56\end{aligned}$$

Para enlace Quri-Callatiac:

$$\begin{aligned}\frac{E_b}{N_o} (dB) &= -34.98 - 30 - 10 \log(62.2 * 10^6) - (-203.974) \\ &= 61.06\end{aligned}$$

Para enlace Quri-Pata Quehuar:

$$\begin{aligned}\frac{E_b}{N_o} (dB) &= -33.18 - 30 - 10 \log(62.2 * 10^6) - (-203.974) \\ &= 62.86\end{aligned}$$

Similar a SNR se tienen resultados favorables, los radioenlaces cumplirán los objetivos de diseño.

Probabilidad de error (P(e)) y tasa de error de bits (BER)

Probabilidad de error de bit es la expectativa teórica de que cierto sistema en el funcionamiento posea tasa de errores [4].

La BER se puede conceptuar como estimación aproximada de P(e) y es un registro empirico de operación real de un sistema respecto a errores se refiere [4].

Errores QAM

La existencia de errores de bits está relacionada de forma directa con la distancia entre los puntos de un diagrama de estado-espacio de señal en un sistema de modulación digital. Los sistemas M-arios mayores de 4, tienen gran cantidad de puntos de señal, en cambio la distancia entre los puntos de señalización de un PSK es menor que de un sistema QAM [4]. Se tiene la ecuación de probabilidad:

$$P(e) = \frac{2}{\log_2 M} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}} \right) \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{3 \log_2 M}{2(M-1)} \frac{E_b}{N_o}} \right) \quad (3.20)$$

Donde, M es la cantidad de niveles en cada eje.

En la Figura 3.17 se observa P(e) teórico para modulaciones M-arios de QAM. De ello se obtiene para 1024-QAM un Eb/No de 28.5 dB para un BER de 10⁻⁶.

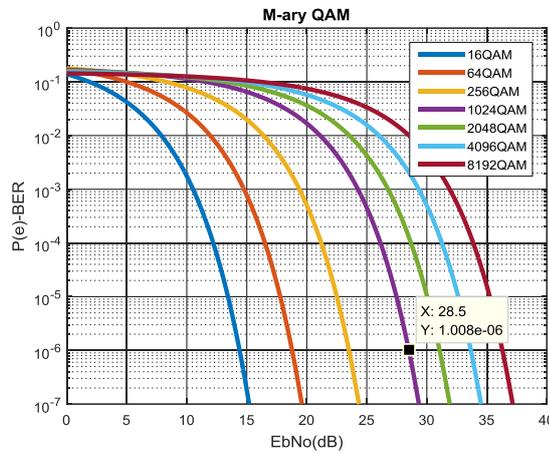


Figura 3.17: P(e) de un sistema QAM.

Los valores de Eb/No calculados para cada radioenlace de microondas están entre 61.06 dB a 66.56 dB, superior al valor teórico obtenido de la Figura 3.17, por ejemplo para una BER de 10⁻⁶ con modulación de 1024-QAM el mínimo de Eb/No es 28.5 dB, de ello se deduce que la elección del equipamiento y frecuencias de operación es idónea, cumple con

los objetivos del presente proyecto. Los valores de $P(e)$ fueron obtenidos de la ecuación 3.15, implementados en MatLab. Como un resumen se elabora la siguiente tabla con los datos obtenidos de los cálculos.

Enlace	FSPL (dB)	EIRP (dBm)	PRx (dBm)	FM (dB)	F1 (m)	R (%)	Eb/No (dB)	P(e)
Quri-Ttio	135.38	60.02	-32.75	29.75	1.06	99.999983	63.29	0
Quri-Moccoraise	132.34	60.02	-29.48	33.02	1.56	99.999997	66.56	0
Quri-Callatiac	137.41	60.02	-34.98	28.02	6.16	99.999982	61.06	0
Quri-Pata Quehuar	135.77	60.02	-33.18	29.32	5.79	99.999993	62.86	0

Tabla 3.10: Parámetros de los enlaces.

3.3 Diseño y planificación de redes móviles

3.3.1 Propuesta de las redes de acceso

Tal como se ha mencionado en el planteamiento del problema en todo el distrito existe solo una EBC del operador América Móviles Perú SAC (Claro), la cual está ubicada en el cerro Quri, en tanto por otra parte hay dos sitios que solo ocupa Telefónica Móviles SA, por lo que la infraestructura ya existe, con torre tipo autoportante, energía eléctrica, cerco perimétrico y es propiedad de la torrería Telxius y/o ATC Sitios del Perú SRL, ubicada en el cerro perteneciente a la CC de Ttio y otro en el cerro de CC de Pata Ccolcca, en estos sitios serán reubicados, se detallan los datos en la Tabla 3.11.

EBC	Altura/Torre	Ocupantes	Latitud	Longitud
Quri	48 m	Solo Claro	13° 50' 6.53" S	71° 31' 8.77" W
Ttio	30 m	Solo Movistar	13° 46' 49.79" S	71° 33' 52.45" W
Moccoraise	45 m	Solo Movistar	13° 52' 54.98" S	71° 30' 8.02" W

Tabla 3.11: EBCs existentes.

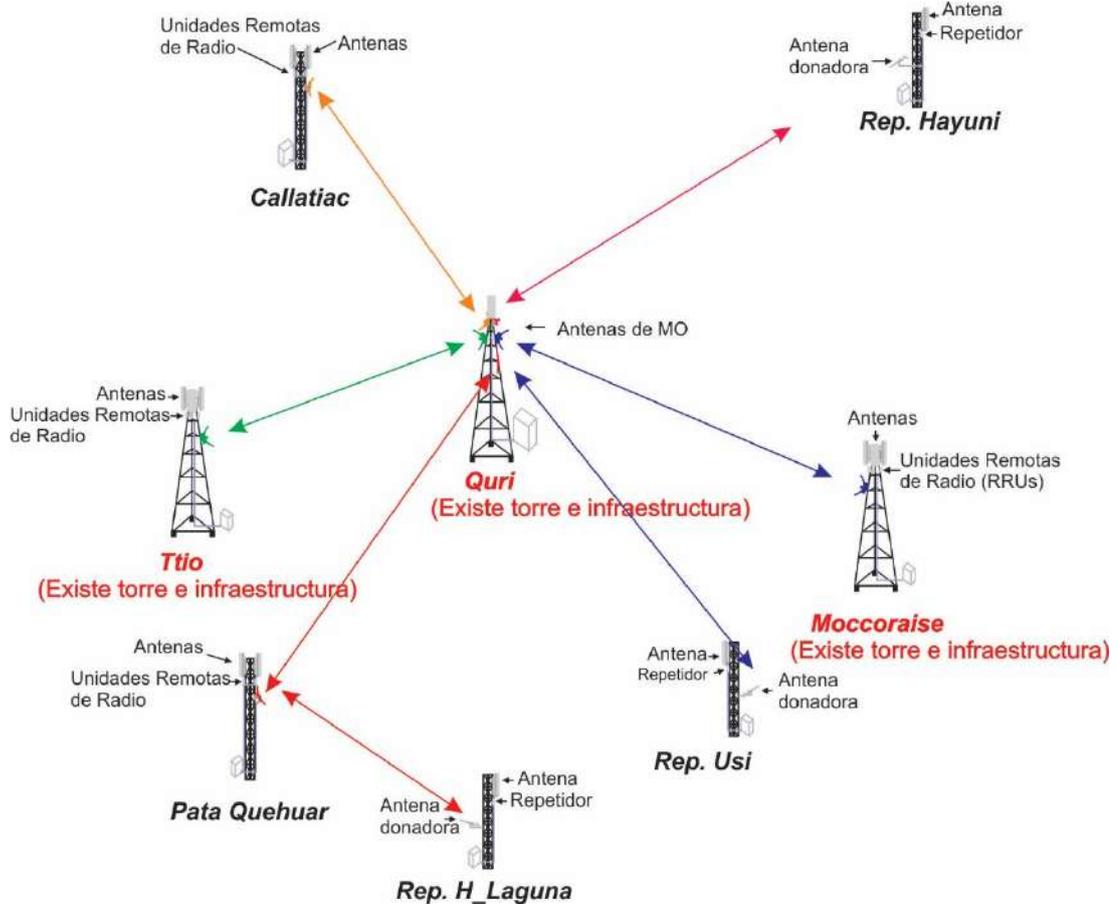


Figura 3.18: Propuesta de ubicación de EBCs.

Se corroborará con simulaciones las coordenadas con el software PathLoss en el capítulo de simulaciones la línea de vista de cada repetidor.

Un objetivo es la estimación de la cantidad de EBCs requeridos en la jurisdicción del distrito de Quiquijana, para satisfacer la demanda de cobertura. Para ello se debe obtener los parámetros del Link Budget, sin considerar una EBC o repetidor en específico, de ello estimaremos valores de atenuación máxima entre la EBC y el equipo de usuario y viceversa.

En ambos casos (3.5G y 3.9G), se realizarán el diseño de la cobertura y capacidad, en forma analítica empleando el método tradicional.

3.3.2 Diseño y planificación de redes 3.5G

UMTS-WCDMA 850 MHz, UTRA band B5

En este apartado se desarrollará el diseño de la red 3.5G (UMTS), incluido los repetidores.

El presupuesto de enlace de UMTS-FDD de una macrocelda es usado para definir los umbrales de path loss, y esto representa una información para la herramienta de planificación de radio, cuando evaluamos la cobertura en el área geográfica de interés. Se presentan varios enfoques de análisis y discusión sobre varios parámetros de los sistemas de transmisión y recepción. La planificación está sujeta de ejecución en base al Link Budget Procedure de DL y UL dada por vendor Huawei de la Figura 2.35.

Planificación de cobertura de WCDMA

Tasas de chip e información

La tasa del chip del sistema es 3.84 Mchip/s (5MHz-0.58MHz*2 (guard band per either side)) considerando que la tasa de la información depende del servicio. La tasa de información para la voz es 12.2 kbps, mientras para data pueden ser 64 kbps, 128 kbps, 384 kbps o HSPA (en el presente proyecto esta es la elección). La ganancia de procesamiento es la relación entre las tasas de dispersión y de transmisión de los datos, es calculada con la ecuación 3.21.

$$\text{Processing gain(dB)} = 10 \log \left(\frac{\text{Chip rate}}{\text{Bit rate}} \right) \quad (3.21)$$

Velocidad de UE

Es un parámetro importante que impacta en los requerimientos E_b/N_0 de los enlaces UL y DL. Las figuras de E_b/N_0 son basadas en los modelos de movilidad de 120 km/h y 3 km/h para contornos de movilidad vehicular y peatonal. A 3 km/h el UE sufre significativamente un desvanecimiento por ello se requiere el control de potencia para rastrear el desvanecimiento. En otro caso cuando el UE está moviéndose a 120 km/h se da el caso que el control de potencia no puede rastrear el desvanecimiento rápido, por tanto el valor de E_b/N_0 se ve afectado por el rendimiento entrelazado.

Potencia de transmisión

La potencia del transmisor del NodeB representa la potencia máxima asignada a una sola conexión. Se considera una ganancia positiva de antena y pérdida en cuerpo, pero se asume una ganancia neta de 0 dB.

EIRP, es de carácter teórico, mide la potencia que sería radiada por una antena isotrópica para conseguir una potencia de densidad máxima, en la dirección de máxima ganancia de la antena. La potencia radiada por una antena direccional se transpone a la potencia emitida por una antena ideal (isotrópica) considerando la ganancia y la potencia en la entrada de la antena. En cada caso, se tienen las relaciones matemáticas.

Caso DL, consideramos la RRU 3952 de la marca Huawei, que tiene la potencia de transmisión típica de 2x60 W, equivale a 2x47.78 dBm [42], en el presente se tomará un esquema de una portadora cuya potencia de transmisión por cada portadora es 2x40 W en dBm equivale a 46 y la antena es la marca Huawei cuyo modelo es ADU4516R6v06 de ganancia 16 dBi [30]. Se calcula con la ecuación 3.2 modificada.

$$EIRP(dBm) = P_{Tx}(dBm) - CL_{Tx}(dB) - FL_{Tx}(dB) + A_{Tx}(dBi)$$

Donde:

P_{Tx} : Potencia de transmisión del NodeB

CL_{Tx} : Pérdida en conectores

FL_{Tx} : Pérdida en cable RF

A_{Tx} : Ganancia de la antena del NodeB

$$EIRP(dBm) = 46 - 1 - 1 + 16 = 60$$

Caso UL, UE, consideremos la antena de 0 dBi de ganancia. La potencia máxima de UE para terminal de voz es especificada como 20.97 dBm [18].

$$EIRP(dBm) = P_{Tx}(dBm) + A_{Tx}(dBi) - BL(dB)$$

Donde:

P_{Tx} : Potencia de transmisión del UE

A_{Tx} : Ganancia de la antena del UE

BL: Pérdida en el cuerpo

$$EIRP(dBm) = 20.97 + 0 - 0 = 20.97$$

Densidad espectral del ruido térmico

De la ecuación 3.17, $N_o = kT$, la k es la constante de Boltzman y T es la temperatura de trabajo del amplificador de magnitud 290 K [43].

$$N_o \left(\frac{dBm}{Hz} \right) = 10 \log \left(1.381 * 10^{-23} \frac{W}{HzK} 290K \frac{1000mW}{W} \right) = -173.974$$

Ancho de banda por tasa de Chip = 3.84 MChip/s = 3.84x10⁶ Chip/s

$$B \text{ per Chip rate}(dB) = 10 \log(3.84 * 10^6) = 65.843$$

Potencia del ruido térmico

Se calcula con la ecuación 3.18, si $N = kTB$ (B es el ancho de banda) y el chip rate de 3.84 MChip/s.

$$N(dBm) = 10 \log \left(1.381 * 10^{-23} \frac{W}{HzK} 290K * 3.84 * 10^6 Hz * \frac{1000mW}{W} \right) = -108.131$$

Potencia del ruido del receptor/potencia total efectiva del ruido

Es calculado por la siguiente relación.

$$\text{Receiver Noise Power} = \text{Thermal Noise Power} + \text{Noise Figure} \quad (3.22)$$

$$\text{Receiver Noise Power} = -108.131 + \text{Noise Figure}$$

La figura de ruido es una medida de la degradación de la SINR, es decir cuanto ruido adiciona el receptor a la señal. En donde la figura de ruido es 8 para DL y 5 para UL [18].

E_b/N₀

Expresa la relación la energía de bits y la densidad del ruido térmico recibido en la entrada del receptor. E_b es la energía recibida por la tasa de bits. N_0 es la densidad de potencia del ruido dividido por el ancho de banda.

Sensibilidad térmica del receptor

Es la mínima potencia recibida en el receptor para cumplir con el requerimiento del E_b/N_0 . A menor sensibilidad el receptor puede trabajar con bajos niveles de potencia, esta característica permite que el sistema tenga mayor cobertura.

$$\text{Receiver Thermal Sensitivity} = \text{Effective Noise Power} + \text{Required } E_b/N_0 - \text{Processing Gain} \quad (3.23)$$

Ganancia de traspaso suave

El fenómeno de traspaso suave puede brindar una mejor calidad de señal para la conexión entre el UE y el NodeB. Dependiendo del grado de correlación de desvanecimiento lento entre estaciones base, el traspaso suave da como resultado una reducción del margen de desvanecimiento lento requerido. Además, proporciona una ganancia contra el desvanecimiento rápido al reducir el E_b/N_0 . Entre los valores típicos para la ganancia de traspaso suave son alrededor de 2-4 dB.

Efecto de carga

La interferencia de las celdas vecinas tiene un impacto en el rendimiento de la celda. El cual también se conoce como carga de celda, y el parámetro para describir esto es el factor de carga. Debido a esta carga, se produce una degradación en el balance del enlace, también conocida como degradación por interferencia. Si el factor de carga es α , entonces el margen de degradación de la interferencia puede calcularse como:

$$L(\text{dB}) = 10 \log(1 - \alpha) \quad (3.24)$$

Teóricamente α varía desde 0 a 100%, pero prácticamente está en el rango 40% a 50%.

Factor de carga y margen de interferencia

La cobertura y la capacidad de los sistemas CDMA, están íntimamente relacionadas debido al uso de la misma frecuencia y la potencia compartida. A medida que aumenta la carga de la celda, se genera más interferencia en el sistema, lo que da como resultado un área de cobertura reducida (cell breathing). El aumento y reducción del área de cobertura como resultado de la carga se conoce como celda de respiración/contracción y debe tenerse en

cuenta al dimensionar el sistema. El Link Budget incluye un margen de interferencia que se basa en el factor de carga, para el cálculo se tiene la siguiente ecuación:

$$\text{Interference margin (dB)}=10 \log \left(\frac{1}{1 - \text{Load Factor}} \right) \quad (3.25)$$

Como la cobertura generalmente está limitada en el UL, la carga ficticia UL afectará los rangos de las celdas y la densidad del sitio. Del mismo modo se debe tener en cuenta que un aumento del porcentaje de ruido dentro de una celda se debe a la interferencia de las celdas adyacentes.

$$\text{Load Factor}=1 - 10^{(-\text{Noise Rice}/10)} \quad (3.26)$$

Margen de desvanecimiento rápido/margen de control de potencia

El desvanecimiento rápido se refiere a la atenuación de las señales debido a las reflexiones y difracciones de trayectos múltiples. El promedio a corto plazo del desvanecimiento rápido generalmente se puede representar mediante una distribución de Rayleigh. En entornos de movimiento lento, el control de potencia rápido de bucle cerrado del UE puede compensar eficazmente el desvanecimiento rápido. Esto requeriría un margen adecuado en la potencia de transmisión del UE. En el actual diseño, se utilizan 2-3 dB.

Cálculos de link budget

En las redes de radio WCDMA, los cálculos del link budget deben realizarse individualmente para voz y varias velocidades de datos (por ejemplo, 64 kbps, 128 kbps, 384 kbps y HSPA) para una determinada carga y para diferentes aplicaciones. Se presenta la plantilla de link budget en la Tabla 3.11 para portador de radio HSPA.

Pérdida de ruta máxima permitida

La pérdida de ruta máxima permitida (MAPL, Maximum Allowed Path Loss) para cada servicio y en cada entorno se calcula para el DL y UL. Los factores de carga para ambos enlaces se suponen en función de la expectativa de densidad de tráfico. La EIRP de transmisión y las sensibilidades del receptor se calculan al igual que las ganancias y pérdidas netas del enlace de radio. Finalmente, se calculan las pérdidas de ruta máxima permitida para los casos de enlace. El UL es generalmente el enlace limitante en términos de cobertura de portador de radio. No obstante, se comprueba el enlace descendente para verificar esta suposición.

Selección del modelo de propagación

En base a la banda de frecuencia (850 MHz), hecha la evaluación de los diversos modelos, se elige el modelo *Okumura-Hata*, para un área suburbana.

Cálculo de radio, sean los datos $f=850$ MHz, $h_b=30$ m y $h_m=1.5$ m. Para ello se hace uso de las ecuaciones 2.8 y 2.9. Los 30 m de altura de antenas es un promedio considerado por los operadores en la región Cusco.

$$a(h_m) = [1.1 \log(850) - 0.7]1.5 - [1.56 \log(850) - 0.8] = 0.014$$

$$\begin{aligned} L_p(\text{Urban}) &= 69.55 + 26.16 \log(850) - 13.82 \log(30) - 0.014 + [44.9 - 6.55 \log(30)] \log d \\ &= 125.756 + 35.225 \log d \end{aligned}$$

$$L_p(\text{suburban}) = 125.756 + 35.225 \log d - 2 \left[\log \left(\frac{850}{28} \right) \right]^2 - 5.4 = 115.962 + 35.225 \log d$$

El radio (d) en km de la celda es:

$$d = 10^{\left(\frac{L_p(\text{suburban}) - 115.962}{35.225} \right)} \tag{3.27}$$

Capítulo 3 – Estudio de requerimientos y diseño de los sistemas

	Parámetros	Unidades	UL	DL	Fórmula
Parámetros del sistema	Servicio		UE/HSUPA	NB/HSDPA	
	Ambiente	Km/h	Suburbano		Peatonal 3/vehicular 90
	Tasa de información del bit	kbits	600	800	A
	Tasa de chip	Mchip/s	3.84	3.84	B
Características del transmisor	Potencia máx. de Tx	dBm	20.97	46	C
	Ganancia de la antena de Tx	dBi	0	16	D
	Pérdidas de Tx	dB	0	2	E
	EIRP	dBm	20.97	60	F=C+D-E
Características del receptor	Ganancia de la antena de Rx	dBi	16	0	G
	Ganancia de soft handover	dB	3	2	H
	Pérdidas de Rx	dB	2	0	I
	Pérdidas en cuerpo Rx	dB	0	0	J
	Densidad espectral del ruido térmico	dBm/Hz	-173.974	-173.974	$K=10\log(kT)$
	Potencia del ruido térmico	dBm	-108.131	-108.131	$L=K+10\log(B)$
	Figura de ruido del receptor	dB	5	8	M
	Potencia de ruido del receptor	dBm	-103.131	-100.131	$N=L+M$
	Ganancia de procesamiento	dB	8.062	6.812	$O=10\log(3840/A)$
	Eb/No requerido	dB	4	4	P
	Sensibilidad del receptor	dBm	-107.193	-102.943	Q=P-O+N (PRx)
	Ruido del dispositivo	dB	2	5	R
	Factor de carga		0.5	0.5	$S=1-10^{(-R/10)}$
Margen de reserva	Confiabilidad del área de cobertura	%	95	95	
	Margen de desvanecimiento de sombra	dB	2.65	3	T
	Margen de desvanecimiento rápido	dB	2	3	U
	Margen de interferencia	dB	2	4	V
	Pérdida de penetración interna	dB	8	13.5	W
MAPL y radios de celda	Máx. pérdida de trayecto exterior admisible	dB	138.513	154.943	X=F+G+H-I-J-Q-T-U-V
	Banda de frecuencia	MHz	850		
	Modelo de propagación		Okumura-Hata		
	Altura de antena UE/NodeB	m	1.5	30	
	Radio de celda externa	km	4.367	12.783	$Y=10^{((X-115.962)/35.225)}$
	Salida de radio de celda	km	4.367		
	Máx. pérdida de trayecto interior admisible	dB	130.513	141.443	Z=X-W
	Radio de celda interna	km	2.589	5.289	$Z1=10^{((Z-115.962)/35.225)}$
Salida de radio de celda	km	2.589			

Tabla 3.12: Información general del Link Budget WCDMA [15] [16].

El radio seleccionado es $d=2.589$ km, es el menor radio dado por el UE.

Determinación de cantidad de NodeB

Para proveer una cobertura adecuada en cada zona o área del distrito. Dependiendo de la cantidad de sectores, el área de cobertura se determina por:

$$A_{NodeB} = kR^2 \quad (3.28)$$

Donde:

k : Toma valores diferentes, para omni $k=2.6$, 2-sectores $k=1.3$, 3-sectores $k=1.95$ y 6-sectores $k=2.6$ [18].

R : Radio de la celda

Para una EBC de tres sectores:

$$A_{NodeB} = \frac{9\sqrt{3}}{8} R^2 = 1.949R^2, \text{ donde } R=d, \text{ para un radio de } 2.589 \text{ km}$$

$$A_{NodeB} (km^2) = 1.949(2.589km)^2 = 13.064$$

Para una EBC de 2 sectores:

$$A_{NodeB} (km^2) = 1.3(2.589km)^2 = 8.714$$

Para caso repetidores que son de un sector, el área es:

$$A_{NodeB} (km^2) \approx 0.65*(2.589km)^2 \approx 5.357$$

Para determinar la cantidad de NodeB, se tiene la relación de áreas:

$$\# NodeB = \frac{A_T (km^2)}{A_{NodeB} (km^2)} \quad (3.29)$$

Tal como ya se ha mencionado la jurisdicción del distrito de Quiquijana tiene un área total (A_T) de 364 km².

Si consideramos dar cobertura al área total, el número total de NodeB de tres sectores sería:

$$\# NodeB = 364 / 13.064 = 27.863 \approx 28$$

Los 28 NodeB, serían necesarios en el caso que el área de 364 km² esté completamente poblada, lo cual no es así, la estimación idónea en este caso será solo las zonas pobladas más algunas partes de las áreas de agricultura.

EBC con tres sectores:

EBC Quri, área estimada 18.4 km², $\# NodeB = 18.4 / 13.064 = 1.41 \approx 1$ una EBC existe actualmente.

EBCs con dos sectores:

EBC Ttio, área estimada 7.6 km², $\# NodeB = 7.6 / 8.714 = 0.87 \approx 1$

EBC Moccoraize, área estimada 11.8 km², $\# NodeB = 11.8 / 8.714 = 1.35 \approx 1$

EBC Callatiac, área estimada 11.7 km², $\# NodeB = 11.7 / 8.714 = 1.34 \approx 1$

EBC Pata Quehuar, área estimada 7.97 km², $\# NodeB = 7.97 / 8.714 = 0.92 \approx 1$

Las cuatro EBCs nuevas cubrirían un área de 34.86 km², el área estimada en Google Earth de 39.07 km² es mayor en 4.84 km², la consideración de cuatro EBCs de dos sectores sería lo mínimo en este caso.

Los repetidores de 3.5G propuestos:

Rep. Usi tiene un área estimado de 0.71 km², #RepNodeB = $0.71 / 4.357 = 0.16 \approx 1$

Rep. Hayuni de 2.89 km², #RepNodeB = $2.89 / 4.357 = 0.66 \approx 1$

Rep. H_Laguna de 3.85 km², #RepNodeB = $3.85 / 4.357 = 0.88 \approx 1$

Cubrirían un área total de 13.07 km², es mayor al estimado (7.45 km²), por lo que es suficiente la consideración de un solo sector.

El área total cubierta con la EBC existente y nuevas es 60.99 km², por lo tanto:

*Indicador es porcentaje de área de cobertura = (área de cobertura/área total del distrito)*100.*

Indicador es porcentaje de área de cobertura = $(60.99/364)*100\%=16.76\%$.

Actualmente el operador Claro presenta el siguiente indicador de cobertura:

Indicador es porcentaje de área de cobertura = $(13.064/364)*100\%=3.59\%$.

Se tiene una mejora en 13.17 % de área del distrito y zonas aledañas el 83.24 % de área faltaría dar cobertura por el operador propuesto, pero eso no es necesario debido a que, son zonas sin población.

Por otra parte, con referencia a la Tabla 3.2, con el diseño del 3.5G se lograría dar cobertura con el operador Claro a los 12 de las 13 zonas pobladas faltantes del distrito, con

lo cual la cobertura llega a los 95.65%. La CC de Huayllahuaylla sería la excepción debido a que se encuentra en una zona ciega (entre dos cerros).

Para validar el diseño por cobertura se realiza la planificación de capacidad, con la consideración de posibles suscriptores. A continuación se tiene:

Planificación de capacidad de WCDMA

Primeramente se realiza el cálculo de la intensidad de tráfico de voz individual (por suscriptor) para UMTS con la siguiente ecuación:

$$A_v = \lambda H \quad (3.30)$$

Donde:

λ : Es la tasa de llegada promedio; número promedio de UEs que solicitan el servicio.

H : Es el tiempo promedio de espera, duración media de una llamada o tiempo para el cual el UE requiere el servicio.

$$A_v(\text{Erlang}) = \frac{2 \text{calls}}{3600s} \frac{45s}{\text{call}} = 0.025, \text{ según referencia [18]}$$

Modelo de tráfico de UMTS

Para UMTS, 0.025 Erlangs para voz, 6GB por mes para usuario pesado y 1 GB por mes por usuario de teléfono inteligente, y utilizamos las siguientes suposiciones como nuestro requisito de diseño [15].

- El % de tráfico diario en la hora pico (Busy Hour, BH) se supone el 7.5 % (factor de 0.075) y la relación de enlace descendente del 70 % y del enlace de subida el 30%.
- Se asume que los usuarios activos son el 70%.

- Del total de usuarios de datos, se supone que el promedio de usuarios pesados es del 25 %, los usuarios de teléfonos inteligentes el 75 % y se considera que todos los usuarios usan el 100 % de los datos contratados.
- Este tráfico por usuario incluye tráfico normal, tráfico de señalización y tráfico adicional de traspaso suave.

Tipo	Carga de usuario pesado	Smartphone	Teléfono	
			Usuario de datos	Usuario de voz
Asignación mensual de usuario	6GB/mes	1GB/mes	100MB/mes	0.025Erlangs

Tabla 3.13: Modelo de tráfico de UMTS [15].

En el presente se asume 6 GB y 1 GB, la razón es por la presencia de 3.9G, el cual proveerá los datos de navegación también.

La intensidad de tráfico de voz individual calculada está en Erlangs, primero debe convertirse a kbps y más luego calcular el rendimiento total admitido por UMTS [15].

$$\text{Volume per user@BH(kbps)} = \text{Erlang per user@BH} * \text{Factor activity } \nu * \text{Service rate } R_i \quad (3.31)$$

Donde:

ν : El factor de actividad, para voz (AMR12.2) (Adaptive Multi Rate, es un algoritmo de codificación de voz comprimido de audio que funciona a velocidades de 8 bits, que van desde 4.75 a 12.2 kbps) es 0.67, vídeo llamada (CS 64) es 1 y para servicio PS es 0.9.

R_i : Bearer o la tasa de bits de servicios, para voz es 12.2kbps

$$\text{Volume per user@BH(kbps)} = 0.025 * 0.67 * 12.2 = 0.204$$

Para calcular la carga de una conexión de diferentes servicios, se debe convertir el modelo de tráfico anterior al siguiente formato:

$$\text{Throughput@BH/Users(kbps)} = \frac{\text{Montly user allowance} * \frac{8\text{bits}}{\text{Byte}} * \nu * \text{BH}}{30\text{days} * 3600\text{s}} \quad (3.32)$$

Carga de usuario pesado

$$\text{Throughput@BH/Users(kbps)} = \frac{6000000\text{kByte} * \frac{8\text{bits}}{\text{Byte}} * 0.075 * 0.9}{30\text{días} * 3600\text{s}} = 30$$

Carga de usuario de Smartphone

$$\text{Throughput@BH/Users(kbps)} = \frac{1000000\text{kByte} * \frac{8\text{bits}}{\text{Byte}} * 0.075 * 0.9}{30\text{días} * 3600\text{s}} = 5$$

Usuario handset

$$\text{Throughput@BH/Users(kbps)} = \frac{100000\text{kByte} * \frac{8\text{bits}}{\text{Byte}} * 0.075 * 0.9}{30\text{días} * 3600\text{s}} = 0.5$$

Rendimiento promedio de carga pesada del usuario medio y de teléfonos inteligentes

$$\text{Average user average throughput@BH(kbps)} = 25\% * \text{Load heavy user} + 75\% * \text{Load smart phone user} \quad (3.33)$$

$$\text{Average user average throughput@BH(kbps)} = 0.25 * 30 + 0.75 * 5 = 11.25$$

Throughput promedio de usuario medio

$$\text{Average user average throughput@BH(kbps)} = 11.25 + 0.5 + 0.204 = 11.954$$

Cálculo de celdas por usuario HSDPA y HSUPA

Según Orange Telecom Lab Test, el promedio de throughput HSDPA por celda es 3.6 Mbps y el promedio de HSUPA por celda es 1.9 Mbps [44]. De la consideración de relación del enlace descendente al 70% y subida al 30 %.

$$\text{Traffic per subscriber_DL(kbps)} = 11.954 * 0.7 = 8.368$$

$$\text{Traffic per subscriber_UL(kbps)} = 11.954 * 0.30 = 3.586$$

Por otra parte en el presente trabajo consideramos que el 70% de los usuarios son usuarios activos, por lo que podemos calcular la cantidad de suscriptores que soporta la celda. Para HSDPA+voice y HSUPA+voice respectivamente se tiene:

$$\text{Suscriptores Activos/celda} = \frac{3.6\text{Mbps}}{8.368\text{kbps}} = 430.21 \approx 430$$

$$\text{Total de suscriptores/celda} = 430 * \frac{100}{70} = 614.286 \approx 614 \text{ y}$$

$$\text{Suscriptores Activos/celda} = \frac{1.9\text{Mbps}}{3.586\text{kbps}} = 529.838 \approx 530$$

$$\text{Total de suscriptores/celda} = 530 * \frac{100}{70} = 757.143 \approx 757$$

Soporta	Carga de celda	Tráfico por suscriptor	Suscriptores activos/celda	Total de suscriptores/celda
HSDPA+voice	3.6 Mbps	8.368 kbps	430	614
HSUPA+voice	1.9 Mbps	3.586 kbps	530	757

Tabla 3.14: Dimensiones de carga del celda UMTS [16].

Por lo tanto para modo FDD de una celda soporta 960 (430+530) suscriptores para comunicación en DL y UL, de tal forma el número de celdas se calcula con la siguiente relación:

$$\text{Required N}^\circ \text{ of cell (carries)} = \frac{\text{Total population}}{\text{Total N}^\circ \text{ of active suscriptor/cell}} \quad (3.34)$$

Se realizan los cálculos para cada sitio, se toma la información de estimación de suscriptores, con la aplicación de tasa de penetración de smartphones en el Perú y zonal rural, además de la presencia de dos, tres o cuatro operadores en las zonas de estudio.

EBC Quri

Se tiene un total de 434 de posibles suscriptores, la cantidad total de celdas requeridas sería:

$$\text{Required N}^\circ \text{ of cell (carries)} = \frac{434}{960} = 0.452 \approx 1.$$

Se considera una celda, pero debido a la geografía y ubicación de zonas pobladas es coherente la estimación sea una celda de tres sectores, los cuales tendrían 232, 153 y 50 suscriptores para primer, segundo y tercer sector respectivamente. Los sectores primero y tercero serán las antenas donadoras para los repetidores Rep_Hayuni y Rep Usi

Aclaremos de nuevo, que este sitio ya existe con las tecnologías 2G, 3G y 4G en un esquema de tres sectores.

Se sabe que la carga de una celda es 3.6 + 1.9 Mbps, lo que hacen un total de 5.5 Mbps, esto indica que la red de transmisión debe soportar esa tasa de transferencia de datos.

EBC Ttio

De acuerdo a la información de estimación de suscriptores, este sitio tendría 305 en total. Pero debido a la geografía y ubicación de zonas pobladas es necesario la estimación

de una celda de dos sectores, y tendría 188 y 117 suscriptores para segundo y tercer sector respectivamente.

$$\text{Required N}^\circ \text{ of cell (carries)} = \frac{306}{960} = 0.319 \approx 1$$

Debido a este resultado se pensaría que en dicha zona no requieren una celda, la propuesta de ubicación de un sitio es por la razón de que los sectores primero y tercero estarían en dirección de los sectores con población, además de la carretera Cusco-Sicuani.

Del mismo modo que el caso anterior, la carga de una celda es 3.6 + 1.9 Mbps, pero la cantidad total de suscriptores no llegará a generar 100 % de dicha carga. Por lo que la red de transmisión puede ser menor o igual a 5.5 Mbps y la tasa de transferencia de datos será adecuada.

EBC Moccoraize

En referencia a la información de suscriptores suman 437, pero cabe la posibilidad que puede ser mayor también, la cantidad de posibles suscriptores en los dos sectores son 114 y 323.

$$\text{Required N}^\circ \text{ of cell (carries)} = \frac{437}{960} = 0.455 \approx 1$$

De nuevo aquí ocurre algo similar a la EBC Ttio, el segundo y tercer sector estarán en la dirección de sectores con población además de la carretera Cusco-Sicuani. Se debe mencionar que este sitio daría cobertura a otro distrito (Cusipata) y a otras comunidades alrededor del mismo.

Igual que el caso anterior, la carga de una celda es $3.6 + 1.9$ Mbps (5.5 Mbps) y sería necesaria para una adecuada tasa de transferencia de datos, y la red de transmisión debe proveer menor o igual a los 5.5 Mbps de throughput.

EBC Callatiac

Este sitio no estaría en la ruta de la carretera Cusco-Sicuani ni en las orillas del río Vilcanota, pero a la fecha al agosto del 2022 no había presencia de ningún operador, se estima dos sectores como propuesta. Cuenta con una población de 909 de posibles suscriptores, para los sectores 2 y 3 son 512 y 397 respectivamente.

$$\text{Required N}^\circ \text{ of cell (carries)} = \frac{909}{960} = 0.947 \approx 1$$

El throughput requerido para la red de transmisión es 5.5 Mbps. Esto indica que la red de transmisión debe soportar esa tasa de transferencia de datos.

EBC Pata Quehuar

Este sitio no estaría en la ruta de la carretera Cusco-Sicuani ni en las orillas del río Vilcanota, se estima dos sectores como propuesta. Cuenta con una población de 475 de posibles suscriptores, para los sectores 2 y 3 son 332 y 143 respectivamente. El segundo sector será la donadora para el repetidor Rep.H_Laguna.

$$\text{Required N}^\circ \text{ of cell (carries)} = \frac{475}{960} = 0.495 \approx 1$$

Las zonas pobladas a brindar cobertura de la EBC Pata Quehuar son aisladas y ninguna EBC existente llega a dar cobertura. Por tal razón se propone una EBC con dos sectores.

Como en el caso anterior, el throughput de la red de transmisión sería 5.5 Mbps. Esto indica que la red de transmisión debe soportar esa tasa de transferencia de datos.

El total de throughput demandado por 3.5G es la sumatoria de las cuatro EBCs, se exceptúa la EBC Quri porque ya existe este sitio: $4 * 5.5 = 22 \text{ Mbps}$, esto implica que la red de transmisión hacia la red troncal debe soportar dicha tasa transmisión.

Dimensión de configuración para el distrito de Quiquijana

Para evitar el efecto de respiración de la celda WCDMA (la cobertura se expande y se contrae en función de cantidad de suscriptores que reciben el servicio de una celda), la cobertura y la capacidad deben estar interrelacionadas. Con base en el análisis de planificación de cobertura y capacidad, la configuración final de los sitios NodeB se planifica en la Tabla 3.15.

En resumen se presenta los datos obtenidos.

EBC/Celda	# NodeB	
	Por cobertura	Por capacidad
Quri	1	1
Ttio	1	1
Moccoraise	1	1
Callatiac	1	1
Pata	1	1

Tabla 3.15: Determinación de cantidad de celdas.

La consideración final viene a ser, cuatro EBCs nuevos deberán ser instalados para cumplir con la demanda de cobertura de la población de dicho sector.

EBC	Config. final de UMTS	Nro de sectores	Nro de NodeB
Ttio	U11	2	1
Moccoraise	U11	2	1
Callatiac	U11	2	1
Pata Quehuar	U11	2	1
	Total	8	4

Tabla 3.16: Configuración final de UMTS.

Donde U11, es una celda de configuración de dos sectores.

Adicional a los NodeB, están los repetidores, los cuales son similares a los radios de NodeB, en cuanto se refiere a las características eléctricas y mecánicas, y la configuración se muestra en seguida.

Repetidor	Config. final de UMTS	No de Rep_NodeB
Rep. Hayuni	U1	1
Rep. H_Laguna	U1	1
Usi	U1	1
	Total	3

Tabla 3.17: Configuración final de repetidores UMTS.

Para implementación los equipos repetidores deberán ser de tipo industrial y las antenas sectoriales son las mismas del NodeB.

Cada repetidor no requiere más de una antena, sería posible usar antenas de tipo omnidireccional, pero el principal problema sería la realimentación a la antena donadora que causaría la interferencia y con ello la mala calidad de señal lo que repercute en la mala calidad de servicio al usuario.

3.3.3 Diseño y planificación de redes 3.9G

LTE 700 MHz, E-UTRA band 28

Planificación de cobertura

El presupuesto del enlace (link budget) considera muchos factores, como la pérdida de penetración al interior de viviendas, la ganancia de elemento radiante, margen de interferencia de los enlaces de radio, entre otros; para calcular todas las posibles ganancias y pérdidas a lo largo del recorrido de la señal transmitida que afectan la cobertura final de la celda. El radio de celda de un eNodeB y del UE se puede obtener de acuerdo con MAPL bajo un modelo de propagación, y este dato servirá para hallar finalmente el número total de EBCs necesarios para proporcionar la cobertura de RF en dicha jurisdicción.

La planificación se realizará en base al Link Budget Procedure de DL y UL dada por vendor Huawei de la Figura 2.38.

Parámetros del eNodeB y del UE

Potencia de salida del eNodeB

Es uno de los parámetros que impactan en el link budget, en el presente, de acuerdo a la hoja de datos de la RRU 3268 de la marca Huawei, para configuración de una portadora la potencia de salida es 2×40 W, se considera el equivalente 46 dBm [45].

Ganancia de antena de eNodeB

La selección de la antena depende del tipo de sitio, en el presente diseño se considera un macrocelda de dos y tres sectores y la antena seleccionada, tal como ya se ha mencionado líneas arriba, es una antena Huawei ADU4516R6v06, de ganancia 15 dBi (para banda 690-803 MHz) [30].

Relación de señal a ruido mas interferencia (SINR)

SINR es la razón entre la potencia de portadora modulada media recibida y la suma de la potencia de interferencia cocanal media y la potencia de ruido de otras fuentes. El UE puede identificar nuevas celdas intrafrecuencias y realizar las mediciones de nivel de potencia de la señal de referencia (RSRP) y la calidad de señal de referencia recibida (RSRQ) de celdas intrafrecuencias identificadas sin una lista explícita de vecinos intrafrecuencia que contenga PCI. En el diseño se tomara los valores para la minma modulación, dado que el objetivo es calcular la cobertura de las celdas.

Margen de interferencia

Este parámetro se encuentra en el balance del enlace debido a la posibilidad de aumento de ruido según el nivel de carga. LTE no tiene interferencia intracelular debido a la ortogonalidad de las subportadoras OFDM.

Potencia isotrópica radiada efectiva (EIRP)

Se calculan para DL y UL, con la ecuación 3.2 modificada.

$$EIRP(dBm) = P_{Tx}(dBm) - CL_{Tx}(dB) - FL_{Tx}(dB) + A_{Tx}(dBi)$$

Para DL, se considera la potencia del transmisor del eNodeB 46 dBm y una antena cuya ganancia en la banda 700 MHz es de 15 dBi, pérdidas en los conectores 1 dB (0.5 dB por conector y son dos conectores, en este caso se asume dichos valores) y en el feeder de 0.5 a 1 dB [46], dado que el montaje de RRU y antena es en torre y se considera un feeder de ½” de diámetro. Desde aquí se debe calcular.

$$EIRP(dBm) = 46 - 1 - 1 + 15 + 0 = 59$$

Para el caso UL, en este caso se considera la potencia de transmisión del equipo móvil de 23 dBm, de 0 dBi de ganancia y las pérdidas son cero.

$$EIRP(dBm) = 23 - 0 - 0 + 0 = 23$$

Relación señal a ruido (S/N)

Es una medida del grado o intensidad de la señal deseada en la relación con el ruido. El valor normalmente está expresada en dB. La razón podría ser nulo, un valor positivo o negativo. Una razón de S/N superior a 0 dB demuestra que el nivel de la señal es mayor que el nivel del ruido. Cuanto mayor sea dicha razón, será idóneo la calidad de la señal, o sea, maximizar la relación S/N en el diseño de sistemas es uno de los objetivos. En el presente trabajo será útil para el cálculo de cobertura.

La sensibilidad del receptor

En cada caso DL y UL, el ancho de banda está expresada en dependencia del cantidad de Resource Blocks. La SINR se tomará para la una modulación mas baja (QPSK con code rate de 1/8, osea la que se tenga en el borde de celda), se calcula con la ecuación 3.24 modificada.

$$P_{rx} = 10 \log(kTB) + NF + SINR = 10 \log[kT(15KHz * 12RB)] + NF + SINR$$

Donde:

RB: Resource Block

NF: Noise Figure

SINR: Signal-Interference to Noise Ratio

La densidad espectral del ruido térmico es igual al de 3.5G.

$$N_o \left(\frac{dBm}{Hz} \right) = 10 \log \left(1.381 * 10^{-23} \frac{W}{HzK} 290K * \frac{1000mW}{W} \right) = -173.974$$

La potencia del ruido térmico, si $N = kT_o B$

$$N(dBm) = 10 \log \left(1.381 * 10^{-23} \frac{W}{HzK} 290K * B \frac{1000mW}{W} \right)$$

Tal como ya se ha mencionado, el operador Claro tiene la concesión del bloque B de la banda 700 MHz y está comprendida en UL de 718-733 y DL de 773-788 MHz, cuyo ancho de banda es 15+15 en DL y UL respectivamente.

En DL, en función del número de Resource Block, $RB=75$; ($B=15$ MHz) se tiene:

$$N(dBm) = 10 \log \left(1.381 * 10^{-23} \frac{W}{HzK} 290K * 15 * 10^3 Hz * 12 * 75 * \frac{1000mW}{W} \right) = -102.671$$

En UL se asume Resource Block de 3. Con esta elección se tendría un ancho de banda del UE de 0.54 MHz.

$$N(dBm) = 10 \log \left(1.381 * 10^{-23} \frac{W}{HzK} 290K * 15 * 10^3 Hz * 12 * 3 * \frac{1000mW}{W} \right) = -116.65$$

En DL, considerando el mismo ancho de banda para DL y UL, y sean $NF=7$ dB, $SINR=-5.37$ dB, tenemos la sensibilidad del receptor.

$$P_{Rx} (dBm) = -102.671 + 7 + (-5.37) = -101.04$$

En UL, si consideramos el mismo ancho de banda para DL y UL, $NF=6.2$ dB, $SINR=-4.19$ dB tenemos la sensibilidad del receptor.

$$P_{Rx} (dBm) = -116.65 + 6.2 + (-4.19) = -114.64$$

De la Tabla 3.17, observamos algunos valores típicos y otros obtenidos de los cálculos realizados, con ellos obtendremos los valores de la pérdida máxima permisible, para los enlaces de bajada y de subida, se considera una probabilidad de cobertura 90% [22] para ambiente suburbano.

.En DL

$$MAPL(dB) = EIRP + G_{Rx} - CL_{Rx} - FL_{Rx} - BL_{Rx} - P_{Rx} - IM - SFM - IPL \quad (3.35)$$

En caso de UE no se tiene pérdidas en conectores, cables y cuerpo y la ganancia de la antena es 0 dBi.

Donde [47]:

BL_{Rx}: Body Loss, 0 dB

IM: Interference Margin, 3 dB

SFM: Shadow Fading Margin, 10.3 dB

IPL: Indoor Penetration Loss, 6 dB

$$MAPL(dB) = 59 + 0 - 0 - 0 - (-101.04) - 3 - 10.3 - 6 = 140.74$$

En UL, se tiene $IM=3$, $SFM=10.3$ e $IPL=8$ tenemos:

$$MAPL(dB) = 23 + 15 - 1 - 1 - 0 - (-114.64) - 3 - 10.3 - 8 = 129.34$$

Modelo de propagación Okumura-Hata

Al igual que en el 3.5G, se trabajará con el mismo modelo, además este modelo nos permite estimar las pérdidas de trayectoria. Sean los datos $f=700$ MHz, $h_b=30$ m, $h_m=1.5$ m, utilizamos las ecuaciones 2.8 y 2.9.

$$a(h_m) = [1.1 \log(700) - 0.7] 1.5 - [1.56 \log(700) - 0.8] = 0.006$$

$$L_p(\text{Urban}) = 69.55 + 26.16 \log(700) - 13.82 \log(30) - 0.006 + [44.9 - 6.55 \log(30)] \log d$$

$$= 123.558 + 35.225 \log d$$

$$L_p(\text{suburban}) = 123.558 + 35.225 \log d - 2 \left[\log \left(\frac{700}{28} \right) \right]^2 - 5.4 = 114.25 + 35.225 \log d$$

El radio (d) de celda es: $d = 10^{\left(\frac{L_p(\text{suburban}) - 114.25}{35.225} \right)}$

	Morfología	Unidad	Suburbano		Fórmula
	Tipo de canal de datos		PUSCH	PDSCH	
Extremo de Tx	Modo dúplex		FDD	FDD	
	Potencia de Tx	dBm	23	46	A
	RB asignado		3	75	
	Ganancia de antena de Tx	dBi	0	15	C
	Pérdida en cable y conector de Tx	dB	0	2	D
	Pérdida en el cuerpo de Tx	dB	0	0	E
	EIRP	dBm	23	59	F=A+C-D-E
Extremo de Rx	Ganancia de antena de Rx	dBi	15	0	G
	Pérdida en cable y conector de Rx	dB	2	0	H
	Pérdida en el cuerpo de Rx	dB	0	0	I
	Densidad espectral del ruido	dBm/Hz	173.974	173.974	10log(kT)
	Potencia del ruido térmico	dBm	-116.65	-102.671	J=10log(kTB)
	Figura de ruido	dB	6.2	7	K
	SINR	dB	-4.19	-5.37	L
	Sensibilidad del receptor	dBm	-114.64	-101.04	M=J+K+L
	Probabilidad de cobertura de borde	%	90		
	Desviación estándar de Slow Fading	dB	8		
	Margen de Slow Fading	dB	10.3	10.3	N
	Margen de interferencia	dB	3	3	O
	Pérdida de penetración interna	dB	8	6	P
Suma de márgenes	dB	21.3	19.3	Q=N+O+P	
MAPL	dB	129.34	140.74	R=F+G-H-I-M-Q	
Radio de celda	Banda de frecuencia	MHz	700		
	Modelo de propagación		Okumura-Hata		
	Altura antena	m	1.5	30	
	Radio de celda	km	2.68	5.65	S=10 ^[(R-114.25)/35.225]
	Salida de radio de celda	km	2.68		

Tabla 3.18: Resumen de cálculos de link budget [15] [44].

Se considera un cluter suburbano ya que la zona tiene viviendas y zonas de agricultura alrededor.

En DL, $MAPL(dB) = L_p(suburban) = 140.74$, entonces

$$d(km) = 10^{\left(\frac{140.74-114.25}{35.225}\right)} = 5.65$$

En UL, tenemos $MAPL(dB) = L_p(suburban) = 129.34$

$$d(km) = 10^{\left(\frac{129.34-114.25}{35.225}\right)} = 2.68$$

En seguida se calculan las áreas de cobertura de un eNodeB en una configuración de tres, dos y un sector. Se hará uso de las mismas ecuaciones en el apartado del 3.5G.

$$\text{Radio} = \min(2.68km, 5.65km) = 2.68km$$

Para tres sectores, con la ecuación 3.29.

$$A_{eNodeB}(km^2) = \frac{9\sqrt{3}}{8} R^2 = 1.949 * 2.68^2 = 14$$

Para dos sectores

$$A_{eNodeB}(km^2) = 1.3R^2 = 1.3 * 2.68^2 = 9.34$$

Para los repetidores

$$A_{NodeB}(km^2) \approx 0.65 * (2.68km)^2 \approx 4.67$$

Cálculo del número de eNodeB, se consideran las mismas áreas en el diseño de 3.5G.

$$\text{EBC Quri, } \#eNodeB = 18.4 / 14 = 1.31 \approx 1$$

Para sitios Ttio, Moccoraize, Callatiac y Pata Quehuar se consideran EBCs de dos sectores.

$$\text{EBC Ttio, } \#eNodeB = 7.6 / 9.34 = 0.81 \approx 1$$

$$\text{EBC Moccoraize, } \#eNodeB = 11.8 / 9.34 = 1.26 \approx 1$$

$$\text{EBC Callatiac, } \#eNodeB = 11.7 / 9.34 = 1.25 \approx 1$$

$$\text{EBC Pata Quehuar, } \#eNodeB = 7.79 / 9.34 = 0.83 \approx 1$$

Las cuatro EBCs cubrirían un área de 37.36 km² menor al área estimada por Google Earth (38.89 km²), la consideración de dos sectores es suficiente en este caso.

Los repetidores de 3.9G:

$$\text{Rep. Usi tiene un área estimado de } 0.71 \text{ km}^2, \#RepeNodeB = 0.71 / 4.67 = 0.15 \approx 1.$$

$$\text{Rep. Hayuni de } 2.89 \text{ km}^2, \#RepeNodeB = 2.89 / 4.67 = 0.62 \approx 1.$$

$$\text{Rep. H_Laguna de } 3.85 \text{ km}^2, \#RepeNodeB = 3.85 / 4.67 = 0.82 \approx 1.$$

Los repetidores cubrirían un área aproximado de 14.01 km² es mayor al área estimado por Google Earth (7.45 km²), la consideración de un solo sector es necesario y suficiente.

El área total de cobertura es 65.37 km² por las EBCs y los repetidores, por lo tanto el:

*Indicador es porcentaje de área de cobertura = (área de cobertura/área total del distrito)*100.*

$$\text{Indicador es porcentaje de área de cobertura} = (65.37/364)*100\%=17.96 \text{ \%}.$$

Considerando el área actual de cobertura de 14 km² por el operador Claro, presenta el siguiente indicador de cobertura:

Indicador es porcentaje de área de cobertura = $(14/364)*100\%=3.85\%$.

Con el diseño propuesto habría una mejora de cobertura en 14.11 % del área del distrito, el 82.04 % de área faltaría dar cobertura por el operador propuesto, pero eso no es necesario debido a que, son zonas sin población.

Por otra parte, con referencia a la Tabla 3.2, con el diseño del 3.9G se lograría dar cobertura con el operador Claro a los 12 de las 13 zonas pobladas faltantes del distrito, con lo cual la cobertura llega a los 95.65%. La CC de Huayllahuaylla sería la excepción debido a que se encuentra en una zona ciega (entre dos cerros).

Para la validación de la planificación de cobertura, es necesario contrastar con la planificación de capacidad, en los siguientes párrafos se realiza.

Planificación de capacidad

Otro punto importante es analizar si el número de eNodeB satisface la demanda de tráfico de los usuarios, dado que podría darse el caso que sea insuficiente la capacidad y lo cual exigiría el incremento de más nodos con justificación adecuada.

Para iniciar con el cálculo de capacidad y estimar el tráfico que un usuario normal genera, se debe basarse en los modelos de servicio y tráfico principalmente. En la Figura 3.19, se tiene el modelo de servicio del vendor Huawei y se ilustran los modelos de servicios que se cursan por un eNodeB, considerando ciertos parámetros como Point-to-Point Protocol (PPP) y Block Error Rate (BLER) que habitualmente estos presentan.

Traffic Parameters	UL				DL			
	Bearer Rate (Kbps)	PPP Session Time (s)	PPP Session Duty Ratio	BLER	Bearer Rate (Kbps)	PPP Session Time (s)	PPP Session Duty Ratio	BLER
VoIP	26.90	80	0.4	1%	26.90	80	0.4	1%
Video Phone	62.53	70	1	1%	62.53	70	1	1%
Video Conference	62.53	1800	1	1%	62.53	1800	1	1%
Real Time Gaming	31.26	1800	0.2	1%	125.06	1800	0.4	1%
Streaming Media	31.26	3600	0.05	1%	250.11	3600	0.95	1%
IMS Signalling	15.63	7	0.2	1%	15.63	7	0.2	1%
Web Browsing	62.53	1800	0.05	1%	250.11	1800	0.05	1%
File Transfer	140.69	600	1	1%	750.34	600	1	1%
Email	140.69	50	1	1%	750.34	15	1	1%
P2P file sharing	250.11	1200	1	1%	750.34	1200	1	1%

Figura 3.19: Modelo de servicio [48].

Seleccionamos los servicios principales que proveerá la red:

- VoIP (VoLTE)
- Web browsing
- Streaming media
- e-mail
- Video conference

Por lo tanto procedemos a calcular el throughput mínimo por servicio para mantener la calidad del servicio por cada sesión de usuario [48].

$$\text{Throughput}_s = \frac{\text{Bearer Rate} * \text{PPP Sessions Time} * \text{PPP Sessions Duty Ratio}}{1 - \text{BLER}} \quad (3.36)$$

Donde:

Bearer Rate: Velocidad de transferencia de datos

PPP Sessions Time: Tiempo activo de una sesión del protocolo

PPP Sessions Duty Ratio: % por sesión en el uso del canal de transmisión

BLER: Block Error Rate

Para DL

$$\text{Throughput}_{\text{VoIP}}(kb) = \frac{26.9kbps * 80s * 0.4}{1 - 0.01} = 869.495$$

$$\text{Throughput}_{\text{VideoConference}}(kb) = \frac{62.53kb * 1800 * 1}{1 - 0.01} = 113690.909$$

$$\text{Throughput}_{\text{StreamingMedia}}(kb) = \frac{250.11kb * 3600 * 0.95}{1 - 0.01} = 864016.364$$

$$\text{Throughput}_{\text{Web Browsing}}(kb) = \frac{250.11kb * 1800 * 0.05}{1 - 0.01} = 22737.273$$

$$\text{Throughput}_{\text{e-mail}}(kb) = \frac{750.34kb * 15 * 1}{1 - 0.01} = 11368.788$$

Para UL

$$\text{Throughput}_{\text{VoIP}}(kb) = \frac{26.9kb * 80 * 0.4}{1 - 0.01} = 869.495$$

$$\text{Throughput}_{\text{VideoConference}}(kb) = \frac{62.53kb * 1800 * 1}{1 - 0.01} = 113690.909$$

$$\text{Throughput}_{\text{StreamingMedia}}(kb) = \frac{31.26kb * 3600 * 0.05}{1 - 0.01} = 5683.636$$

$$\text{Throughput}_{\text{Web Browsing}}(kb) = \frac{62.53kb * 1800 * 0.05}{1 - 0.01} = 5684.545$$

$$\text{Throughput}_{\text{e-mail}}(kb) = \frac{140.69kb * 50 * 1}{1 - 0.01} = 7105.556$$

En la siguiente tabla tenemos los resultados de los cálculos de Throughput por servicio.

Service model	DL	UL
Service	Throughput per service	Throughput per service
VoIP	869.495	869.495
Video Conference	113690.909	113690.909
Streaming Media	864016.909	5683.636
Web Browsing	22737.273	5684.545
e-mail	11368.788	7105.556

Tabla 3.19: Throughput por servicio.

Después de conocido las demandas de Throughput por servicio es útil deducir el tráfico generado por un usuario fundamentado en el modelo de tráfico, en la siguiente tabla se

observa el modelo del tráfico del vendedor Huawei para un ambiente suburbano, se ha asumido los valores de un área urbano, ya que no se ha podido conseguir de alguna fuente dicha información (Peak to average ratio) [48].

User Behavior	Traffic penetration ratio	BHSA	Peak to average ratio
VoIP	80%	1.2	10%
Video Conference	15%	0.15	10%
Streaming Media	15%	0.15	10%
Web Browsing	100%	0.4	10%
e-mail	10%	0.3	10%

Tabla 3.20: Modelo de tráfico vendedor Huawei [48]

La relación para calcular el Throughput por usuario es la siguiente:

$$\text{Throughput}_u = \sum_{\text{Service}} \left[\frac{\text{Throughput}_s * \text{Penetration Ratio} * \text{BHSA} * (1 + \text{Peak to Average Ratio})}{3600s} \right] \quad (3.37)$$

Donde:

BHSA: Bussy Hour Session Attempts para un usuario

Penetration Ratio: % de la demanda de servicio

Peak to Average Ratio: Desviación estándar

Utilizando los datos de la tabla anterior los datos de Throughput por usuario correspondiente, se calculan.

En DL

$$\text{Throughput}_{\text{VoIP}} (kbps) = \frac{869.495kb * 0.8 * 1.2 * (1 + 0.1)}{3600s} = 0.255$$

$$\text{Throughput}_{\text{Video Conference}} (kbps) = \frac{113690.909kb * 0.15 * 0.15 * (1 + 0.1)}{3600s} = 0.782$$

$$\text{Throughput}_{\text{Streaming Media}} (kbps) = \frac{864016.909kb * 0.15 * 0.15 * (1 + 0.1)}{3600s} = 5.94$$

$$\text{Throughput}_{\text{Web Browsing}} (kbps) = \frac{22737.273kb * 1 * 0.4 * (1 + 0.1)}{3600s} = 2.779$$

$$\text{Throughput}_{\text{e-mail}} (kbps) = \frac{11368.788kb * 0.1 * 0.3 * (1 + 0.1)}{3600s} = 0.104$$

En UL

$$\text{Throughput}_{\text{VoIP}} (kbps) = \frac{869.495kb * 0.8 * 1.2 * (1 + 0.1)}{3600s} = 0.255$$

$$\text{Throughput}_{\text{Video Conference}} (kbps) = \frac{113690.909kb * 0.15 * 0.15 * (1 + 0.1)}{3600s} = 0.782$$

$$\text{Throughput}_{\text{Streaming Media}} (kbps) = \frac{5683.636kb * 0.15 * 0.15 * (1 + 0.1)}{3600s} = 0.039$$

$$\text{Throughput}_{\text{Web Browsing}} (kbps) = \frac{5684.545kb * 1 * 0.4 * (1 + 0.1)}{3600s} = 0.695$$

$$\text{Throughput}_{\text{e-mail}} (kbps) = \frac{7105.556kb * 0.1 * 0.3 * (1 + 0.1)}{3600s} = 0.065$$

Para un área suburbana se tiene:

User Behavior	DL	UL
	Busy Hour Throughput per User (kbps)	
VoIP	0.255	0.255
Video Conference	0.782	0.782
Streaming Media	5.94	0.039
Web Browsing	2.779	0.695
e-mail	0.104	0.065
Total	9.86	1.836

Tabla 3.21: Throughput por usuario.

Prosiguiendo con el cálculo, ahora hallemos el valor de Throughput total de la red.

$$\text{Throughput}_N = U * \sum \text{Throughput}_U \quad (3.38)$$

Donde:

U: Cantidad total de usuarios

Throughput_U: Throughput por usuario

Se debe considerar un margen de overload causados por los procesos de control y señalización de 25% en el tráfico de usuarios. Se consideran los mismos usuarios y/o posibles suscriptores activos de la planificación de 3.5G.

$$\text{Throughput}_N = (U * \sum \text{Throughput}_U) * 1.25 \quad (3.39)$$

EBC Quri, se proyectada para 434 usuarios.

$$\text{DL, Throughput}_N (\text{Mbps}) = 434 * 9.86 \text{kbps} * 1.25 = 5.349$$

$$\text{UL, Throughput}_N (\text{Mbps}) = 434 * 1.836 \text{kbps} * 1.25 = 0.996$$

EBC Ttio, proyectada para 306 usuarios.

$$\text{DL, Throughput}_N (\text{Mbps}) = 306 * 9.86 \text{kbps} * 1.25 = 3.771$$

$$\text{UL, Throughput}_N (\text{Mbps}) = 306 * 1.836 \text{kbps} * 1.25 = 0.7$$

EBC Moccorayse, proyectada para 437 usuarios.

$$\text{DL, Throughput}_N (\text{Mbps}) = 437 * 9.86 \text{kbps} * 1.25 = 5.386$$

$$\text{UL, Throughput}_N (\text{Mbps}) = 437 * 1.836 \text{kbps} * 1.25 = 1.003$$

EBC Callatiac, proyectada para 909 usuarios.

$$DL, \text{Throughput}_N (Mbps) = 909 * 9.86 kbps * 1.25 = 11.203$$

$$UL, \text{Throughput}_N (Mbps) = 909 * 1.836 kbps * 1.25 = 2.086$$

EBC Pata Quehuar, proyectada para 475 usuarios.

$$DL, \text{Throughput}_N (Mbps) = 475 * 9.86 kbps * 1.25 = 5.854$$

$$UL, \text{Throughput}_N (Mbps) = 475 * 1.836 kbps * 1.25 = 1.09$$

El sistema debe poseer una capacidad para satisfacer el Throughput en DL y UL por lo cual se debe determinar si el eNodeB puede entregar dicha capacidad, tratándose de un sistema de tres y dos sectores, emplea el modo FDD, para calcular se cuenta con la siguiente relación matemática:

$$\text{Throughput}_{eNodeB} = \text{Número de símbolos} * \text{Esquema de codificación} \quad (3.40)$$

Donde:

Numero de símbolos: Cantidad de símbolos del total de RB útiles por portadora

Esquema de codificación: Cantidad de bits por símbolos

En este caso se ha asumido un ancho de banda de 15 MHz, de los cuales el 10% es considerado para la banda de guarda, por ello los 13.5 MHz es el ancho de banda efectiva, con ello encontraremos la cantidad de portadoras disponibles y el total de resource blocks (RB).

$$\text{Número de subportadoras} = \frac{B_{\text{Efectivo}}}{15 kHz} \quad (3.41)$$

Donde $B_{Efectivo}$ es el ancho de banda efectivo.

$$\text{Número de subportadoras} = \frac{13.5MHz}{15kHz} = 900$$

Para calcular el número de Resource Blocks (RB), tenemos la siguiente relación:

$$\text{Número de resource Block} = \frac{B_{Efectivo}}{B_{RB}} \quad (3.42)$$

Donde B_{RB} es el ancho de banda de un resource block. Del mismo modo tenemos el número de resource blocks para una banda efectiva de 13.5 MHz.

$$\text{Número de Resource Block} = \frac{13.5MHz}{180kHz} = 75$$

El valor de 75 se consideró en el diseño de cobertura. La cantidad total de símbolos que se pueden transmitirse en el total de Resource Blocks es:

$$\text{Número de símbolos} = \text{Número de Resource Blocks} * 12 * 7 * 2 \quad (3.43)$$

Donde:

12 : Cantidad de portadoras por Resouce Block

7 : Cantidad de símbolos OFDM por RB

2 : Dos slots de tiempo (0.5ms) por cada ms

Número de símbolos = $75 * 12 * 7 * 2 = 12600$ Símbolos/ms, ó 12.6 MSps

Considerando un esquema de codificación de QPSK1/1 que transmite un bit por símbolo, siendo esta, la modulación del más mínimo orden, con ello se avala que los usuarios del margen de la celda dispongan de un servicio de calidad adecuado, por lo que el throughput del eNodeB es:

$$\text{Throughput}_{\text{eNodeB}} (\text{Mbps}) = 12.6 \text{MSps} * \frac{1 \text{bit}}{S} = 12.6$$

El Throughput teórico del eNodeB es 12.6 Mbps, a esto se debe restarse el 25% de sobrecarga, del mismo modo que cuando se computó el Throughput de la red, esto es por el tráfico originado por señalización y control, en complemento considerando un sistema MIMO single stream (2 Tx/Rx en la estación base y 1 Tx/Rx en el equipo móvil), con lo que se duplica la velocidad de bajada, por lo que la capacidad del eNodeB es:

$$\text{DL, Throughput}_{\text{eNodeB}} = 12.6 \text{Mbps} * \% \text{Overload} * \text{MIMO}$$

$$\text{Throughput}_{\text{eNodeB}} (\text{Mbps}) = 12.6 \text{Mbps} * 0.75 * 2 = 18.9$$

$$\text{UL, Throughput}_{\text{eNodeB}} = 12.6 \text{Mbps} * \% \text{Overload}$$

$$\text{Throughput}_{\text{eNodeB}} (\text{Mbps}) = 12.6 \text{Mbps} * 0.75 = 9.45$$

Debido a que es un sistema de dos y tres sectores, los valores antes calculados deben ser multiplicados por dos y tres.

$$\text{DL, Throughput}_{\text{eNodeB}} (\text{Mbps}) = 18.9 \text{Mbps} * 2 = 37.8 \text{ y}$$

$$\text{Throughput}_{\text{eNodeB}} (\text{Mbps}) = 18.9 \text{Mbps} * 3 = 56.7$$

$$\text{UL, Throughput}_{\text{eNodeB}} (\text{Mbps}) = 9.45 \text{Mbps} * 2 = 18.9 \text{ y}$$

$$\text{Throughput}_{\text{eNodeB}} (\text{Mbps}) = 9.45 \text{Mbps} * 3 = 28.35$$

Ahora corresponde finalmente cuantificar la cantidad de eNodeB necesarios para suministrar una adecuada capacidad a la celda (red), se tomara la misma cantidad de usuarios

activos considerados en la planificación del 3.5G, para el cual se emplea la relación siguiente:

$$\text{Número de eNodeB} = \max\left(\frac{DLThroughput_N}{DLThroughput_{eNodeB}}, \frac{ULThroughput_N}{ULThroughput_{eNodeB}}\right) \quad (3.44)$$

A continuación se calculan la cantidad de eNodeB:

EBC Quri

$$\text{Número de eNodeB} = \max\left(\frac{5.349Mbps}{56.7Mbps}, \frac{0.996Mbps}{28.35Mbps}\right) = \max(0.094, 0.035) \approx 1$$

La red de transmisión debe brindar una tasa de transferencia de 85.05 Mbps.

EBC Ttio

$$\text{Número de eNodeB} = \max\left(\frac{3.771Mbps}{37.8Mbps}, \frac{0.7Mbps}{18.9Mbps}\right) = \max(0.099, 0.037) \approx 1$$

La red de transmisión debe brindar una tasa de transferencia de 56.7 Mbps.

EBC Moccoraïse

$$\text{Número de eNodeB} = \max\left(\frac{5.386Mbps}{37.8Mbps}, \frac{1.003Mbps}{18.9Mbps}\right) = \max(0.143, 0.053) \approx 1$$

La red de transmisión debe brindar una tasa de transferencia de 56.7 Mbps.

EBC Callatiac

$$\text{Número de eNodeB} = \max\left(\frac{11.203Mbps}{37.8Mbps}, \frac{2.086Mbps}{18.9Mbps}\right) = \max(0.296, 0.11) \approx 1$$

La red de transmisión debe brindar una tasa de transferencia de 56.7 Mbps.

EBC Pata Quehuar

$$\text{Número de eNodeB} = \max\left(\frac{5.854\text{Mbps}}{37.8\text{Mbps}}, \frac{1.09\text{Mbps}}{18.9\text{Mbps}}\right) = \max(0.155, 0.058) \approx 1$$

La red de transmisión debe brindar una tasa de transferencia de 56.7 Mbps.

En resumen se presenta la cantidad de eNodeB

Sitio	# eNodeB	
	Por cobertura	Por capacidad
Quri	1	1
Ttio	1	1
Moccoraise	1	1
Callatiac	1	1
Pata Quehuar	1	1

Tabla 3.22: Resumen de cantidad de celdas.

Exceptuando sitio Quri, para satisfacer la capacidad de tráfico a los usuarios será necesario cuatro eNodeB en configuración de 2 sectores. La utilización del MIMO 2x2 incrementa en la capacidad del eNodeB, lo cual hace que la relación de throughput de la red entre el throughput del eNodeB sea bajo.

3.4 Sustento para consideración final cantidad de EBCs de 3.5G y 3.9G

En 3.5G y 3.9G las áreas estimadas tendrían cobertura adecuada, pero en el caso suburbano, rural, y campo abierto, como es de conocimiento no en todo el área existe población, son más extensas las áreas de agricultura, área de pastoreo y otros. La validación de diseño de cobertura, además de la planificación de capacidad se presenta evidencias fotográficas. En las figuras siguientes se sustenta con las fotografías tomadas durante las visitas realizadas a cada punto y/o ubicación de coordenadas, hay imágenes que debido a

que se toman al pie de torres y ubicación no se logran visualizar las áreas con población. Se propone que las antenas estén dirigidas a las zonas pobladas principalmente.

EBC Quri



Figura 3.20: Torre y fibra óptica.



Figura 3.21: Sector 1 EBC Quri.

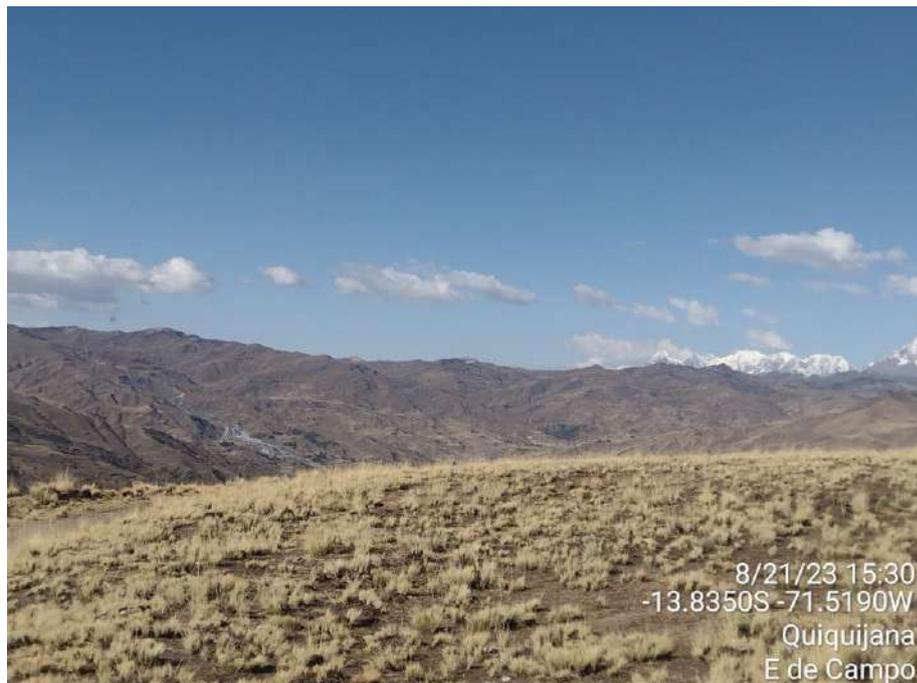


Figura 3.22: Sector 2 EBC Quri.



Figura 3.23: Sector 3 EBC Quri.

EBC Ttio

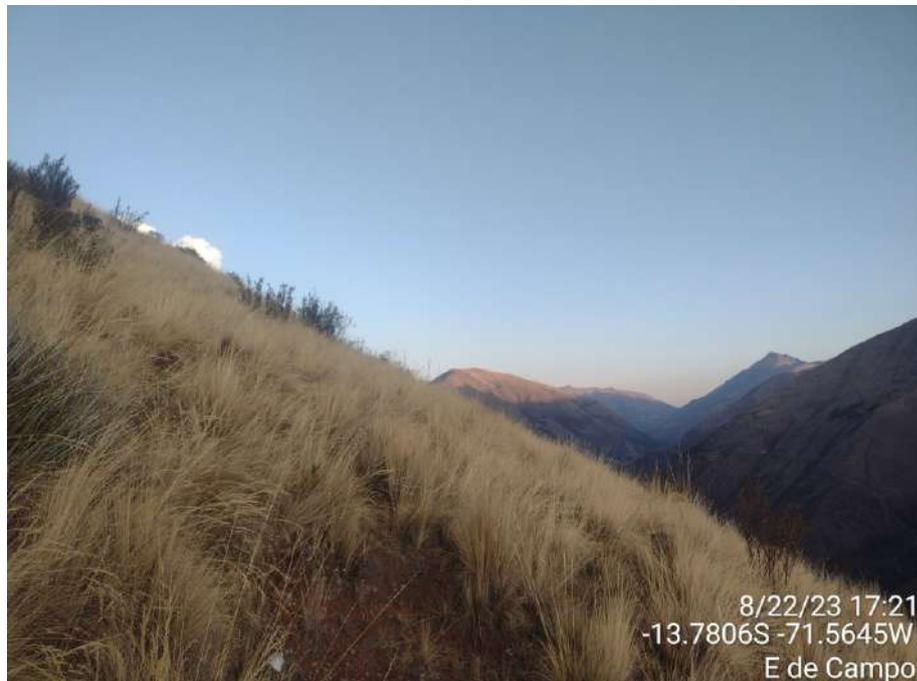


Figura 3.24: Sector 2 EBC Ttio.



Figura 3.25: Sector 3 EBC Ttio.

EBC Moccoraize



Figura 3.26: Sector 2 EBC Moccoraize.



Figura 3.27: Sector 3 EBC Moccoraize.

EBC Callatiac



Figura 3.28: Sector 2 EBC Callatiac.



Figura 3.29: Sector 3 EBC Callatiac.

EBC Pata Quehuar



Figura 3.30: Sector 2 EBC Pata Quehuar.



Figura 3.31: Sector 3 EBC Pata Quehuar.

Rep. Hayuni



Figura 3.32: Único sector Rep. Hayuni.

Rep. Usi



Figura 3.33: Único sector Rep. Usi.

Rep. H_Laguna



Figura 3.34: Único sector Re. H_Laguna.

Otro sustento, es según las diferentes tesis de planificación y optimización revisadas, para despliegue e implementación final optan por la cantidad de EBCs obtenidos por el cálculo de capacidad, ya que para un operador de telefonía móvil pública, lo importante es la cantidad de población que puede representar como posible suscriptor.

3.5 Evaluación de throughput de la red de transporte basado en microondas

Como ya sea mencionado en el apartado del diseño de radioenlaces, el equipo utilizado en este trabajo es la Optix RTN de la serie 900 (Huawei) puede dotar un throughput hasta 2.5 Gbps por portadora.

El throughput para cada tecnología de telefonía celular:

Para una EBC de dos sectores de 3.5G se requiere 5.5 Mbps (3.9+1.6). De los 2.5 Gbps se haría uso el 0.22 % de throughput total ofrecido por el equipo.

Para una EBC de tecnología 3.9G de dos sectores se requiere 56.7 Mbps (37.8+18.9). De los 2.5 Gbps se haría uso el 2.27 % del total de throughput ofrecido por el equipo mencionado. Por lo tanto se afirmaría que se garantiza la disponibilidad del ancho de banda y la transferencia de datos para las dos tecnologías de telefonía móvil propuestas para cada sitio. El mínimo de ancho de banda B, ha sido estimado líneas arriba, en el apartado parámetros de desempeño de transmisión.

En cuanto al ancho de banda requerido, líneas arriba se ha calculado, para una modulación de 1024-QAM, el mínimo es 6.22 MHz. El equipo elegido posee varios espaciamientos de canal, lo cual está relacionado con el ancho de banda, se elige un espaciamiento de 28 MHz, con finalidad de brindar un margen amplio para adecuado

funcionamiento, dentro de ello cuando se realice el comisinamiento en la configuración se elegiría un ancho de banda de 20 MHz.

CAPÍTULO 4: SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE RADIOENLACES, 3.5G, 3.9G Y REPETIDORES DE TELEFONÍA MÓVIL

Todas las simulaciones se realizarán considerando los mismos parámetros utilizados en los cálculos del capítulo anterior. En el caso de radioenlaces, tal como se ha mencionado el software de simulación es Pathloss y para 3.5G y 3.9G es Atoll, en los mismos se insertarán todos los parámetros necesarios.

4.1 Simulación de enlaces de microondas con Pathloss y análisis de resultados

4.1.1 Simulación Quri-Ttio

En la siguiente tabla se tienen los datos considerados en el cálculo teórico.

Parámetros	Quri	Ttio
Coordenadas (latitud, longitud)	13° 50' 6.53" S 71° 31' 8.77" W	13° 46' 49.79" S 71° 33' 52.45" W
Altura de torre (m)	48	30
Altura de antena (m)	40	26
Banda de Tx/Rx (GHz)	18	18
Frecuencia de Tx (GHz)	19.24 H	18.23 L
Sub-banda	A	A
Espaciamiento Tx/Rx (MHz)	1010	1010
Ganancia de la antena (dBi)	44.7	44.7
Diámetro (m)	1.2	1.2
Potencia de Tx (dBm)	17	17
Nivel de umbral de Rx (dBm)	-62.5	-62.5
Pérdida en acople (dB)	1.5	1.5
Margen de desvanecimiento (dB)		29.97
Absorción atmosférica (dB)		0.769
Primera zona de Fresnel (m)		1.06
Polarización	Vertical	Vertical

Tabla 4.1: Parámetros de diseño Quri-Ttio.

De la simulación, en la Figura 4.1 se muestra el perfil del enlace. En ella se observan las coordenadas, los azimuts, la altura de las antenas y otros datos. Lo más resaltante es la línea de vista libre de obstáculos.

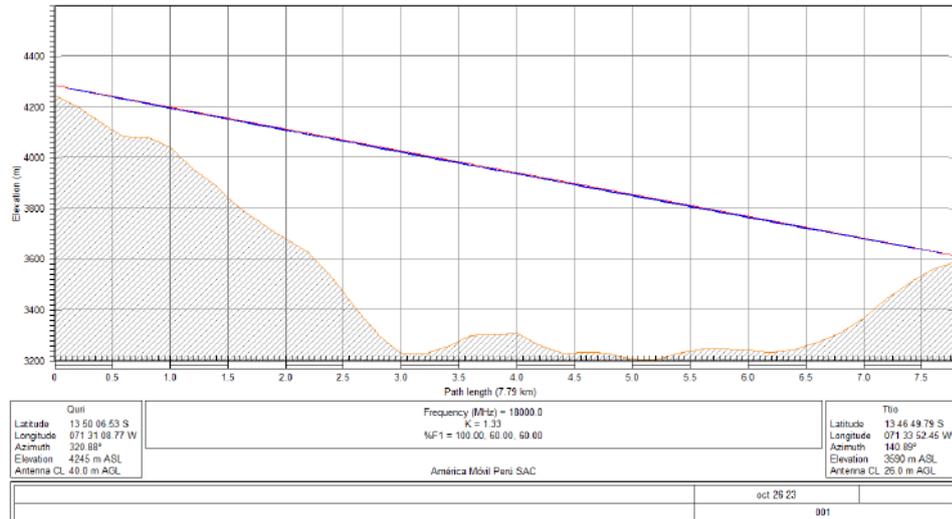


Figura 4.1: Perfil de enlace.

En la Figura 4.2 se tiene el reporte dado por el software, donde se aprecian los datos calculados por el software.

Análisis: En base a los resultados de simulación obtenidos, los cálculos realizados por el simulador son cercanos al cálculo teórico, muestra un margen de desvanecimiento de 29.72 dB, y no hay obstrucciones en la primera zona de Fresnel, el despeje es del 100 %, para lo cual la altura elegida de las antenas es adecuada, la propagación de la onda EM no tendrá mayores problemas, por lo tanto se cumplen los objetivos del enlace como disponibilidad.

	Quri	Ttio
Elevation (m)	4245.26	3589.86
Latitude	13 50 06.53 S	13 46 49.79 S
Longitude	071 31 08.77 W	071 33 52.45 W
True azimuth (*)	320.88	140.89
Vertical angle (*)	-4.94	4.88
Antenna model	VHLP4-18/C	VHLP4-18/C
Antenna height (m)	40.00	26.00
Antenna gain (dBi)	44.70	44.70
Radome loss (dB)	1.50	1.50
TX line length (m)	0.00	0.00
TX line unit loss (dB / 100 m)	0.00	0.00
TX line loss (dB)	0.00	0.00
Connector loss (dB)	0.00	0.00
Circ. branching loss (dB)	0.00	0.00
Other TX loss (dB)	0.00	0.00
Other RX loss (dB)	0.00	0.00
Frequency (MHz)	18000.00	
Polarization	Vertical	
Path length (km)	7.79	
Free space loss (dB)	135.41	
Atmospheric absorption loss (dB)	0.77	
Net path loss (dB)	49.78	49.78
Radio model	18G_XMC2_1024Q_28M	18G_XMC2_1024Q_28M
TX power (watts)	0.05	0.05
TX power (dBm)	17.00	17.00
EIRP (dBm)	60.20	60.20
Emission designator	28M007W	28M007W
TX Channels	1H 19240.0000V	1L 18230.0000V
RX threshold criteria	BER 10-6	BER 10-6
RX threshold level (dBm)	-62.50	-62.50
RX signal (dBm)	-32.78	-32.78
Thermal fade margin (dB)	29.72	29.72
Geoclimatic factor	5.37E-06	
Path inclination (m/r)	85.69	
Fade occurrence factor (Po)	2.21E-06	
Average annual temperature (°C)	11.25	
Worst month - multipath (%)	100.00000	100.00000
(sec)	6.30e-03	6.30e-03
Annual - multipath (%)	100.00000	100.00000
(sec)	0.02	0.02
(% - sec)	100.00000 - 0.04	
Rain region	ITU Region N	
0.01% rain rate (mm/hr)	95.00	
Flat fade margin - rain (dB)	29.72	
Rain rate (mm/hr)	93.42	
Rain attenuation (dB)	29.72	
Annual rain (%-sec)	99.98941 - 3341.00	
Annual multipath + rain (%-sec)	99.98941 - 3341.04	

lun, oct 23 2023
 Quri-Ttio.pl4
 Reliability Method - ITU-R P.530-7/B
 Rain - ITU-R P.530-7

Figura 4.2: Datos del cálculo del enlace.

4.1.2 Simulación Quri-Moccoraise

Los datos considerados en el cálculo teórico se tienen en la siguiente tabla.

Parámetros	Quri	Moccoraise
Coordenadas (latitud, longitud)	13° 50' 6.53" S 71° 31' 8.77" W	13° 52' 54.98" S 71° 30' 8.02" W
Altura de torre (m)	48	45
Altura de antena (m)	40	40
Banda de Tx/Rx (GHz)	18	18
Frecuencia de Tx (GHz)	19.71 H	18.7 L
Sub-banda	B	B
Espaciamiento T/R (MHz)	1010	1010
Ganancia de la antena (dBi)	44.7	44.7
Diámetro (m)	1.2	1.2
Potencia de Tx (dBm)	17	17
Pérdidas en el acople (dB)	1.5	1.5
Nivel de umbral de Rx (dBm)	-62.5	-62.5
Margen de desvanecimiento (dB)	33.02	
Absorción atmosférica (dB)	0.542	
Primera zona de de Fresnel (m)	1.56	
Polarización	Vertical	Vertical

Tabla 4.2: Parámetros del diseño.

En la Figura 4.3 se muestra el perfil del enlace. En ella se observan las coordenadas, los azimuts, la altura de las antenas y otros datos. La línea de vista se observa libre de obstáculos.

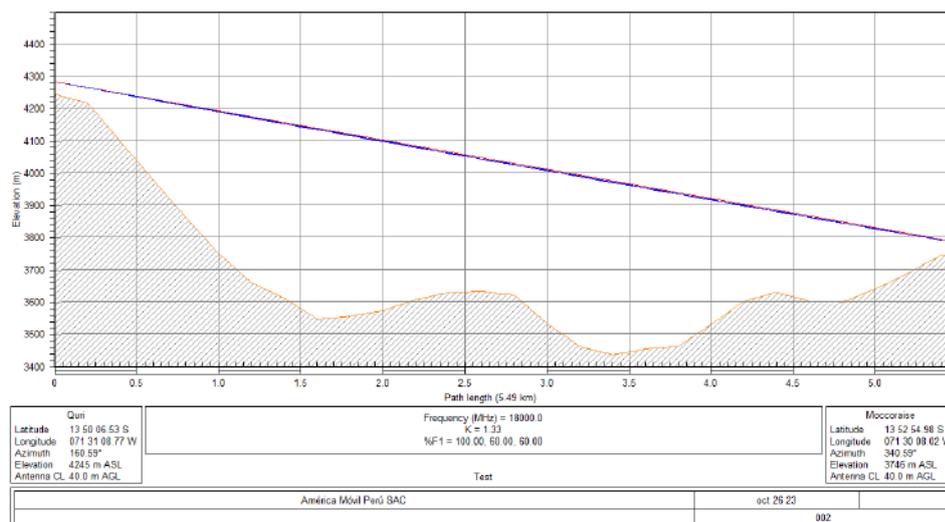


Figura 4.3: Perfil de enlace.

	Quri	Moccoralse
Elevation (m)	4245.26	3746.35
Latitude	13 50 06.53 S	13 52 54.98 S
Longitude	071 31 08.77 W	071 30 08.02 W
True azimuth (°)	160.59	340.59
Vertical angle (°)	-5.21	5.18
Antenna model	VHLP4-18/C	VHLP4-18/C
Antenna height (m)	40.00	40.00
Antenna gain (dBi)	44.70	44.70
Radome loss (dB)	1.50	1.50
TX line length (m)	0.00	0.00
Connector loss (dB)	0.00	0.00
Circ. branching loss (dB)	0.00	0.00
Other TX loss (dB)	0.00	0.00
Other RX loss (dB)	0.00	0.00
Frequency (MHz)	18000.00	
Polarization	Vertical	
Path length (km)	5.49	
Free space loss (dB)	132.36	
Atmospheric absorption loss (dB)	0.54	
Net path loss (dB)	46.50	46.50
Radio model	18G_XMC2_1024Q_28M	18G_XMC2_1024Q_28M
TX power (watts)	0.05	0.05
TX power (dBm)	17.00	17.00
EIRP (dBm)	60.20	60.20
Emission designator	28M007W	28M007W
TX Channels	1H 19710.0000V	1L 18700.0000V
RX threshold criteria	BER 10-6	BER 10-6
RX threshold level (dBm)	-62.50	-62.50
RX signal (dBm)	-29.50	-29.50
Thermal fade margin (dB)	33.00	33.00
Geoclimatic factor	3.27E-06	
Path inclination (m/r)	90.64	
Fade occurrence factor (Po)	3.53E-07	
Average annual temperature (°C)	11.25	
Worst month - multipath (%)	100.00000	100.00000
(sec)	4.77e-04	4.77e-04
Annual - multipath (%)	100.00000	100.00000
(sec)	1.50e-03	1.50e-03
(% - sec)	100.00000 - 0.00	
Rain region	ITU Region N	
0.01% rain rate (mm/hr)	95.00	
Fat fade margin - rain (dB)	33.00	
Rain rate (mm/hr)	124.11	
Rain attenuation (dB)	33.00	
Annual rain (%-sec)	99.99541 - 1447.44	
Annual multipath + rain (%-sec)	99.99541 - 1447.44	

lun, oct 23 2023
 Quri-Moccoralse.pl4
 Reliability Method - ITU-R P.530-7/8
 Rain - ITU-R P530-7

Figura 4.4: Hoja de cálculo del enlace.

Análisis: De los resultados de simulación, los cálculos teóricos y del software son aproximados con un margen de error mínimo. El margen de desvanecimiento es de 33 dB mayor a 3 dB y la primera zona de Fresnel 100 % despejada, para lo cual la altura de las antenas es adecuada, cumple con los objetivos del enlace como disponibilidad y confiabilidad.

4.1.3 Simulación Quri-Callatiac

Se ilustra en la siguiente tabla los parámetros considerados en el cálculo teórico.

Parámetros	Quri	Callatiac
Coordenadas (latitud, longitud)	13° 50' 6.53" S 71° 31' 8.77" W	13° 44' 47.66" S 71° 30' 35.35" W
Altura de torre (m)	48	35
Altura de antena (m)	40	30
Banda de Tx/Rx (GHz)	18	18
Frecuencia de Tx (GHz)	18.695 H	17.685 L
Sub-banda	A	A
Espaciamiento T/R (MHz)	1010	1010
Ganancia de la antena (dBi)	44.7	44.7
Diámetro (m)	1.2	1.2
Potencia de Tx (dBm)	17	17
Nivel de umbral de Rx (dBm)	-62.5	-62.5
Pérdida en acople (dB)	1.5	1.5
Margen de desvanecimiento (dB)		28.02
Absorción atmosférica (dB)		0.972
Primera zona de Fresnel (m)		6.16
Polarización	Vertical	Vertical

Tabla 4.3: Parámetros del diseño.

En la Figura 4.5 se aprecia el perfil del enlace, además se muestran las coordenadas, los azimuts, y otros datos. Se observa que a 6 km aproximado hay un pico elevado, es necesario realizar más análisis en este caso.

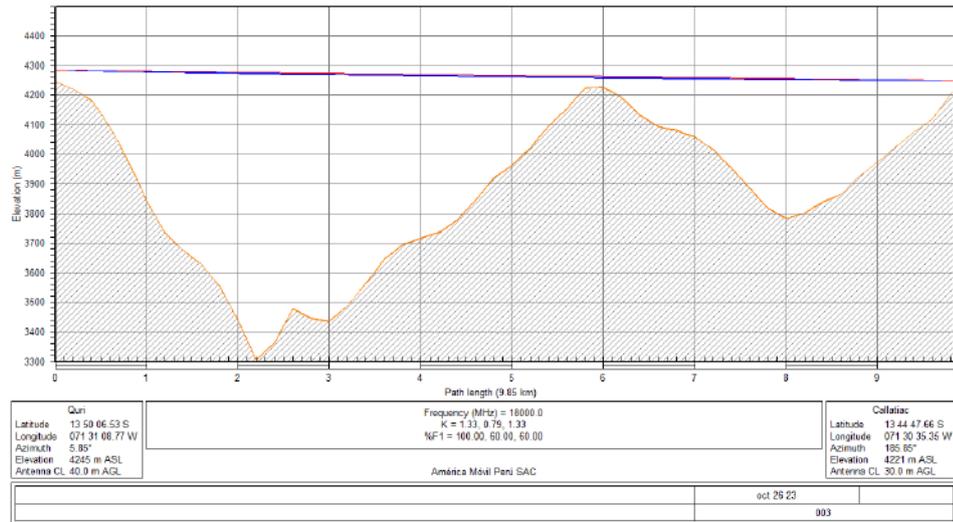


Figura 4.5: Perfil de elevación.

En la Figura 4.6, se observan las zonas de Fresnel 1 y 4 y están alejados del pico más alto de la montaña, por tanto que existe 100 % de despeje y no son afectados dichas zonas.

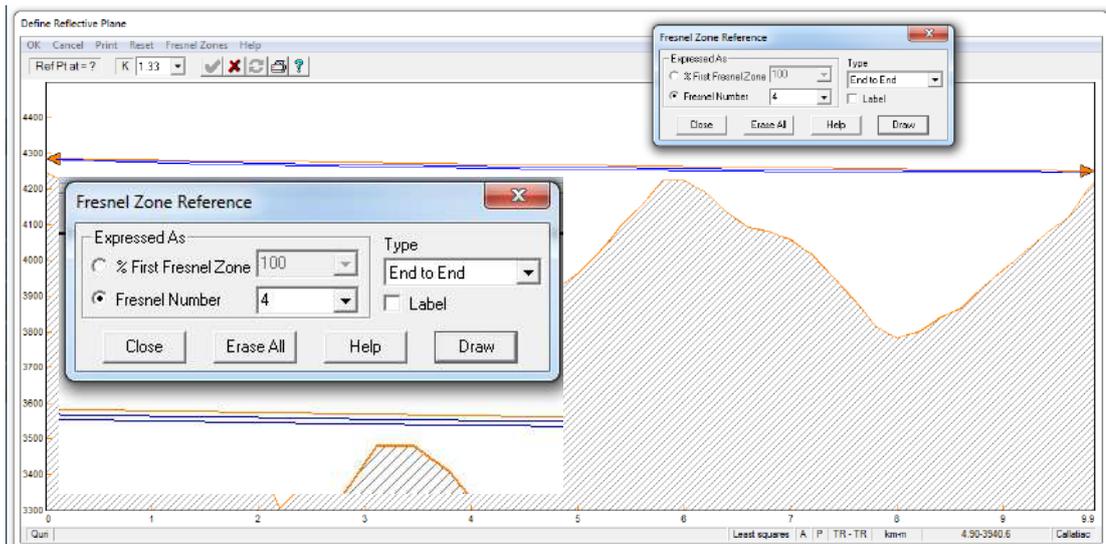


Figura 4.6: Zona de Fresnel.

Una claridad de 5 o 10 m del obstáculo a la primera zona de Fresnel es requerimiento en caso de radioenlaces. Por ello aquí es necesario hacer mas análisis de las zonas de Fresnel, la herramienta puede dar datos de claridad, si configuramos a 30 m de distancia desde del pico de la montaña a la primera zona de Fresnel, no hay datos de claridad, esto quiere decir

que las zonas de Fresnel a los obstáculos y picos de montañas están mayor a 30 m, se muestra en la Figura 4.7, el pico de montaña no afecta a dichas zonas.

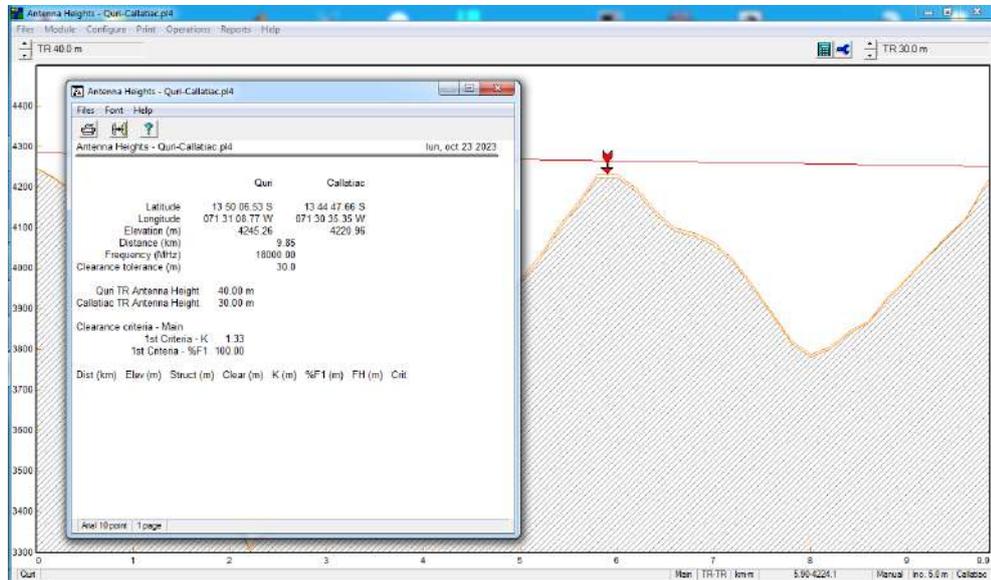


Figura 4.7: Datos de claridad.

En la Figura 4.8 se tiene el reporte generado por el software, donde se aprecian los datos calculados por el mismo.

	Guri	Callatác
Elevation (m)	4245.26	4220.96
Latitude	13 50 06.53 S	13 44 47.66 S
Longitude	071 31 08.77 W	071 30 35.35 W
True azimuth (°)	5.85	185.85
Vertical angle (°)	-0.23	0.17
Antenna model	VHLP4-18/C	VHLP4-18/C
Antenna height (m)	40.00	30.00
Antenna gain (dBi)	44.70	44.70
Radome loss (dB)	1.50	1.50
TX line length (m)	0.00	0.00
TX line unit loss (dB /100 m)	0.00	0.00
TX line loss (dB)	0.00	0.00
Connector loss (dB)	0.00	0.00
Circ. branching loss (dB)	0.00	0.00
Other TX loss (dB)	0.00	0.00
Other RX loss (dB)	0.00	0.00
Frequency (MHz)	18000.00	
Polarization	Vertical	
Path length (km)	9.85	
Free space loss (dB)	137.44	
Atmospheric absorption loss (dB)	0.97	
Net path loss (dB)	52.01	52.01
Radio model	18G_XMC2_1024Q_28M	18G_XMC2_1024Q_28M
TX power (watts)	0.05	0.05
TX power (dBm)	17.00	17.00
EIRP (dBm)	60.20	60.20
Emission designator	28M007W	28M007W
TX Channels	1H 18695.0000V	1L 17685.0000V
RX threshold criteria	BER 10-6	BER 10-6
RX threshold level (dBm)	-62.50	-62.50
RX signal (dBm)	-35.01	-35.01
Thermal fade margin (dB)	27.49	27.49
Geoclimatic factor	2.00E-06	
Path inclination (m/r)	3.48	
Fade occurrence factor (Po)	1.21E-04	
Average annual temperature (°C)	11.25	
Worst month - multipath (%)	99.99998	99.99998
(sec)	0.57	0.57
Annual - multipath (%)	99.99999	99.99999
(sec)	1.79	1.79
(% - sec)	99.99999 - 3.58	
Rain region	ITU Region N	
0.01% rain rate (mm/hr)	95.00	
Flat fade margin - rain (dB)	27.49	
Rain rate (mm/hr)	79.74	
Rain attenuation (dB)	27.49	
Annual rain (%-sec)	99.98251 - 5514.29	
Annual multipath + rain (%-sec)	99.98250 - 5517.87	

lun, oct 23 2023
 Guri-Callatác.pl4
 Reliability Method - ITU-R P.530-7/8
 Rain - ITU-R P530-7

Figura 4.8: Hoja de cálculo del enlace.

Análisis: De los resultados de simulación, los cálculos del software y teóricos son aproximados con un margen de error mínimo. El margen de desvanecimiento es de 27.49 dB superior a los 3 dB, además la cuarta zona de Fresnel tiene despeje del 100%, para lo cual la altura de las antenas es adecuada, con esto se corrobora los cálculos teóricos; en general cumple con los objetivos del enlace como disponibilidad y confiabilidad.

4.1.4 Simulación Quri-Pata Quehuar

Se ilustran los parámetros considerados en el cálculo teórico.

Parámetros	Quri	Pata Quehuar
Coordenadas (latitud, longitud)	13° 50' 6.53" S 71° 31' 8.77" W	13° 49' 55.87" S 71° 35' 39.70" W
Altura de torre (m)	48	35
Altura de antena (m)	40	30
Banda de Tx/Rx (GHz)	18	18
Frecuencia de Tx (GHz)	18.18 L	19.19 H
Sub-banda	B	B
Espaciamiento T/R (MHz)	1010	1010
Ganancia de la antena (dBi)	44.7	44.7
Diámetro (m)	1.2	1.2
Potencia de Tx (dBm)	17	17
Nivel de umbral de Rx (dBm)	-62.5	-62.5
Pérdida en acople (dB)	1.5	1.5
Margen de desvanecimiento (dB)		29.32
Absorción atmosférica (dB)		0.805
Primera radio de Fresnel (m)		5.79
Polarización	Vertical	Vertical

Tabla 4.4: Parámetros del enlace.

En la Figura 4.9 se observa el perfil del enlace, muestra las coordenadas, los azimuts, altura de la antena y la zona de Fresnel libre de obstáculos a lo largo del trayecto.

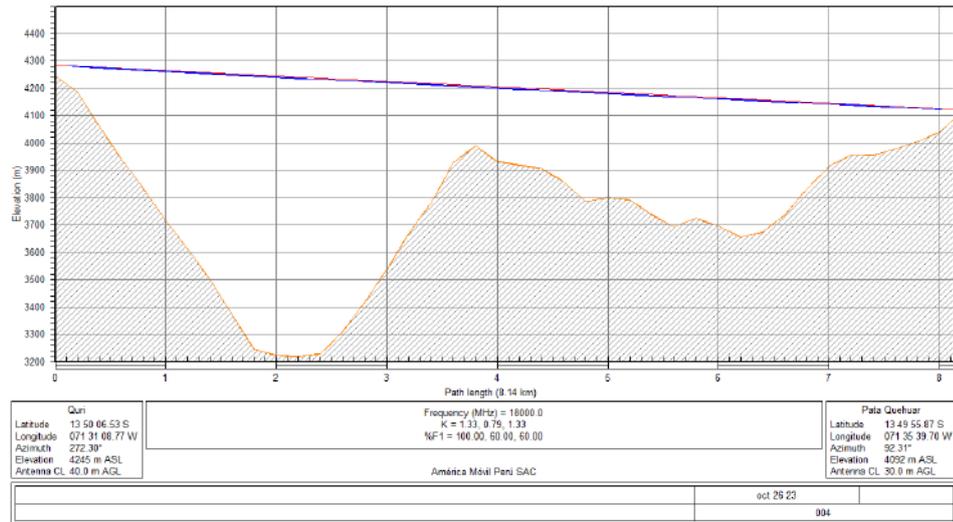


Figura 4.9: Perfil de elevación.

La Figura 4.10 presenta los resultados de simulación y son aproximados a lo calculado, se obtuvo un margen de desvanecimiento de 29.31 dB, es mayor a 3 dB y la primera zona de Fresnel se observa con 100% de despeje, para lo cual la altura de las antenas es adecuada, los cuales garantizan que el enlace por condiciones climáticas adversas se mantenga estable, y cumple los objetivos de disponibilidad y confiabilidad.

	Quri	Pata Quehuar
Elevation (m)	4245.26	4092.31
Latitude	13 50 06.53 S	13 49 55.87 S
Longitude	071 31 08.77 W	071 35 39.70 W
True azimuth (°)	272.30	92.31
Vertical angle (°)	-1.17	1.12
Antenna model	VHLP4-18/C	VHLP4-18/C
Antenna height (m)	40.00	30.00
Antenna gain (dBi)	44.70	44.70
Radome loss (dB)	1.50	1.50
TX line length (m)	0.00	0.00
TX line unit loss (dB /100 m)	0.00	0.00
TX line loss (dB)	0.00	0.00
Connector loss (dB)	0.00	0.00
Circ. branching loss (dB)	0.00	0.00
Other TX loss (dB)	0.00	0.00
Other RX loss (dB)	0.00	0.00
Frequency (MHz)	18000.00	
Polarization	Vertical	
Path length (km)	8.14	
Free space loss (dB)	135.79	
Atmospheric absorption loss (dB)	0.90	
Net path loss (dB)	50.19	50.19
Radio model	18G_XMC2_1024Q_28M	18G_XMC2_1024Q_28M
TX power (watts)	0.05	0.05
TX power (dBm)	17.00	17.00
EIRP (dBm)	60.20	60.20
Emission designator	28M007W	28M007W
TX Channels	1L 18180.0000V	1H 19190.0000V
RX threshold criteria	BER 10-6	BER 10-6
RX threshold level (dBm)	-62.50	-62.50
RX signal (dBm)	-33.19	-33.19
Thermal fade margin (dB)	29.31	29.31
Geoclimatic factor	2.00E-06	
Path inclination (mr)	20.01	
Fade occurrence factor (Po)	7.00E-06	
Average annual temperature (°C)	11.25	
Worst month - multipath (%)	100.00000	100.00000
(sec)	0.02	0.02
Annual - multipath (%)	100.00000	100.00000
(sec)	0.07	0.07
(% - sec)	100.00000 - 0.14	
Rain region	ITU Region N	
0.01% rain rate (mm/hr)	95.00	
Fat fade margin - rain (dB)	29.31	
Rain rate (mm/hr)	90.77	
Rain attenuation (dB)	29.31	
Annual rain (%-sec)	99.98833 - 3681.63	
Annual multipath + rain (%-sec)	99.98833 - 3681.77	

lun, oct 23 2023
 Quri-Pata Quehuar.pl4
 Reliability Method - ITU-R P.530-7/8
 Rain - ITU-R P.530-7

Figura 4.10: Datos del cálculo del enlace.

4.1.5 Línea de vista de los repetidores

Para la ubicación de los tres repetidores debe haber la línea de vista entre la EBC donadora y el punto elegido para el repetidor, la verificación se realiza en la frecuencia de 700 MHz. Tal como se ha propuesto la EBC donadora para los repetidores Rep. Hayuni y Rep. Usi es la EBC Quri y para el Rep. H_Laguna es la EBC Pata Quehuar; estos deben

tener el enlace con un sector de la EBC donadora, dado que una EBC tiene un esquema de dos o tres sectores, por ello mediante la simulación se debe validar la línea de vista.

Las Figuras 4.11, 4.12 y 4.13 muestran los perfiles de enlace libre de obstáculos, lo cual es favorable para establecer los enlaces en las bandas 700 y 850 MHz para los repetidores.

Verificación de línea de vista entre Quri-Rep. Hayuni.

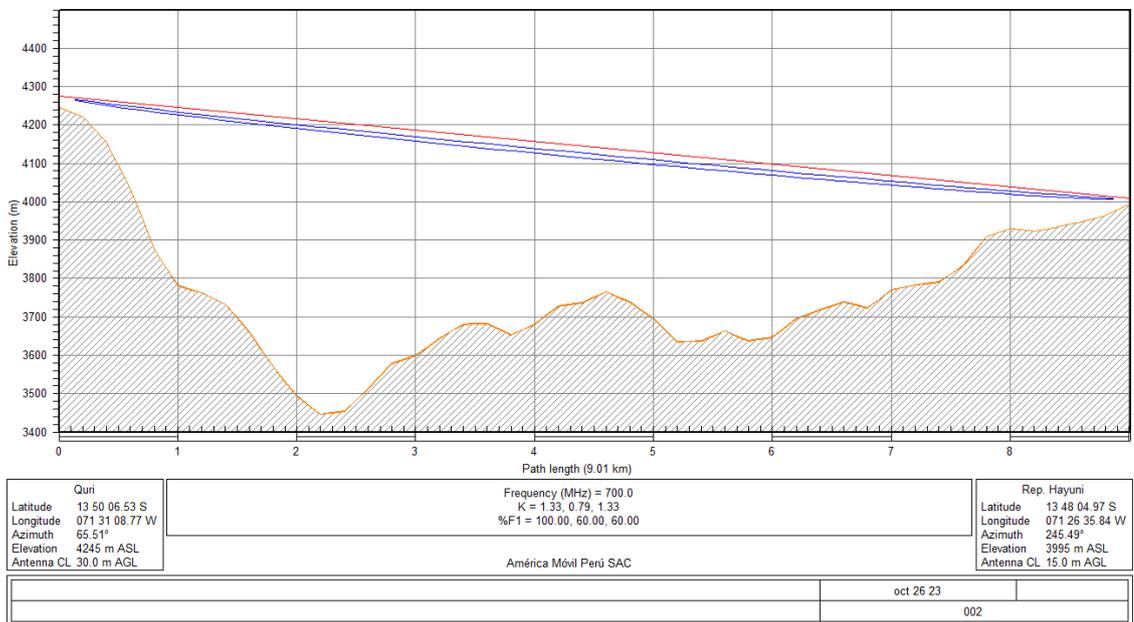


Figura 4.11: Perfil de elevación de Quri-Rep. Hayuni.

Verificación de la línea de vista entre EBC Quiri-Rep. Usi.

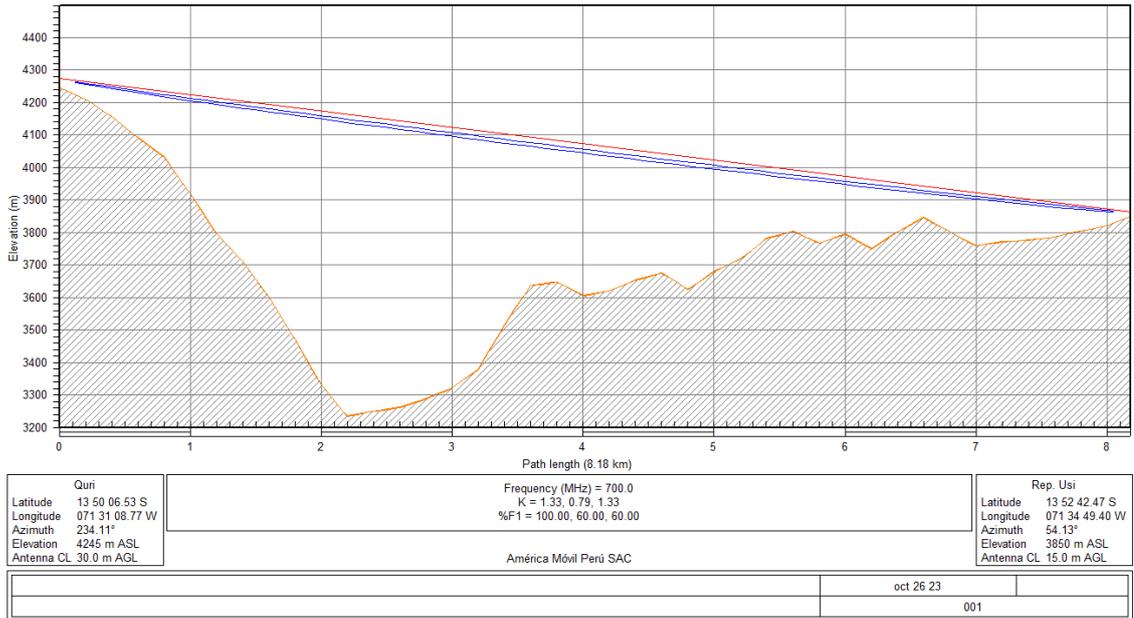


Figura 4.12: Perfil de elevación Quri-Rep. Usi.

Verificación de línea de vista entre Pata Quehwar-Rep H_Laguna. Se ha comprobado que la claridad va entre 8 y 29.9 m, es permisible para el correcto funcionamiento del enlace.

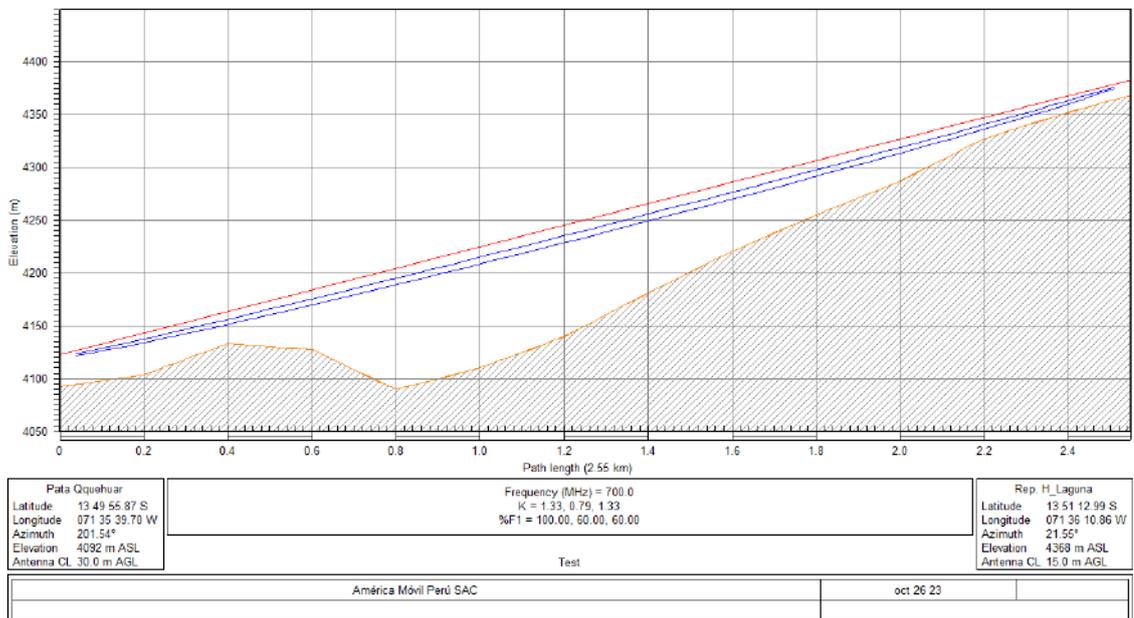


Figura 4.13: Perfil de elevación del enlace Pata Quehwar-Rep. H_Laguna.

4.2 Simulación del sistema 3.5G y repetidores

En la planificación de radio UMTS se debe elaborar un proyecto que simule, del modo más real posible el área del contexto, por esa razón, se debe trabajar con mapas de modelos digitales de elevación (Digital Elevation Models-DEM) propias de la geografía de la zona. Los DEM son simbolización visual y matemática de los valores de altitud en referencia al nivel promedio del mar, que describen las elevaciones del relieve y los elementos u objetos presentes en la superficie. Al momento de obtener el mapa dichos valores que mencionamos se almacenan en un archivo, el cual se genera utilizando un equipo de cómputo y un software especializados, como Earth Explorer y Earth Data. Los mapas de elevaciones, son útiles para el cálculo de la difracción en el uso de los modelos de propagación. En consecuencia, como primer paso para desplegar una red en Atoll es la disposición de los mapas como de altimetría, ortophoto, los clutters y de las vías de comunicación (carreteras) del área de estudio. En el presente proyecto, solo se hará uso del mapa de relieve de la zona, dado que para los objetivos que se desea alcanzar es más que suficiente [10] y los parámetros considerados en la Tabla 3.11 del link budget.

4.2.1 Creación del proyecto en Atoll y configuración

Se inicia con las configuraciones, se elige la plantilla UMTS HSPA.

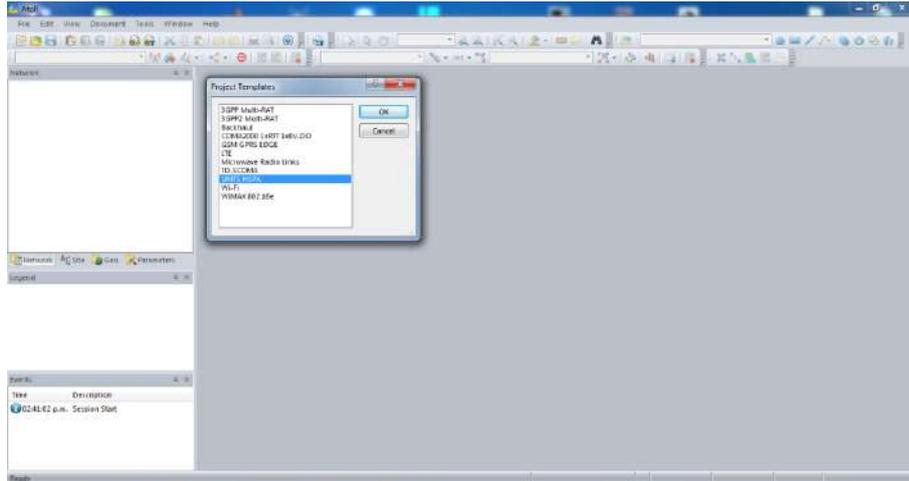


Figura 4.14: Elección de la plantilla UMTS HSPA.

Como siguiente paso es configurar las propiedades del documento, como son las coordenadas del sistema en WGS 84/UTM zone 19S, este comprende entre 66°W a 72°W del hemisferio sur, en este el distrito de Quiquijana se encuentra en 71°W.

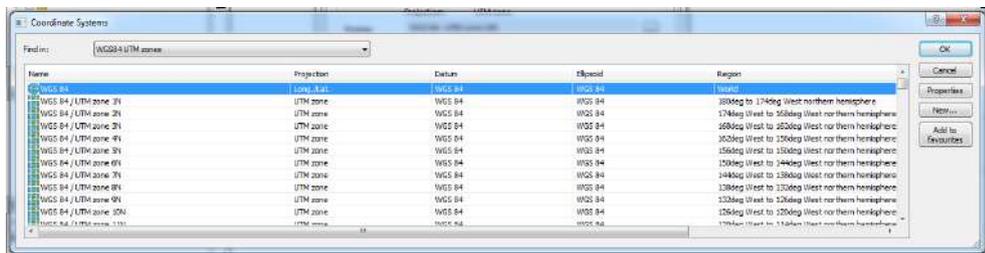


Figura 4.15: Elección de UTM zone.

La obtención del mapa se realiza a través de una suscripción gratuita a Earth Explorer y Earth Data de los cuales se obtiene el mapa en formato .dem el cual a través de Global Mapper se obtiene en formato .grid, dicha mapa se importará en Atoll. Es de mencionar para la simulación del 3.9G es la misma mapa.

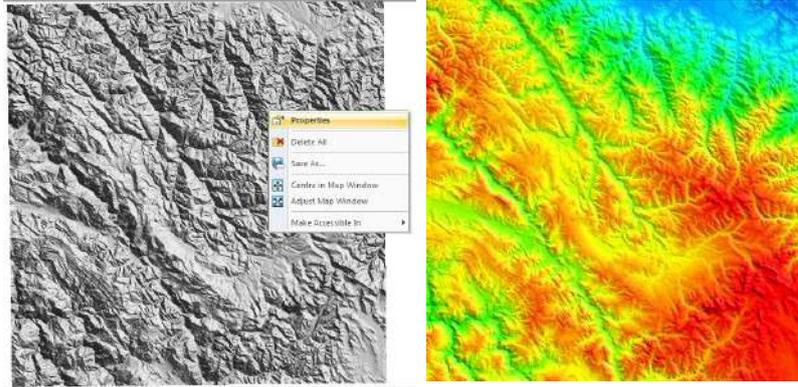


Figura 4.16: Importación del mapa del distrito.

Con el siguiente mapa ya es posible realizar las configuraciones para las predicciones.

Se elabora la lista de sitios/celdas, se edita los nombres, las coordenadas y altura de las antenas, los demás parámetros se deja aun por defecto.

Nombre	Longitud	Latitude	Altitude (m)	Support Height (m)	Support Type	Max No. of UEs CE+	Max No. of UEs CE+	Max Sub UE Sackhaul Throughput (Mbps)	Max Sub DL Backhaul Throughput (Mbps)	Equipment	Comments
Calatayes	71°50'35.35"W	13°44'47.66"S	4,207	30		256	256	12,288	12,288	Default Equipment	
Mocorroaie	71°50'42.2"W	13°52'54.98"S	3,783	30		256	256	12,288	12,288	Default Equipment	
Pata Quehuar	71°55'58.7"W	13°49'55.81"S	4,110	30		256	256	12,288	12,288	Default Equipment	
Qun	71°51'49.7"W	13°50'4.53"S	4,237	30		256	256	12,288	12,288	Default Equipment	
Rep. H. Leguina	71°50'12.2"W	13°51'15.07"S	4,254	30		256	256	12,288	12,288	Default Equipment	
Rep. Hayum	71°06'35.4"W	13°48'4.97"S	3,999	30		256	256	12,288	12,288	Default Equipment	
Rep. Usti	71°34'40.4"W	13°52'42.47"S	3,844	30		256	256	12,288	12,288	Default Equipment	
Tia	71°53'52.45"W	13°46'49.79"S	3,683	30		256	256	12,288	12,288	Default Equipment	

Figura 4.17: Lista de sitios.

Demarcación de la zona de cálculo (Computation Zone).

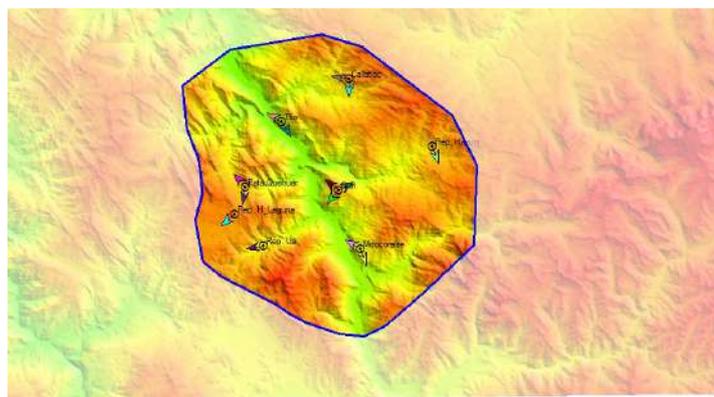


Figura 4.18: Demarcación del área de cálculo.

Antes de elegir la banda de frecuencia, se debe agregar la *UTRA band B5*, ya que Atoll no tiene. B5 está en el rango de 824-849 MHz y 869-894 MHz, en el país, la concesión dado por MTC corresponde el bloque B al operador *Claro*, los rangos están entre 835-845 MHz, 880-890 MHz, 846.5-849 MHz y 891.5-894 MHz [49], los cuales están dentro de la banda B5. Insertamos los datos en Frequency Bands.

Name	DL Start Frequency (MHz)	First Carrier	Last Carrier	Bandwidth (MHz)	Step	Excluded Carriers
UTRA Band I	2,110	10,562	10,612	5	25	
UTRA Band II	1,930	9,662	9,712	5	25	
UTRA Band VIII	925	2,937	2,987	5	25	
▶ UTRA Band V	869	2,937	2,987	5	25	
*						

Figura 4.19: Selección de la banda de frecuencia.

Y después se elige la banda adecuada, en cada transmisor.

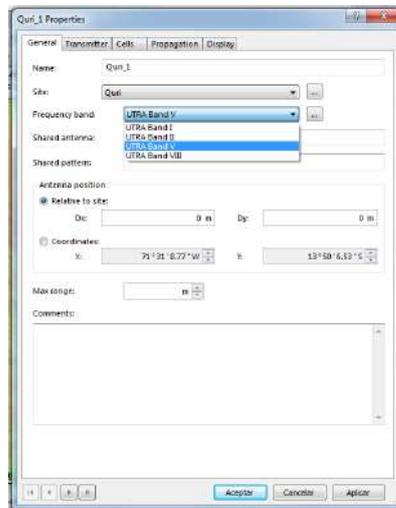


Figura 4.20: Selección de UTRA Band V en cada transmisor.

Elección del modelo de propagación, en este caso en forma general para todos los transmisores.

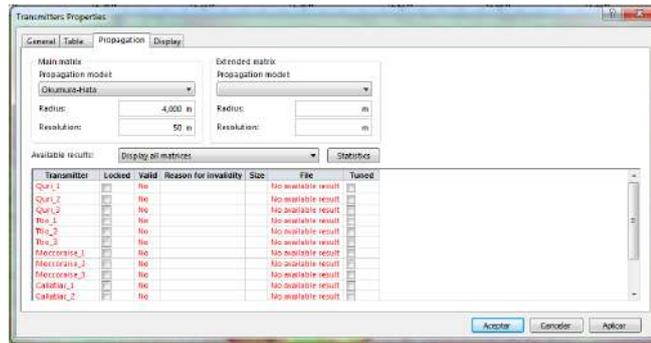


Figura 4.21: Elección del modelo de propagación.

Elección del tipo de antena, no existe una antena de las características utilizadas en el diseño, por ello se debe crear o modificar una antena existente variando algunos de los parámetros. Como consideraciones tenemos la apertura horizontal de 62° , ganancia de 16 dBi, y un patrón de radiación similar a la encontrada en la hoja de datos de la antena, referencia en Anexo N° 13. Se agrega la antena requerida.

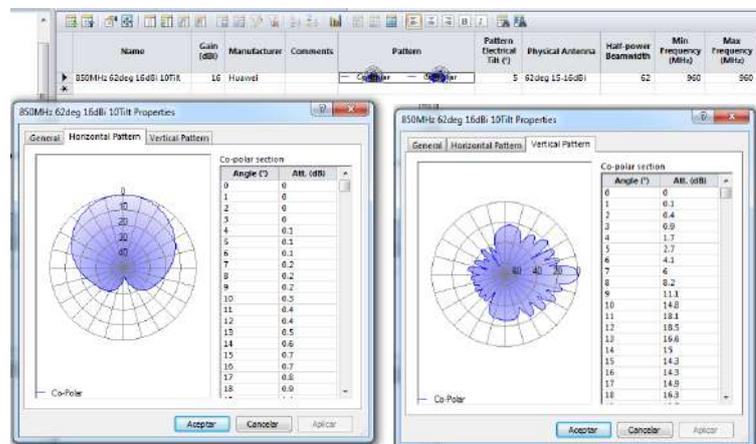


Figura 4.22: Adición de antena.

Ahora se elige la antena adecuada y la figura de ruido en 5 dB.

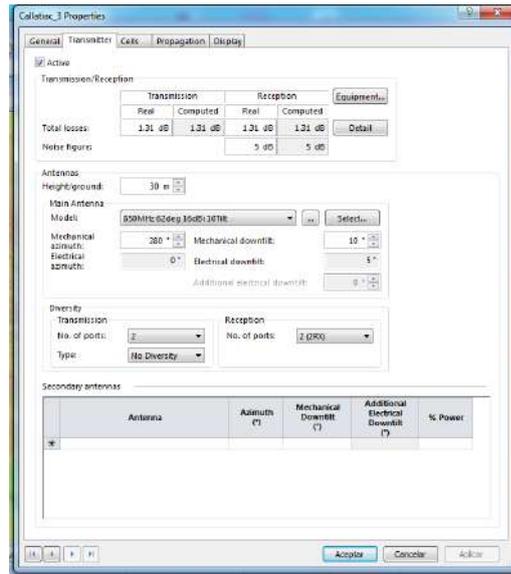


Figura 4.23: Elección del modelo de antena.

Pérdida en el feeder, se agrega uno de diámetro de 1/2", las que normalmente se usan en Movistar, Claro y Entel.

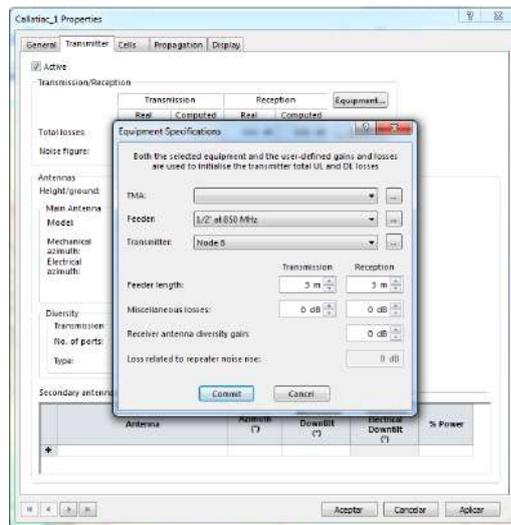


Figura 4.24: Elección del feeder.

Potencia de transmisión, tal como se ha considerado en los cálculos, es de 46 dBm. En el software es posible realizar con diferentes valores de potencia y así observar el comportamiento de las celdas.

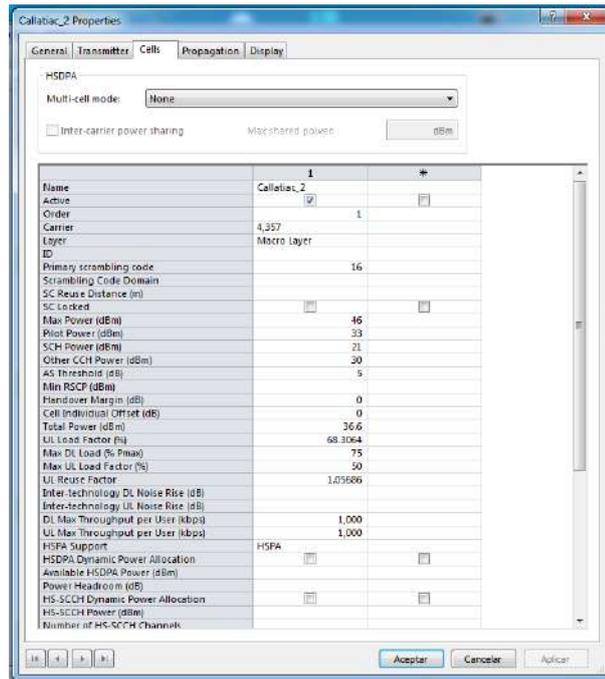


Figura 4.25: Configuración de potencia.

Las configuraciones de parámetros de tráfico no se realizará en el presente trabajo, dado que el objetivo es simular la cobertura, en este caso se deja por defecto, lo correspondiente a configuración de Services, Mobility Types, Terminals, User Profiles y Environments. A excepción de Terminales móviles, las categorías definidas por la 3GPP, para UMTS son las categorías 4, 5, 6 y 5, en el presente tomamos de la categoría 4.

Optimización de la red en Atoll

Asignación de vecinos, se trata en establecer una lista de vecindades. En este caso se designan vecinos de un transmisor o de una estación base a aquellos transmisores o estaciones base donde las áreas de cobertura se cubren parcialmente con el área de cobertura de otra estación base o transmisor.

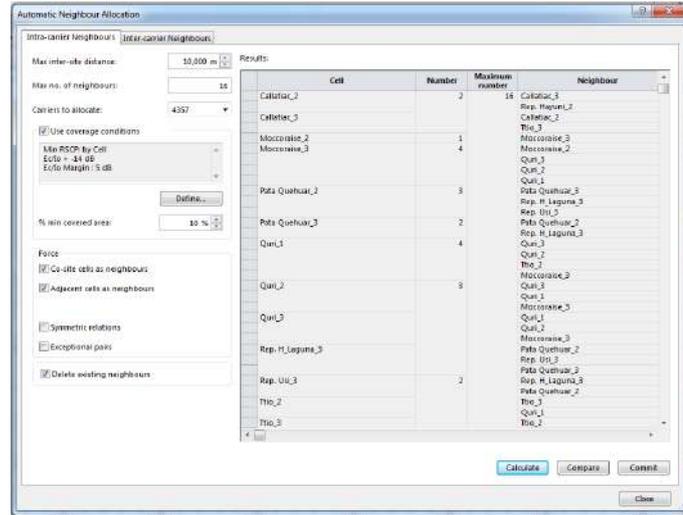


Figura 4.26: Cálculo de vecinos.

En el siguiente gráfico se muestra el cálculo de PSC (Primary Scrambling Codes). El código de codificación primaria es un componente clave del UMTS y de la tecnología de red celular 3G. Desempeña un papel crucial en el establecimiento y mantenimiento de enlaces de comunicación inalámbrica entre dispositivos móviles y estaciones base.

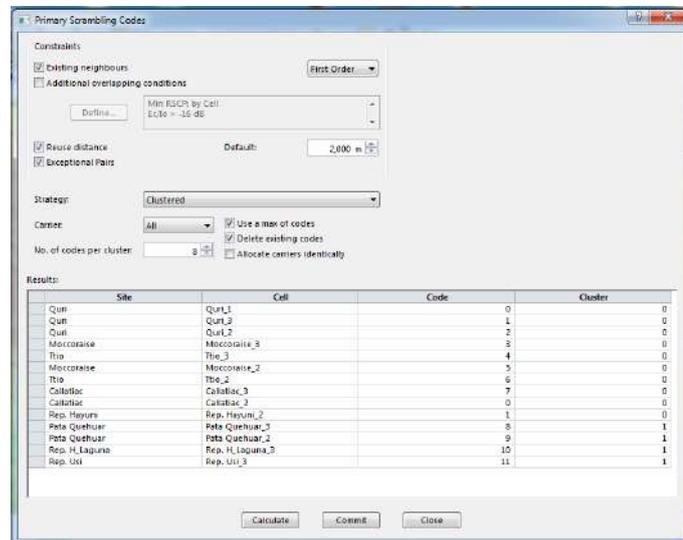


Figura 4.27: Cálculo de Primary Scrambling Codes.

4.2.2 Predicciones en DL

Cálculo de predicciones, principalmente aquí se muestran cobertura por nivel de señal, por transmisor y las zonas superpuestas en DL. Se evaluara el desempeño en un ambiente suburbano, tal como ya se ha mencionado.

Para realizar las siguientes predicciones, se han optimizado previamente la cual consistió en la modificación de los azimuts (dirigida a los sectores con población) y los tilt mecánicos, esto con base a la información obtenida en las visitas a la zona de estudio.

Evaluación de nivel de señal en distintos puntos del mapa

Para ello la herramienta Atoll proporciona valores de nivel de señal en cada pixel del área de cálculo. En el cálculo teórico se obtuvo niveles de señal de recepción para máxima pérdida permitida para DL y UL, cuyos radios internos de cobertura aplicados *Indoor Loss* son, 5.289 y 2.569 km respectivamente, en las siguientes figuras se tienen las mediciones en DL para distancias igual o aproximadas a 5.289 km.

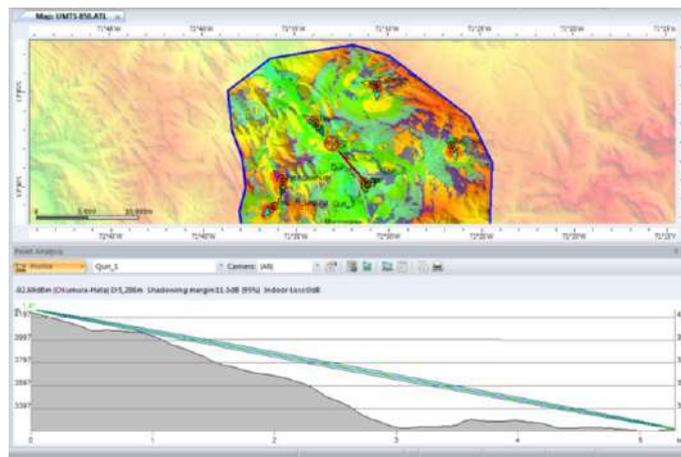


Figura 4.28: EBC Quri, medición en el sector 1.

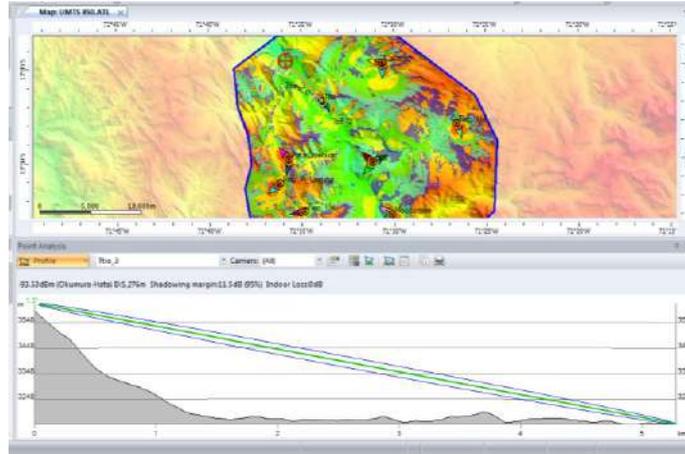


Figura 4.29: EBC Ttio, medición en el sector 3.

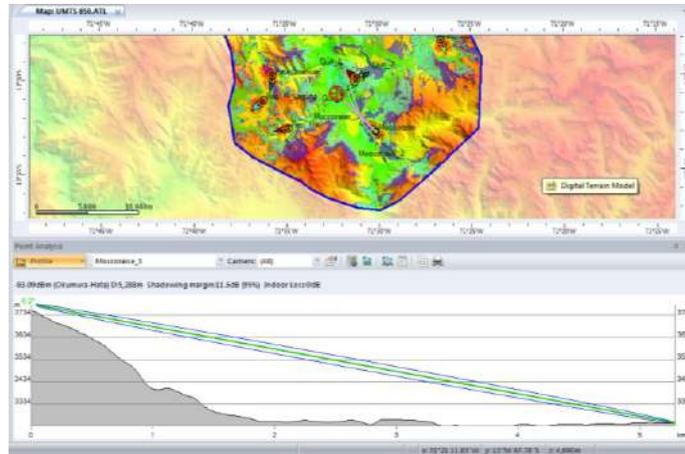


Figura 4.30: EBC Moccoraia, medición en el sector 3.

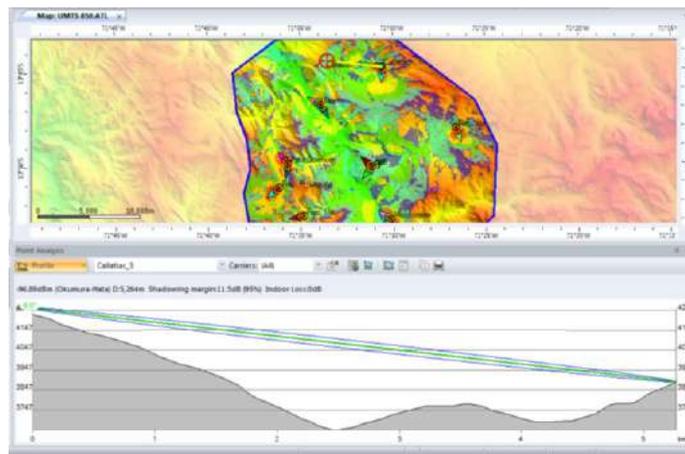


Figura 4.31: EBC Callatac, medición en el sector 3.

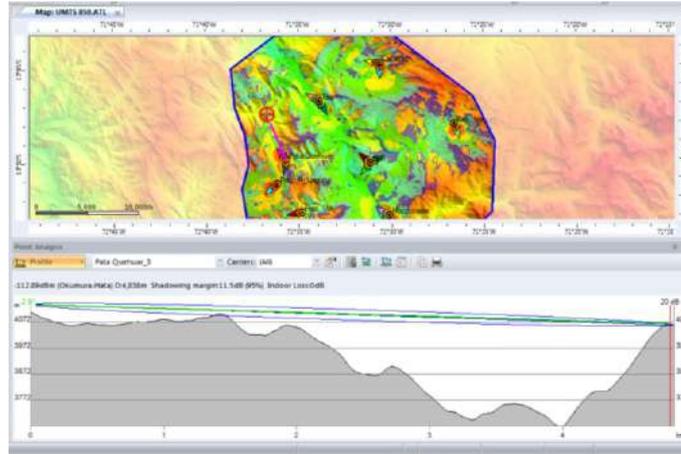


Figura 4.32: EBC Pata Quehuar, medición en el sector 3.

En la Tabla 4.5 se observa los valores de nivel de señal obtenidos de la predicción y a dichos valores se le resta la pérdida al interior (13.5 dB). Los valores de la predicción varían, esto es debido que las mediciones no siempre están en el punto de máxima radiación de la antena, en lo posible se ha buscado puntos que no tengan obstáculos en el perfil del enlace, y además las distancias sean aproximados al radio teórico calculado en el enlace descendente (5.289 km). Por otra parte en el borde de la celda un UE tendrá más nivel de señal fuera de las viviendas que en el interior de las mismas. En las condiciones de predicción se ha configurado para una probabilidad de cobertura en el borde de celda al 95 %, igual al considerado en el cálculo teórico.

EBC	Sector	PRx medido (dBm)	Distancia medido (km)	PRx + indoor loss (dBm)	PRx teórico (dBm)	Diferencia (dBm)
Quri	1	-92.69	5.286	-106.19	-102.943	3.25
Ttio	3	-93.53	5.276	-107.03	-102.943	4.09
Moccoraise	3	-93.09	5.288	-106.59	-102.943	3.65
Callatiac	3	-96.89	5.264	-110.39	-102.943	7.45
P. Quehuar	3	-112.89	4.838	-126.39	-	-

Tabla 4.5: Medición de niveles de señal en distintos sectores y puntos del mapa.

Aplicado el valor fijo de *Indoor Loss*, resulta ser un tanto menor al valor teórico calculado, la diferencia nos es cuantiosa, se puede afirmar que es cercano, y válido. Por otra

parte cuando hay obstáculos la señal es afectada en mucho bastante, tal como se observa la medición de la EBC Pata Quehuar, esto explica que en el borde de celdas al interior de viviendas se tiene una señal nula o muy baja, no permitiendo hacer llamadas y navegación por internet.

Análisis de áreas de cobertura

Para el análisis se requiere información de los niveles de señal, para ello la Figura 4.33 exhibe datos importantes, la potencia de la señal del código recibido (RSCP, Received Signal Code Power), indica en un canal de comunicación la potencia medida por el receptor. Es usado como indicación de la intensidad de la señal, como criterio de traspaso, en el control de potencia de DL y para evaluar la pérdida de ruta. Por otra parte Ec/No es la razón entre la energía recibida de la señal piloto CPICH (Common Pilot Channels) por chip (Ec) y la densidad de ruido (No). De otra manera, podemos decir que es la relación entre el nivel de la señal recibida (RSCP) y la suma de todos los niveles de señales en la misma frecuencia (RSSI, Received Signal Strength Indicator). Por lo tanto, cuanto mayor Ec/No, mejores serán las diferencias entre la señal y el ruido, en el presente trabajo se presenta como información referencial.

Coverage Quality Levels of UMTS	RSCP(dBm)	Ec/No(dB)
Poor	$-115 < RSCP < -95$	$-24 < Ec/No < -13$
Fair	$-95 \leq RSCP < -85$	$-13 \leq Ec/No < -10$
Good	$-85 \leq RSCP < -75$	$-10 \leq Ec/No < -8$
Very good	$-75 \leq RSCP < -65$	$-8 \leq Ec/No \leq -5$
Excellent	$65 \leq RSCP < Max$	$-5 < Ec/No \leq Max$

Figura 4.33: Clasificación de señal de cobertura y calidad [50].

La figura anterior será útil para la interpretación de resultados de predicción de áreas, y en un histograma muestra rangos de nivel de señal de cada zona geográfica.

Debido a que en el software no es posible modificar el valor de 0 dB de Indoor Loss, las áreas de cobertura en los siguientes párrafos es para el caso externo en DL.

Predicción de cobertura por nivel de señal en DL de EBC Quri (existente)

Cubre un área de 27.89 km² con señal entre -65 a -95 dBm. Se observa que la herramienta de predicción considera todo el relieve irregular del terreno por ello están entre intervalos los niveles de señal, se considera aquí los niveles que garantizan la calidad de la señal y por ende el servicio, cada sector cubre el área donde existe población en lo posible.

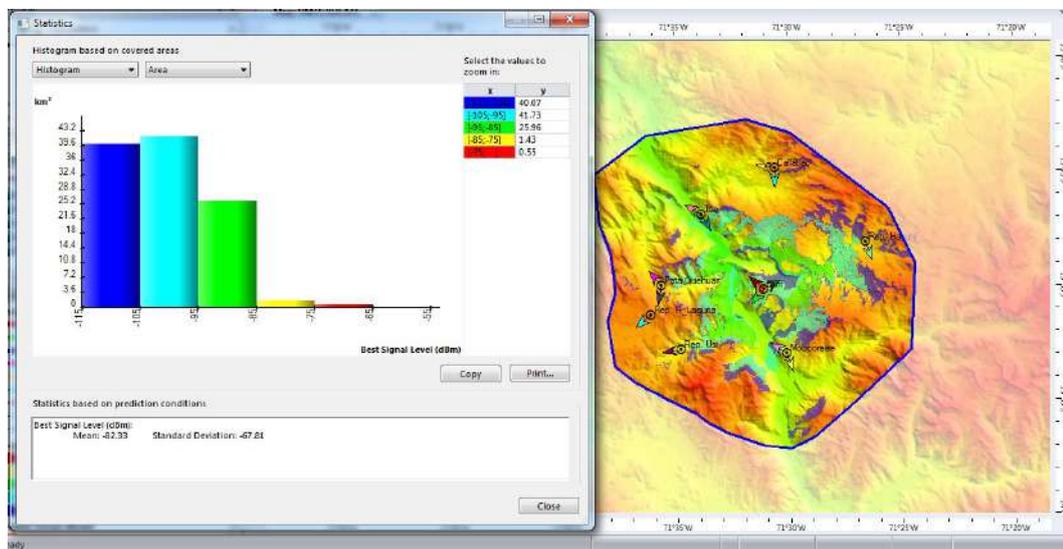


Figura 4.34: Cobertura de la EBC Quri existente.

Predicción de cobertura por nivel de señal en DL de EBC Tño

Cubre un área de 23.17 km² con señal entre -65 a -95 dBm. De igual forma se nota que la herramienta de predicción considera todo el relieve irregular del terreno por ello están entre intervalos los niveles de señal, se considera aquí los niveles que garantizan la calidad de servicio, cada sector esta dirigido a zonas pobladas.

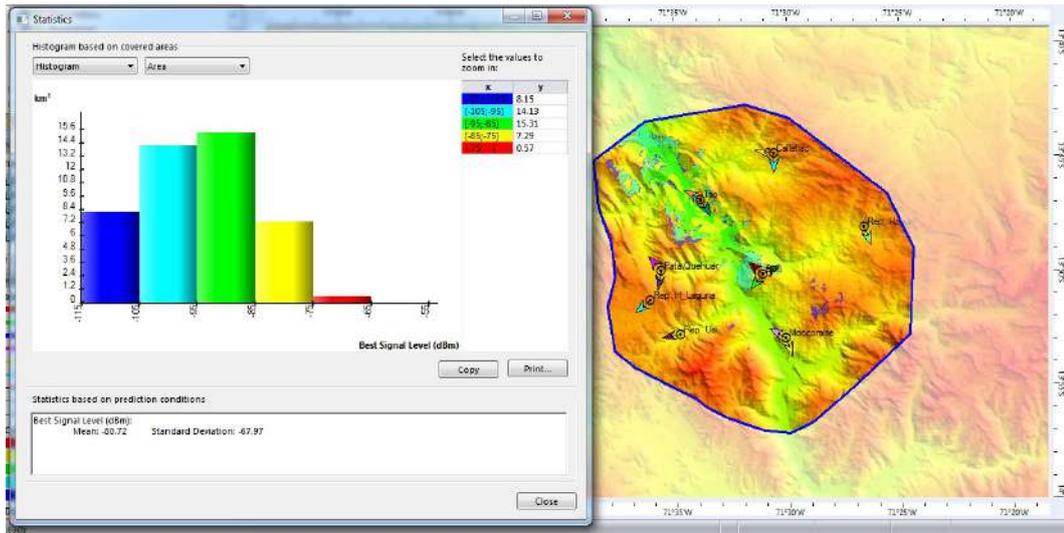


Figura 4.35: Cobertura de la EBC Ttio.

Predicción de cobertura por nivel de señal en DL de EBC Moccoraïse

Cubre un área de 24.21 km² con señal entre -65 a -95 dBm. De igual forma la predicción considera todo el relieve irregular del terreno por ello están entre intervalos los niveles de señal, se considera aquí los niveles que garantizan la calidad de servicio, los dos sectores están dirigidos a las zonas con población.

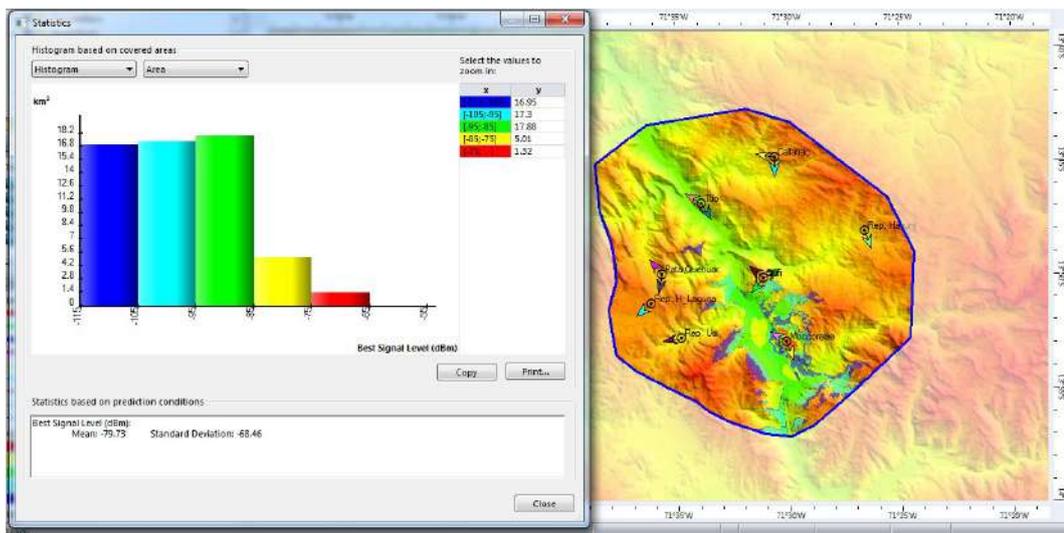


Figura 4.36: Cobertura de la EBC Moccoraïse.

Predicción de cobertura por nivel de señal en DL de EBC Callatiac

Cubre un área de 23 km² con señal entre -65 a -95 dBm, Atoll en la predicción considera todo el relieve irregular del terreno por ello están entre intervalos los niveles de señal, se considera aquí los niveles que garanticen la calidad de servicio con mejor señal.

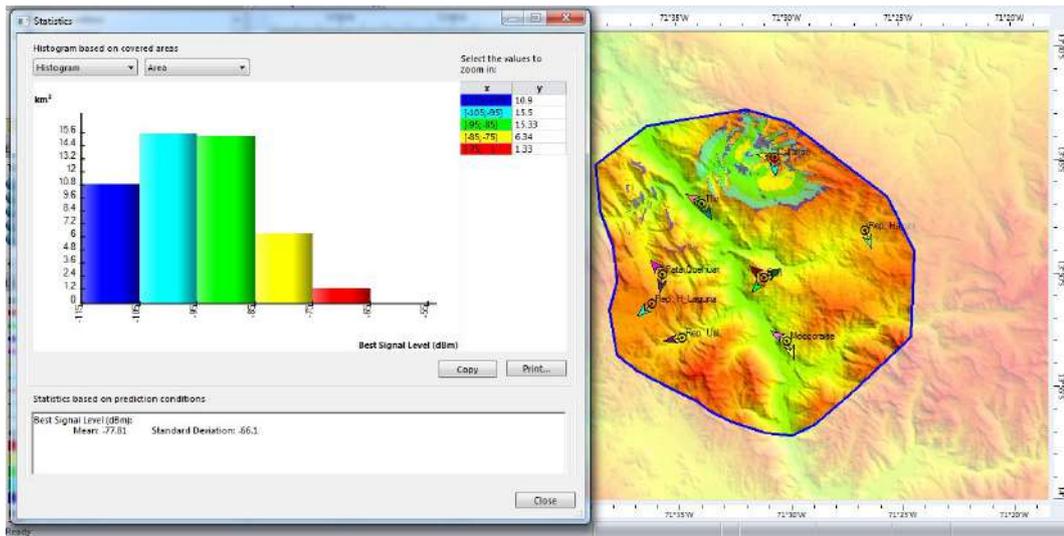


Figura 4.37: Cobertura de la EBC Callatiac.

Predicción de cobertura por nivel de señal en DL de EBC Pata Quehuar

EBC Pata Quehuar, cubre un área de 10.04 km² con señal entre -65 a -95 dBm. Se nota que cubre menor área, la explicación a este suceso es que la herramienta de predicción considera todo el relieve irregular del terreno por ello están entre intervalos los niveles de señal, existe mayor desnivel en dicha zona, aquí se consideran los niveles que garanticen la calidad de servicio.

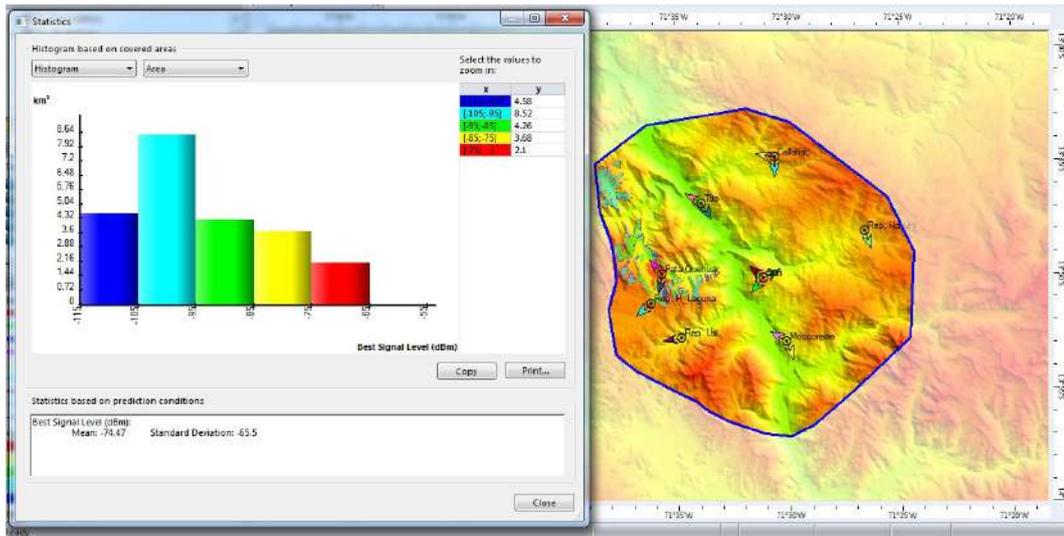


Figura 4.38: Cobertura de la EBC Pata Quehuar.

Predicción de cobertura por nivel de señal en DL de Rep. Hayuni

Cubre un área de 5.7 km², del mismo modo se nota que la herramienta muestra en diferentes colores los niveles de señal, aquí se consideran los niveles que garantizan la calidad de servicio.

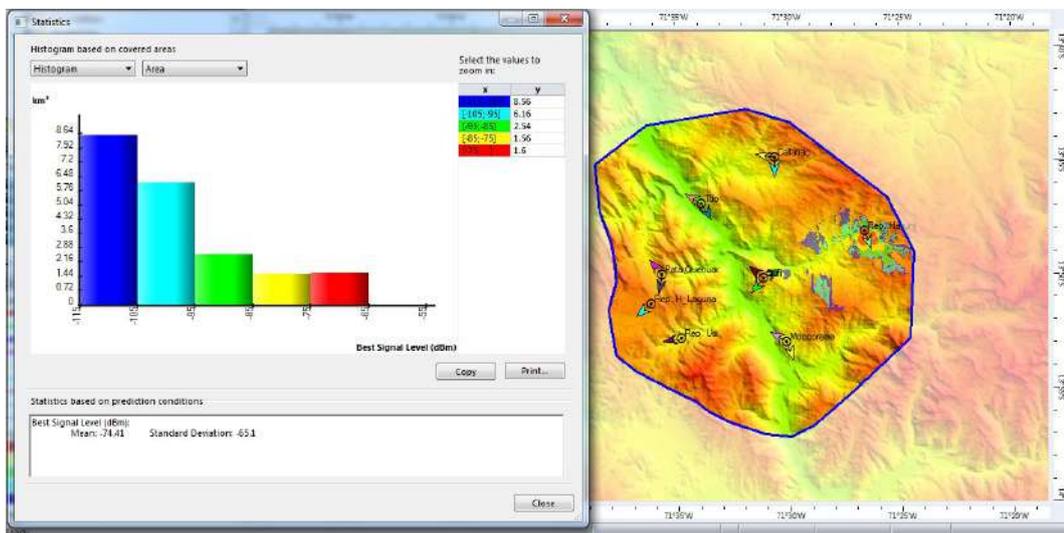


Figura 4.39: Cobertura del Rep. Hayuni.

Predicción de cobertura por nivel de señal en DL de Rep. Usi

Cubre un área de 3.546 km², de la misma forma se nota que la herramienta muestra en diferentes colores los niveles de señal, aquí se consideran los niveles que garanticen la calidad de servicio.

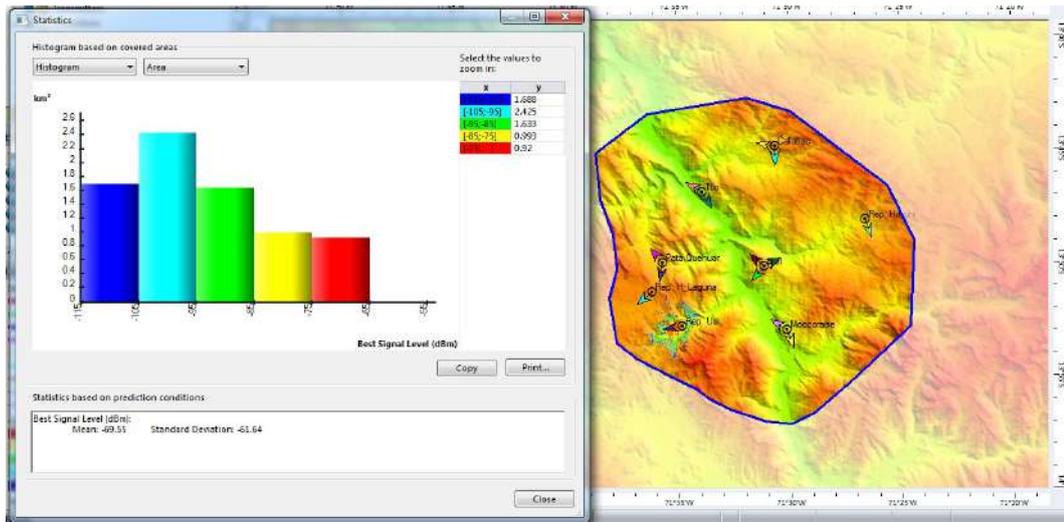


Figura 4.40: Cobertura del Rep. Usi.

Predicción de cobertura por nivel de señal en DL de Rep. H Laguna

Cubre un área de 12.99 km², del mismo modo se nota que la herramienta muestra en diferentes colores los niveles de señal, aquí se consideran los niveles que garanticen la calidad de servicio. Se observa mayor área de cobertura, es debido a que el lugar es un campo abierto, mayor parte con áreas planas.

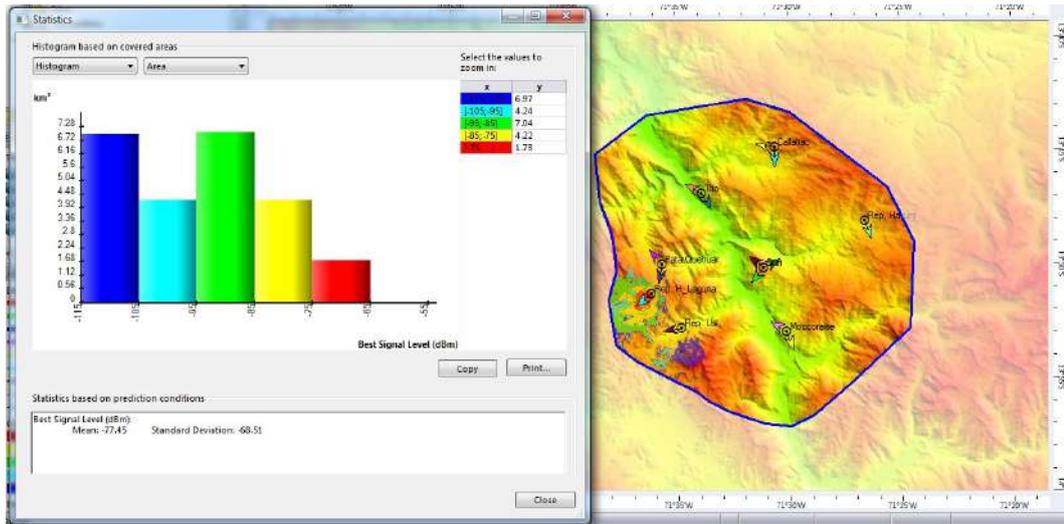


Figura 4.41: Cobertura del Rep. H Laguna.

Predicción de cobertura por nivel de señal en DL todas las EBCs activas

La Figura 4.42 muestra la predicción de cobertura con todas las celdas activas, entre niveles favorables y excelente (niveles de señal entre -65 a -95 dBm), se tiene cobertura en un área de 126.7 km², con lo cual se cumpliría en dar cobertura adecuada a dicha jurisdicción y parte del distrito de Cusipata. El área de 126.7 km² representa el 24.91 % de Computation Zone.

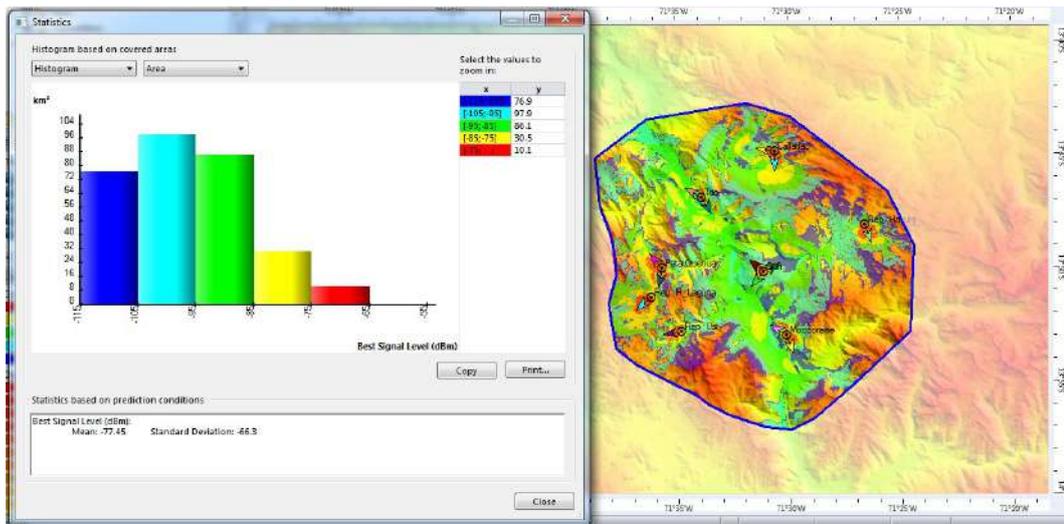


Figura 4.42: Predicción de cobertura por nivel de señal en DL, celdas todas activas.

Las figuras anteriores muestran que la herramienta de predicción Atoll trata de predecir el comportamiento real de una EBC (aproximándose a un escenario real).

La Figura 4.43 muestra la cobertura de todas las celdas activas exportadas a Google Earth, para mejor visualización. El área de 126.7 km² representa el 34.81 % del área total del distrito, pero esta área es parte también del distrito de Cusipata, ya que la CC de Moccoraise y el mismo distrito han sido incluidos en el diseño. Por tal razón el área neta cubierta para la jurisdicción del distrito de Quiquijana es menor.

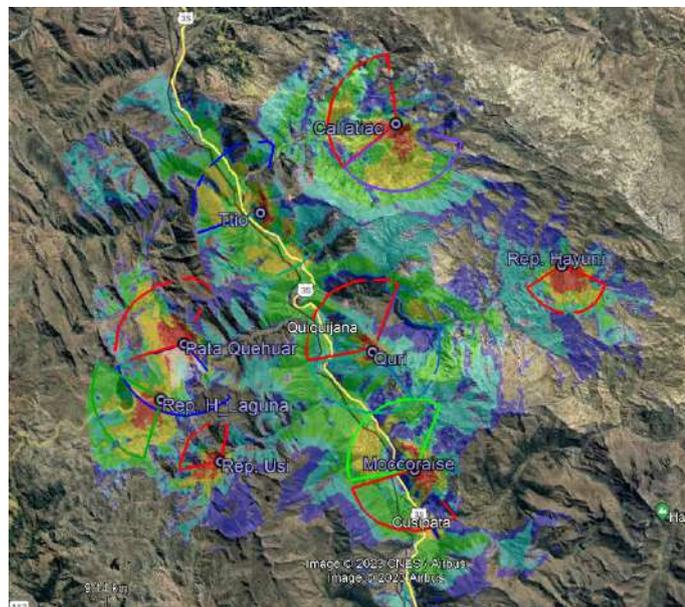


Figura 4.43: Visualización de cobertura en Google Earth.

Predicción de cobertura por transmisor en DL

La Figura 4.44, muestra la predicción de cobertura por transmisor, esto nos permite conocer la superficie de cobertura del mejor transmisor en cada punto del área de cálculo. Con esta predicción se logrará conocer el área de cobertura de las zonas de interés solamente en donde cada sector activo es representado en colores.

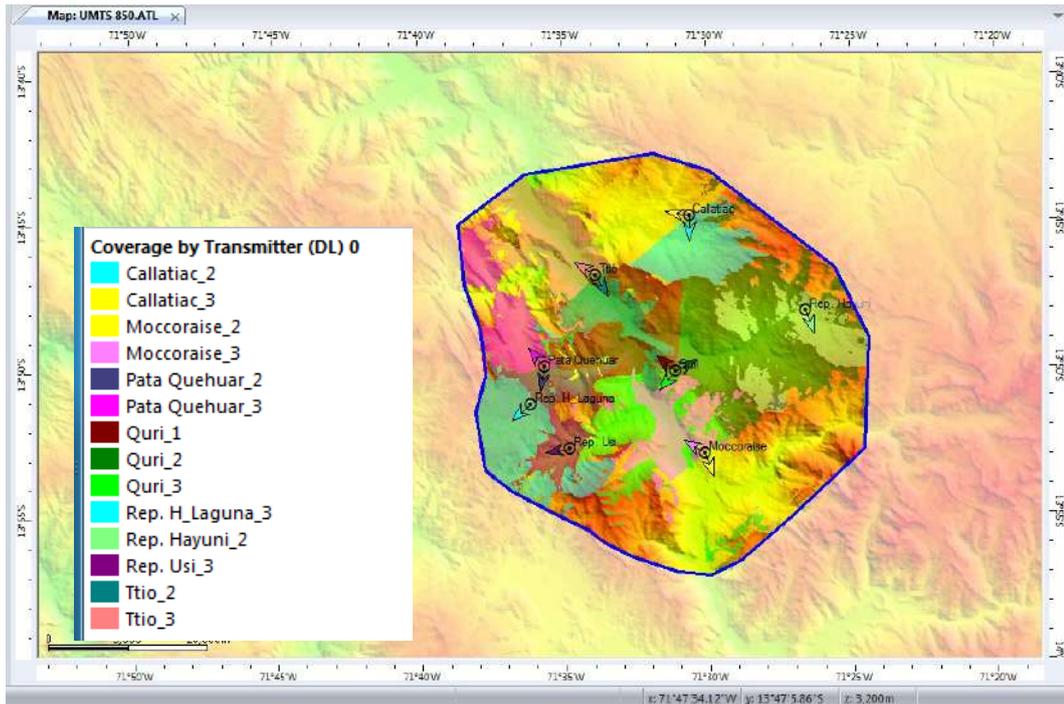


Figura 4.44: Predicción de cobertura por transmisor.

Predicción de zonas solapadas en DL

Cobertura por overlapping es presentada en la Figura 4.45, es muy importante conocer el solapamiento de celdas, si en una zona existe la señal de uno o más transmisores, mientras menor sea la cantidad de servidores que proporcionan la señal en la zona de cobertura en un punto dado, menor será la interferencia producida por las estaciones vecinas. Del histograma, hay presencia entre 1 y 2 servidores en un área de 333.8 km², entre 2 y 3 servidores en un área de 53.6 km² y con 4 a 5 servidores un área de 0.7 km², con estos resultados se tendrá mínima interferencia entre estaciones colindantes, cuando hay presencia mayor a 10 servidores ya representa un problema de interferencia.

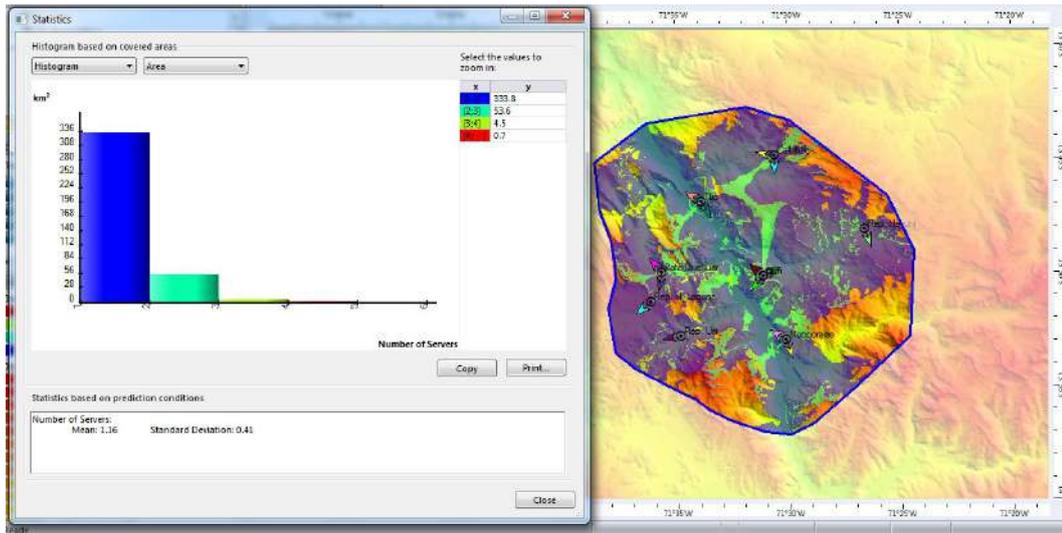


Figura 4.45: Predicción de cobertura por Overlapping.

4.3 Simulación del sistema 3.9G y repetidores

Al igual que en 3.5G se debe realizar la simulación de los sitios, con el objetivo de obtener un enfoque de desempeño, también cabe recalcar que en el presente proyecto al igual que en el 3.5G, también es igual la consideración de solo importar el mapa de relieve de la zona para el presente estudio, ya que con ello se cumple los objetivos que se pretender alcanzar. En la configuración se insertarían los valores de los parámetros considerados en el diseño de cobertura de la Tabla 3.17 del Link Budget.

4.3.1 Creación del proyecto en Atoll y configuraciones necesarias

Las configuraciones son similares al de 3.5G, por ello solo se mostrará algunas figuras las que difieren del caso 3.5G. Se elige la plantilla LTE, la lista de sitios o EBCs son los mismos del 3.5G y también la cantidad de sectores que estas tienen, se consideran de tres, dos y un sector.

Configuración de parámetros globales, se configura el RB a 75.

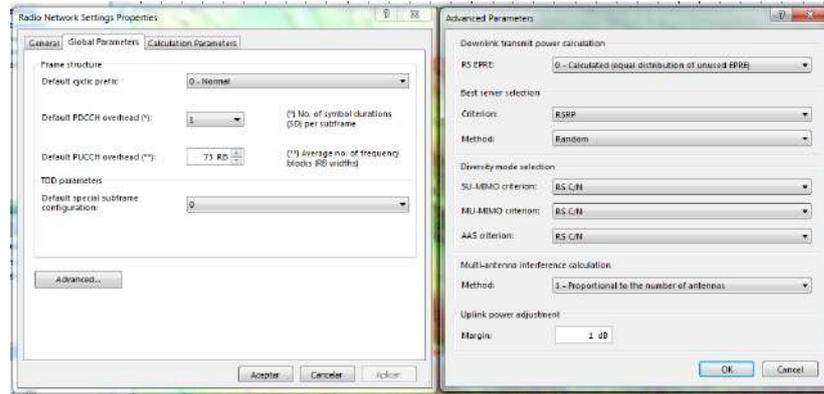


Figura 4.46: Configuración de parámetros generales.

Elección de la banda, dentro de la tabla de frecuencias de Atoll, no existe la *E-UTRA band B28*, por ello se debe agregar en la tabla dicha banda. La banda 700 MHz esta entre las frecuencias 703-748 MHz (UL) y 758-803 MHz, en nuestro país está segmentada en bloques A, B y C, en donde el bloque B corresponde al operador Claro, está comprendida en UL de 718-733 MHz y DL de 773-788 MHz [49].

Name	Duplexing Method	TDD UL Start Frequency (MHz)	FDD UL Start Frequency (MHz)	Channel Width (MHz)	Inter channel spacing (MHz)	Number of Frequency Blocks	Sampling Frequency (MHz)	First channel	Last channel	Stop	Excluded Channels	Adjacent Channel Suppression Factor (dB)
E-UTRA Band 1 - 190kHz	FDD	1,110	1,920	10	0	90	11.36	50	150	100		20.23
E-UTRA Band 1 - 190kHz	FDD	1,110	1,920	15	0	75	23.04	75	120	150		20.99
E-UTRA Band 1 - 200kHz	FDD	1,110	1,920	20	0	100	30.72	100	200	200		25.23
E-UTRA Band 1 - 300kHz	FDD	1,110	1,920	5	0	25	7.68	25	575	50		20.23
E-UTRA Band 12 - 100kHz	FDD	729	689	10	0	90	11.36	50	50	100		20.23
E-UTRA Band 12 - 50kHz	FDD	729	689	5	0	25	7.68	50	113	50		20.23
E-UTRA Band 13 - 100kHz	FDD	746	777	10	0	90	11.36	520	1,230	100		20.23
E-UTRA Band 13 - 50kHz	FDD	746	777	5	0	25	7.68	525	1,215	50		20.23
E-UTRA Band 17 - 100kHz	FDD	734	704	10	0	90	11.36	570	1,780	100		20.23
E-UTRA Band 17 - 50kHz	FDD	734	704	5	0	25	7.68	575	1,665	50		20.23
E-UTRA Band 2 - 100kHz	FDD	1,920	1,850	10	0	90	11.36	650	1,180	100		20.23
E-UTRA Band 2 - 150kHz	FDD	1,920	1,850	15	0	75	23.04	475	1,125	150		20.99
E-UTRA Band 2 - 200kHz	FDD	1,920	1,850	20	0	100	30.72	300	1,100	200		25.23
E-UTRA Band 2 - 50kHz	FDD	1,920	1,850	5	0	25	7.68	425	1,175	50		20.23
E-UTRA Band 20 - 100kHz	FDD	791	831	10	0	90	11.36	6,200	6,400	100		20.23
E-UTRA Band 20 - 150kHz	FDD	791	831	15	0	75	23.04	6,215	6,215	150		20.99
E-UTRA Band 20 - 200kHz	FDD	791	831	20	0	100	30.72	6,210	6,210	200		25.23
E-UTRA Band 20 - 50kHz	FDD	791	831	5	0	25	7.68	6,175	6,215	50		20.23
E-UTRA Band 28 - 200kHz	FDD	718	733	10	0	90	11.36	1,710	1,810	100		20.23
E-UTRA Band 28 - 150kHz	FDD	718	733	15	0	75	23.04	1,775	1,875	150		20.99
E-UTRA Band 28 - 100kHz	FDD	718	733	20	0	100	30.72	1,360	1,700	200		25.23
E-UTRA Band 3 - 50kHz	FDD	1,805	1,730	5	0	25	7.68	1,225	1,925	50		20.23
E-UTRA Band 34 - 100kHz	TDD	2,050	2,010	10	0	90	11.36	36,250	36,250	100		20.23
E-UTRA Band 34 - 150kHz	TDD	2,050	2,010	15	0	75	23.04	36,275	36,275	150		20.99
E-UTRA Band 34 - 50kHz	TDD	2,050	2,010	5	0	25	7.68	36,225	36,225	50		20.23
E-UTRA Band 37 - 100kHz	TDD	1,980	1,930	10	0	90	11.36	37,600	37,700	100		20.23
E-UTRA Band 37 - 150kHz	TDD	1,980	1,930	15	0	75	23.04	37,615	37,615	150		20.99
E-UTRA Band 27 - 200kHz	TDD	1,920	1,920	20	0	100	30.72	37,630	37,630	200		25.23
E-UTRA Band 27 - 50kHz	TDD	1,920	1,920	5	0	25	7.68	37,575	37,575	50		20.23
E-UTRA Band 28 - 100kHz	TDD	1,530	1,530	10	0	90	11.36	38,200	38,200	100		20.23
E-UTRA Band 28 - 150kHz	TDD	1,530	1,530	15	0	75	23.04	38,215	38,215	150		20.99
E-UTRA Band 28 - 200kHz	TDD	1,530	1,530	20	0	100	30.72	38,200	38,200	200		25.23

Figura 4.47: Adición de E-UTRA band 28 a la tabla de frecuencias.

Se elige FDD debido a que ofrece mayor eficiencia espectral que con la técnica TDD. FDD utiliza partes separadas del espectro para los enlaces ascendente y descendente.

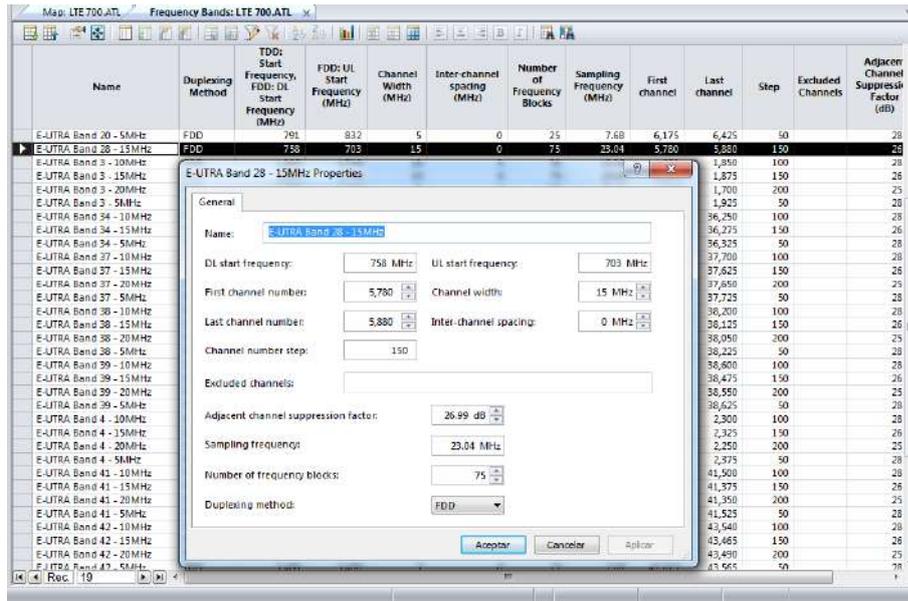


Figura 4.48: Elección de la E-UTRA Band 28.

Elección del modelo de propagación, es el modelo Okumura-Hata, igual al 3.5G.

Elección del tipo de antena, al igual que en el caso del 3.5G, una plantilla existente en el software en base al modelo de la antena se ha modificado según los requerimientos del diseño y de acuerdo a las características encontradas en el datasheet de la misma antena. En este caso se considera una antena MIMO (2T 2R) dado que la RRU es de 2T y 2R.

En la configuración de la plantilla del transmisor, se considera el feeder a 700MHz, más no el TMA y el equipo de transmisión estándar, la figura de ruido se considera 6.2 dB, las pérdidas en los conectores de recepción y transmisión se consideran 1 dB. El feeder estándar más utilizado tiene una longitud de 3 metros, este conecta la RRU con la antena.

En los cálculos analíticos de capacidad de celda se ha considera MIMO 2x2, además la antena como se ha indicado tiene dos puertos y la RRU es del tipo 2T2R y por lo tanto también para las simulaciones se configura a MU-MIMO, esto en cada transmisor.

Se elige la opción estrategia de asignación de Proportional Fair, debido a que está basada en el equilibrio de dos intereses, maximizar el trabajo de la red y admitir a todos los UE aunque sea un nivel mínimo de servicio [17].

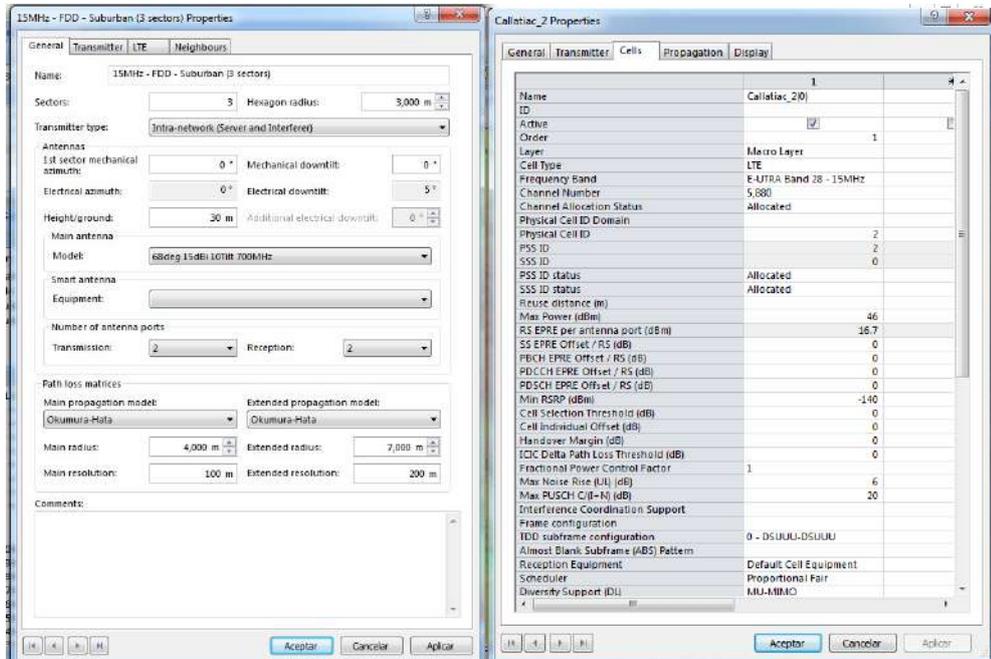


Figura 4.49: Asignación de planificador a Proportional Fair y MU-MIMO.

También el software admite la configuración de *agregación de portadoras*, en la celda, esto consiste crear en la plantilla del transmisor otra celda secundaria con las características iguales o similares al de la celda primaria, son características de LTE-A, esto es más adecuado para ambientes urbanos.

Optimización de la red en Atoll

Dentro de la optimización, está la asignación de vecinos, consiste en establecer configurada una lista de vecindades, para así dotar al usuario la no discontinuidad del servicio y acceso a la red. En el apartado del 3.5G ya se ha conceptualizado el término vecino.

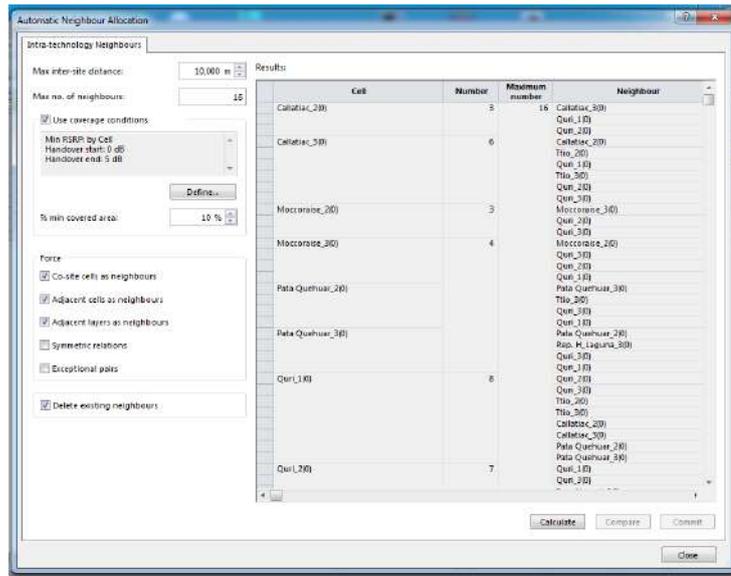


Figura 4.50: Asignación de vecinos.

Otra es la Planeación de Frecuencia, el software dispone de la herramienta de Asignación Automática de Frecuencias, para el propósito de aminorar la interferencia inter-celular de la red toma en consideración los arreglos de interferencia y distancias de reuso para establecer dicha asignación y asimismo la lista de vecindades por cada celda.

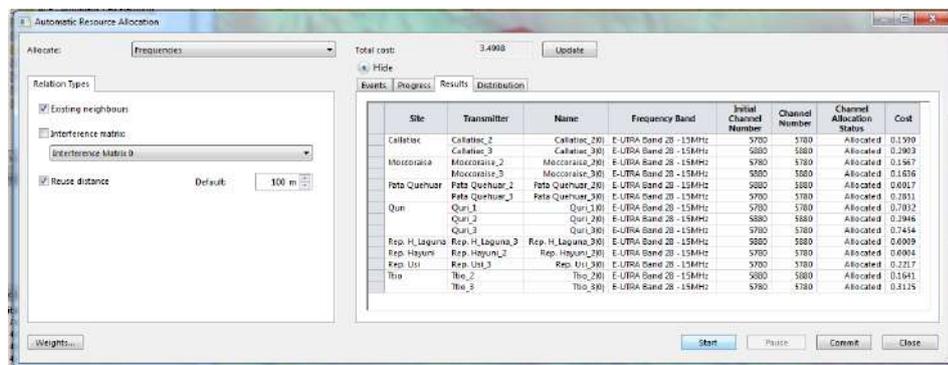


Figura 4.51: Planeación automática de frecuencia.

Lo otros es el Physical Cell ID, es una cantidad entera que está entre 0 y 503, es un identificador de celda y este permite que el UE sepa reconocer cada celda con el propósito de que este pueda descifrar las señales pseudo-aleatorias de referencia enviadas por la estación base y que son usadas por el UE para estipular la calidad del canal. Un punto muy

importante es que el software usa el Physical Cell ID para determinar el desempeño de los mecanismos de coordinación de la interferencia intercelular (ICIC). Para hacer fácil la identificación del Cell ID al terminal, el rango de 504 physical cell IDs se fracciona en 3 grupos de 168 cell ID [17].

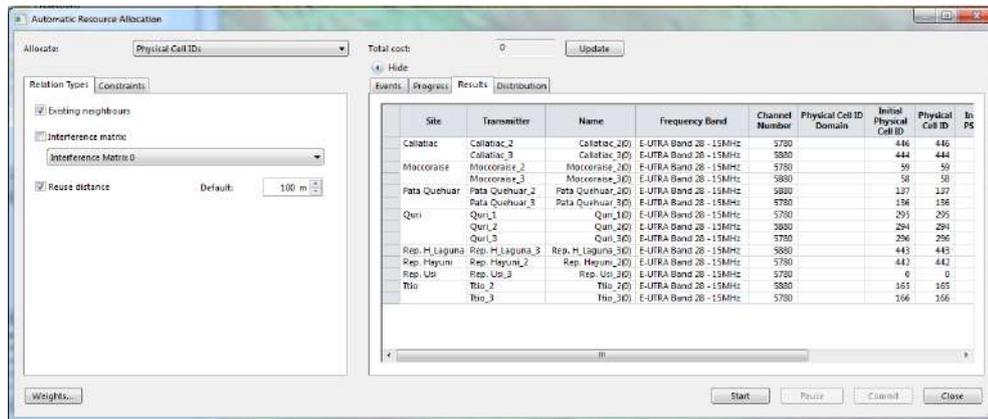


Figura 4.52: Planificación de Physical Cell ID.

Planificación automática de celda (ACP, Automatic Cell Planning)



Figura 4.53: Planeación automática.

Después de aplicar ACP, es necesario hacer nuevos cambios, los cuales consisten en modificar de forma manual los azimuts y tilt mecánicos, en función a la información conocida de ubicación y la dirección de sectores donde existen zona pobladas, los detalles se dan en la Figura 4.54, en el extremo superior se observa la planeación automática y parte inferior lo modificado.

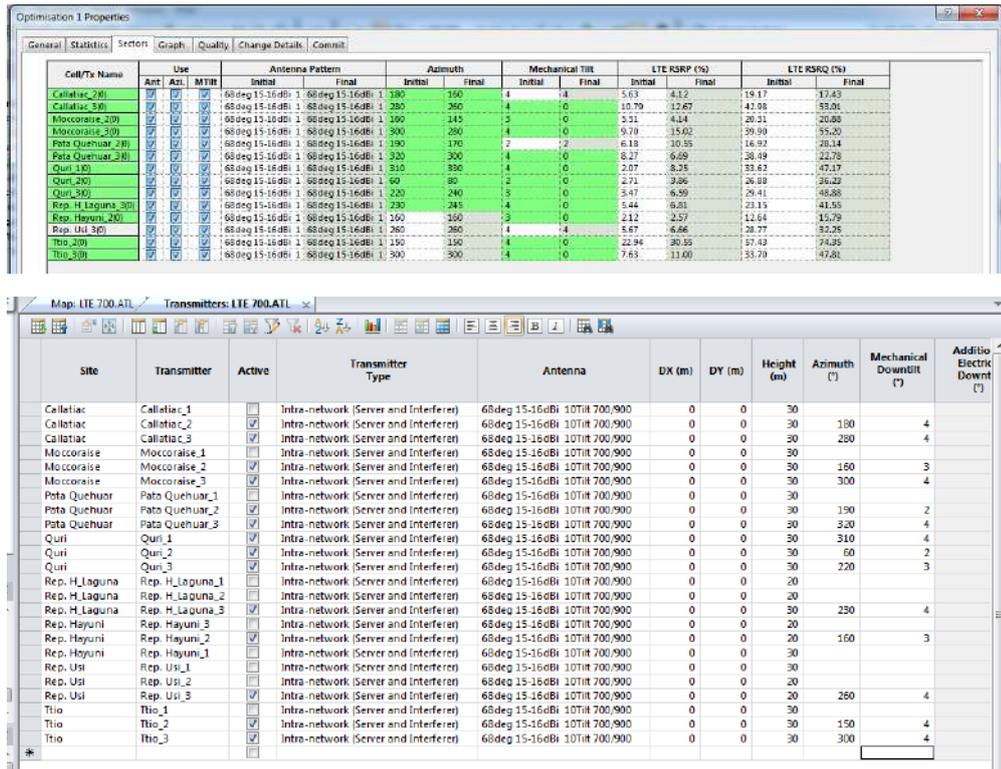


Figura 4.54: Planeación automática y manual de celdas.

4.3.2 Predicciones en DL

Después de realizada las configuraciones necesarias para simular el entorno de desempeño de una red LTE, procedemos a realizar tres tipos de predicciones en DL de cobertura por nivel de señal, por transmisor y por solapamiento (overlapping), para conocer el desempeño en un ambiente suburbano. Estas no son dependientes de las situaciones de carga de tráfico de la red ni de las interferencias entre interceldas e intraceldas, similar al caso 3.5G.

Evaluación de niveles de recepción en diferentes puntos del mapa

Los radios de cobertura calculados son 2.68 y 5.65 km para UL y DL respectivamente, el análisis aquí corresponde al enlace de bajada. Se muestran las mediciones.

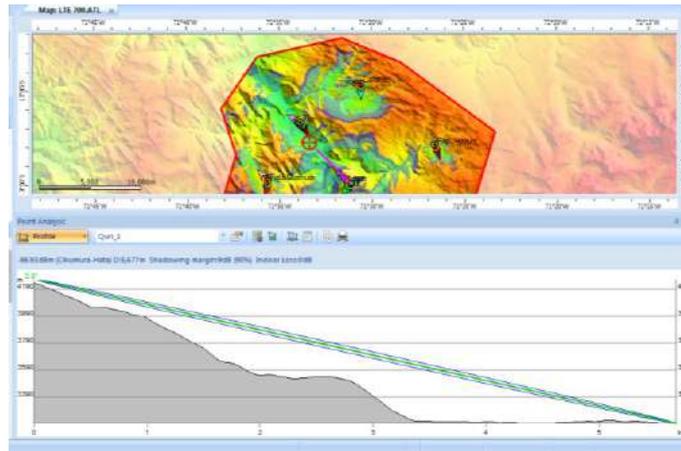


Figura 4.55: EBC Quri, medición en el sector 1.

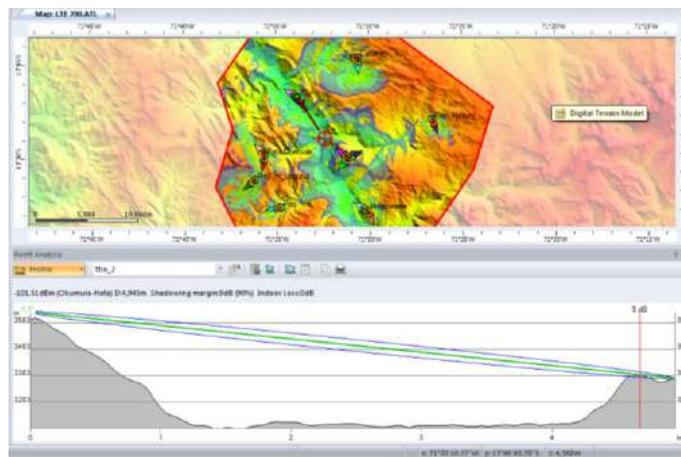


Figura 4.56: EBC Ttio, medición en el sector 2.

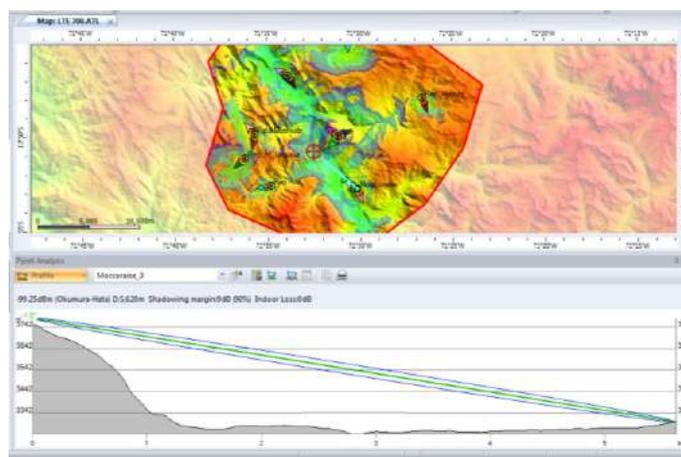


Figura 4.57: EBC Moccoraize, medición en el sector 3.

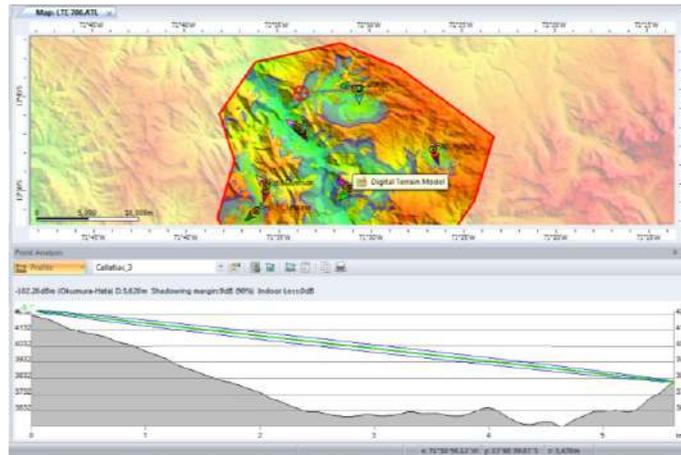


Figura 4.58: EBC Callatiau, medición en el sector 3.

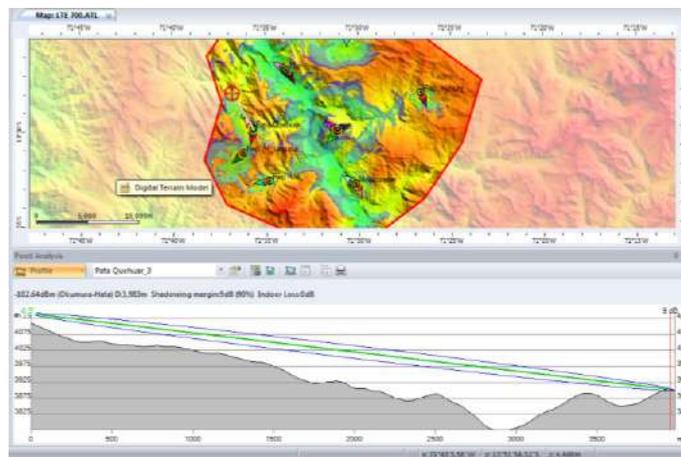


Figura 4.59: EBC Pata Quehuar, medición en el sector 3.

En la Tabla 4.6 se hace un compendio de las mediciones del nivel de señal obtenidos de la predicción y en otra columna a dichos valores se restan las pérdidas internas (6 dB considerados en el diseño y para radio de 5.65 km con recepción de -101.04 dBm). Para la predicción se aplica una probabilidad de cobertura en el borde de celda de 90 %. La variación de niveles de señal recibidas es debido a que los puntos elegidos en el mapa no siempre están en la dirección de máxima radiación de la onda EM, esto depende de los ajustes del tilt mecánicos de cada sector de las celdas. Por otro lado cuando la zona de Fresnel es afectada por un obstáculo el nivel de señal disminuye sustancialmente, caso de celda Ttio y Pata

Quehuar, por tanto al interior de las viviendas la señal se atenuará sustancialmente. En general los valores son aproximados a lo calculado, cumpliría los objetivos de mejora de cobertura con nivel de señal adecuada, no aplica la comparación para celdas Ttio y Pata Quehuar debido a que la medición no esta a una distancia aproximada al radio calculado.

EBC	Sector	PRx medido (dBm)	Distancia medido (km)	PRx + indoor loss (dBm)	PRx teórico (dBm)	Diferencia (dBm)
Quri	1	-98.93	5.677	-104.93	-101.04	3.89
Ttio	2	-101.51	4.945	-107.51	-	-
Moccoraise	3	-99.25	5.62	-105.25	-101.04	4.21
Callatiac	3	-102.26	5.62	-108.26	-101.04	7.22
P. Quehuar	3	-102.64	3.983	-108.64	-	-

Tabla 4.6: Medición de niveles de señal en distintos sectores y puntos del mapa.

Análisis de áreas de cobertura

En el área de cálculo se obtiene los niveles de la potencia de la señal de recepción en cada punto del mapa, pero sin tener en cuenta a que transmisor corresponde, con ello averiguamos si las áreas de interés tienen los niveles de señal deseadas. La Figura 4.60 exhibe rangos de valores de nivel de señal, para dicha predicción será útil. Antes es necesario definir algunos conceptos de los parámetros.

RSRP (Reference Signal Receive Power), es el promedio lineal del nivel de la señal de referencia recibida, son específicas de cada celda, con RSRP, es posible comparar la intensidad de las señales de celdas individuales en redes LTE. Es un parámetro importante para la selección o el traspaso de celdas. RSRP es el equivalente del parámetro RSCP utilizado en los sistemas UMTS.

RSRQ (Reference Signal Received Quality), es la calidad de la señal de referencia recibida, es otra forma de medición C/I. RSRQ facilita información extra cuando RSRP no

es bastante para tomar una determinación confiable de traspaso o reelección de celda. En la presente predicción no se hará uso de este parámetro.

	Parameters	RSRP [dBm]	RSRQ [dB]	SINR [dB]
Signal quality	Excellent	> -84	> -5	> 12.5
	Good	-102 to -85	-11 to -6	10 to 12.5
	Fair	-111 to -103		7 to 10
	Poor	< -112	< -12	< 7

Figura 4.60: Valores de niveles de señal versus calidad de señal [51]

Predicción de cobertura por nivel de señal en DL de EBC Quri (existente)

Para ello se desactivan los demás transmisores. Da cobertura principalmente a la capital del distrito y a la población de alrededor. La Figura 4.61 muestra el histograma niveles de señal entre excelente y bueno (-66 a 102 dBm) suman un área de 30.12 km². En comparación con el área estimada por Google Earth (18.94 km²) es mayor el área con señal adecuada, cumpliría con el objetivo de mejora de cobertura.

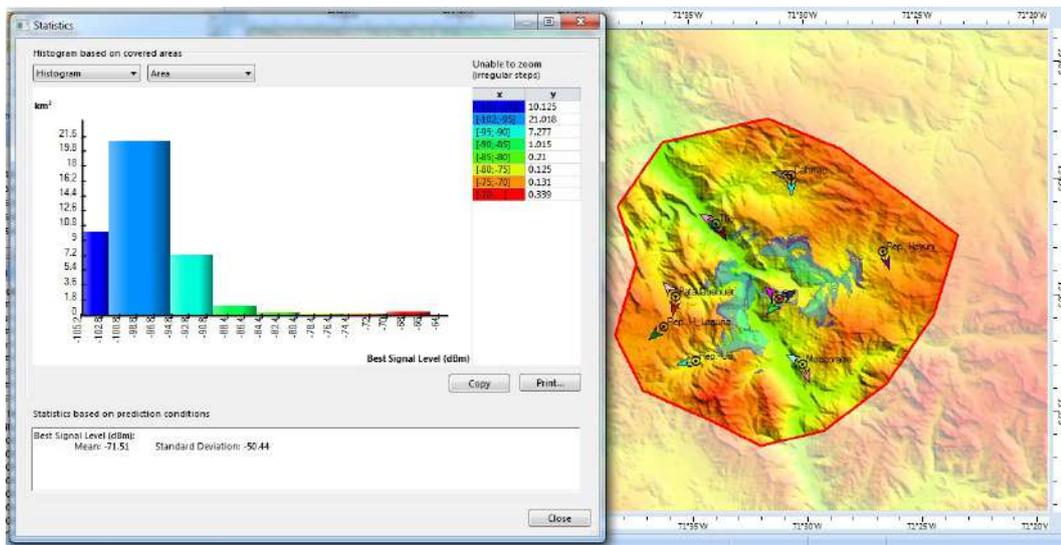


Figura 4.61: Predicción de cobertura por nivel de señal de la EBC existente.

Predicción de cobertura por nivel de señal en DL de EBC Ttio

Con el rango del nivel de señal entre -65 a -102 dBm, cubre el área de 25.39 km². En comparación con el área estimada por Google Earth (7.6 km²) es mayor el área con señal adecuada, cumpliría con el objetivo de mejora de cobertura.

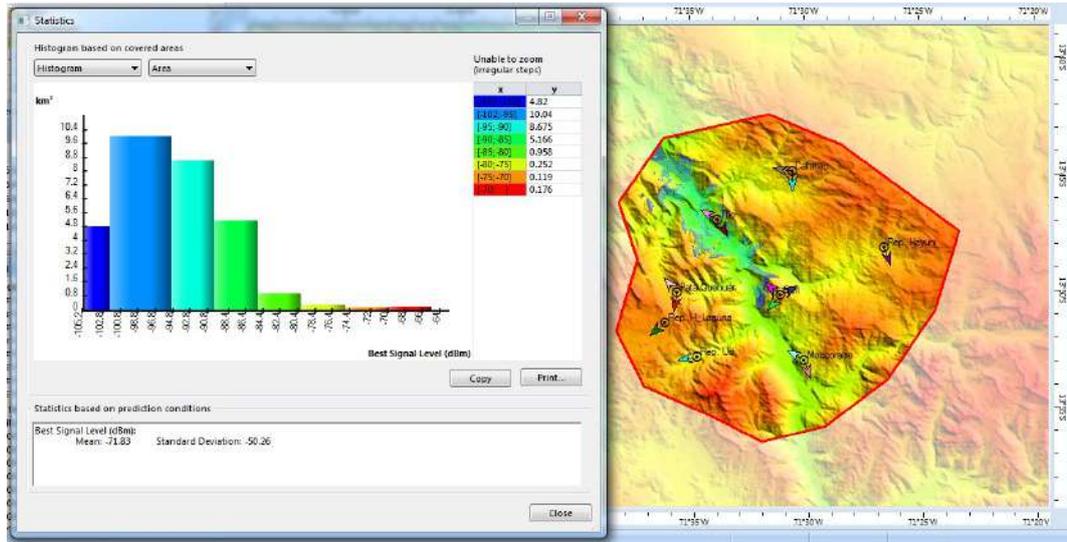


Figura 4.62: Cobertura de la EBC Ttio.

Predicción de cobertura por nivel de señal en DL de EBC Moccoraïse

La Figura 4.63 muestra la predicción con niveles de señal entre -65 a -102 dBm, se observa que da un 25.99 km² área de cobertura, mayor al área estimada en Google Earth (11.8 km²), cumpliría con los objetivos del proyecto.

Predicción de cobertura por nivel de señal en DL de EBC Pata Quehuar

La Figura 4.65 muestra el histograma con los niveles de señal entre excelente y bueno en un área de 10.57 km², es mayor esta área al estimado de 7.97 km², cubre áreas con población con lo que cumple con el objetivo de presente proyecto.

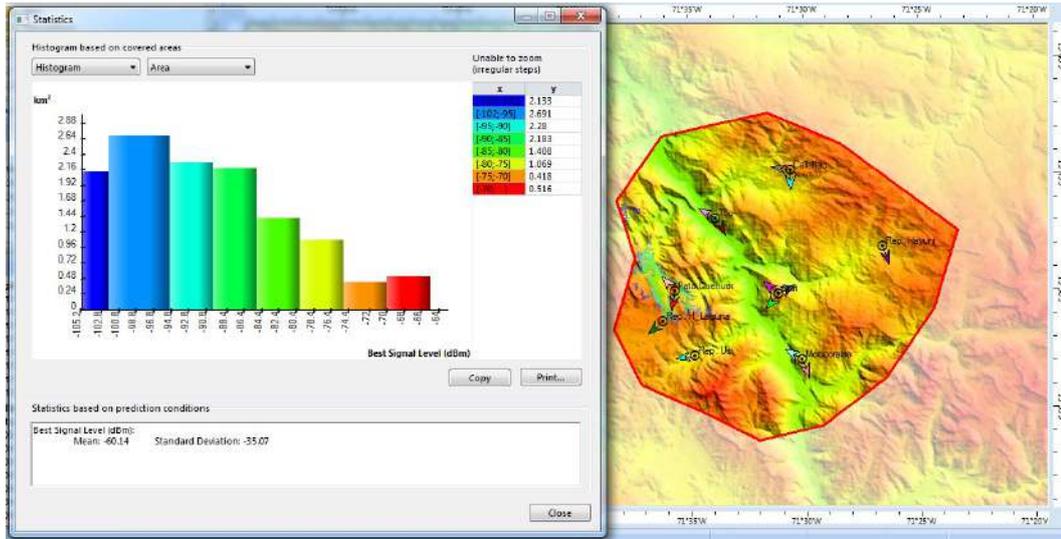


Figura 4.65: Cobertura de la EBC Pata Quehuar.

Predicción de cobertura por nivel de señal en DL de Rep. Hayuni

En el caso de los repetidores el área de cobertura es menor, con señales entre excelente y bueno se tiene la cobertura de 4.23 km², mayor al área estimada en Google Earth (2.89 km²).

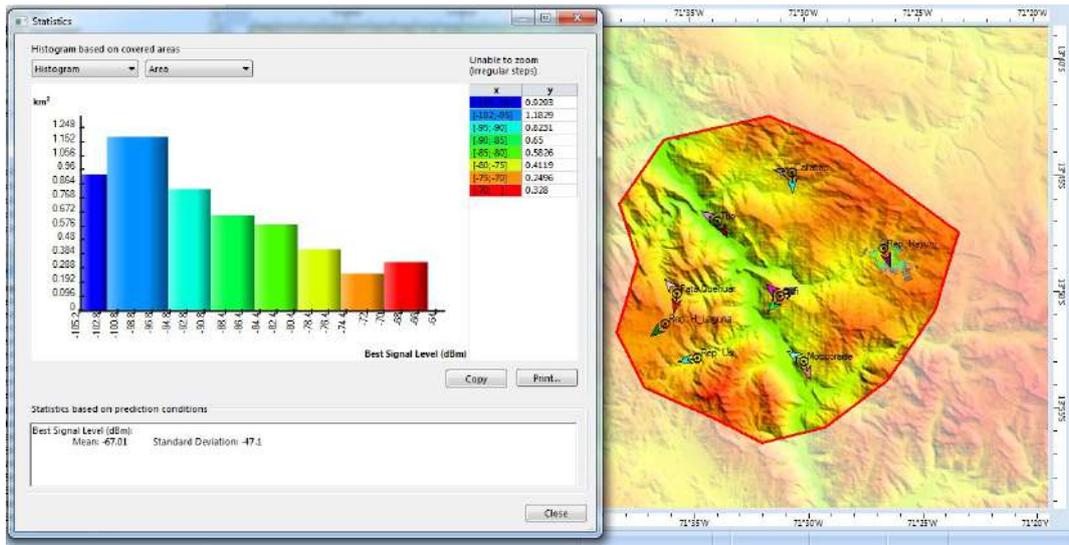


Figura 4.66: Cobertura del Rep. Hayuni.

Predicción de cobertura por nivel de señal en DL de Rep. Usi

En el caso de los repetidores el área de cobertura es menor, con señales entre excelente y bueno se tiene la cobertura de 2.51 km², mayor al área estimada en Google Earth (0.71 km²).

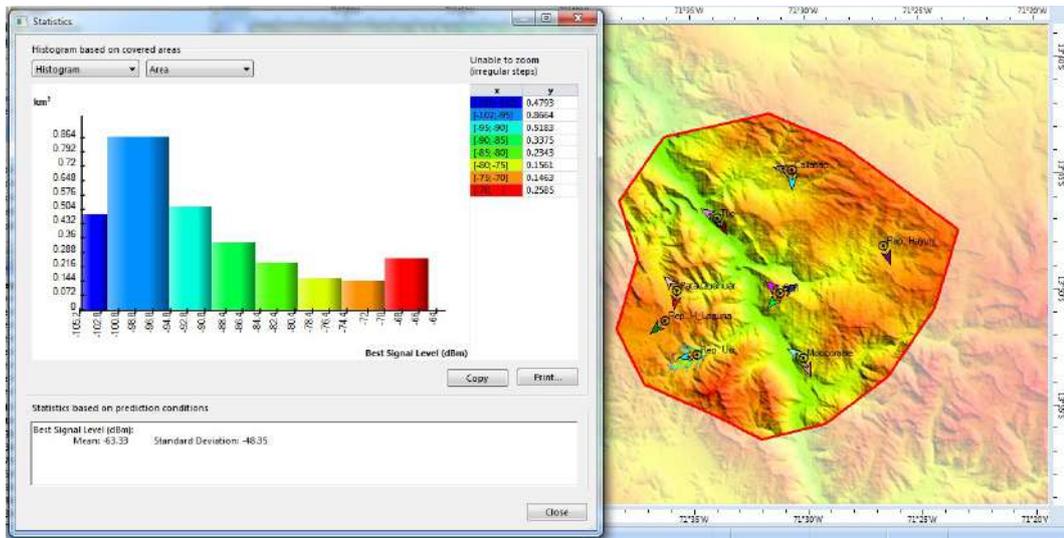


Figura 4.67: Cobertura del Rep. Usi.

Predicción de cobertura por nivel de señal en DL de Rep. H_Laguna

Para los repetidores el área de cobertura es menor, con señales entre excelente y bueno se tiene la cobertura de 12.62 km², mayor al área estimada en Google Earth (3.85 km²). De todos los repetidores cubriría mayor área, es favorable la geografía en este caso, ya que alrededor se tiene partes planas de suelo.

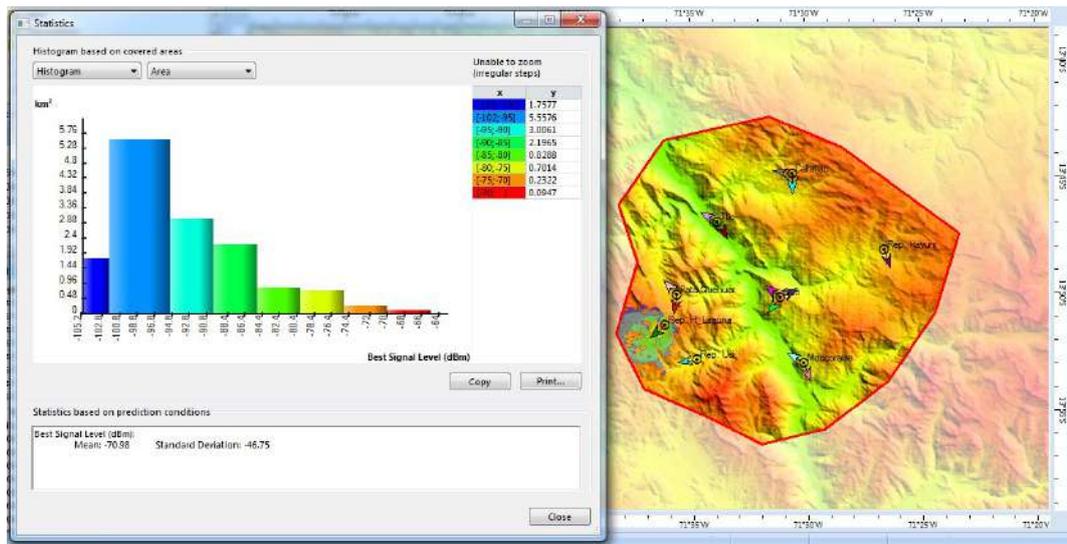


Figura 4.68: Cobertura del Rep. H_Laguna.

Todos los repetidores cumplen los objetivos de cobertura, en cada caso es mayor al área estimado.

Predicción de cobertura por nivel de señal en DL de todas las celdas activas

La cobertura por nivel de señal de todas las EBCs y repetidores, cubre con mejor señal el área de 135.81 km², y representa un 29.55 % de la zona de cálculo (495.52 km²). Se observa zonas sin cobertura, esto dado por la geografía accidentada y agreste de la zona. Como se sabe el área total del distrito es 364 km², es así que, se daría cobertura a un 37.31 % del total de área con señal entre excelente y bueno, inicialmente el área con presencia de

operador Claro es 8.27 %, de esa forma se tiene una mejora en 29.04 %. Sin embargo se debe aclarar que los 135.81 km² incluyen parte de área del distrito de Cusipata, en resumen el área neta de cobertura del distrito de Quiquijana sería menor.

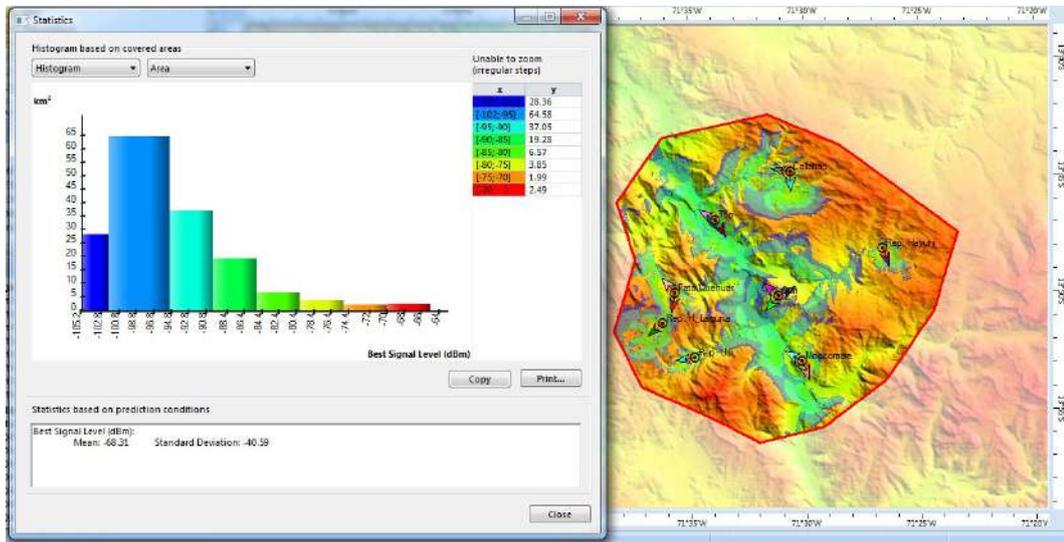


Figura 4.69: Cobertura con todas las celdas activas.

La coberuta por nivel de señal exportada a Google Earth, se nota con más claridad la cobertura en la jurisdicción del distrito, se presenta en la siguiente figura.

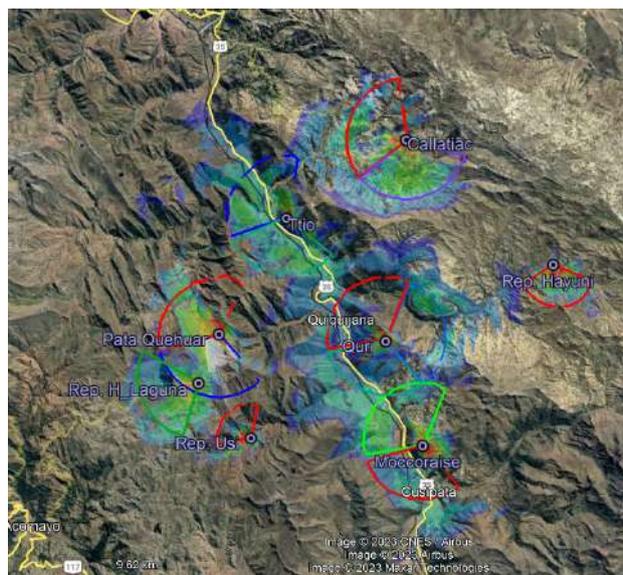


Figura 4.70: Cobertura por nivel de señal.

Predicción de cobertura por transmisor

Permite conocer el área de cobertura del mejor transmisor en cada punto de la zona de cómputo. Debido a que no es una zona urbana netamente, con esta predicción llegaremos a dar con el área de cobertura de las zonas de interés solamente. En la Figura 4.71 se observa las áreas de diferentes colores la presencia de transmisores.

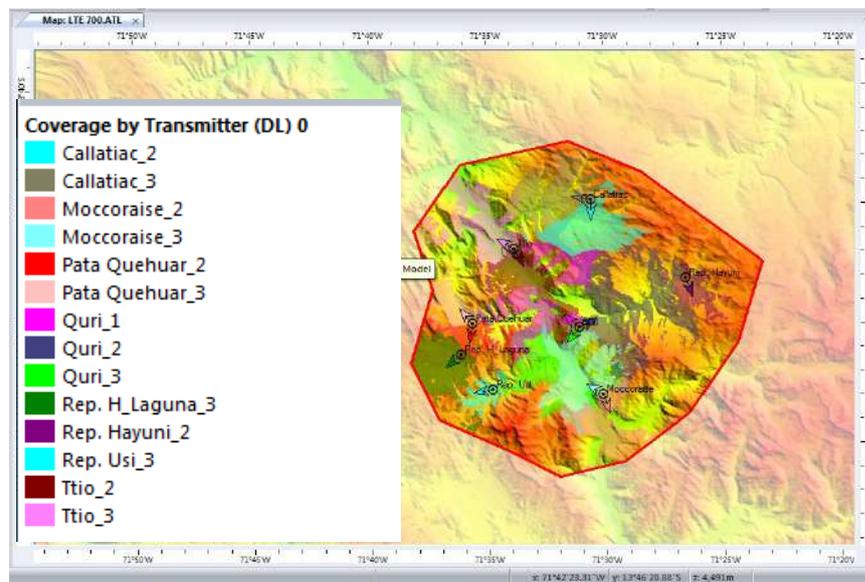


Figura 4.71: Predicción de cobertura por transmisor.

Predicción de solapamiento de zonas

La predicción de *zonas solapadas*, es otro punto importante conocer el solapamiento de celdas, si en una zona existe la señal de uno o más transmisores, mientras menor sea la cantidad de servidores que proporcionan la señal en la zona de cobertura, menor será la interferencia producida por las estaciones adyacentes. El resultado de la predicción es, un área de 211.1 km² tiene presencia de 1 ó 2 servidores, 26.5 km² con la presencia de 2 ó 3 servidores y 1.3 km² con presencia de 3 ó 4 servidores, cuando hay presencia mayor a 10 servidores daría lugar a producción de interferencia. En general se tiene menor presencia de servidores, se producirá menor interferencia entre celdas vecinas.

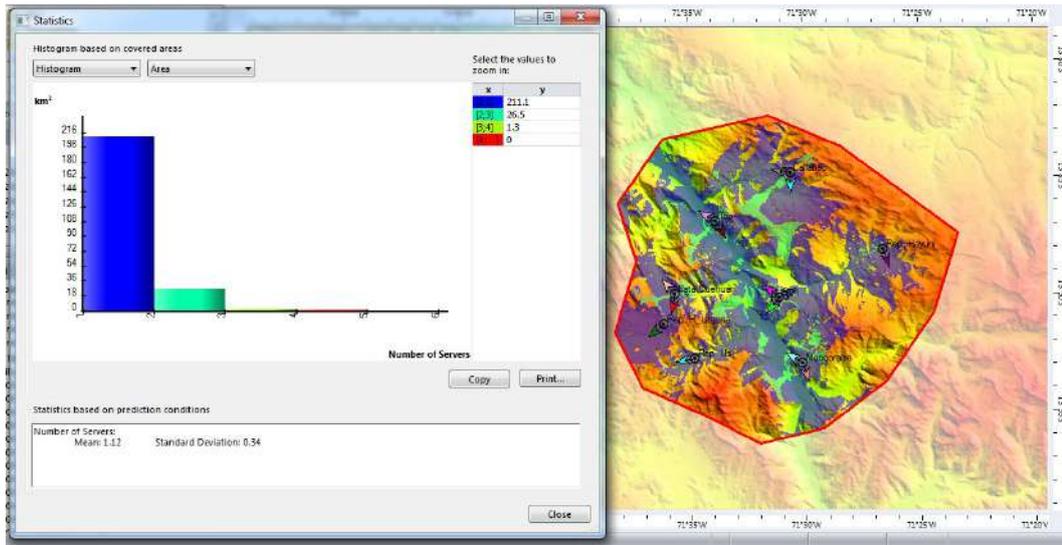


Figura 4.72: Predicción de zonas solapadas.

Las predicciones de UMTS y LTE, es posible mejorar con la optimización que consistiría en nueva modificación de azimuts, tilts eléctrico y mecánico, para cubrir más áreas con mejores niveles de señal. Además después de post implementación, según se sabe cada operador realiza las optimizaciones con el fin de mejorar la carga de tráfico.

4.4 Niveles de señal de 3.5G y 3.9G con la propuesta de mejora del proyecto

En la Tabla 3 se ha mostrado las mediciones realizadas para cada operador de telefonía móvil, en la siguiente tabla se muestra las mediciones realizadas en diferentes puntos del mapa (en la parte céntrica de cada centro poblado). La CC de Huayllahuaylla es la que tendría señal muy pobre de cobertura por ello se ha resaltado en color rojo, representa la zona de sombra, tal como se ha mencionado anteriormente.

Nro	Lugar (CC/CP/D)	Coordenadas		Claro (actual)			Claro (mejora)	
				2G	3G	4G	3.5G	3.9G
				RXLEV (dBm)	RSCP (dBm)	RSRP (dBm)	RSCP (dBm)	RSRP (dBm)
1	Accopata	-71.54695	-13.80346	-41	-53	-91	-85.5	-91.07
2	Alto Concepción	-71.50887	-13.80982	-80	-76	-97	-86.01	-94.12
3	Antisuyo	-71.53311	-13.85308	-	-	-	-88.35	-96.46
4	Callacunca	-71.50192	-13.83761	-60	-47	-70	-94.8	-102.34
5	Callatiac	-71.51274	-13.75690	-	-	-	-81.35	-89.53
6	Ccolcca	-71.52263	-13.85856	-	-105	-	-84.73	-92.84
7	Ceracera	-71.502828	-13.819778	-93	-67	-101	-79.98	-88.09
8	Hayuni	-71.44099	-13.80498	-	-	-	-54.04	-65.16
9	Huaccaytaqui	-71.53707	-13.84781	-	-111	-126	-90.68	-98.79
10	Huayllahuaylla	-71.52366	-13.81034	-	-105	-	-126.05	-133.56
11	Huaraypata	-71.57649	-13.77906	-95	-77	-102	-81.93	-90.03
12	Huajhualaguna	-71.61058	-13.85365	-	-	-	-66.2	-77.65
13	Llampa	-71.47742	-13.80326	-	-107	-122	-94.37	-101.39
14	Ñañuran	-71.57756	-13.83267	-81	-94	-89	-92.1	-93.19
15	Pampa Quehuar	-71.58177	-13.77632	-113	-105	-118	-83.3	-91.4
16	Pata Quehuar	-71.60784	-13.81941	-	-	-	-75.44	-83.54
17	Kemporay Cap dist.	-71.55351	-13.75154	-	-	-	-89.19	-97.3
18	Quiquijana	-71.53984	-13.82730	-63	-69	-110	-91.74	-99.84
19	Quiquijana Occ.	-71.54605	-13.82065	-60	-63	-99	-89.85	-97.96
20	Sachac	-71.46882	-13.82005	-67	-51	-96	-91.94	-100.05
21	Urincoscco	-71.52928	-13.74622	-	-	-	-94.99	-101.51
22	Usi	-71.58247	-13.87875	-	-91	-	-48.24	-55.25
23	Ttio	-71.57413	-13.77167	-	-	-	-84.41	-92.51

Tabla 4.7: Medición de niveles de señal (simulador) en zonas pobladas del distrito.

4.5 Costos referenciales de equipamiento

La estimación de los costos comprende solo sobre equipos de radioenlaces, EBCs y repetidores, también no se precisa el costo de instalación y puesta en funcionamiento. La

infraestructura civil y la torre, en la actualidad se encargan principalmente las empresas torreras de su construcción y mantenimiento, y los operadores de telefonía móvil pública solo alquilan espacios suficientes en piso y en torre para instalar sus equipos y prestar los servicios de telefonía móvil, debido a ello están coubicados en un mismo sitio varios operadores.

Ítem	Descripción	Cantidad	Elemento de red	Costo unitario \$/.	Total \$/.
1	Equipo OptiX RTN 950 – IDU (4 tarjetas IF)	1	Red de transporte (Backhaul)	4480	4480
2	Equipo OptiX RTN 950 – IDU (1 tajeta IF)	4	Red de transporte (Backhaul)	2590	10360
3	Equipo OptiX RTN 950 - ODU	8	Red de transporte (Backhaul)	530	4240
4	Antena parabólica de 23 GHz + ODU	4	Red de transporte (Backhaul)	1586	6344
5	Antena parabólica de 18 GHz + ODU	4	Red de transporte (Backhaul)	1586	6344
6	Unidad de banda base BBU3900	4	Red de acceso	2670	13350
7	Unidad remota de radio 3.5G-850 (RRU)	8	Red de acceso	530	4240
8	Unidad remota de radio 3.9G-700 (RRU)	8	Red de acceso	530	4240
9	Kit repetidor de 3.5G-850	3	Red de acceso	2160	6480
10	Kit repetidor de 3.9G-700	3	Red de acceso	3220	9660
11	Antenas sectoriales dual band	12	Red de acceso	1061	12732
12	Cuadro de fuerza (rectificadores)	7	Energía	6793	47551
13	Baterías de 12V 50Ah	28	Energía	440	12320
				Total \$/.	142341

Tabla 4.8: Costo referencial de equipos.

CONCLUSIONES

- 1 Se ha logrado estimar la cantidad de EBCs y repetidores para proveer cobertura a las zonas pobladas del distrito; en caso de implementarse la mejora de cobertura del operador **Claro** con 3.5G (Release 6) y 3.9G (con Release 9), en referencia a la cantidad de zonas pobladas crecería de 43.478 % a 95.65 %, por lo tanto es viable la realización del presente proyecto.
- 2 El análisis para la ubicación geográfica final de cada EBC se ha basado en las visitas realizadas a cada punto geográfico. Para realizar la simulación de radioenlaces se obtuvo de internet el archivo de mapa de alturas para la región Cusco y para UMTS y LTE se obtuvieron los mapas de relieve del terreno a partir de software online. Por otro lado el software Google Earth ha sido muy útil para hallar las distancias y perfiles de elevación.
- 3 En el diseño de radioenlaces los parámetros calculados se hallan dentro de los rangos exigidos por lo que la elección del equipamiento, ubicación y frecuencias es adecuado para obtener el desempeño de los radioenlaces con la calidad necesaria. La confiabilidad promedio es de 99.999989 % y el Eb/No es superior al mínimo requerido. En el diseño teórico para el sistema 3.5G se lograría cubrir un área de 47.93 km² que es mayor al área estimada por Google Earth (46.52 km²) para la zona evaluada. En el caso del sistema 3.9G se obtiene una cobertura para un área de 51.37 km² que de la misma forma es mayor al área estimada Google Earth; por lo tanto la propuesta de cuatro EBCs y tres repetidores sería suficiente.
- 4 La simulación de radioenlaces con el software Pathloss valida el diseño y el dimensionamiento no solo corroborando los cálculos teóricos, sino también verificando las ubicaciones propuestas donde no existen obstáculos en la trayectoria que pudieran

afectar la línea de vista; por lo tanto la solución propuesta cumpliría de manera satisfactoria con el desempeño de los sistemas 3.5G y 3.9G y con el enrutamiento de la carga de tráfico respectiva hacia el núcleo de red. En la predicción de cobertura para 3.5G y 3.9G Atoll presenta valores de nivel de señal favorables a distancias aproximadas de 5.289 km y 5.65 km respectivamente. Por otra parte Atoll predice que el sistema 3.5G cubriría 98.81 km², el sistema 3.9G abarcaría 105.69 km² y también muestra áreas sin cobertura debido a la geografía accidentada del distrito; lo cual es aproximado a un escenario real.

- 5 De los resultados de simulación para 3.5G y 3.9G se demuestra que el diseño realizado para el distrito de Quiquijana satisface los parámetros de calidad cuyo desempeño y disponibilidad debe satisfacer la demanda y dotar de cobertura idónea en todas las zonas pobladas. Las áreas de la predicción de Atoll son mayores a las calculadas y estimadas por Google Earth; la razón es porque la predicción ha sido realizada utilizando el enlace de bajada.

RECOMENDACIONES

- 1 Se recomienda a los operadores de telefonía móvil tomar de referencia la presente propuesta de diseño para mejorar su sistema 3G e implementar un sistema 3.9G. En diferentes zonas de la región hay muchos lugares donde existe deficiente cobertura y hace falta estudios similares para mejorar la conectividad a la red de la población en general.
- 2 Como ampliación a este trabajo sería importante profundizar en el uso de Atoll para la predicción con carga de tráfico utilizando la simulación de Monte Carlo. También se recomienda realizar un análisis avanzado de SINR, considerando que para un entorno urbano denso es muy adecuado simular con carga de tráfico.
- 3 Se recomienda el uso de Atoll para planificación y optimización de redes móviles dada su flexibilidad y escalabilidad; es adecuado para mejorar el aprendizaje y entendimiento en cuanto se refiere al desempeño y funcionamiento bajo distintos entornos de las redes móviles.
- 4 En los diseños para zonas rurales se recomienda considerar solo las áreas pobladas debido a que una mayor área son zonas despobladas.
- 5 En el diseño de radioenlaces es muy importante considerar el plan de canalización con estrictas limitaciones para evitar interferencias, también es importante escoger antenas con alto valor F/B y asimismo se requiere realizar una minuciosa evaluación del análisis de interferencia en red de microondas.

REFERENCIAS

- [1] C. E. Shannon y W. Weaver, «The Mathematical Theory of Communication,» Illinois, 1964.
- [2] T. Manning, Microwave Radio Transmission Desing Guide, Segunda ed., Norwood: Artech House, 2009.
- [3] J. González Hernández y A. D. Méndez Castillo, «Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo,» 27 Octubre 2005. [En línea]. Disponible: [http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/1760/Enlace%20de%20comunicaciones%20por%20microondas%20ciudad%20Universitaria%20\(Pachuca\)%E2%80%93Campus%20Actopan%20UAEH.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/1760/Enlace%20de%20comunicaciones%20por%20microondas%20ciudad%20Universitaria%20(Pachuca)%E2%80%93Campus%20Actopan%20UAEH.pdf?sequence=1&isAllowed=y). [Último acceso: 15 Agosto 2020].
- [4] W. Tomasi, Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, Cuarta ed., Arizona: Pearson Education, Inc., 2003.
- [5] R. A. Serway y J. W. Jewett, Física para ciencias e ingenierías con Física Moderna, México, DF: Cengage Learning, Inc., 2009.
- [6] G. Kizer, Digital Microwave Communication, Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2013.
- [7] D. M. Pozar, Microwave Engineering, Cuarta ed., Amherst, Massachusetts: John Wiley & Sons, Inc., 2012.
- [8] M. A. Salam, Z. Nadir, N. Mohamed, A. Al-Lawati, O. Al-Qasmi y M. Al-Gheithi, «ResearchGate,» 10 Diciembre 2005. [En línea]. Disponible: https://www.researchgate.net/publication/224280741_Modification_of_an_Open_Area_Okumura-Hata_Propagation_Model_Suitable_for_Oman/citations. [Último acceso: 15 Abril 2022].
- [9] O. Tosin Eluwole, N. Udoh, M. Ojo, C. Okoro y A. Johnson Akinyoade, «From 1G to 5G, What Next?,» 28 Agosto 2018. [En línea]. Disponible: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/77100596/IJCS_45_3_06-libre.pdf?1640206555=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DFrom_1_G_to_5_G_What_Next.pdf&Expires=1676902045&Signature=Yfjc1X5NVGoCEbh~X2fF3zTLsmkOTmDpJ4AQTMNrkYfwKynmMk93jAVPJ5f-sUaB. [Último acceso: 3 Noviembre 2022].
- [10] L. Iglesias Quiñones, «Universidad Técnica de Catalunya,» 1 Febrero 2016. [En línea]. Disponible: [hj](http://www.upc.edu). [Último acceso: 4 Abril 2019].

- [11] KARLOS PERÚ, «Cuáles son las bandas 2G, 3G y 4G que se usan en Perú,» 11 Julio 2021. [En línea]. Disponible: <https://www.karlosperu.com/cuales-son-las-bandas-2g-3g-y-4g-que-se-usan-en-peru/>. [Último acceso: 1 Octubre 2021].
- [12] E. Rodríguez Armas y J. More Sanchez, «Repositorio UP,» 15 Febrero 2021. [En línea]. Disponible: https://repositorio.up.edu.pe/bitstream/handle/11354/3003/RodriguezElizabeth_Tesis_maestria_2021.pdf?sequence=1. [Último acceso: 6 Marzo 2022].
- [13] A. Agrawal, «ResearchGate,» 19 Julio 2018. [En línea]. Disponible: <https://www.researchgate.net/publication/327321622>. [Último acceso: 22 Agosto 2022].
- [14] R. Ballesteros Sánchez, «Optimización de Radio de las tecnologías UMTS y LTE Advanced mediante herramientas de gestión de la Red,» Madrid, 2017.
- [15] T. Mekonnen, «IJSER,» 1 Noviembre 2015. [En línea]. Disponible: <https://www.ijser.org/researchpaper/Dimensioning-and-Planning-of-Multi-RAT-Radio-Network-for-Future-Deployment-in-Bahir-Dar-City.pdf>. [Último acceso: 1 Octubre 2022].
- [16] M. Lejalem, «Addis Ababa University,» 12 Abril 2017. [En línea]. Disponible: <http://etd.aau.edu.et/bitstream/handle/123456789/3471/Lejalem%20Mitikie.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: 11 Febrero 2023].
- [17] E. A. Maltez Rodríguez y N. E. Valle Martínez, «Diseño y simulación de una red LTE-A para la Zona Urbana de la Ciudad,» Granada, 2019.
- [18] J. Laiho, A. Wacker y T. Novosad, Radio Network Planning and Optimisation for UMTS, Segunda ed., Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 2006.
- [19] A. A. Mohammed Ghaleb, A. S. Ahmed Kaid, H. W. Hassan Ali, H. A. Saif E smael, M. A. Mohammed sadeq, W. Mohammed Abdulsalam y Y. T. Kaid Ahmed, «LTE Networ Planning and Optimization,» 12 Agosto 2014. [En línea]. Disponible: <https://www.pdfdrive.com/lte-network-planning-and-optimization-e34328959.html>. [Último acceso: 13 Enero 2023].
- [20] Huawei, «PDFCOFFEE,» 11 Mayo 2008. [En línea]. Disponible: <https://pdfcoffee.com/umts-radio-network-planning-pdf-free.html>. [Último acceso: 18 Agosto 2022].

- [21] Huawei, «PDFCOFFEE,» 19 Julio 2012. [En línea]. Disponible: <https://pdfcoffee.com/umts-coverage-planning-pdf-free.html>. [Último acceso: 4 Enero 2022].
- [22] Huawei, «PDFCOFFEE,» 31 Mayo 2010. [En línea]. Disponible: <https://pdfcoffee.com/lte-radio-network-planning-huawei-pdf-free.html>. [Último acceso: 19 Marzo 2022].
- [23] Huawei, «PDFCOFFEE,» 10 Enero 2018. [En línea]. Disponible: <https://pdfcoffee.com/lte-network-planning-huaweipdf-pdf-free.html>. [Último acceso: 12 Junio 2022].
- [24] Forsk, «PDFCOFFEE,» 1 Febrero 2016. [En línea]. Disponible: <https://pdfcoffee.com/atoll-330-technical-reference-guidepdf-pdf-free.html>. [Último acceso: 19 Julio 2021].
- [25] Wikipedia, «Google Earth,» 3 Abril 2022. [En línea]. Disponible: https://es.wikipedia.org/wiki/Google_Earth. [Último acceso: 11 Agosto 2022].
- [26] Distrito.pe, «Quiquijana,» 21 Enero 2019. [En línea]. Disponible: <https://www.distrito.pe/distrito-quiquijana.html>. [Último acceso: 26 Febrero 2022].
- [27] G. Pérez Carreon, «BAN,» 2018. [En línea]. Disponible: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3150>. [Último acceso: 26 Febrero 2022].
- [28] «Clima en Quiquijana,» [En línea]. Disponible: <https://www.lugaresturisticos.com.ar/infoClima.php?id=1468345485>. [Último acceso: 1 Abril 2023].
- [29] OPSI TEL, «OSI TEL Noticias,» OSI TEL, 19 Julio 2022. [En línea]. Disponible: <https://www.osiptel.gob.pe/portal-del-usuario/noticias/osiptel-el-88-4-de-los-hogares-peruanos-cuenta-con-un-telefono-inteligente/#:~:text=De%20acuerdo%20al%20estudio%2C%20la,porcentuales%20en%20apenas%20cinco%20a%C3%B1os..> [Último acceso: 2 Junio 2023].
- [30] Huawei, «Cosconor.fr,» 21 Junio 2017. [En línea]. Disponible: <https://cosconor.fr/GSM/Divers/Equipment/Huawei/Catalogue%202017.pdf>. [Último acceso: 3 Febrero 2021].
- [31] Huawei, «PDFCOFFEE,» 20 12 2013. [En línea]. Disponible: <https://pdfcoffee.com/rtn-xmc-odu-hardware-descriptionv20002pdf-en-pdf-free.html>. [Último acceso: 3 Julio 2021].

- [32] COMMSCOPE, «CommScope,» 22 Agosto 2021. [En línea]. Disponible: <https://www.commscope.com/globalassets/digizuite/919285-p360-vhlp2-18-1-wh-d-external.pdf>. [Último acceso: 12 Junio 2022].
- [33] J. L. López Salmorán, «DSpace Repository,» 4 Abril 2014. [En línea]. Disponible: <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/12762>. [Último acceso: 30 Marzo 2019].
- [34] ITU, «itu.int,» 4 Marzo 2005. [En línea]. Disponible: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.838-3-200503-I!!PDF-S.pdf. [Último acceso: 12 Diciembre 2022].
- [35] ITU, «itu.int,» 3 Abril 1994. [En línea]. Disponible: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.837-1-199408-S!!PDF-S.pdf. [Último acceso: 4 Febrero 2023].
- [36] Huawei Technolgies Co., LTD., «Academia.edu,» 30 Abril 2015. [En línea]. Disponible: https://www.academia.edu/31808522/OptiX_RTN_950A_Radio_Transmission_System. [Último acceso: 2 Junio 2023].
- [37] J. J. Sánchez Paipay, «Repositorio Institucional UNTELS,» 1 Agosto 2021. [En línea]. Disponible: <https://repositorio.untels.edu.pe/xmlui/handle/123456789/757>. [Último acceso: 5 Noviembre 2021].
- [38] M. A. Tercero Carrasco y R. R. Rivera Morales, «Repositorio Institucional UNAN-Managua,» 2 Octubre 2017. [En línea]. Disponible: <https://repositorio.unan.edu.ni/5398/1/68181.pdf>. [Último acceso: 15 Febrero 2023].
- [39] J. M. Rodríguez Bermúdez, «Depósito de Investigación de Universidad de Sevilla,» 2 Febrero 2019. [En línea]. Disponible: <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/101001/TFG-2703-RODRIGUEZ%20BERMUDEZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: 5 Julio 2022].
- [40] Huawei, «Manualslib,» 20 12 2013. [En línea]. Disponible: <https://www.manualslib.com/manual/2377944/Huawei-Rtn-Xmc-Odu.html?page=22>. [Último acceso: 1 Agosto 2021].
- [41] Huawei, «Router-Switch.com,» 15 Noviembre 2019. [En línea]. Disponible: <https://www.router-switch.com/huawei-opti-rtn-950-datasheet-pdf.html>. [Último acceso: 1 Octubre 2021].

- [42] Huawei, «ACT,» 20 12 2017. [En línea]. Disponible: <https://actfor.net/ueditor/php/upload/file/20200526/1590433718347340.pdf>. [Último acceso: 12 Enero 2019].
- [43] H. Holma y A. Toskala, WCDMA FOR UMTS Radio Access For Third Generation, Chichester: John Wiley & Sons, 2004.
- [44] G. Haftom, «AAU Institutional Repository,» 29 Noviembre 2019. [En línea]. Disponible: <http://etd.aau.edu.et/handle/123456789/21100>. [Último acceso: 2 Febrero 2023].
- [45] Huawei, «Cosconor.fr,» 30 Junio 2014. [En línea]. Disponible: [https://cosconor.fr/GSM/Divers/Equipment/Huawei/%20Huawei%20RRU%20\(2019\)/+%20Blade%20RRU%20\(VDF\)/RRU%203268%20%5BL800-2600%5D/Description.pdf](https://cosconor.fr/GSM/Divers/Equipment/Huawei/%20Huawei%20RRU%20(2019)/+%20Blade%20RRU%20(VDF)/RRU%203268%20%5BL800-2600%5D/Description.pdf). [Último acceso: 12 Setiembre 2019].
- [46] Huawei, «Academia.edu,» 21 Diciembre 2019. [En línea]. Disponible: https://www.academia.edu/10319245/Long_Term_Evolution_LTE_Radio_Access_Network_Planning_Guide_Long_Term_Evolution_LTE_Radio_Access_Network_Planning_Guide. [Último acceso: 2 Mayo 2021].
- [47] C. J. Castillo Cuenca, «Repositorio de Tesis de Grado y Posgrado,» 1 Marzo 2017. [En línea]. Disponible: <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/14430>. [Último acceso: 03 Julio 2022].
- [48] Huawei, «Academia.edu,» 1 Abril 2013. [En línea]. Disponible: https://www.academia.edu/30146860/LTE_Radio_Network_Capacity_Dimensioning. [Último acceso: 5 Agosto 2019].
- [49] MTC, «Plataforma digital única del Estado Peruano,» 21 Enero 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.gob.pe/institucion/mtc/informes-publicaciones/343585-registro-nacional-de-frecuencias>. [Último acceso: 1 Febrero 2023].
- [50] W. Geleta Abdissa, «aau.edu.et,» 4 Febrero 2020. [En línea]. Disponible: <http://213.55.95.56/bitstream/handle/123456789/21048/Geleta%20Abdissa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: 15 Enero 2023].
- [51] I. Stojanovic, M. Koprivica, N. Stojanovic y A. Neskovic, «Analysis of the Impact of Network Architecture on Signal Quality in LTE Technology,» *SERBIAN JOURNAL OF ELECTRICAL ENGINEERING*, vol. 17, nº 1, p. 15, 6 Febrero 2020.
- [52] N. Grosso, «RF Wireless World,» [En línea]. Disponible: <https://www.rfwireless-world.com/Terminology/HSDPA-vs->

HSUPA.html#:~:text=Both%20HSDPA%20and%20HSUPA%20falls,enhancement%20as%20flexible%20PDU%20size.. [Último acceso: 22 Agosto 2022].

- [53] D. K. Misra, Radio-Frequency and Microwave Communication Circuits Analysis and Design, Segunda ed., Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2004.
- [54] J. S. Seybold, Introduction to RF Propagation, New Jersey: John Wiley & Sons, 2005.
- [55] Web contributor, «Wikipedia,» 1 Marzo 2002. [En línea]. Disponible: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Fresnel_zone&oldid=1029166680. [Último acceso: 3 Julio 2021].
- [56] COMMSCOPE, «Alliance Corporation,» 10 Enero 2022. [En línea]. Disponible: https://alliancecorporation.ca/wp-content/uploads/2022/10/VHLPX2-23-1WH_D-Product-specifications.pdf. [Último acceso: 15 Marzo 2022].
- [57] H. Holma y A. Toskala, LTE for UMTS OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access, Chichester, West Sussex: John Wiley & Sons Ltd., 2009.
- [58] ITU, «itu.int,» 7 Febrero 2007. [En línea]. Disponible: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.676-7-200702-S!!PDF-E.pdf. [Último acceso: 1 Noviembre 2022].
- [59] M. A. Rodríguez García y E. M. Achahue Álvarez, «Repositorio Institucional Universidad de Ricardo Palma,» 1 Marzo 2017. [En línea]. Disponible: <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/2134>. [Último acceso: 9 Noviembre 2022].
- [60] L. Cano Osorio, «Repositorio IPN,» 01 Abril 2014. [En línea]. Disponible: <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/13290/1/ANALISIS%20DE%20PARAMETROS%20CPICH%20RSCP%20Y%20Ec-Io.pdf>. [Último acceso: 12 Diciembre 2022].

ANEXOS

Anexo N° 1: Población en edad de trabajar, Censo poblacional y vivienda de 2007

Frecuencia			
de P: Población de 15 años a mas en grupos quinquenales			
AREA # 1212	Dpto. Cusco	Prov. Quispicanchi	Dist. Quiquijana
Categorías	Casos	%	Acumula
De 15 a 19 años	900	14.61 %	14.61 %
De 20 a 24 años	710	11.53 %	26.14 %
De 25 a 29 años	635	10.31 %	36.45 %
De 30 a 34 años	624	10.13 %	46.58 %
De 35 a 39 años	563	9.14 %	55.72 %
De 40 a 44 años	582	9.45 %	65.17 %
De 45 a 49 años	447	7.26 %	72.43 %
De 50 a 54 años	351	5.70 %	78.13 %
De 55 a 59 años	318	5.16 %	83.29 %
De 60 a 64 años	287	4.66 %	87.95 %
De 65 a 69 años	248	4.03 %	91.98 %
De 70 a 74 años	184	2.99 %	94.97 %
De 75 a 79 años	131	2.13 %	97.09 %
De 80 a 84 años	112	1.82 %	98.91 %
De 85 a 89 años	45	0.73 %	99.64 %
De 90 a 94 años	12	0.19 %	99.84 %
De 95 a 99 años	10	0.16 %	100.00 %
Total	6,159	100.00 %	100.00 %
NSA :	4,181		

Anexo N° 2: Población en edad de trabajar, Censo poblacional y vivienda de 2017

P: Población de 15 años a más en grupos quinquenales	Casos	%	Acumulado %
De 15 a 19 años	938	14.02%	14.02%
De 20 a 24 años	735	10.99%	25.01%
De 25 a 29 años	629	9.40%	34.41%
De 30 a 34 años	646	9.66%	44.07%
De 35 a 39 años	593	8.87%	52.94%
De 40 a 44 años	552	8.25%	61.19%
De 45 a 49 años	503	7.52%	68.71%
De 50 a 54 años	495	7.40%	76.11%
De 55 a 59 años	395	5.91%	82.02%
De 60 a 64 años	310	4.63%	86.65%
De 65 a 69 años	280	4.19%	90.84%
De 70 a 74 años	238	3.56%	94.39%
De 75 a 79 años	198	2.96%	97.35%
De 80 a 84 años	105	1.57%	98.92%
De 85 a 89 años	42	0.63%	99.55%
De 90 a 94 años	21	0.31%	99.87%
De 95 a más años	9	0.13%	100.00%
Total	6 689	100.00%	100.00%

No Aplica :

3 647

Anexo N° 3: Solución de radioenlace Huawei RTN 950



Figure 1-2 RTN 950 (IDU 950)

Anexo N° 4: Esquemas de modulación y las potencias de transmisión del RTN 950

Table 6-76 Typical receiver sensitivity of the Integrated IP microwave XIII (ISV3 @IS3-mode, XPIC enabled)

Item	Performance (Channel Spacing: 28 MHz)					
	QPSK Strong	QPSK	16QAM Strong	16QAM	32QAM	64QAM
RSL@ BER=10 ⁻⁶ (dBm)						
@6 GHz	-90.5	-89	-83.5	-82	-79	-75.5
@7 GHz	-90.5	-89	-83.5	-82	-79	-75.5
@8 GHz	-90.5	-89	-83.5	-82	-79	-75.5
@10 GHz	-90	-88.5	-83	-81.5	-78.5	-75
@10.5 GHz	-88	-86.5	-81	-79.5	-76.5	-73
@11 GHz	-90	-88.5	-83	-81.5	-78.5	-75
@13 GHz	-90	-88.5	-83	-81.5	-78.5	-75
@15 GHz	-90	-88.5	-83	-81.5	-78.5	-75
@18 GHz	-89.5	-88	-82.5	-81	-78	-74.5
@23 GHz	-89.5	-88	-82.5	-81	-78	-74.5
@26 GHz	-89	-87.5	-82	-80.5	-77.5	-74
@28 GHz	-88.5	-87	-81.5	-80	-77	-73.5
@32 GHz	-88	-86.5	-81	-79.5	-76.5	-73
@38 GHz	-87.5	-86	-80.5	-79	-76	-72.5
@42 GHz	-86	-84.5	-79	-77.5	-74.5	-71

Table 6-77 Typical receiver sensitivity of the Integrated IP microwave XIV (ISV3 @IS3-mode, XPIC enabled)

Item	Performance (Channel Spacing: 28 MHz)				
	128QAM	256QAM	512QAM	512QAM Light	1024QAM
RSL@ BER=10 ⁻⁶ (dBm)					
@6 GHz	-72.5	-69.5	-67.5	-66	-64
@7 GHz	-72.5	-69.5	-67.5	-66	-64
@8 GHz	-72.5	-69.5	-67.5	-66	-64
@10 GHz	-72	-69	-67	-65.5	N/A
@10.5 GHz	-70	-67	-65	-63.5	N/A

Table 6-97 Typical receiver sensitivity of the Integrated IP microwave XV (IS6-mode, XPIC enabled)

Item	Performance (Channel Spacing: 14 MHz)					
	QPSK Strong	QPSK	16QAM Strong	16QAM	32QAM	64QAM
RSL@ BER = 10 ⁻⁶ (dBm)						
@13 GHz	-93.5	-91.5	-86	-84	-81	-78
@15 GHz	-93.5	-91.5	-86	-84	-81	-78
@18 GHz	-93	-91	-85.5	-83.5	-80.5	-77.5
@23 GHz	-93	-91	-85.5	-83.5	-80.5	-77.5
@26 GHz	-92.5	-90.5	-85	-83	-80	-77
@28 GHz	-92	-90	-84.5	-82.5	-79.5	-76.5
@32 GHz	-91.5	-89.5	-84	-82	-79	-76
@38 GHz	-91	-89	-83.5	-81.5	-78.5	-75.5

Table 6-98 Typical receiver sensitivity of the Integrated IP microwave XVI (IS6-mode, XPIC enabled)

Item	Performance (Channel Spacing: 14 MHz)			
	128QAM	256QAM	512QAM	1024QAM
RSL@ BER = 10 ⁻⁶ (dBm)				
@13 GHz	-75	-72	-69	-66
@15 GHz	-75	-72	-69	-66
@18 GHz	-74.5	-71.5	-68.5	-65.5
@23 GHz	-74.5	-71.5	-68.5	-65.5
@26 GHz	-74	-71	-68	-65
@28 GHz	-73.5	-70.5	-67.5	-64.5
@32 GHz	-73	-70	-67	-64
@38 GHz	-72.5	-69.5	-66.5	-63.5

1 Outdoor Unit (ODU)

1.1 Device Type

This describes the types of the ODU. The XMC-1 ODU is a type of low capacity for ODU. The XMC-2 ODU is a type of ODU in high power.

Table 1-1 shows the performance and attributes of the ODU.

Table 1-1 Performance attributes of the ODU

Item	XMC-2 ODU
ODU type	ODU in high power
Frequency band	6 GHz, 7 GHz, 8 GHz, 10GHz, 11GHz, 13 GHz, 15 GHz, 18 GHz, 23GHz, 26 GHz, 28 GHz, 32 GHz, 38GHz, and 42 GHz
Microwave modulation format	QPSK, QPSKStrong, 16QAM, 16QAMStrong, 32QAM, 64QAM, 128QAM, 256QAM, 512QAM, 512QAMLight, 1024QAM, 1024QAMLight
Channel spacing	7 MHz, 14 MHz, 28 MHz, 40 MHz, and 56 MHz

1.2 Appearance

The ODU is an outdoor integrated device that adopts the unified design.

Figure 1-1 shows the appearance of the ODU.

Anexo N° 6: Antena COMMSCOPE de 18 GHz

VHLP4-18/C



1.2 m | 4 ft ValuLine® High Performance Low Profile Antenna, single-polarized, 17.700–19.700 GHz

Product Classification

Product Type	Microwave antenna
Product Brand	ValuLine®

General Specifications

Antenna Type	VHLP - ValuLine® High Performance Low Profile Antenna, single-polarized
Polarization	Single
Side Struts, Included	1 inboard
Side Struts, Optional	1 inboard

Dimensions

Diameter, nominal	1.2 m 4 ft
--------------------------	--------------

Electrical Specifications

Operating Frequency Band	17.700 – 19.700 GHz
Gain, Low Band	44.4 dBi
Gain, Mid Band	44.7 dBi
Gain, Top Band	44.9 dBi
Boresite Cross Polarization Discrimination (XPD)	30 dB
Front-to-Back Ratio	73 dB
Beamwidth, Horizontal	0.9 °
Beamwidth, Vertical	0.9 °
Return Loss	17.7 dB
VSWR	1.3
Radiation Pattern Envelope Reference (RPE)	70610

Page 1 of 5

Anexo N° 7: Especificaciones técnicas de RTN 950

HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.

RTN 950



The RTN 950 is a new generation integrated microwave transmission system developed by Huawei, which can be installed easily and configured flexibly. It supports the convergence of up to 8 radio links, and supports multiple protection schemes. The RTN 950 provides a generic platform for TDM/Hybrid/Packet/Route microwave transmission. The platform provides various service interfaces, large bandwidth, and easy scalability. The RTN 950 fully meets the needs of enterprise microwave transmission networks as well as smooth evolution towards the future.

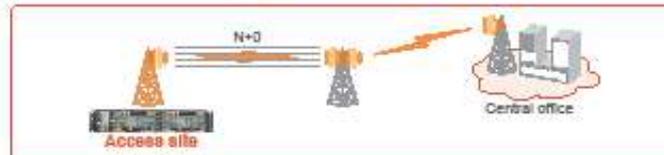
Architecture



The RTN 950 adopts a modular chassis with 1 U height. It belongs to Huawei RTN 900 split IP microwave series that consist of an indoor unit (IDU) and an outdoor unit (ODU). The RTN 950 provides six slots to flexibly support multiple service boards and convergence of up to 8 radio directions.

Applications

The RTN 950 is located at a hub site to aggregate multiple microwave links, or an access site for large-capacity service backhaul. It suits to be deployed in vertical industries with easy installation and configuration. It has been widely deployed in the ICT infrastructures in government, ISP, power, broadcasting and other vertical industries.



Highlights

- Supports a full spectrum of 6-42 GHz, a channel spacing of 3.5-112 MHz, and a modulation scheme of up to 4096QAM.
- Unified platform for TDM, Hybrid, Packet, and IP Routing services; provides various ports (E1/SDH/FE/GE/10GE) and up to 120 Gbit/s switching capacity.
- Provides an air-interface throughput of up to 2.5 Gbit/s per carrier.
- Provides AES-256 encryption and anti-theft to ensure high security.
- MIMO hardware ready for future huge-capacity requirements.
- Supports unique four-layer Ethernet frame header compression to provide a large throughput for IP services.

- Provides a leading 13-grade hitless adaptive modulation technology to ensure high availability.
- Up to 8-channel enhanced physical link aggregation (EPLA) and load sharing for high-level granularity traffic.
- Supports the Super Dual Band (SDB) solution for TCO-optimized capacity expansion.
- Ethernet synchronization and full IEEE 1588 V2 (TC/OC/BC) provide high quality eLTE backhaul networks.

Easy Deployment and OAM

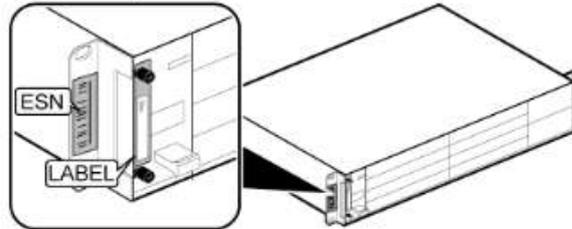
- The RTN 950 can be easily installed in any standard indoor or outdoor cabinet.
- A plug-and-play USB key can be used to achieve fast startup and service provisioning.
- The WLAN-based mobile LCT can be used for fast configuration, the portable Web LCT can be used for NE-layer management, and the unified platform iManager U2000 can be used for complete network management.

Specifications

Deployment Scenario	Hub site and high-capacity access site
Frequency	6/7/8/10/10.5/11/13/15/18/23/26/28/32/38/42 GHz
Channel Spacing	3.5/ 7/14/28/40/50/56/112 MHz
Modulation Mode	QPSK Strong, QPSK, 16QAM Strong, 16QAM, 32QAM, 64QAM, 128QAM, 256QAM, 512QAM, 512QAM Light, 1024QAM, 1024QAM Light, 2048QAM, 4096QAM
RF Direction	8 RF@2 U
Air-Interface Capacity	835-1058 Mbit/s per carrier (non-XPIC)
Native Ethernet Maximum Throughput	<ul style="list-style-type: none"> ▲ Native Ethernet: 1058 (Mbit/s) ▼ L2+L3 frame header compression (IPv6): 2415 (Mbit/s)
Switching Capacity	10 Gbit/s
TDM Crossing	32 X 32 VC-4
Interface Type	E1, STM-1 (e/o), FE (e/o), GE (e/o), 10GE (o)
Configuration Mode	<ul style="list-style-type: none"> ▲ N+0 (N ≤ 8) ▲ N X (1+0) (N ≤ 8) ▲ 1+1 ▼ N+1 (N ≤ 7) ▼ XPIC
Ethernet Function	<ul style="list-style-type: none"> ▼ Ethernet II, IEEE 802.3, and IEEE 802.1q/p service format adding or deleting, and exchange VLAN tags (IEEE 802.1q/p) ▲ ISIS, OSPF, BGP, RSVP, LDP ▲ Flow control (IEEE 802.3x) ▲ Link aggregation groups (IEEE 802.3ad LAG and L1 LAG) ▲ RMON (IETF RFC 2819)
Service Type	<ul style="list-style-type: none"> ▲ Native Ethernet services: E-Line service and E-LAN service ▲ PW-carried Ethernet services: E-Line service, E-AGGR service, and E-LAN (VPLS) service (VPLS standing for virtual private LAN service) ▲ L3VPN, L2VPN (VLL), CES, MCE (Native IP)
Key Feature	CES E1, IEEE 1588v2, USB startup, H-QoS, PLAVEPLAVEPLA+, AES-256 encryption, Anti-theft, 1+1,N+1, XPIC, AM, TDM, PWE3/MPLS, SDB, L3VPN
IDU Weight	<ul style="list-style-type: none"> ▲ 5.4 kg (1+0) ▲ 6.2 kg (1+1)
IDU Dimensions	442 mm X 220 mm X 88 mm
Environment	<ul style="list-style-type: none"> ▲ Temperature: IDU -5°C to +60°C; ODU -35°C to +55°C ▲ Humidity: IDU 5% to 95%; ODU 5% to 100%
Power	-38.4 V to -72 V
Typical Power Consumption (IDU+ODU)	<ul style="list-style-type: none"> ▲ 91 W (1+0) ▲ 125 W (1+1)
Certificates	CE, RoHS, FCC, IC, ETL, MCMC

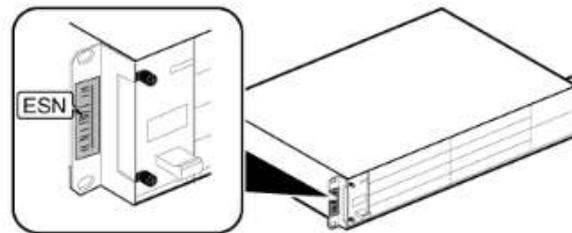
Anexo N° 8: Características de BBU3900 de Huawei

Figure 2-2 LSN position 1



- If there is no label on the FAN unit in a BBU, an LSN is printed on a mounting ear of the BBU, as shown in the following figure.

Figure 2-3 LSN position 2



NOTE

An ESN is a unique identifier of a device and is used during base station commissioning.

2.2 Working Principles and Functions of a BBU3900 and a BBU3910

A BBU is a baseband unit. It processes baseband signals of a base station.

Working Principle

A BBU consists of the following subsystems: baseband subsystem, power and mechanical subsystem, transmission subsystem, interconnection subsystem, main control subsystem, monitoring subsystem, and clock subsystem. Each subsystem consists of different modules.

- The baseband subsystem consists of the baseband processing unit.
- The power and mechanical subsystem consists of the backplane, fan, and power module.
- The transmission subsystem consists of the main control and transmission unit as well as the transmission extension unit.

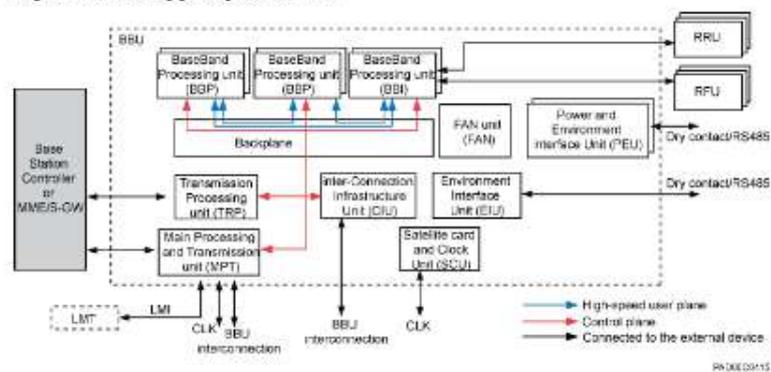
- The interconnection subsystem consists of the main control and transmission unit^a as well as the infrastructure interconnection unit.
- The main control subsystem consists of the main control and transmission unit.
- The monitoring subsystem consists of the power module and monitoring unit.
- The clock subsystem consists of the main control and transmission unit as well as the satellite card and clock unit.

NOTE

^a: In the interconnection subsystem, a UMPT is used as the main control and transmission unit.

The following figure shows the working principles of a BBU.

Figure 2-4 Working principles of a BBU



Function

A BBU performs the following functions:

- Provides ports for connecting to the transmission equipment, RF modules, USB devices^a, external reference clock, and LMT or U2000 to transmit signals, perform automatic software upgrade, receive reference clock signals, and support BBU maintenance on the LMT or U2000.
- Manages the entire base station system. The management involves uplink and downlink data processing, signaling processing, resource management, and operation and maintenance.

NOTE

^a: The security of the USB port is ensured by encryption, and the USB port can be shut down using commands. The USB commissioning port is used for commissioning the base station rather than configuring and exporting information of the base station.

2 Technical Specifications

2.1 Frequency Band

Table 2-1 Frequency band supported by an RRU3952

Type	Frequency Band (MHz)	Receive Frequency Band (MHz)	Transmit Frequency Band (MHz)	IBW (MHz)
RRU3952	850	824 to 849	869 to 894	25
	2100	1920 to 1980	2110 to 2170	60

2.2 Capacity

Table 2-2 Single-mode capacity

Mode	Capacity
GSM	(Only 850 MHz frequency band supported) Each RRU3952 supports 8 carriers.
UMTS	Each RRU3952 supports: <ul style="list-style-type: none"> • Non-MIMO: 6 carriers • MIMO: 4 carriers
LTE FDD	Each RRU3952 supports 2 carriers. The LTE FDD bandwidth is 1.4, 3, 5, 10, 15, or 20 MHz.
LTE (NB-IoT)	Each RRU3952 supports 1 carrier.

Table 2-3 Multi-mode capacity

Mode	Capacity
GSM+UMTS	(Only 850 MHz frequency band supported)For detailed specifications, see Table 2-6, Table 2-7, Table 2-12, and Table 2-13.
GSM+LTE FDD	(Only 850 MHz frequency band supported)For detailed specifications, see Table 2-8 and Table 2-14.
UMTS+LTE FDD	For detailed specifications, see Table 2-9 and Table 2-16.
GSM+UMTS +LTE FDD	(Only 850 MHz frequency band supported)For detailed specifications, see Table 2-10.
GSM+LTE (NB-LoT)	For detailed specifications, see Table 2-18.
UMTS+ LTE (NB-LoT)	For detailed specifications, see Table 2-19.
LTE FDD+ LTE (NB-LoT)	For detailed specifications, see Table 2-20.
GSM+UMTS + LTE (NB-LoT)	For detailed specifications, see Table 2-21.
UMTS+LTE FDD+ LTE (NB-LoT)	For detailed specifications, see Table 2-22.

2.3 Receiver Sensitivity

Table 2-4 Receiver sensitivity

Mode	Frequency Band (MHz)	1-Way Receiver Sensitivity (dBm)	2-Way Receiver Sensitivity (dBm)	4-Way Receiver Sensitivity (dBm)
GSM	850	-113.4	-116.2	-118.9
UMTS	850	-125.5	-128.3	-131.0
	2100	-126.1	-128.9	-131.6
LTE FDD	850	-106.0	-108.8	-111.5
	2100	-106.9	-109.7	-112.4
LTE (NB-LoT)	850	-127.3	-130.1	-132.8

NOTE

- The receiver sensitivity of GSM, as recommended in 3GPP TS 51.021, is measured in the central band at the antenna connector on condition that the channel rate is 13 kbit/s and the bit error rate (BER) is not higher than 2%.
- The receiver sensitivity of UMTS, as recommended in 3GPP TS 25.104, is measured in the entire operating band at the antenna connector on condition that the channel rate reaches 12.2 kbit/s and the Bit Error Rate (BER) is not higher than 0.001.
- The receiver sensitivity of LTE FDD, as recommended in 3GPP TS 36.104, is measured under a 5 MHz channel bandwidth based on the FRC A1-3 in Annex A.1 (QPSK, R = 1/3, 25 RBs) standard.
- LTE (NB-IoT) receiver sensitivity is measured, as recommended in 3GPP TS 36.104, under a 200 KHz channel bandwidth and a 15 KHz subcarrier spacing based on the FRC A14-1 in Annex A.14 ($\pi/2$ BPSK, R = 1/3, 1 RB) standard.

2.4 Typical Output Power

NOTE

- RRU3952 working in GSM mode and in the 850 MHz frequency band comply with the 3GPP TS 45.005 V10.2.0 and 3GPP TS 51.021 V10.2.0 standards. The RRU3952 that works in UMTS, LTE FDD, or multi-standard radio (MSR) mode and operates in the 850 MHz frequency band complies with the 3GPP TS 37.104 V10.4.0 and TS 37.141 V10.4.0 standards.
- For the RRU3952 working in GSM mode: When the S1 or S2 configuration is used and the maximum output power is 60 W per carrier, the corresponding 60 W power license must be obtained.
- The output power is 1 dB lesser than the standard power when the RRU3952 is located at a height of 3500 m to 4500 m; and is 2 dB lesser than the standard power when the RRU3952 is located at a height of 4500 m to 6000 m.
- Factors such as the inter-site distance, frequency reuse factor, power control algorithm, and traffic model affect the gain achieved by dynamic power allocation. Therefore, in most cases, the network planning can be based on the power specification achieved by dynamic power allocation.
- In power sharing mode, the power control and DTX functions must be enabled. In GBSS8.1, the dynamic power sharing feature is mutually exclusive with the GBFD-113201 Concentric Cell, GBFD-114501 Co-BCCH Cell, GBFD-118001 BCCH Dense Frequency Multiplexing, and GBFD-117501 Enhanced Measurement Report (EMR) features. In GBSS9.0 and later versions, the dynamic power sharing feature can be used together with these features. However, the dynamic power sharing feature currently cannot be used together with the GBFD-117002 IBCA (Interference Based Channel Allocation), GBFD-117001 Flex MAIO, GBFD-118701 RAN Sharing, and GBFD-114001 Extended Cell features in GBSS8.1, GBSS9.0, and later versions.
- Power sharing assumes a random distribution of UEs in the cell.
- The **output power per carrier** in the output power table provides the maximum output power possible while ensuring the network performance.
- When two LTE FDD carriers are configured, it is recommended that the power spectrum density (PSD) of the two carriers be set to the same value.
- Power spectrum density = Carrier output power/Carrier bandwidth (1.4 MHz and 3 MHz bandwidths are considered as 5 MHz bandwidth in this formula.)

The RRU3952 supports 2 x 60 W or 40 W+80 W configuration. The "40 W+80 W" configuration does not apply to typical scenarios. When this configuration is used, only power of channel B can be 80 W. Table 2-5, Table 2-6, Table 2-7, Table 2-8, Table 2-9, Table 2-10, Table 2-17, Table 2-18, Table 2-19, Table 2-20, and Table 2-21 show the typical output power of RRU3952 in 2 x 60 W configuration scenarios. Table 2-11, Table 2-12, Table 2-13, and Table 2-14 show the output power of RRU3952 in 40 W+80 W configuration scenarios.

Table 2-15, and Table 2-16 show the typical output power of RRU3952 (2100 MHz) working in UO, LO, or UL mode.

2 Technical Description

2.1 Frequency Band

Table 2-1 Frequency band

Frequency Band(MHz)	RX Frequency Band (MHz)	TX Frequency Band (MHz)
2600 (band 7)	2500 to 2570	2620 to 2690
700 (band 28)	Band A: 703 to 743 Band B: 718 to 748	Band A: 758 to 798 Band B: 773 to 803
DD 800 (band 20)	832 to 862	791 to 821

2.2 Capacity

Each RRU3268 supports two carriers. The total bandwidth between the maximum frequency and the minimum frequency of the spectrum for two carriers does not exceed:

- 50 MHz in 2600 MHz (band 7)
- 25 MHz in 700 MHz (band 28)
- 30 MHz in DD 800 MHz (band 20)

Table 2-2 Capacity

Frequency Band(MHz)	Capacity
2600	Each RRU3268 supports two carriers. The total bandwidth between the maximum frequency and the
700	

Frequency Band(MHz)	Capacity
DD 800	minimum frequency of the spectrum for two carriers does not exceed: <ul style="list-style-type: none"> • 50 MHz in 2600 MHz (band 7) • 25 MHz in 700 MHz (band 28) • 20 MHz in DD 800 MHz (band 20)

2.3 Receiver Sensitivity

Table 2-3 Receiver sensitivity

Frequency Band (MHz)	1-Way Receiver Sensitivity (dBm)	2-Way Receiver Sensitivity (dBm)
2600	-106.5	-109.3
700	-106.0	-108.8
DD 800	-106.4	-109.2

NOTE

As recommended in 3GPP TS 36.104, RX sensitivity is measured under a 5 MHz channel bandwidth based on FRC A1-3 in the Annex A.1 standard, where the modulation scheme is QPSK (R = 1/3) and the system bandwidth is 25 resource blocks (RBs)

2.4 Typical Output Power

NOTE

The output power per carrier in the output power table provides the maximum output power possible while ensuring the network performance.

Table 2-4 Typical output power(RRU3268, 700 MHz/2600 MHz/DD 800 MHz)

Number of LTE Carriers	Output Power per LTE Carrier (W)	Bandwidth (MHz)
1	2 x 40	5, 10, 15, 20
2	2 x 20	5, 10, 15, 20
2	carrier 1: 2 x 13 carrier 2: 2 x 27	carrier 1: 5, 10 carrier 2: 10, 20

Anexo N° 11: Antena sectorial para 3.5G y 3.9G

DXX-690-960/690-960-65/65-16I/16I-M/M-R
 EasyRET 4-Port Antenna with 2 Integrated RCUs - 2.0m
 Model: ADU4516R6v06

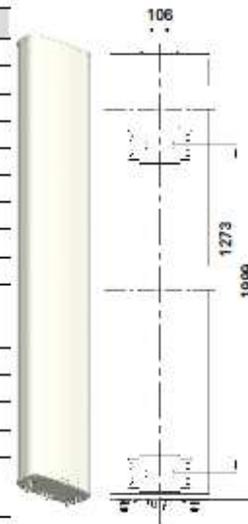


Antenna Specifications

Electrical Properties					
Frequency range (MHz)	2 x (690 - 960)				
	690 - 803	790 - 862	824 - 894	880 - 960	
Polarization	+45°, -45°				
Electrical downtilt (°)	0 - 10, continuously adjustable, each band separately				
Gain (dBi)	at mid Tilt	15.0	15.5	15.8	16.0
	over all Tilts	14.9 ± 0.5	15.3 ± 0.5	15.6 ± 0.5	15.8 ± 0.5
Side lobe suppression for first side lobe above main beam (dB)	> 16	> 17	> 17	> 17	
Horizontal 3dB beam width (°)	68 ± 5	65 ± 5	62 ± 5	60 ± 5	
Vertical 3dB beam width (°)	10.5 ± 0.9	9.5 ± 0.8	9.2 ± 0.7	8.5 ± 0.7	
VSWR	< 1.5				
Cross polar isolation (dB)	≥ 28				
Interband isolation (dB)	≥ 28				
Front to back ratio, ±30° (dB)	> 23	> 24	> 25	> 26	
Cross polar ratio (dB)	0°	> 17	> 18	> 19	> 20
Max. power per input (W)	400 (at 50°C ambient temperature)				
Intermodulation IM3 (dBc)	≤ -150 (2 x 43 dBm carrier)				
Impedance (Ω)	50				
Grounding	DC Ground				

- Values based on NGMN recommendations on Base Station Antenna Standards (BASTA).
- Electrical datasheet in XML format is available.

Mechanical Properties	
Antenna dimensions (H x W x D) (mm)	1999 x 429 x 196
Packing dimensions (H x W x D) (mm)	2195 x 530 x 270
Antenna weight (kg)	28.2
Clamps weight (kg)	3.6 (2 units)
Antenna packing weight (kg)	41.9 (Included clamps)
Mast diameter supported (mm)	60 - 115
Radome material	Fiberglass
Radome colour	Light grey
Operational temperature (°C)	-40 .. +65
Wind load (N)	Frontal: 910 (at 150 km/h) Lateral: 265 (at 150 km/h) Rear side: 910 (at 150 km/h)
Max. operational wind speed (km/h)	200
Survival wind speed (km/h)	250
Connector	4 x 4.3-10 Female
Connector position	Bottom



Accessories

Item	Model	Description	Weight	Units per antenna
Downtilt kit	ASMDT0001	Mechanical downtilt: 0 - 12 °	2.1 kg	1 (Separate packing)

Low Band
2-4 Ports

DXX-690-960/690-960-65/65-16/16I-M/M-R
 EasyRET 4-Port Antenna with 2 Integrated RCUs - 2.0m
 Model: ADU4516R6v06



Integrated RET Specifications

Properties								
RET type	Integrated RET							
RET protocols*	AISG 2.0 / 3GPP							
Input voltage range (V)	10 - 30 DC							
Power consumption (W)	< 5 (motor activated, 12V) < 0.5 (stand by, 12V)							
Adjustment time (full range) (s)	< 50 (typically, depending on antenna type)							
RET connector	2 x 8 pin connector according to IEC 60130-9 Daisy chain in: Male / Daisy chain out: Female							
Pin assignment according AISG	1	2	3	4	5	6	7	8
	DC	n/c	RS-485B	n/c	RS-485A	DC	DC return	n/c
Lightning protection (kA)	3 (10/350 μ s) 10 (8/20 μ s)							

* Please confirm the AISG protocol of primary station is compatible with RET antenna protocol interface. The protocol of RET antenna software interface is switchable between AISG 2.0/3GPP and AISG 1.1 with a vendor defined command. For more details about protocol switching function, contact Huawei before system installation.

Standards: UL 60950-1 (Safety), UL 60950-22 (Safety – Equipment installed outdoor), EN 55022 (Emission), EN 55024 (Immunity), ETSI EN 301 489, FCC Part15, ICES-003

Certification: CE, FCC, IC, RCM



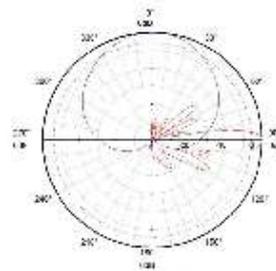
Integrated RET S/N:

- HWMxxx.....Lr1
- ⊗ HWMxxx.....Rr2

r - Red
 L - Left array R - Right array



Pattern sample for reference



690 - 960 MHz