

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



TESIS

**“DISEÑO DE UNA RED LTE, PARA LA COMUNIDAD
CAMPESENA DE CHUCATAMANI, DEPARTAMENTO DE
TACNA”**

PARA OPTAR:

TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO

PRESENTADO POR:

Bach. JORGE GUILLERMO VEGA LANCHIPA

TACNA – PERÚ

2023

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

TESIS

**“DISEÑO DE UNA RED LTE, PARA LA COMUNIDAD
CAMPESENA DE CHUCATAMANI, DEPARTAMENTO DE
TACNA”**

Tesis sustentada y aprobada el 5 de mayo de 2023; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE	:	Mag. JOSE MARCIAL SUMARRIVA BUSTINZA
SECRETARIO	:	Ing. CARLOS ARMANDO RODRIGUEZ SILVA
VOCAL	:	Mtra. MARIA ELENA VILDOZO ZAMBRANO
ASESOR	:	Mtro. HERACLIO HENRY GOMEZ DEL CARPIO

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo Jorge Guillermo Vega Lanchipa, en calidad de Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI 42252643 declaro bajo juramento que:

1. Soy autor de la tesis titulada: *Diseño de una red LTE, para la Comunidad Campesina de Chucatanani, departamento de Tacna, año 2023* la misma que presento para optar el Título Profesional Ingeniero *Ingeniería Electrónica*.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, habiéndose respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico o título profesional.
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a La Universidad cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis/trabajo de investigación, así como por los derechos sobre la obra.

En consecuencia, me hago responsable, frente a La Universidad y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis de investigación.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que la obra haya sido publicada anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Tacna, 23 de mayo de 2023



Bach. Jorge Vega Lanchipa
DNI: 42252643

DEDICATORIA

A Dios, por permitirme a pesar de los diferentes caminos que se tomaron, poder estar acá, a la fe de parte de todas las personas que hicieron esto posible.

A mis padres Jorge Alberto y Lucía Simona, que siempre creyeron en mí, para poder realizar este gran paso.

A mi tío Wilfredo, un gran profesional, quien me enseñó muchas lecciones de vida y de mi carrera, siento no haberla podido terminar antes. Siempre estarás presente.

A mis sobrinos, Francisco, Fabio y Fernando, hijos de Alicia y Francisco, quienes siempre han sido una parte muy importante de mi día a día.

A mi tía Graciela y mis primos Alex, Cesar y Victor, por su apoyo emocional durante mi vida tanto académica como laboral.

Bach. Jorge Guillermo Vega Lanchipa

AGRADECIMIENTO

Gracias a las personas que me apoyaron, en este camino, y jamás dejaron de creer en mi persona.

A los profesores de la Universidad Privada de Tacna, de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica, gracias por sus enseñanzas y consejos durante mi vida como estudiante.

A mi esposa Yohanny del Valle, por su apoyo constante.

A mis amistades, quienes mediante consejos han estado presente en parte de mi formación académica.

Al Ingeniero Abel Argume, gracias por su tiempo y sus enseñanzas.

A mi asesor agradezco los consejos y el apoyo brindado.

Bach. Jorge Guillermo Vega Lanchipa

ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DEL JURADO	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE GENERAL	vi
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE ANEXOS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
RESUMEN	xv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	2
1.1. Descripción del problema	2
1.2. Formulación del problema	3
1.2.1. Problema General	3
1.2.2. Problema Específico	3
1.3. Justificación e Importancia de la Investigación	3
1.4. Objetivos	4
1.4.1. Objetivo general	4
1.4.2. Objetivos específicos	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	5
2.1. Antecedentes de la investigación	5
2.2. Bases teóricas	5
2.2.1. Fundamentos de la red LTE actualmente en el Perú	5
2.2.2. Definición de LTE	7
2.2.3. Principios Básicos de la Tecnología	8
2.2.4. Evolución de la Tecnología a LTE	9
2.2.5. Evolución de la Tecnología 3G a LTE	10
2.2.6. System Architecture Evolution (SAE)	12
2.2.7. Mobility Management Entity (MME)	12
2.2.8. Serving Gateway (S-GW)	13
2.2.9. Packet Data Network Gateway (PDN-GW)	14
2.2.10. Home Subscription Server (HSS)	14
2.2.11. Policy Control and Charging Rules Function (PCRF)	14
2.2.12. Arquitectura E-UTRAN	15

2.2.13.	Evolved NodeB (eNB).....	16
2.2.14.	Protocolo en las interfaces S1 y X2.....	17
2.2.15.	Interfaz Radio.....	19
2.2.16.	Quality of Service (QoS).....	20
2.2.17.	Tecnologías de Nivel Físico	20
2.2.17.1.	Principios de OFDM.....	20
2.2.17.2.	OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiplex Access).....	21
2.2.17.3.	SC-FDMA (Single-Carrier Frequency Division Multiple Access).....	22
2.2.17.4.	Transformada Rápida de Fourier (FFT)	23
2.2.17.5.	Frequency Division Duplex (FDD) y Time Division Duplex (TDD).....	24
2.2.17.6.	Múltiples Entradas Múltiples Salidas (MIMO)	24
2.2.17.7.	Velocidad de Transmisión.....	26
2.2.17.8.	Eficiencia Espectral	26
2.2.18.	Capas Físicas	28
2.2.18.1.	Physical Resource Block (PRB)	28
2.2.18.2.	Estructura de Trama	29
2.2.19.	Enlace Descendente	30
2.2.19.1.	Señales físicas en el enlace descendente	30
2.2.19.2.	Señales de sincronización (SCH).....	30
2.2.19.3.	Canales físicos en el enlace descendente (Canales físicos de tráfico).....	31
2.2.19.4.	Canales de Control	31
2.2.20.	Enlace Ascendente	32
2.2.20.1.	Señales físicas en el enlace Ascendente.....	32
2.2.20.2.	Canales físicos en el enlace Ascendente.....	33
2.2.20.3.	Canales de Control en el enlace Ascendente	33
2.2.20.4.	Mecanismo de Avance Temporal (Time Advance).....	33
2.2.21.	Categorías de Terminales Móviles en LTE	33
2.2.22.	Secuencia de Zadoff-Chu.....	34
2.2.23.	High Order Modulation (HOM)	35
2.2.23.1.	Modulación QPSK, 16QAM Y 64QAM	35
2.2.24.	SINR (Signal-to-Interference-plus-Noise-Ratio)	37
2.2.25.	RSRP (Reference Signals Received Power).....	37
2.2.26.	Antena.....	37
2.2.26.1.	Antenas en Telecomunicaciones	37
2.2.26.2.	Parámetros de la Antena	38
2.2.27.	Simulador Atoll.....	39
2.2.27.1.	Introducción al Atoll.....	39

2.3.	Definición de términos	40
2.3.1.	Red de banda ancha	40
2.3.2.	Estación base celular	41
2.3.3.	Evolved Node B (eNodeB)	41
2.3.4.	Long Term Evolution.....	41
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO		42
3.1.	Diseño de la investigación	42
3.2.	Acciones y actividades	42
3.2.1.	Diseño de la red.....	42
3.2.2.	Requerimientos de diseño.....	43
3.2.3.	Planeación de Cobertura	48
3.2.4.	Modelo de Propagación	49
3.2.5.	Modelo Propagación Okumura-Hata.....	50
3.2.6.	Potencia de Transmisor eNodeB	51
3.2.7.	Link Budget (Presupuesto del Enlace).....	52
3.2.8.	Cálculo de Throughput.....	54
3.2.9.	Antena a utilizar	55
3.3.	Materiales y/o Instrumentos	57
3.3.1.	Hardware.....	57
3.3.2.	Software	57
3.3.3.	Dispositivos Usados en la Tecnología LTE	58
3.3.3.1.	BBU3900	60
3.3.3.2.	RRU3268	61
3.3.3.3.	Alimentación de Equipos Solución DBS3900	62
3.3.3.4.	ATN910B-D	64
3.4.	Operacionalización de variables	65
3.4.1.	Variable de Estudio.....	65
CAPÍTULO IV: RESULTADOS		66
4.1.	Configuración Básica para Atoll (Inputs).....	66
4.2.	Simulaciones y/o Predicciones.....	71
4.2.1.	Zona de Análisis	72
4.3.	Informe de las Estaciones Base a Instalar	78
4.3.1.	ATL6001_Vía Chucatamani.....	78
4.3.2.	ATL6002_Chucatamani Pueblo	83
4.4.	Confirmación de área sin servicio celular mediante G-NetTrack	87
4.5.	Transmisión en la zona	88
CAPÍTULO V: DISCUSIONES.....		91

CONCLUSIONES.....	92
RECOMENDACIONES	93
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94
ANEXOS	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Eficiencia espectral	29
Tabla 2. Capa física terminal	34
Tabla 3. Basada en el esquema de modulación y codificación del 3GPP	44
Tabla 4. Rangos EARFCN.....	44
Tabla 5. Bandwidth de los canales para cada banda NR.....	45
Tabla 6. Relación PRBs/ Canalización en LTE	46
Tabla 7. Esquema de modulación usadas en LTE	46
Tabla 8. Resumen MCS para Banda 28	47
Tabla 9. Tabla de parámetros básicos del sistema	49
Tabla 10. Restricciones del modelo Okumura -Hata	50
Tabla 11. Especificaciones técnicas de potencia RRU3268.....	52
Tabla 12. Link Budget para el downlink	52
Tabla 13. Link Budget para el uplink	53
Tabla 14. Características de la antena	57
Tabla 15. Especificaciones técnicas de frecuencias RRU3268.....	61
Tabla 16. Operacionalización de variables de investigación	65
Tabla 17. Configuración de coordenadas eNodeB.....	68
Tabla 18. Rango aceptable de cobertura.....	72
Tabla 19. Especificaciones de Sitio ATL6001 Vía Chucatamani.....	82
Tabla 20. Parametrización ATL6001 Vía Chucatamani	82
Tabla 21. Especificaciones de sitio ATL6002 Chucatamani Pueblo.....	86
Tabla 22. Parametrización ATL6002 Chucatamani Pueblo.....	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Velocidad promedio de descarga del internet móvil en redes 4G a nivel nacional	6
Figura 2. Velocidad promedio de descarga en redes 4G a nivel departamental	6
Figura 3. Promedio de descarga en redes 4G por operador	7
Figura 4. Sistemas móviles celulares 3G/4G.....	8
Figura 5. Enlace descendente y ascendente en LTE.....	9
Figura 6. Arquitectura genérica de un sistema celular	10
Figura 7. Evolución de la arquitectura del sistema desde GSM a LTE	11
Figura 8. Arquitectura LTE.....	12
Figura 9. Conexión MME a otros nodos	13
Figura 10. Red E-UTRAN	15
Figura 11. Entidades de red e interfaces de E-UTRAN	16
Figura 12. Procedimiento de establecimiento de registro de UE.....	17
Figura 13. Mecanismo de transferencia de información en la interfaz radio	18
Figura 14. Mecanismo de transferencia de información en la interfaz radio.....	19
Figura 15. Concepto de OFDM.....	21
Figura 16. Multiplexación en OFDMA.....	21
Figura 17. Comparación de OFDMA y SC-FDMA transmitiendo una serie de símbolos QPSK	23
Figura 18. Modulación OFDM basada en Transformada Discreta de Fourier	23
Figura 19. Esquema de MIMO.....	25
Figura 20. MIMO 2x2	26
Figura 21. Banda de 700 MHz.....	27
Figura 22. Banda de 700 MHz	27
Figura 23. Physical Resource Block	28
Figura 24. Estructura de trama tipo 1.....	29
Figura 25. Estructura de trama tipo 2.....	30
Figura 26. Ejemplo enlace descendente	32
Figura 27. Ejemplo de Uso de Secuencia de Zadoff-Chu en canal PUCCH.....	35
Figura 28. Esquema de modulación LTE	36
Figura 29. Esquema de tecnología LTE	37
Figura 30. Diagrama de emisión de antena.....	38
Figura 31. Interfaz Atoll de Forsk.....	40
Figura 32. Diagrama de Flujo Diseño de la Red.....	43

Figura 33. Esquema de modulación utilizada con respecto al SNR	47
Figura 34. Molde radio Link Budget	48
Figura 35. Modelos de propagación.....	49
Figura 36. Lóbulo de antena	56
Figura 37. Parte inferior de antena.....	56
Figura 38. Modelo estación base DBS3900	59
Figura 39. Diseño de shelter APM30	60
Figura 40. Estructura lógica RRU3268.....	62
Figura 41. Conexión PMU11A.....	63
Figura 42. Vista frontal del R4850G	63
Figura 43. Esquema de la instalación del DCDU.....	64
Figura 44. Diagrama de flujo de ATM910B	64
Figura 45. Creación de proyecto Atoll.....	66
Figura 46. Coordenadas en Atoll Perú.....	67
Figura 47. Ingresando ubicación de sitios	67
Figura 48. Ubicación de sitios en mapa Atoll	68
Figura 49. Ingreso de banda en Atoll	69
Figura 50. Configuración de la antena de Atoll	70
Figura 51. Configuración MIMO de Atoll.....	70
Figura 52. Configuración de parámetros de tráfico de Atoll	71
Figura 53. Terminales móviles en Atoll.....	71
Figura 54. Área de Análisis	72
Figura 55. Parámetros de configuración de RSRP.....	73
Figura 56. Histograma por nivel de señal	73
Figura 57. Cobertura por nivel de señal.....	74
Figura 58. Cobertura por transmisor.....	75
Figura 59. Histograma de solapamiento	75
Figura 60. Predicciones de solapamiento.....	76
Figura 61. Histograma de C(I+N)- Coverage by C/(I+N) level	76
Figura 62. Predicciones Cobertura por C(I+N)- Coverage by C/(I+N) level	77
Figura 63. Histograma por Throughput.....	77
Figura 64. Cobertura por Throughput.....	78
Figura 65. Proyección Site: Vía Chucatamani_S1	79
Figura 66. Vista fotográfica Site: Vía Chucatamani_S1	79
Figura 67. Zona de cobertura Site Vía Chucatamani_S1.....	80
Figura 68. Proyección Site: Vía Chucatamani_S2.....	80
Figura 69. Vista fotográfica Site: Vía Chucatamani_S2.....	81

Figura 70. Zona de cobertura Site: Vía Chucatamani_S2	81
Figura 71. Proyección Site: Chucatamani Pueblo_S1.....	83
Figura 72. Vista fotográfica Site: Chucatamani Pueblo_S1.....	83
Figura 73. Zona de cobertura Site: Chucatamani Pueblo_S1	84
Figura 74. Proyección Site: Chucatamani Pueblo_S2.....	84
Figura 75. Vista fotográfica Site: Chucatamani Pueblo_S2.....	85
Figura 76. Zona de cobertura Site: Chucatamani Pueblo_S2	85
Figura 77. Ejemplo G-NetTrack con cobertura Tacna.....	87
Figura 78. Muestras de G-NetTrack Lite Chucatamani	88
Figura 79. Indicadores de Fibra en la zona de Pronatel.....	89
Figura 80. Punto de Fibra cercano a estación base.....	89
Figura 81. Enrutamiento de Fibra Chucatamani -Tarata.....	90

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Matriz de Consistencia	99
Anexo 2. Datafill de Estaciones Base	100
Anexo 3. Proforma Referencial de Estación Base Celular	101
Anexo 4. Datasheet de Antenas Huawei	103
Anexo 5. Glosario de Términos	105

RESUMEN

En Perú actualmente, la tecnología LTE ha tenido una expansión gigantesca en las zonas rurales, esto ha permitido que cada vez más usuarios puedan estar conectados. Sin embargo, aún hay muchas comunidades campesinas que no cuentan con este servicio, y no se han podido beneficiar de las diferentes ventajas que provee el mantenerse comunicado, ya sea en el ámbito laboral como en el académico. Este nuevo grupo de usuarios sigue sin aún ser explorado por parte de los operadores de servicios móviles. Este vendría ser el caso de la comunidad campesina de Chucatanani, Departamento de Tacna. El presente trabajo de tesis ha tenido como objetivo el diseñar una red 4G-LTE, que se encargue de dar cobertura a dicha zona. Se validó que en la comunidad no hubiera otros operadores que brindaran servicio de telefonía celular. Para esto se usó el modelo empírico de Okumura-Hata, así como herramientas para validar cobertura como G-NetTrack Lite, y en cuanto al tema de la simulación de los cálculos se hizo ingresando la información a la plataforma Atoll. Mediante estas herramientas se logró realizar un diseño que ha de proveer cobertura óptima a la zona.

Palabras clave: Red de banda ancha; estación base celular; eNodeB; Long Term Evolution.

ABSTRACT

In Peru, currently, LTE technology has had a huge expansion in rural areas, which has allowed more and more users to be connected. However, there are still many peasant communities that do not have this service and have not been able to benefit from the different advantages provided by staying connected, either in the workplace or in academia. This new group of users is still unexplored by mobile service operators. This is the case for the peasant community of Chucatamani, Department of Tacna. The objective of this thesis work has been to design a 4G-LTE network that covers this area. It was validated that there were no other operators providing cellular phone service in the community. The empirical Okumura-Hata model was used, as well as tools to validate coverage such as G-Net Track Lite, and for the simulation of calculations, information was entered into the Atoll platform. Through these tools it was possible to carry out a design that must provide optimal coverage to the area.

Keywords: Broadband network; cellular base station; eNodeB, Long Term Evolution.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad las comunicaciones móviles forman parte de nuestro día a día, en las tareas más simples que nos rodean; comenzaron como una forma de mantenernos siempre comunicados la cual ha pasado a segundo plano, debido al avance de la tecnología se han ido implementando e innovando, dando paso a otros usos como son las redes sociales y mensajería de texto. En el área académica, el estudio y especialización, se ha vuelto esencial para lograr superar las metas impuestas. De esta forma, podemos llegar a decir que un pueblo, que no pueda acceder a estas estaría atrapado en el tiempo. Es por ello por lo que el presente trabajo, plantea el diseño de una red Long Term Evolution (LTE), en una zona remota, como lo es Héroes Albarracín, para esto tendremos presente la siguiente estructura:

En el capítulo I “El Problema de Investigación”: Se analiza la problemática que presenta la red LTE en la Comunidad Campesina de Chucatamani, Departamento de Tacna.

En el capítulo II “Marco teórico”: Se abarcará la bibliografía, así como los artículos que han de tener asociación al trabajo realizado, así como las bases teóricas que se usaron para el desarrollo del presente trabajo.

En el capítulo III “Marco metodológico”: Se aplicarán los diseños correspondientes, para elaborar la investigación, así como las acciones requeridas y materiales utilizados.

En el capítulo IV “Resultados”: Se presentarán el desenlace obtenido de las simulaciones realizadas, teniendo en cuenta los indicadores de cobertura, SINR y Throughput.

En el capítulo V “Discusión de resultados”: Se realizará un disentiimiento de los resultados obtenidos con respecto a trabajos de investigación afines.

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del problema

En la actualidad el mundo se ha sometido a grandes avances en las telecomunicaciones, cosas que hasta hace unos años atrás creíamos imposible ahora logran realizarse: videollamadas, acceso a conocimiento técnico de diferentes partes del mundo en tiempo real, charlas de expositores ubicados en otros países, transmisión de información a través de los dispositivos móviles, en este contexto, en la actualidad se podría indicar que aquellas comunidades que no cuenten con este acceso a la información, están destinados a permanecer relegados en los nuevos avances tecnológicos, esta es la situación que actualmente afronta la comunidad campesina de Chucatamani, situada en la provincia de Tarata, departamento de Tacna, esta comunidad afronta los problemas de no contar con telefonía celular debido a su dificultad de acceso y escabrosa geografía, según el último censo poblacional realizado (INEI, 2017), cuenta con 668 habitantes, siendo su fuente primordial de ingresos la agricultura, algunos de sus principales productos son la alfalfa, pera, tuna, cirolero, entre otros (MIDAGR, 2020), frente a esta problemática que afronta la comunidad y con el fin de lograr tener una mejor acogida en estos nuevos mercados, es necesario contar con las herramientas adecuadas para poder desenvolverse en un ambiente más competitivo, por lo cual se plantea diseñar una red de acceso LTE, como alternativa para mejorar las comunicaciones en la zona, debido a que los aplicativos en la actualidad requieren un mayor ancho de banda, esto hace necesario el uso de tecnologías que cumplan los requerimientos de sistemas de comunicación de banda ancha, a la vez que se genera un acceso a las innovaciones de desarrollo agrario, a través de las tecnologías celulares. Esta iniciativa ofrecerá el acercamiento a los beneficios que otorgan las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) logrando que los habitantes de dicha comunidad tengan una mejor calidad de vida y confort, al poder disponer de información educacional, a la par que sus productos tendrán llegada a nuevos mercados, y mejora en la calidad de sus procesos técnicos.

Para llevar a cabo este desarrollo, es necesario diseñar una red con nuevas técnicas para su desplazamiento. La implementación de esta tecnología en la comunidad campesina de Chucatamani, dará un gran impacto, ya que en la instalación de pequeñas celdas se notará los servicios de accesos acorde a la demanda solicitada.

Actualmente los usuarios no cuentan con tecnología celular GSM o UMTS, de ningún operador, la propuesta del presente trabajo sería la instalación de celdas 4G como alternativa, debido a que según una encuesta realizada por Ipsos el 2021, se estima que hay 16,4 millones de usuarios de un smartphone en Perú, lo cual representa el 83% de la población urbana (Ipsos Perú, 2022), por consiguiente, la mejor opción sería la tecnología LTE ya que puede ofrecer grandes beneficios si se implementa adecuadamente.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema General

¿Cómo el diseño de una red LTE permite proveer servicios de banda ancha a la comunidad campesina de Chucatamani?

1.2.2. Problema Específico

- a. ¿Cómo se puede establecer la cobertura optima de la comunidad campesina de Chucatamani?
- b. ¿Cuáles son los parámetros que se consideraron para el diseño de una red LTE, en la comunidad campesina de Chucatamani?

1.3. Justificación e Importancia de la Investigación

La investigación correspondiente se enfocará en como la tecnología Long Term Evolution (LTE), permitirá mediante el diseño de red, dar cobertura a una comunidad campesina de Héroes Albarracín.

Teniendo en cuenta un punto de **vista tecnológico**, el diseño de la red celular permitirá determinar la parametrización óptima para solventar la cobertura de la comunidad campesina.

Teniendo en cuenta un punto de **vista social**, el presente proyecto servirá para impulsar el estudio para diseño de otras comunidades aledañas, que también padecen el mismo dilema, de no contar con comunicación celular, lo cual llegará a promover futuros estudios para mejoras de la calidad de vida.

Teniendo en cuenta un punto de **vista económico**, el diseño propuesto se enfocará en la mayor cobertura posible, con el fin de que los costos que se van a manejar con este boceto no representen una excesiva inversión.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Diseño una red LTE para proveer servicios de banda ancha para la Comunidad Campesina de Chucutamani, Departamento de Tacna.

1.4.2. Objetivos específicos

- a. Diseño estaciones base celular LTE, teniendo en cuenta los accidentes geográficos, para dar cobertura optima a la comunidad campesina
- b. Establecer la parametrización de calidad correspondiente, ancho de banda y eficiencia espectral, para cumplir de manera óptima la demanda de usuarios de la zona y caseríos aledaños

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

En base a lo expuesto en la tesis de Ever Chino Catari la cual plantea como objetivo diseñar una red 4G LTE Avanzado, con el fin de mejorar la distribución de la red existente, a través del desplazamiento heterogéneo en función a las estaciones base celular instaladas y la implementación de micro estaciones base para mejora de la cobertura y calidad dentro de una red de telefonía de cuarta generación, llegando a optimizar la zona proyectada logrando una óptima calidad en el servicio 4G, para una mejor experiencia del usuario con la tecnología de alta velocidad, esto lo realiza mediante la propuesta de micro estaciones, donde la calidad es deficiente, quedando como una de las principales conclusiones que el diseño propuesto de la red, logrará una mejora en la cobertura del servicio (Catari, 2018).

Como segundo punto de referencia, se tendrá en cuenta la tesis de Diana Alvarez Paredes de la Universidad Técnica del Norte de Ecuador, sobre el diseño de una red 4G en el clúster 2 de la ciudad de Quito, para CNT usando software propietario de Huawei, para lograr una mejor prestación de servicios LTE, para alcanzar una satisfacción por parte de los usuarios, este diseño lo realiza utilizando el modelo de propagación Cost231-Hata Huawei, logrando cubrir la demandas de cobertura de la zona (Paredes, 2014).

2.2. Bases teóricas

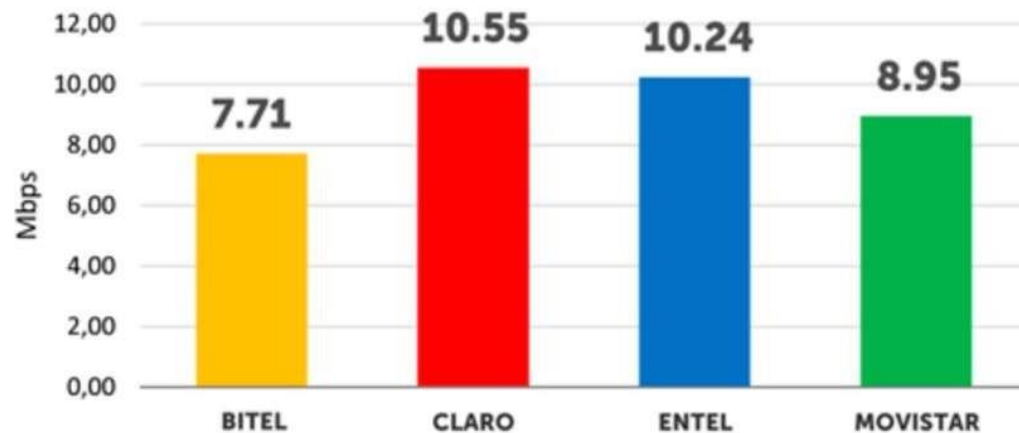
2.2.1. Fundamentos de la red LTE actualmente en el Perú

Desde el ingreso de los primeros equipos de telefonía celular a la actualidad, las telecomunicaciones se han convertido en una parte importante del día a día, lo cual hace que tener acceso desde el terminal a internet sea algo primordial, con la finalidad de suplir esta necesidad por parte de los usuarios, los dispositivos móviles han ido evolucionando a como los conocemos en la actualidad, lo cual también repercute en la red existente, que tiene que ir evolucionando para adaptarse a estos dispositivos, por lo cual hemos tenido una transformación desde la tecnología GSM a LTE como lo conocemos. Este cambio ha permitido que se abran nuevas posibilidades para las personas que desean que sus productos tengan mayor llegada, a nuevos consumidores, así como la posibilidad de mejorar su calidad de vida en el proceso.

Actualmente la red LTE se encuentra desplegada a nivel nacional con los operadores Claro, Entel, Bitel y Movistar, como se aprecia en la Figura 1, dentro de las cuales resalta Claro y Entel como las empresas que ofrecieron la mayor velocidad de descarga según el Panel de Monitoreo del Internet Móvil de Osiptel (OSIPTEL, 2022).

Figura 1

Velocidad Promedio de descarga del internet móvil en redes 4G a nivel Nacional

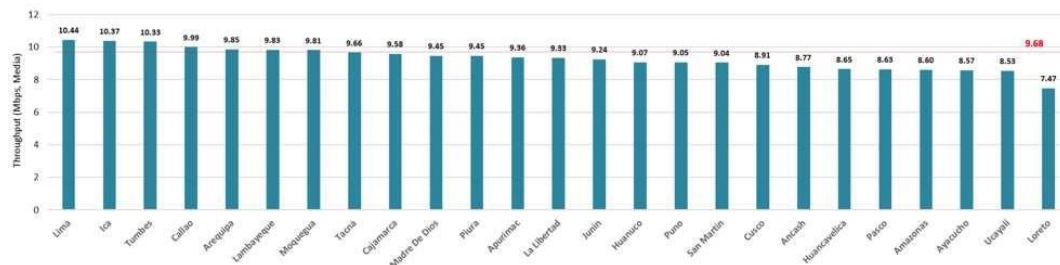


Nota. Adaptado de *Panel de Monitoreo de Internet Móvil: Análisis de indicadores a nivel departamental – Julio*, por OSIPTEL, 2022 (OSIPTEL, 2022).

Por lo consiguiente se observa en la Figura 2, que para la ciudad de Tacna el índice de velocidad de descarga a nivel departamental es de 9,66 Mbps, encontrándose dentro del promedio, siendo los departamentos con mayor promedio de descarga los de Lima (10,44 Mbps) e Ica (10,37 Mbps) (OSIPTEL, 2022).

Figura 2

Velocidad promedio de descarga en redes 4G a nivel departamental

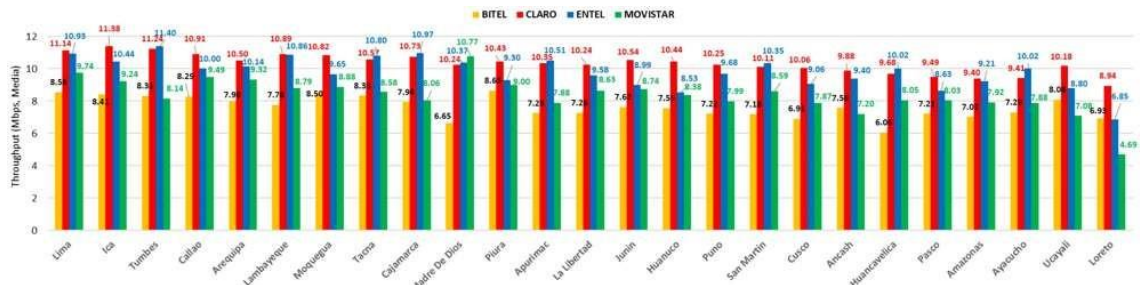


Nota. Adaptado de *Panel de Monitoreo de Internet Móvil: Análisis de indicadores a nivel departamental – Julio*, por OSIPTEL, 2022 (OSIPTEL, 2022).

Como se puede observar en la Figura 3, Entel (10,80 Mbps) es el operador de mejor desempeño departamental en Tacna y Bitel (8,33 Mbps) es el operador con menor desempeño en promedio de descarga en redes 4G, según el muestreo realizado por Osiptel (OSIPTEL, 2022).

Figura 3

Promedio de Descarga en redes 4G por Operador



Nota. Adaptado de *Panel de Monitoreo de Internet Móvil: Análisis de indicadores a nivel departamental – Julio*, por OSIPTEL, 2022 (OSIPTEL, 2022).

2.2.2. Definición de LTE

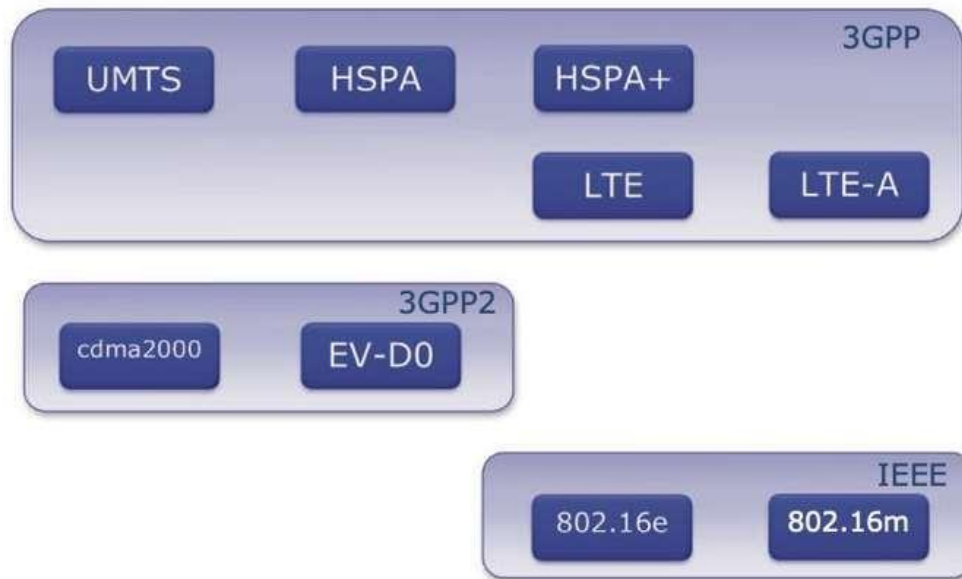
La tecnología celular de cuarta generación ha mostrado su origen en el usuario abonado, quien al amparo de un entorno cada vez más competitivo desea el máximo beneficio en lo que respecta a las capacidades de la red de acceso, así como la necesidad de mayores velocidades de transmisión de datos. El camino a la estandarización de un nuevo sistema que pudiera cubrir las necesidades tecnológicas en la década del 2010 al 2022 lo apuntó el organismo 3GPP, el mismo que lo denominó Long Term Evolution. La predominación de LTE puso fin al camino paralelo del 3GPP2, esto se puede apreciar en el diagrama de bloques de la Figura 4, lo que conllevó a realizar un análisis de los requisitos clave para la nueva tecnología móvil LTE, estos se resumen de la siguiente manera (Agusti, 2014):

- Aumento de las tasas de datos móviles de usuario.
- Disminuir el retardo tanto en latencia de la transmisión como en términos de establecimiento de la conexión.
- Mayor flexibilidad de uso del espectro tanto en las nuevas bandas de frecuencia como en las ya existentes.
- Aumento de la tasa de bits celular de última generación, para que la prestación del servicio sea uniforme.
- Arquitectura de red más simplificada.

- Consumo de energía razonable para el terminal móvil.
- Reducción del coste por bit para una mayor eficiencia espectral.
- Movilidad sin pérdidas entre diferentes tecnologías de acceso.

Figura 4

Sistemas móviles celulares 3G/4G



Nota. Adaptado de *LTE: Nuevas Tendencias en Comunicaciones Móviles*, por Ramon Agusti, 2014 (Agusti, 2014).

2.2.3. Principios Básicos de la Tecnología

Hace años tanto los proveedores de servicios de telecomunicaciones como los investigadores, han trabajado en el desarrollo y evolución de las redes móviles, estableciendo parámetros que permiten que cada segmento de la evolución tenga su propia particularidad con diferentes protocolos, formas de acceso al medio, arquitecturas de red y técnicas de transmisión con el fin de lograr una integración más eficiente de los servicios y aplicaciones que ofrece el sistema LTE y su revolución tecnológica.

Al adoptar un enfoque multiportadora para el acceso múltiple en LTE, se pudo elegir uno de los parámetros principales de los esquemas de acceso múltiple en diciembre del 2005 por la 3GPP, en donde se pudo concluir que la técnica de acceso múltiple OFDMA, sea elegida para el enlace descendente o recepción de datos; al tiempo que, para el enlace ascendente o envío de información la técnica SC-FDMA, fue

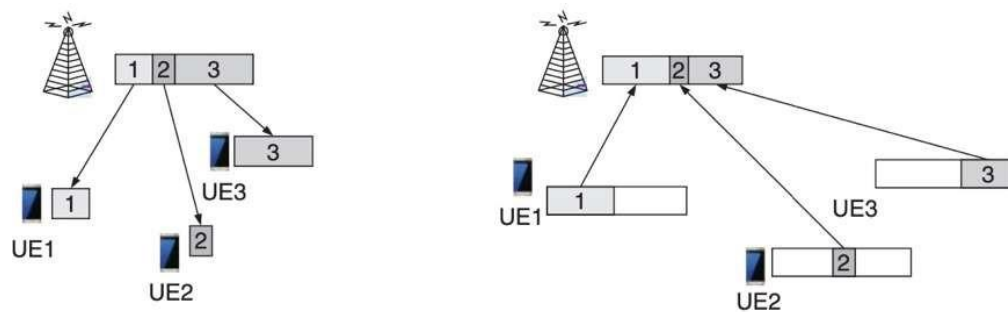
la seleccionada. Ambas técnicas se encuentran en el dominio de la frecuencia con la finalidad de dar flexibilidad a la red móvil de cuarta generación.

Bajo la perspectiva del usuario de un sistema de comunicaciones móviles, él contrata el acceso a un servicio, con la capacidad de poder movilizarse sobre cierta extensión geográfica, a lo que asocia un nivel de calidad tanto cualitativa como cuantitativamente. Bajo la perspectiva del operador de la red, él debe realizar un ejercicio de dimensión de red con la finalidad de satisfacer la demanda de la cantidad de usuarios que posee el sistema.

Uno de los avances más significativos es en cuanto a la latencia que es ofrecida, se puede apreciar una reducción en cuanto al tiempo que demora la información en ser cargada y enviada a su destino, a través de la red. En la Figura 5 se puede apreciar los enlaces tanto ascendente como descendente, utilizados en esta tecnología.

Figura 5

Enlaces Descendente y Ascendente en LTE



Nota. Adaptado de *Introduction to Mobile Network Engineering*, por Alexander Kukushkin, 2018 (Kukushkin, 2018).

2.2.4. Evolución de la Tecnología a LTE

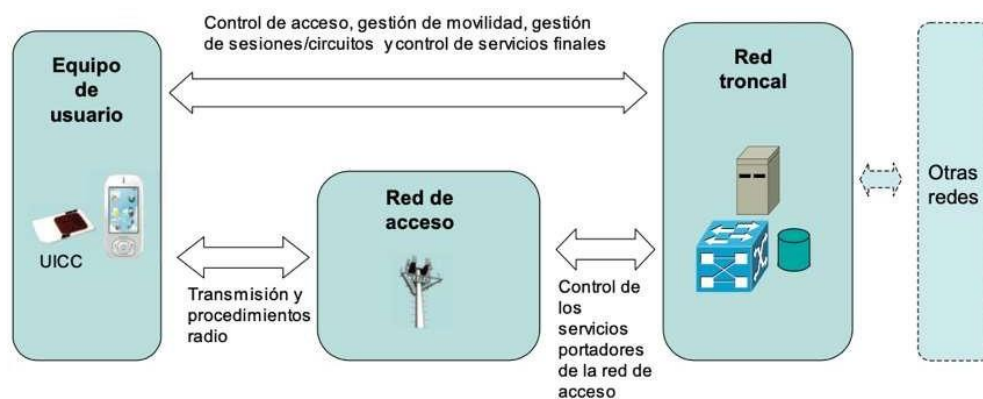
Para empezar a ahondar en la tecnología LTE, debemos partir desde el concepto básico de la arquitectura genérica de los sistemas celulares. En la Figura 6 se puede observar una arquitectura simplificada, en el cual podemos identificar tres componentes básicos:

- Equipo de Usuario, es el instrumento desde donde la persona se conecta para poder acceder a los servicios de la red, actualmente la mayoría de los equipos cuentan con una tarjeta inteligente, en la cual se almacena toda la información del usuario.

- Red de acceso: Es la parte del sistema responsable de establecer la transmisión radio con los equipos del usuario y sirve de enlace entre el usuario y la red troncal.
- Red Troncal: Es la encargada de la gestión de movilidad de usuarios, así como el control de acceso a la red, gestión de los datos o circuitos que llevan la información de los usuarios.

Figura 6

Arquitectura genérica de un sistema celular



Nota. Adaptado de *LTE: Nuevas Tendencias en Comunicaciones Móviles*, por Ramon Agusti, 2014 (Agusti, 2014).

2.2.5. Evolución de la Tecnología 3G a LTE

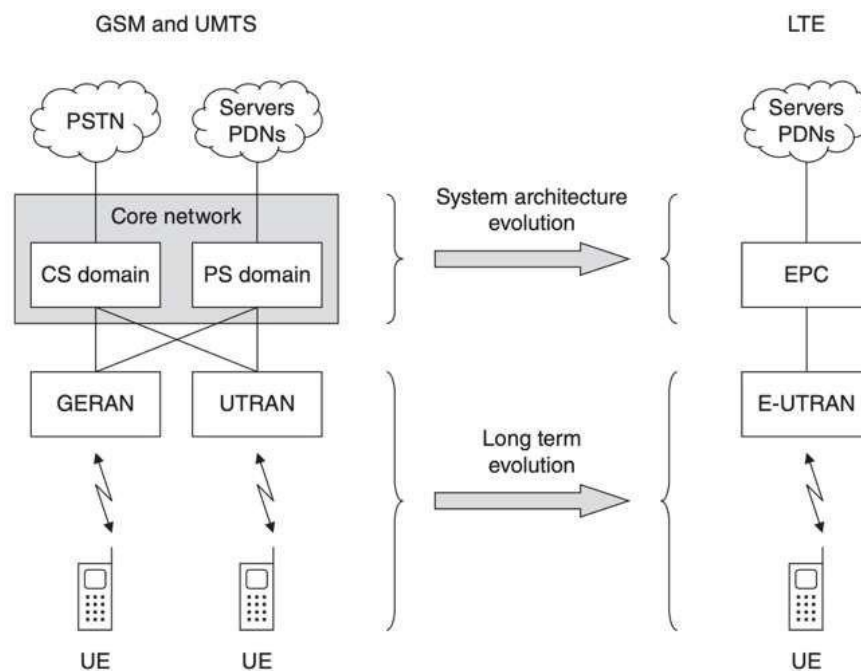
En 2004 los organismos conocidos como “Third Generation Partnership Project” (3GPP), empezaron el estudio de Long Term Evolution para UMTS, en el cual se establecieron una serie de requisitos de alto nivel, a esta evolución, se le dio el nombre de E-UTRAN (Evolved UTRAN) (Agusti, 2014), planteando como algunos objetivos de la misma:

- Velocidad de transmisión de pico 100 Mbps downlink, 50 Mbps uplink.
- Mejora en la eficiencia espectral con respecto al Release 6.
- Latencia del plano de usuario.
- Ancho de banda escalable.
- Interacción con sistema 3G y aquellos sistemas no 3GPP.

Se tiene que destacar que las capacidades de E-UTRA y E-UTRAN establecidas (Olsson, 2009), corresponden a objetivos fijados en la parte de desarrollo de LTE, de maneras que las prestaciones pueden superar los objetivos iniciales. En la Figura 7 se podrá ver mediante un diagrama de bloques, la evolución de la tecnología de las comunicaciones desde GSM hasta LTE.

Figura 7

Evolución de la arquitectura del sistema desde GSM a LTE



Nota. Adaptado de *An Introduction to LTE*, por Christopher Cox, 2014 (Cox, 2014).

Como se puede apreciar en la Figura 7, en la nueva arquitectura, los elementos del Core (Evolved Packet Core - EPC) reemplazan directamente a los usados por GSM y UMTS, si bien no hay un equivalente exacto de la conmutación de circuitos de UMTS y GSM, esto le permite a LTE optimizar el tráfico de datos, pero en cuanto a las llamadas de voz, deberán realizarse usando otras técnicas, el Evolved UMTS terrestrial radio access network (E-UTRAN) reemplaza directamente a UTRAN. Esta nueva arquitectura diseñada por parte del 3GPP, se clasifican en dos zonas de trabajo, una de ellas adquiere el nombre de system architecture evolution (SAE), la cual cubre el core de la red y la otra vendría a ser long-term evolution (LTE) quien se enfoca en la red de acceso (RAN), la interfaz aire y los dispositivos móviles. Aunque LTE solo corresponde a la interfaz aire, es usado coloquialmente para referirse a todo el sistema. En el presente

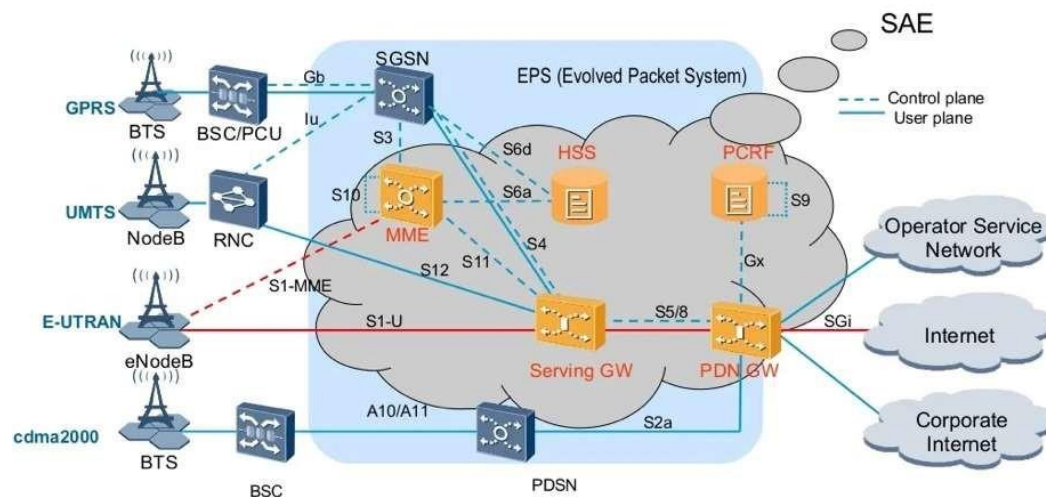
proyecto solo se abarca la red de acceso E-UTRAN, por lo cual se procederá a realizar una descripción breve de los elementos del Core EPC (Cox, 2014).

2.2.6. System Architecture Evolution (SAE)

La SAE, también conocida como Evolved Packet Core (EPC) es el que se encarga del control de acceso en la red celular, gestionar la movilidad, autenticación y control de servicios de usuarios. Los requerimientos de la EPC incluyen mejor provisionamiento del servicio, flexibilidad en el uso de frecuencia de banda existentes y nuevas, simplificar la arquitectura de red, la reducción de costo por bit y garantizar un consumo de energía razonable en los terminales (Cox, 2014). En la Figura 8 se puede apreciar como esta red, socializa con las otras tecnologías.

Figura 8

Arquitectura LTE



Nota. Adaptado de LTE Principle Fundamental Issue 1.01, por Huawei Technologies, <https://www.slideshare.net/amacom123/oea000000-lte-principle-fundamental-issue-101>, 2014 (Huawei Technologies, 2014).

2.2.7. Mobility Management Entity (MME)

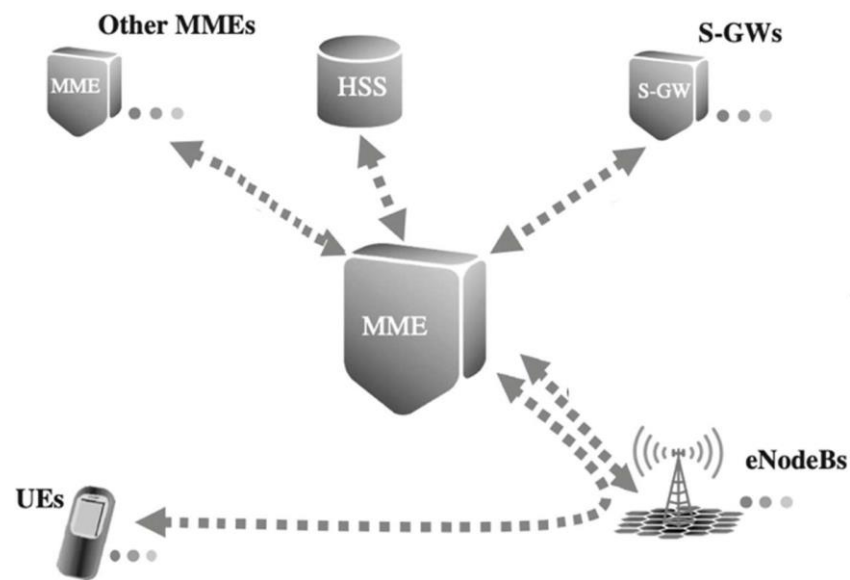
Es el control de acceso de los nodos para la red LTE, como se puede apreciar en la Figura 9. Trabaja en conjunto con el evolved NodeB (eNodeB), Serving Gateway (S-GW), dentro del EPC para cumplir las siguientes funciones:

- Responsable de la autenticación del usuario interactuando con el Servidor de Suscripción (HSS).

- Participa en el proceso de activación/desactivación de la portadora y a su vez es el responsable de elegir el servicio de puerta de enlace (S-GW) y para el equipo del usuario (UE), se encarga de registrarlo cuando se conecta por primera vez al intra-LTE handover.
- Mantiene un rastreo de los UE en su área de servicio, permaneciendo en conexión activa hasta que el UE pase a inactivo, luego de lo cual el MME gestiona la liberación o creación de recursos según sea el caso.

Figura 9

Conexiones MME a otros nodos



Nota. Adaptado de *LTE for UMTS: Evolution to LTE-Advanced - Second Edition*, por Antti Toskala, 2011 (Toskala, 2011).

2.2.8. Serving Gateway (S-GW)

El S-GW actúa de enlace a nivel de usuario entre la EPC y el E-UTRAN, de igual forma como en el caso del MME, cada usuario registrado dispone de una S-GW asignada. Esta asignación está sujeta a criterios geográficos y balanceo de cargas. Como sus principales funciones se puede encontrar:

- **Punto de anclaje:** En el handover entre eNBs, el cambio de plano usuario deriva en un cambio de portador S1 entre el S-GW y los nodos involucrados, manteniendo el camino entre el S-GW y el P-GW.
- **Anclaje para otras redes de acceso:** Esta funcionalidad también es aplicada para UTRAN y GERAN, de esta forma los equipos que se

conecten a la red LTE a través de UTRAN o GERAN, se les asignará un S-GW asociado al EPC.

- **Almacenamiento IP:** Permite un almacenamiento temporal de las IPs de los usuarios cuando estos estén en mode idle.
- **Enrutamiento del tráfico:** Almacena la información del encaminamiento necesaria tanto para el tráfico de subida hacia el P-GW, como de manera inversa.

2.2.9. Packet Data Network Gateway (PDN-GW)

Es la entidad que se encarga del enlace entre las redes externas (Packet Data Network) y la red LTE, debido a esta es que un usuario es visible en otras redes. Esto se debe a que los paquetes IP, que se generan por el usuario, se introducen a esta red externa por el PDN-GW y viceversa. Desde el momento que se registra en una red LTE, cada usuario tiene un mínimo de una PDN-GW, como funciones de la PDN-GW se pueden indicar:

- Así como el S-GW sirve de punto de anclaje, esta misma función la cumple P-GW para la gestión de movilidad, con la gran diferencia que esta se realiza entre la red LTE y otras redes no 3GPP.
- Valida que las reglas de la red sean cumplidas, a su vez se encarga de la tarificación de los servicios que tenga el móvil establecido.
- Asigna el direccionamiento IP, que será utilizado por el terminal en una red externa.
- El tráfico IP es revisado por filtros que se encargan de la asociación a cada usuario correspondiente, con el fin de evitar anomalías en los paquetes que circulan por la red, estos son inspeccionados y validados.

2.2.10. Home Subscription Server (HSS)

Vendría a ser la entidad encargada de alojar la información de los usuarios, la base de datos. Esta información podría ser con respecto a la eficiencia de la red o lo referente a la suscripción del usuario. El HSS almacena toda la información respectiva a la red LTE.

2.2.11. Policy Control and Charging Rules Function (PCRF)

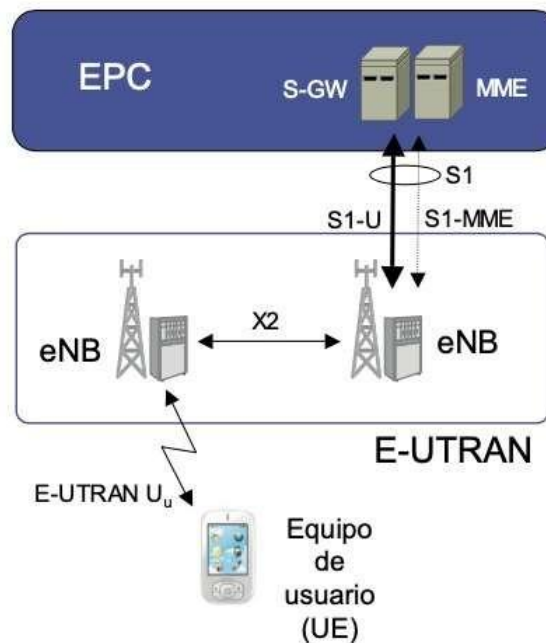
Esta entidad PCRF es quien lleva control de la tarificación y el control de los servicios portadores que son otorgados por parte de la red LTE.

2.2.12. Arquitectura E-UTRAN

Está compuesto solo por el evolved NodeB (eNB), que es toda la arquitectura de la E-UTRAN. A diferencia de GSM y WCDMA, todo se gestiona y controla desde el eNB. Estos realizan la conexión entre la red troncal y los UE. Esto se puede apreciar en la Figura 10, en lo que observamos que la comunicación se hace por las interfaces: E-UTRANUu, X2 y S1.

Figura 10

Red E-UTRAN



Nota. Adaptado de *LTE: Nuevas Tendencias en Comunicaciones Móviles*, por Ramon Agusti, 2014 (Agusti, 2014).

La interfaz LTE radio (E-UTRANUu), permite pasar la información entre el equipo de usuario y el eNodeB. Toda la información necesaria se instala en el eNB.

La conexión entre el eNB y el EPC se da debido a la interfaz S1. Esta se divide a su vez en dos: El S1-MME y el S1-U, el primero para el plano de control y el otro para el plano de usuario. La separación de los dos es una peculiaridad en las interfases de la red LTE.

La interfaz X2 permite la comunicación entre los eNBs. Mediante esta se permutan mensajes de señalización para realizar una mejor administración de los recursos de radio, y también durante el handover es quien administra el tráfico entre dos eNodeB. En la Figura 11, veremos un resumen de lo anteriormente mencionado y sus referencias con respecto a los estándar 3GPP:

Figura 11

Entidades de red e interfaces de E-UTRAN

Entidades de red	Denominación	Descripción	Referencias 3GPP ¹⁾
	Evolved NodeB (eNB)	Estación base de la red de acceso E-UTRAN	TS 36.300 [4] TS 36.401 [5]
Interfaces	Denominación	Entidades de red asociadas	
	E-UTRAN Uu (también denominada LTE Uu o interfaz radio)	eNB UE	TS 36.300 [4] Documentos TS 36.2xx Y TS 36.3xx
	X2	eNB eNB	Documentos TS 36.42x TS 29.281 [26]
	S1-MME	eNB Red troncal EPC (MME)	Documentos TS 36.41x
	S1-U	eNB Red troncal EPC (S-GW)	TS 29.281 [26]

Nota. Adaptado de *LTE: Nuevas Tendencias en Comunicaciones Móviles*, por Ramon Agusti, 2014 (Agusti, 2014).

2.2.13. Evolved NodeB (eNB)

Todas las funcionalidades de la red de acceso se encuentran en el eNodeB, a su vez que realiza la gestión de los recursos radio:

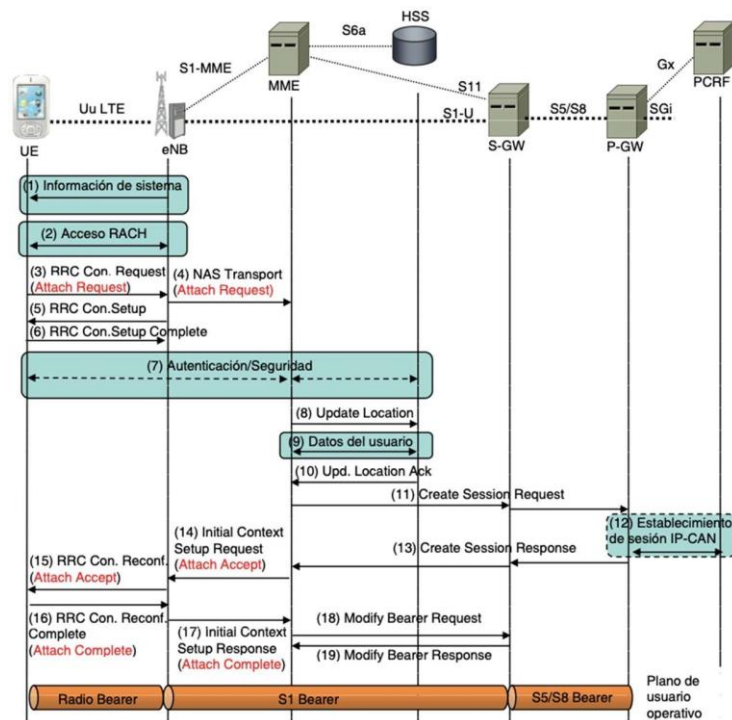
- En la interfaz de radio es el encargado de transmitir y recibir, esto con respecto a la modulación, demodulación, codificación y decodificación del canal. Gestionando de manera dinámica los recursos de radio (uplink, downlink).
- Con respecto a la señal de radio es el encargado de medir y configurar los parámetros. Protege la seguridad de las señales que pasan en la interfaz aire. Es el encargado en el handover del control de algoritmos. Elección de la nueva estación en el proceso de handover.

- Cifra y comprime el encabezamiento IP, a nivel de la data del usuario.
- Es dinámico en la elección de MME, esto se debe a contar con un cierto pool de MMEs, por lo tanto, puede realizar la conexión a varios MME. Este detalle le permite poder balancear la carga.

En la Figura 12, se podrá apreciar lo mencionado con respecto al proceso de establecimiento de registro de un UE, con respecto a la red de acceso.

Figura 12

Procedimiento de establecimiento de registro de UE



Nota. Adaptado de LTE: Nuevas Tendencias en Comunicaciones Móviles, por Ramon Agusti, 2014 (Agusti, 2014).

2.2.14. Protocolo en las interfaces S1 y X2

S1: La comunicación entre el eNB y el EPC, se da a través de la interfaz S1, en el plano de usuario denominada S1 User Plane (S1-U), permite entre el eNB y el S-GW, la transferencia de datos, a este servicio se le conoce como S1 bearer.

A nivel de MME se le denomina S1-MME o S1-C, esto es en el plano de control. Entre sus procedimientos más resaltantes se tendrá (Cox, 2014):

- En caso de que no esté establecida una interfaz X2 entre dos eNB, estructura el proceso de handover.
- Establece, libera y modifica los recursos de los servicios portadores.
- Mecanismo de aviso, esto indica que cuando el terminal se encuentre en modo idle y es forzado por el MME a pasar a modo activo, este avisa a los posibles eNB, en los que podría estar el UE.
- La transparencia en el envío de mensajes de señal de control entre el MME y el equipo de usuario. Estos mensajes son los conocidos como Non Access Stratum (NAS).

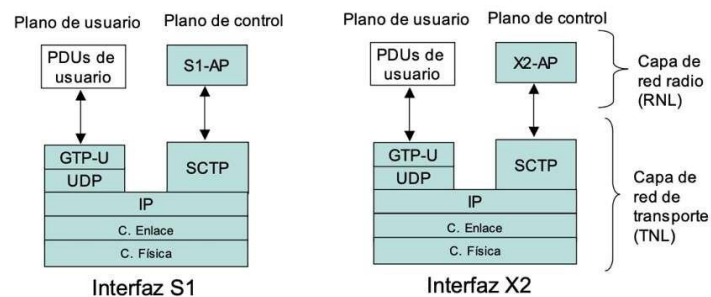
X2: En su plano de usuario realiza la transferencia de datos de los usuarios entre eNBs, este proceso se realiza durante el handover. Esto se realiza de tal forma que es transparente para el usuario, debido a que reduce la posible pérdida de paquetes.

En su plano de control, se podría destacar lo siguiente

- La transferencia de información con el fin de evitar interferencias con celdas que funcionan en el mismo canal.
- Brinda un soporte en el handover entre eNBs, realiza la transferencia de la información entre el eNB antiguo y el eNB nuevo, la cual consiste en los servicios portadores radio del usuario, accesos de seguridad, así como información de las capacidades del UE. Se puede observar las características de X2 y S1 en la Figura 13.

Figura 13

Mecanismo de transferencia de información en la interfaz radio



Nota. Adaptado de *LTE: Nuevas Tendencias en Comunicaciones Móviles*, por Ramon Agustí, 2014 (Agustí, 2014).

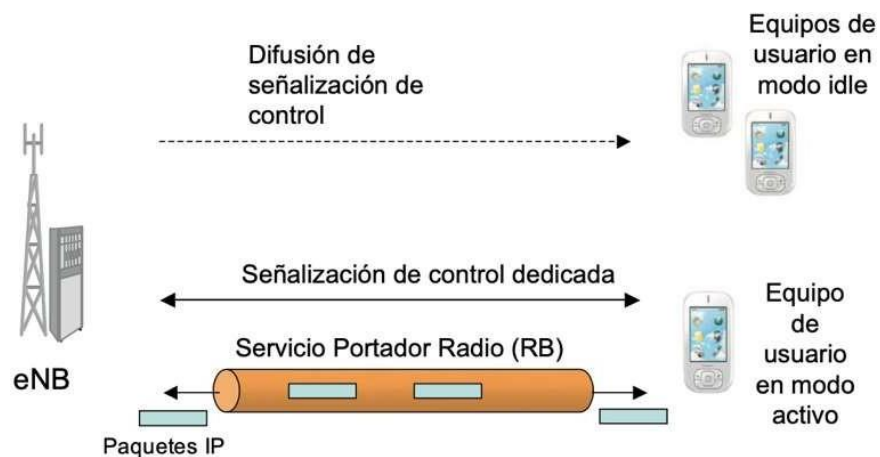
2.2.15. Interfaz Radio

Contamos con tres mecanismos de transferencia de la información en el canal de radio, los cuales se observan en la Figura 14 (Agusti, 2014):

- Difunde la señal de control por el área de la celda, esto hace que el equipo del usuario encuentre al eNodeB, así como la identidad del operador.
- Transmite la paquetería IP de usuarios, los servicios portadores radio (Radio Bearers) fueron diseñados específicamente para tráfico IP, no permitiendo la transferencia de otros protocolos, estos cuentan con funciones que permiten la comprensión de la cabecera de los paquetes IP, lo cual permite reducir el número de bytes enviados por la interfaz radio.
- Envía señales de control entre el UE y el nodo, esta conexión se hace con el protocolo Radio Resource Control (RRC), los servicios portadores de radio se modifican, establecen y liberan, esto ocurre entre la estación base y el móvil del usuario.

Figura 14

Mecanismo de transferencia de información en la interfaz radio



Nota. Adaptado de *LTE: Nuevas Tendencias en Comunicaciones Móviles*, por Ramon Agusti, 2014 (Agusti, 2014).

2.2.16. Quality of Service (QoS)

La arquitectura de QoS forma parte de lo que es la gestión de sesiones, movilidad y seguridad. Es muy similar a la que se tiene para UMTS, pero con la gran diferencia que los puntos de referencia y portadoras son distintos.

Por tanto, tenemos dos tipos de portadoras EPS: las predeterminadas y dedicadas:

- En LTE, la portadora predeterminada con QoS predeterminado, cuando el UE se engancha a la red, la encontramos ya establecida. Los atributos QoS de la portadora predeterminada son determinados, por parte de los parámetros del QoS almacenados en el HSS; En resumen, la portadora predeterminada se mantendrá activa todo el tiempo que el UE permanezca en el EPC.
- En el caso de las portadoras dedicadas, estas son creadas para diferenciar el QoS: El Evolved Packet Core es quien administra la creación de portadoras dedicadas, luego de lo cual se vincula a las aplicaciones, los parámetros QoS no pueden ser modificados por parte del suscriptor.

Un solo terminal puede tener varios servicios de punto a punto activos, cada uno de estos servicios tiene su propia portadora. Para un solo terminal, los protocolos E-UTRAN pueden llegar a direccionar 256 E-RAB individuales.

El 3GPP con el fin de estandarizar el manejo de QoS, preciso unos indicadores de clase para el QoS (QCI). Serían la tasa de bits, parámetros prioritarios, el retardo que puede tolerarse en una portadora EPS(PDB) y la tasa de paquetes perdidos en total en una transmisión (PELR) son factores muy importantes (3er Generation Partnership, 2020).

2.2.17. Tecnologías de Nivel Físico

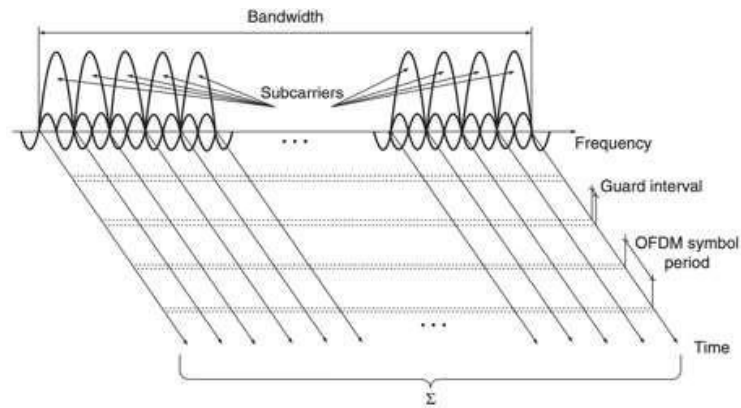
2.2.17.1. Principios de OFDM

El sistema E-UTRA usa la Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal, el que es un método de transmisión multiportadora que divide el ancho de banda disponible en una serie de subportadoras, debido a sus propiedades de ortogonalidad de estas, se hace posible realizar la transmisión simultánea, manteniendo la capacidad de

separación de estos, en la recepción (Kukushkin, 2018), como se puede apreciar en la Figura 15:

Figura 15

Concepto de OFDM



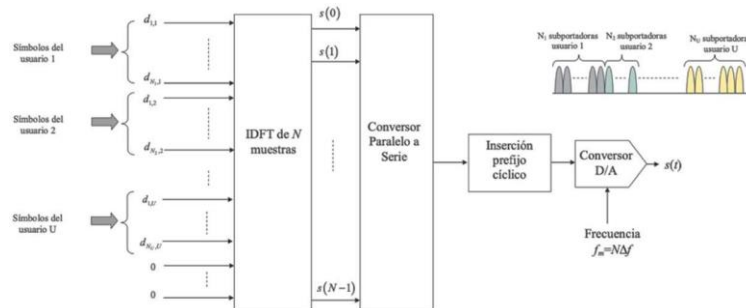
Nota. Adaptado de *An Introduction to LTE*, por Christopher Cox, 2014 (Cox, 2014).

2.2.17.2. OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiplex Access)

El ancho de banda del canal en LTE es compartido por usuarios activos. La técnica OFDMA consiste en el enlace descendente perteneciente a LTE, surge de la modulación OFDM, la cual considera que cada uno de los diferentes símbolos modulados, sobre las subportadoras pertenece a un usuario distinto, logrando acomodar varias transmisiones de manera simultánea las cuales pertenecen a diferentes flujos de información, que viajan en subportadoras distintas (Agusti, 2014). Esto se observa en la figura 16:

Figura 16

Multiplexación en OFDMA



Nota. Adaptado de *LTE: Nuevas Tendencias en Comunicaciones Móviles*, por Ramon Agusti, 2014 (Agusti, 2014).

Algunas de las ventajas serían:

- Se puede asignar a un usuario subportadoras no colindantes lo necesariamente distanciadas para que el estado del canal de cada una sea independiente, lo que conlleva a una diversidad frecuencial.
- Las subportadoras son asignadas dinámicamente a cada usuario, logrando cambiarse la asignación en períodos cortos de tiempo, mediante estrategias de scheduling.
- Esta técnica permite de forma sencilla el acomodo de distintas velocidades de transmisión, para cada usuario en base a los requerimientos que tiene cada uno.
- Posee una elevada granularidad al momento de distribuir recursos para cada uno, lo que conlleva a una mejora en el acople de servicios de distintos requerimientos de calidad.
- Debido al uso del prefijo cíclico, es muy sólida contra la interferencia intersimbólica la cual proviene de una propagación multitrayecto.
- Elevado grado de utilización de la banda asignada Se logra llevar a cabo con un mínimo requerimiento de espaciado entre distintas subportadoras, en el cual la superposición se llega a observar en el espectro ocupado por ambas.
- Permite el uso de chips que son los que realizan procesos de FFT/IFFT, de forma ágil.

2.2.17.3. SC-FDMA (Single-Carrier Frequency Division Multiple Access)

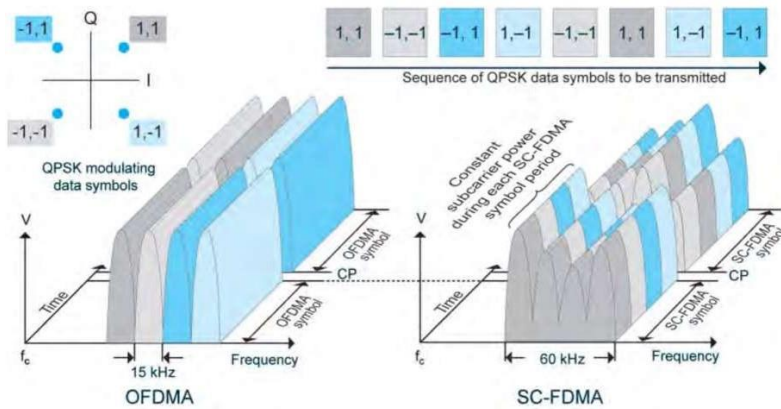
Esta técnica incluye las características de OFDM, dividiendo el ancho de banda en varias subportadoras, las cuales mantienen su ortogonalidad, pero para este caso la señal modulada utiliza una sola sub-portadora, logrando un acoplamiento lineal de todos los símbolos de datos transmitidos al mismo tiempo.

En la Figura 17, se observa la comparación en lo que veremos una de las principales características por la cual 3GPP está utilizando SC-FDMA para el enlace ascendente de LTE, es debido a que SC-FDMA solo utiliza una sola portadora fundamental. Otra ventaja que proporciona esta técnica es un bajo PAPR, el que consiste en el Peak to Average Power de transmisión. Este término se podría definir como una eficiencia por parte del amplificador de potencia del transmisor, esto permite

que sea más económico y sencillo el receptor en el móvil. La técnica SC-FDMA usa la Transformada Discreta de Fourier (DFT), como una precodificación de los datos ingresados y luego continua la estructura regular de OFDM (Rumney, 2013).

Figura 17

Comparación de OFDMA y SC-FDMA transmitiendo una serie de símbolos QPSK



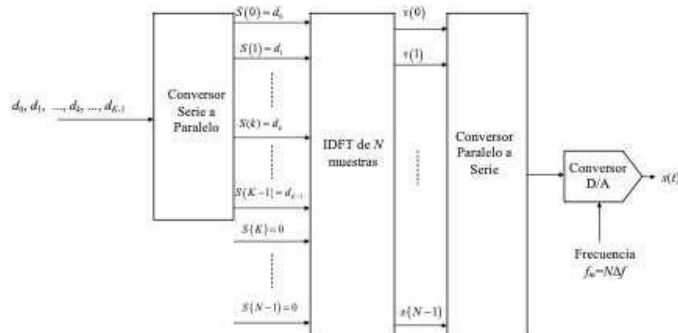
Nota. Adaptado de *LTE and the Evolution to 4G Wireless*, por Moray Rumney, 2014 (Rumney, 2013).

2.2.17.4. Transformada Rápida de Fourier (FFT)

En la Figura 18 se verá como se define como un algoritmo que nos va a permitir el cálculo de manera eficiente de la Transformada de Fourier Discreta (TFD). La FFT logra la división de esta, llegando como resultado a TFD más sencillas, es uno de los puntos más importantes en el proceso de recepción. La TFD nos permite convertir una muestra del dominio temporal al dominio de la frecuencia, y viceversa.

Figura 18

Modulación OFDM basada en Transformada Discreta de Fourier



Nota. Adaptado de *LTE: Nuevas Tendencias en Comunicaciones Móviles*, por Ramon Agusti, 2014 (Agusti, 2014).

2.2.17.5. Frequency Division Duplex (FDD) y Time Division Duplex (TDD)

Una estación base puede distinguir las transmisiones hacia y desde el terminal en la celda. Aun así, necesitamos distinguir las transmisiones móviles de las del propio eNB, Por lo cual un sistema de comunicación celular puede operar en otros modos de transmisión, cuando es usada la duplexación por división de frecuencia (FDD) en la estación y el UE, transmiten y reciben al mismo tiempo, pero usando diferentes frecuencias portadoras. Mientras que usando la duplexación por división de tiempo (TDD), transmiten y reciben en la misma frecuencia, pero en un intervalo de tiempo distinto.

El FDD y TDD tiene tanto ventajas como desventajas. En el caso de FDD, los anchos de banda son fijos de los enlaces ascendente y descendente. Esto lo convierte en adecuado para comunicaciones de voz, debido a que las tasas de datos son muy similares en el enlace ascendente y descendente. Mientras que, en el TDD, se puede ajustar en el enlace ascendente y descendente, el tiempo que se asigna, convirtiéndolo en la mejor opción para el tema de la navegación web, debido a que la tasa de datos del enlace ascendente es mayor a la descendente. El TDD puede sufrir interferencia, por lo cual con el fin de evitar esto las estaciones deben sincronizarse cuidadosamente y usar en el enlace ascendente y descendente, usando las mismas asignaciones de forma que transmiten y reciben al mismo tiempo. En el caso de FDD, es preferible para redes de área amplia, por lo cual para el presente proyecto es el que se tomará en cuenta. LTE es compatible con ambos modos, puede usar tanto el FDD full duplex, FDD semiduplex así como el TDD, solo puede usar uno de estos a la vez (Agusti, 2014).

2.2.17.6. Múltiples Entradas Múltiples Salidas (MIMO)

LTE está diseñado para usar la técnica MIMO como una de sus herramientas principales, incluyendo la multiplexación espacial, así como la precodificación y la diversidad de transmisión. El principio de la multiplexación espacial es el envío de señales de dos o más antenas con diferente data stream al mismo tiempo. El receptor entonces usa algoritmo para procesar esta señal de forma que es separada y recupera diferentes datos.

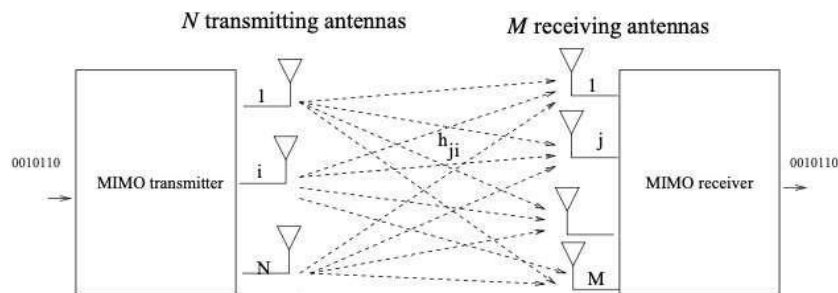
Básicamente el funcionamiento de un arreglo MIMO consta de un transmisor con múltiples antenas transmisoras, como se puede apreciar en la Figura 19, este transmisor cuenta con un procesador digital de señal, el cual se encarga de la codificación, con una velocidad determinada. Esta información es enviada de forma

paralela en la misma frecuencia. Luego de lo cual son sintonizadas por el receptor, quien la recibe una por cada antenna en esta parte es el DSP (Digital Signal Processor), quien se encarga de volver a ordenar, armar las señales, para poder recibir la señal original junto con los datos transmitidos.

- Cuando se usan diferentes antenas brindan todas las facilidades para la creación de canales virtuales.
- El aumento del área de cobertura en la transmisión es posible al contar con la diversidad de antena.
- Es creado un canal virtual cuando se transmiten las señales, cada una es enviada por un canal diferente para que no se superpongan.

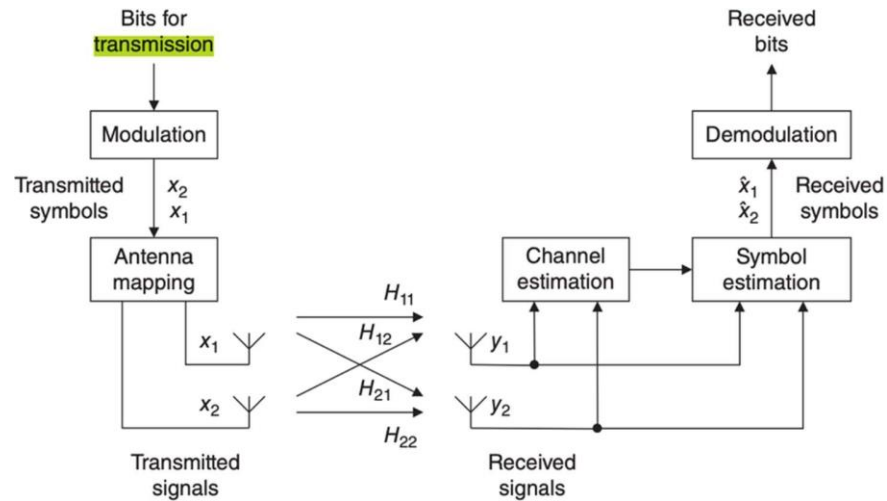
Figura 19

Esquema MIMO



Nota. Adaptado de *LTE—the UMTS long term evolution: from theory to practice*, por Stefania Sesia, 2011 (Sesia, 2011).

En el presente proyecto usaremos el esquema MIMO 2x2, como se puede ver en la Figura 20, debido a que el área en la cual se está desarrollando, es un área rural, por lo cual se intentando dar la máxima cobertura posible, pero a su vez con las mínimas especificaciones, para no comprometer la calidad de la señal, con un costo reducido de infraestructura. En la imagen a continuación se podrá apreciar cómo es distribuido este esquema.

Figura 20*MIMO 2x2*

Nota. Adaptado de *LTE—the UMTS long term evolution: from theory to practice*, por Stefania Sesia, 2011 (Sesia, 2011).

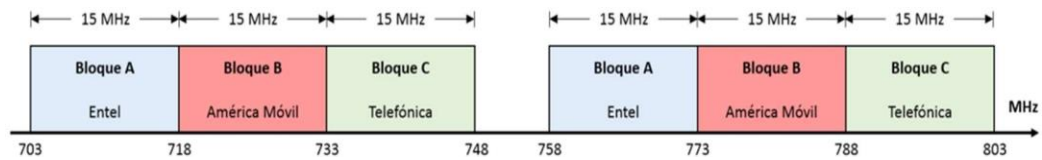
2.2.17.7. Velocidad de Transmisión

Según el estándar 3GPP, teóricamente en LTE se alcanzan valores de transmisión pico de 300 Mbps en downlink, mientras que en uplink logran alcanzar hasta los 75 Mbps, esto para una configuración de 64QAM, MIMO 4x4 (3rd Generation Partnership, 2013).

2.2.17.8. Eficiencia Espectral

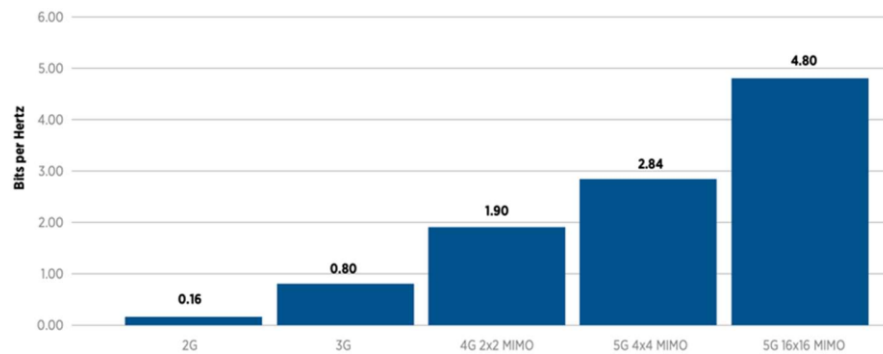
El espectro radioeléctrico corresponde a una métrica que evalúa la calidad de una modulación digital determinada, en el Perú es un recurso invaluable para el sector de las telecomunicaciones, brindando el medio para que las empresas como Claro, Movistar entre otras, puedan brindar los servicios de telefonía móvil.

Según el OSIPTEL (Argandoña, 2019), la banda de 700 MHz, fue liberada mediante un rearming de los canales de señal analógica (TV) a otro espectro. Por lo que actualmente esta banda se encuentra dividida de la forma como se muestra en la Figura 21:

Figura 21*Banda de 700 MHz*

Nota. Adaptado de *Estado del espectro radioeléctrico en el Perú y recomendaciones para promover su uso en nuevas tecnologías*, por Javier More, 2019 (Argandoña, 2019).

La optimización en el uso del espectro ha sido un tema siempre muy buscado por las tecnologías de las telecomunicaciones, que han ido evolucionando, por lo cual bajo estos conceptos el 3GPP, se ha encargado la tarea de estandarizar esto. Con la llegada del MIMO, esta eficiencia espectral fue mejorada, así como se puede apreciar en la Figura 22:

Figura 22*Banda de 700 MHz*

Nota. Adaptado de *Los beneficios de la neutralidad tecnológica en las licencias de espectro*, por Global System for Mobile Communications, 2019 (GSMA, 2019).

Para cuando es calculado el tráfico en LTE, se usan los valores que han sido especificados por el 3GPP, por lo que tenemos que la eficiencia espectral vendría a ser como se muestra en la Tabla 1:

Tabla 1*Eficiencia Espectral*

Tipo de Eficiencia Espectral	E-UTRAN LTE
Pico	DL: 15 bps/Hz UL: 3,75 bps/Hz
Promedio	DL: 1,87 bps/Hz
Borde de la cobertura	DL: 0,06 bps/Hz UL: 0,03 bps/Hz

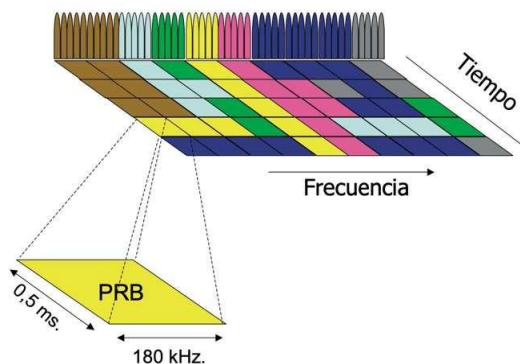
Nota. Se tiene en cuenta los valores indicados según el estándar “The Mobile Broadband Standard” (3GPP, 2016).

2.2.18. Capas Físicas**2.2.18.1. Physical Resource Block (PRB)**

Se denomina al elemento más pequeño de información que asigna el eNB a un UE. En este se transmiten seis o siete símbolos OFDMA, su tamaño ocupa 180 KHz de banda, lo cual equivale a doce sub-portadoras. La duración equivale a un slot o ranura temporal, lo que se traduce como 0,5 ms.

El número de PRBs disponible depende de la canalización utilizada. Siendo los casos para 1,4 MHz (6), 3 MHz (15), 5 MHz (25), 10 MHz (50), 15 MHz (75), y 20 MHz (100) (Agusti, 2014).

Por cada PRB se tiene de 7 símbolos y 12 subportadoras, entonces se tiene por consiguiente un total de 84 recursos, en donde se ubicarán los símbolos QPSK, 16QAM o 64 QAM. En la Figura 23, se observarán los Physical Resource Block:

Figura 23*Physical Resource Block (PRB)*

Nota. Adaptado de *LTE: Nuevas Tendencias en Comunicaciones Móviles*, por Ramon Agusti, 2014 (Agusti, 2014).

2.2.18.2. Estructura de Trama

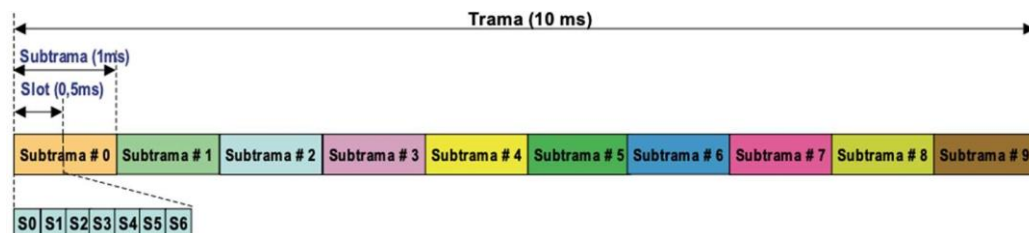
Para el caso de LTE, las estructuras de trama se pueden clasificar en los siguientes tipos:

LTE Frame Structure Type 1 – FDD, en la Figura 24, podremos ver la estructura de trama tipo 1, mostrando las siguientes características:

- Esta estructura tiene la cualidad que soporta half, así como full duplex.
- Es aplicable al enlace ascendente, así como al enlace descendente.
- La principal condición de esta estructura es que es utilizada para Frequency Division Duplex (FDD).
- Dividido en tramas de 10 ms, las cuales a su vez se fragmentan en subframe de 1 ms cada una, las cuales están compuestas por un total de 20 ranuras temporales o slots, a los cuales se les asigna una duración de 0,5 ms. En estos time slots se alcanza a transmitir entre 6 a 7 símbolos OFDM ($66,7 \mu\text{s}$).

Figura 24

Estructura de Trama Tipo 1



Nota. Adaptado de *LTE: Nuevas Tendencias en Comunicaciones Móviles*, por Ramon Agusti, 2014 (Agusti, 2014).

LTE Frame Structure Type 2 – TDD, en la Figura 25, podremos ver la estructura de trama tipo 2, mostrando las siguientes características:

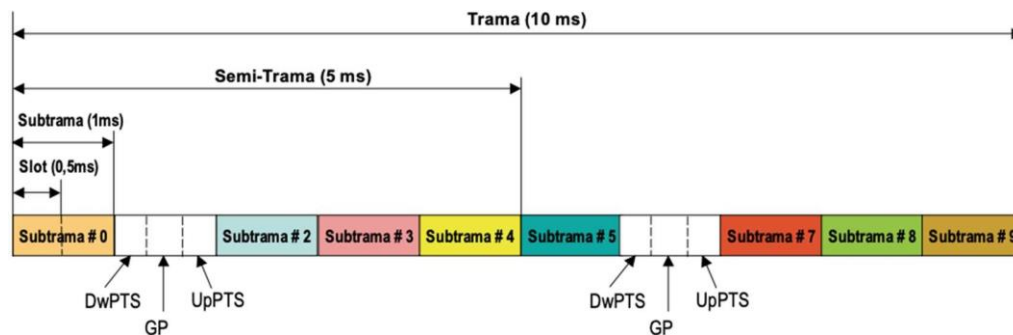
- Estructura de trama flexible, debido a que contiene subframe de transmisión para el enlace ascendente y descendente.
- Las subtramas especiales pertenecientes a esta estructura tienen la finalidad de facilitar la transición entre los enlaces ascendente y

descendente, por motivos de la sincronización. Esta subframe especial tiene un periodo de 1 ms.

- Principal condicional para esta estructura de trama, es que corresponde a un escenario Time Division Duplex (TDD).
- En la subframe especial se pueden encontrar los siguientes campos: DwPTS, UpPTS y GP.

Figura 25

Estructura de Trama Tipo 2



Nota. Adaptado de *LTE: Nuevas Tendencias en Comunicaciones Móviles*, por Ramon Agusti, 2014 (Agusti, 2014).

2.2.19. Enlace Descendente

El enlace descendente corresponde a las características más relevantes de las señales físicas, que dan una sincronización entre el sistema y el UE, a su vez que permiten la demodulación de manera consecutiva, de las señales OFDMA transmitidas de manera descendente. A su vez, también se revisa el procedimiento utilizado para llevar la información de la llamada, así como los mecanismos de señalización y control.

2.2.19.1. Señales físicas en el enlace descendente

Señal de referencia (RS), son señales denominadas piloto, las cuales no contienen información del usuario, sino una secuencia específica de símbolos, las cuales sirven para la estimación de canales.

2.2.19.2. Señales de sincronización (SCH)

Son señales usadas para la sincronización temporal, estas se pueden dividir en las siguientes:

- **P-SCH (Primary SCH)**, la sincronización es llevada a nivel de subtrama por medio de una correlación entre una secuencia referencial y la señal recibida.
- **S-SCH (Secondary SCH)**, la sincronización se realiza a nivel de trama, para lo cual se aplica la misma correlación usada para P-SCH.

2.2.19.3. Canales físicos en el enlace descendente (Canales físicos de tráfico)

- **Physical Downlink Shared Channel (PDSCH)**, es el canal de transporte que se encarga de transmitir los datos de usuario en el enlace descendente, y datos de codificados DL-SCH. En este canal se puede observar que es compartido el dominio del tiempo entre múltiples usuarios.
- **Physical Multicast Channel (PMCH)**, es el canal que se encarga del transporte del canal de MBMS (Multimedia Broadcast Multicast Service) en el enlace descendente, los tipos de modulación pueden ser QPSK, 16QAM y 64QAM. Este guarda similitudes con el PDSCH, pero una de sus principales diferencias es que permite el transporte de información a múltiples usuarios, en el servicio de transmisión "point to multi-point" en el servicio de transmisión.

2.2.19.4. Canales de Control

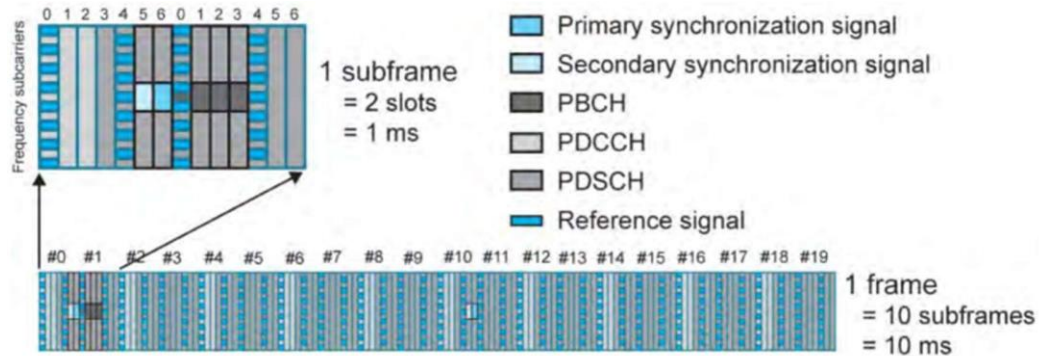
- **Physical Broadcast Channel (PBCH)**, es el canal físico encargado de transportar la MIB (Master Information Block), lo cual corresponde a aquella información primordial de la red. Se transmiten 1920 bits por este canal.
- **Physical Downlink Control Channel (PDCCH)**, el propósito de esta canal es la transmisión de los recursos asignados a los UE's, que se encuentran dentro del enlace descendente. Múltiples PDCCH's son transmitidos en la misma subtrama usando elementos del canal de control, los cuales conforman en grupos de cuatro, los conocidos como grupo de elementos de recursos.

- **Physical Control Format Indicator (PCFICH)**, este canal da la información al UE's sobre la cantidad de símbolos que se van a utilizar para el "Physical Downlink Control Channel".
- **Physical Hybrid ARQ Indicator Channel (PHICH)**, este canal transporta el reconocimiento "hybrid-ARQ", cumpliendo el fin de avisar al UE, si un bloque de transporte debe ser retransmitido o no.

En la Figura 26, se apreciará lo explicado anteriormente usando un ejemplo de enlace descendente:

Figura 26

Ejemplo Enlace Descendente



Nota. Adaptado de *LTE and the Evolution to 4G Wireless*, por Moray Rumney, 2014 (Rumney, 2013).

2.2.20. Enlace Ascendente

El enlace ascendente corresponde a las características más relevantes de las señales físicas, entre el eNodeB hacia el sistema, a su vez que permiten la demodulación, de las señales SC-FDMA, las cuales se transmiten por los diferentes UE's.

2.2.20.1. Señales físicas en el enlace Ascendente

- **Demodulation Reference Signal (DM-RS)**, es utilizado para la sincronización y para poder estimar el canal de enlace ascendente. Se puede tener dos tipos de DMRS, para PUSCH y PUCCH.
- **Sounding Reference Signal (SRS)**, la estación base puede solicitar la transmisión del SRS, esto le permite realizar una evaluación de

características del canal de enlace ascendente con respecto al ancho de banda de los canales arbitrarios.

2.2.20.2. Canales físicos en el enlace Ascendente

Physical Uplink Shared Channel (PUSCH), es el canal físico que se encarga de transportar los datos con respecto al tráfico, se caracteriza por llevar el UL-SCH (Uplink Shared Channel) y UCI (Uplink Control Information).

2.2.20.3. Canales de Control en el enlace Ascendente

- **Physical Uplink Control Channel (PUCCH)**, es el canal que se encuentra encargado de llevar la información de control, estas pueden ser Scheduling Requests, HARQ ACK/NACK, a su vez también el CQI (Channel Quality Indicator). El CQI es la información de la calidad del canal, esto sirve para poder mejorar la distribución de recursos de radio.
- **Physical Random Access Channel (PRACH)**, es el canal de control que comienza la comunicación del UE con el sistema, esto también ha de servir para determinar el tiempo de retardo entre el UE y el eNB.

2.2.20.4. Mecanismo de Avance Temporal (Time Advance)

Con el fin de evitar las interferencias por las transmisiones del enlace ascendente, la solución que se aplica en estos casos corresponde a un intervalo temporal distinto. Para esto se procede a tener un mecanismo de sincronización, el cual, mediante un determinado avance temporal, lo cual tienen como fin principal de alguna forma compensar los retardos que se podrían producir por temas de propagación.

2.2.21. Categorías de Terminales Móviles en LTE

En la Tabla 2 se muestran las categorías que han sido determinadas según el IETF (Internet Engineering Task Force), las cuales serían:

Tabla 2*Capa Física Terminal UE*

Categoría	Enlace Ascendente			Enlace Descendente		
	Número máximo de bits recibidos por TTI	Número máximo de bits transportados por un DL-SCH	Máximo número de antenas transmisoras en el caso de multiplexado espacial	Velocidad de pico (Mb/s)	Número máximo de bits recibidos por TTI	Velocidad de pico (Mb/s)
1	10296	10296	1	10	5160	5
2	51024	51024	2	51	25456	25
3	102048	75376	2	102	51024	51
4	150752	75376	2	150	51024	51
5	299552	149776	4	300	75376	75

Nota. Se toma en cuenta la clasificación mencionada en "Reverse Tunneling for Mobile IP IETF RFC 3024" (The Internet Society, 2001).

2.2.22. Secuencia de Zadoff-Chu

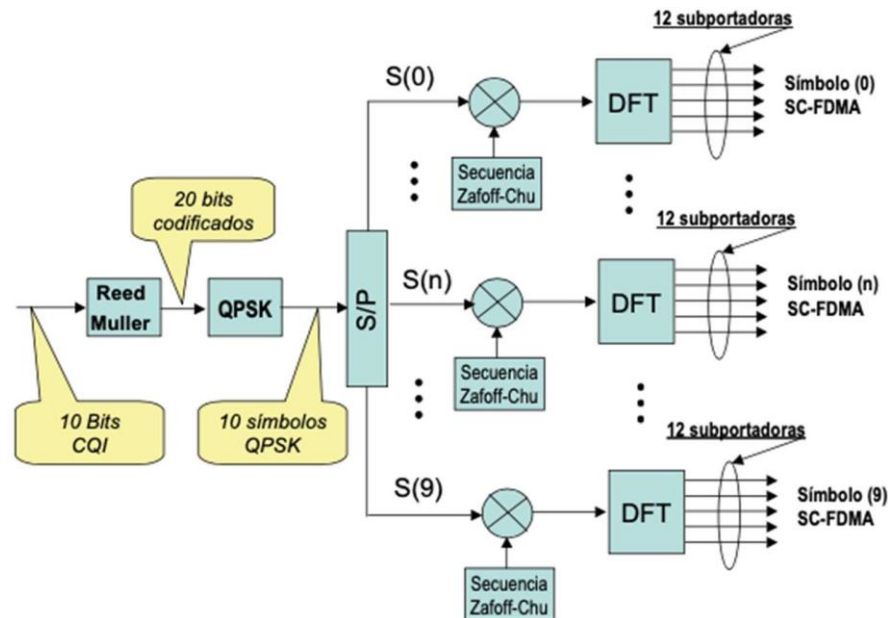
La ecuación 1, corresponde a secuencias de Constant Amplitude Zero Autocorrelation Codes (Agusti, 2014), la cual viene dada por:

$$Z_q(n) = \exp\left[-j\pi \frac{n(n+1)}{N_{ZC}}\right] \quad n = 0, 1, \dots, N_{ZC} - 1 \quad (1)$$

Estas secuencias son utilizadas en la interfaz aire, debido a la correlación cruzada y a su autocorrelación (referido a la ecuación 1). En la Figura 27, se puede apreciar un ejemplo de cómo es utilizada la secuencia de Zadoff-Chu, para el caso de un canal PUCCH:

Figura 27

Ejemplo de Uso de Secuencia de Zadoff-Chu en canal PUCCH



Nota. Adaptado de LTE: Nuevas Tendencias en Comunicaciones Móviles, por Ramon Agusti, 2014 (Agusti, 2014).

2.2.23. High Order Modulation (HOM)

2.2.23.1. Modulación QPSK, 16QAM Y 64QAM

El modulador se encarga en la señal portadora de codificar una secuencia de bits, ajustando los parámetros. En el caso del modulador QPSK toma los bits entrantes de dos en dos, y transmite usando una onda de radio, la cual puede tener cuatro diferentes estados, esto es lo que se conoce como símbolos. Los símbolos son descritos usando dos números, estos podrían corresponder la amplitud y la fase inicial de la onda de radio.

Se puede representar los cuatro símbolos de QPSK mediante el diagrama de constelación. En este tipo de diagrama, la amplitud de la onda transmitida es la distancia entre cada símbolo, y el ángulo indica la fase inicial.

El esquema usado en LTE, consiste en cuatro esquemas de modulación. En cuanto a BPSK envía bits de uno por uno, los cuales se traducen como fase inicial 0° y 180° . En LTE este esquema es usado para un limitado número de flujos de control, pero no es usado para transmisión de datos normales.

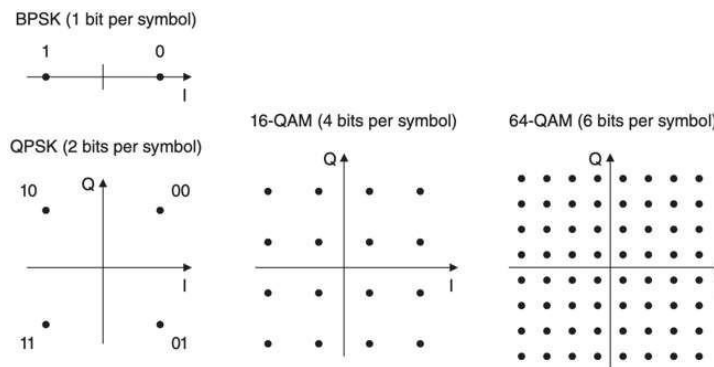
La modulación 16 Quadrature Amplitude Modulation (16-QAM) envía bits en paquetes de cuatro usando 16 símbolos, los cuales tienen distintas amplitudes y fases. De forma parecida, 64-QAM logra enviar seis bits al tiempo, usando 64 símbolos distintos, por lo cual su velocidad se incrementa hasta 6 veces por encima de BPSK.

En el caso de un BPSK un transmisor recibe un flujo de bits de los protocolos de capa superior, hace el cálculo de los símbolos resultantes y realiza la modulación de la señal portadora, al mezclar los símbolos y la portadora.

En la Figura 28, podremos apreciar los esquemas demodulación anteriormente mencionados, así como los diagramas de constelación correspondientes a estos:

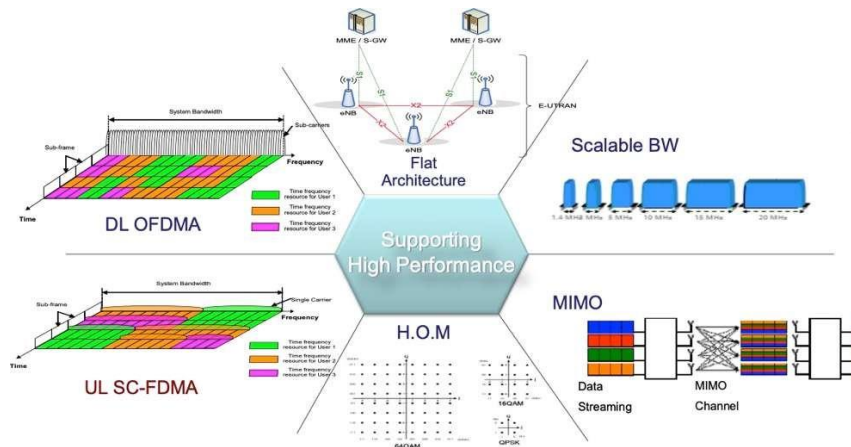
Figura 28

Esquema de Modulación LTE



Nota. Adaptado de *An Introduction to LTE*, por Christopher Cox, 2014 (Cox, 2014).

A su vez en el esquema mostrado en la Figura 29, se podría apreciar un breve resumen de la tecnología LTE, así como de sus componentes que han sido hasta el momento explicados.

Figura 29**Esquema de tecnología LTE**

Nota. Adaptado de *Curso 4G LTE*, por Miguel Angel Sanchez Herrera, 2014 (Sanchez Herrera).

2.2.24. SINR (Signal-to-Interference-plus-Noise-Ratio)

Este parámetro nos ayuda para medir la calidad de la señal que es recibida con respecto a la relación de interferencia y ruido, el cual se encuentra presente en el ambiente. Sus siglas en ingles corresponden a Signal to Interference plus Noise Ratio. Mientras se tiene un mayor índice de SINR, indica una mejor recepción de señal, si este es menor esto puede afectar directamente a la eficacia.

2.2.25. RSRP (Reference Signals Received Power)

El Reference Signal Received Power, es la medida mediante la cual se evalúa la intensidad de la señal recibida, esta se usa para medir el nivel de señal en las redes LTE, el cual es expresado en dBm.

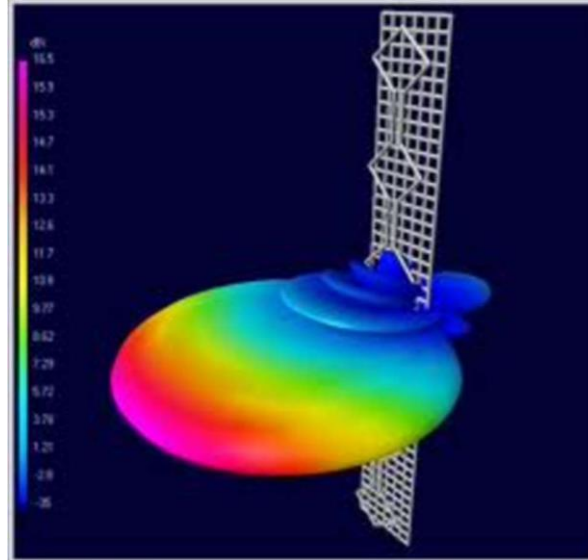
2.2.26. Antena**2.2.26.1. Antenas en Telecomunicaciones**

Las antenas en las telecomunicaciones, son aquellos dispositivos que son usados para radiar y recibir las ondas de radio electromagnéticas, en el transcurso de los tecnologías 2G hasta la actualidad, principalmente se han usado para los enlaces microondas las antenas de tipo parabólico, mientras que para radiar la señal, en las estaciones outdoor se usan antenas de tipo sectorial, mientras que para los casos de estaciones indoor, las antenas que son mayormente utilizadas son omnidireccionales.

Para el proyecto se usarán antenas de tipo sectorial, estas antenas cubren un área determinada entre 60° , 90° o 120° , como se puede apreciar en la Figura 30, con respecto al diagrama de emisión, dependiendo de sus características técnicas. Las antenas sectoriales usan una polaridad de tipo vertical:

Figura 30

Diagrama de Emisión de Antena



Nota. Diagrama de emisión de una antena de telefonía móvil, por Federación Española de Municipios y Provincias, <http://femp.femp.es/files/3580-606-fichero/P.26.pdf> (FEMP, s.f.).

2.2.26.2. Parámetros de la Antena

- **Ganancia:** Vendría a ser la medida de la concentración de energía la cual es radiada en una dirección exacta. Esta se mide en dBi y dBd.
- **Ancho de banda:** Corresponde a la frecuencia en el cual la antena funciona, la relación mientras más grande es el rango de frecuencia, mayor será el ancho de banda de la misma.
- **Ancho del haz:** Viene a ser el ancho en grados del lóbulo principal de la antena, se toma en cuenta la línea central de la antena, de la cual se mide en menos 3 dB.
- **Polarización:** Puede ser horizontal o vertical, vendría a ser la dirección de las ondas electromagnéticas, pueden ser horizontales y verticales (Bernal, 2008).

2.2.27. Simulador Atoll

2.2.27.1. Introducción al Atoll

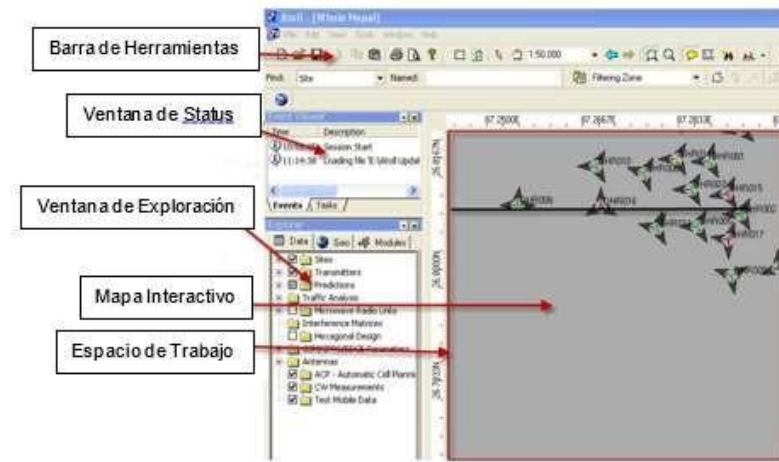
Los simuladores sirven para evaluar las bases teóricas a un escenario virtual, con el fin de revisar, de que forma el diseño u optimización de una red es implementado con el paso del tiempo, estos se han ido perfeccionando al punto que actualmente llegan a recrear en estos incluso el entorno geográfico de los lugares en los que se van a realizar.

Entre estos simuladores el que se ha optado para el presente proyecto es el Atoll de la compañía Forsk, creada en 1998, para la simulación y estudio de optimización de diferentes tipos de redes móviles, esta plataforma nos va a permitir el diseño y optimización de diferentes tecnologías, así como para aquellas que ya han sido implementadas nos ofrecerá un mejor panorama para su optimización.

Entre las principales ventajas que nos ofrece Atoll, como herramienta para las telecomunicaciones, tendremos el manejo de diferentes tipos de tecnologías, ya sea como GSM, UMTS, CDMA, LTE y TD-SCDMA, a su vez también se podrá trabajar en un entorno WiMAX.

En cuanto al tema que abordaremos en la presente tesis, el cual viene siendo 4G Long Term Evolution ofrece uno de los softwares más detallados para trabajar, debido a que esta simulación cuenta con bastantes detalles y propiedades, las cuales recrean en forma casi precisa todo el entorno de una red E-UTRAN.

Esta plataforma se puede trabajar desde Windows, a su vez la interfaz que posee Atoll es muy amigable para la experiencia con el usuario, como podemos apreciar en la Figura 31, lo cual permite un mejor aprovechamiento del potencial de esta herramienta.

Figura 31*Interfaz Atoll de Forsk*

Nota. Adaptado de *Atoll Wireless Network Engineering Software*, por Forsk, 2019 (Forsk, 2019).

Situándonos en el entorno que vamos a trabajar el Atoll ofrece la predicción de un radio de cobertura, realizar una evaluación de datos de los UE que se suscriben móviles y fijos, llegando a dar una evaluación de la capacidad de la red. También se puede seleccionar el tipo de diversidad de la transmisión y la multiplexación (MIMO).

Entre las características importantes de Atoll destaca su capacidad para realizar una continua optimización de la red. Esto indica que se puede usar esta plataforma para una optimización en tiempo real de la red, lo que nos dará como ventaja mejorar la eficiencia en datos y gestionar de manera óptima los recursos de la red. Se eligió Atoll para realizar esta simulación con el fin de contar con una herramienta que pueda ser amigable e intuitiva, y a su vez esto permite que aquellas personas con poca experiencia en redes móviles puedan hacer pleno uso de ella.

2.3. Definición de términos

2.3.1. Red de banda ancha

Corresponde a una red de comunicaciones de alta velocidad, la cual permite la transmisión de datos de forma simultánea, en este caso principalmente nos referimos a LTE (Agusti, 2014).

2.3.2. Estación base celular

Son los equipos que conforman una red 4G, se encarga de dar cobertura a los UE cercanos. Se encarga del tráfico y enrutamiento de las llamadas. A su vez mantiene comunicación entre diferentes estaciones, de forma que proporcionan cobertura y capacidad.

2.3.3. Evolved Node B (eNodeB)

Vendrían a ser las estaciones base que conforman las redes de comunicaciones móviles en LTE, es el puente entre los dispositivos celulares y la EPC, también es el encargado de la asignación de recursos de radio.

2.3.4. Long Term Evolution

Es la evolución de las tecnologías móviles 3G y 4G, es una tecnología flexible, que permite su uso en varias bandas. Esto lo realiza mediante técnicas de modulación y multiplexación de señales, dando pase a que los UE puedan acceder de forma rápida y eficiente (Agusti, 2014).

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Diseño de la investigación

La investigación es de tipo experimental, en la cual haremos una revisión de los requisitos del sistema celular LTE, mediante los cuales se elegirá a partir del diseño, las especificaciones técnicas de los equipos ideales que se van a utilizar. Luego de haber establecido las especificaciones técnicas, se realizará una simulación de diseño, con el fin de seleccionar los módulos y antenas que formaran parte del sistema. Se evaluarán los módulos para poder elegir posibles soluciones, eligiendo la mejor alternativa teniendo en cuenta los criterios técnicos, económicos y sociales.

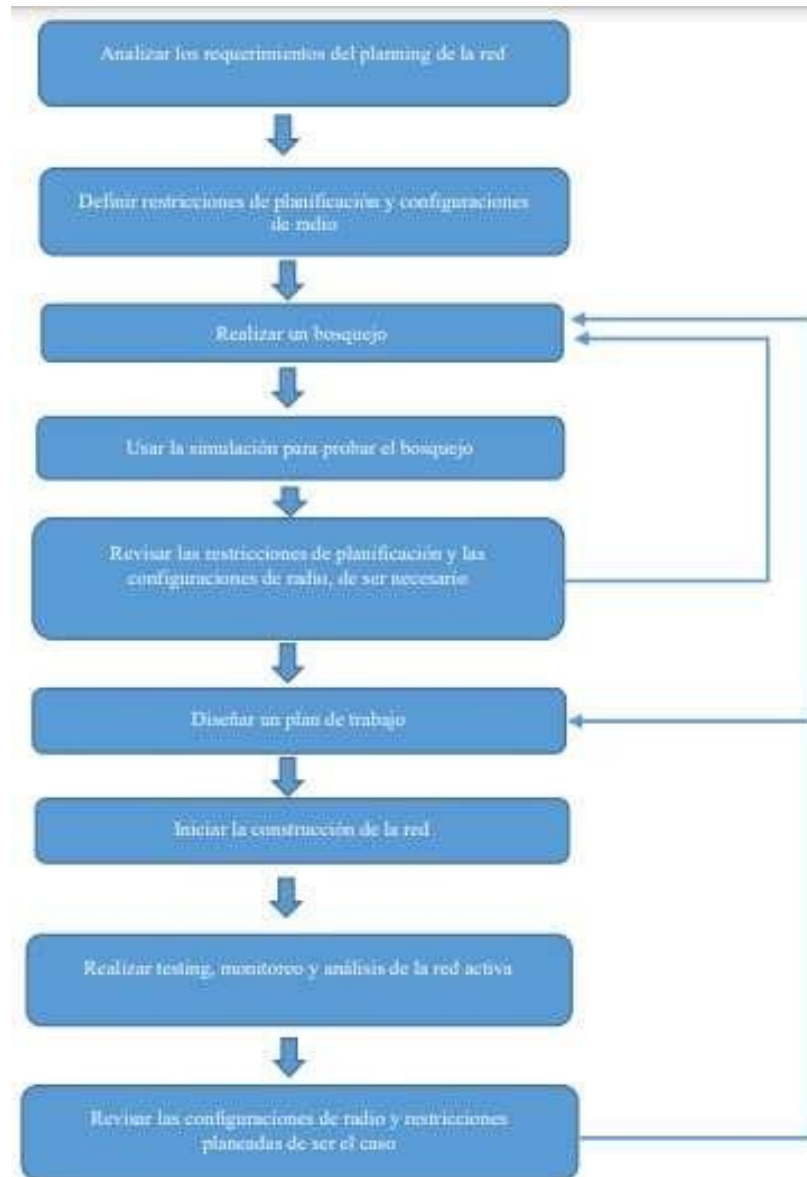
Se aplicará los conocimientos de diseño y cobertura, para poder proponer la solución tecnológica más acorde para cada uno de los módulos. Mediante la simulación de diseño se verifica el cumplimiento de las especificaciones técnicas establecidas inicialmente.

3.2. Acciones y actividades

3.2.1. Diseño de la red

En la Figura 32 se observa los pasos del diseño de red, intentaremos cubrir en su mayoría tanto el tema de la infraestructura de los sitios, así como la infraestructura de comunicaciones del Core para los mismos. Esto con el fin de lograr cubrir todos los aspectos, como si de una actividad turnkey contract, se tratará. Por lo cual con este fin usaremos como base las consideraciones estipuladas para el planning LTE (Wray Castle Limited, 2009).

. El cual se podrá observar en el siguiente diagrama de flujo:

Figura 32*Diagrama de Flujo Diseño de la Red*

3.2.2. Requerimientos de diseño

Para el diseño de la presente tesis, se está tomando en cuenta, que la comunidad campesina es un área rural por lo que, en los cálculos realizados, se tendrá presente esta variable de manera muy constante, siendo así se ha elegido trabajar con la banda LTE700 (28), la cual según el estándar 3GPP TS.36.101 (3rd Generation Partnership, 2021), tendría las características mostradas en la Tabla 3:

Tabla 3

Basado en el Esquema de modulación y codificación del 3GPP

E-UTRA Operating Band	Uplink (UL) operating band			Downlink (DL) operating band			Duplex Mode
	BS receive UE transmit			BS transmit UE receive			
	F_{UL_low}	-	F_{UL_high}	F_{DL_low}	-	F_{DL_high}	
28	703 MHz	-	748 MHz	758 MHz	-	803 MHz	FDD

Nota. Estandarización establecida por el organismo 3GPP, "CR for 38.101-1:to introduce UE RF requeriments for adding wider channel bandwidth in band n28" (3erd Generation Partnership, 2020).

Por lo cual se tendría que aplicar la fórmula expuesta en la ecuación 2 para la frecuencia de uplink, mientras que la ecuación 3 corresponde al downlink, estas ecuaciones fueron indicadas por el 3GPP (3rd Generation Partnership, 2021), mencionado anteriormente para determinar el EARFCN (E-UTRA Absolute Radio Frequency Channel) que se va a usar:

$$F_{UL} = F_{UL_low} + 0,1 (N_{UL} - N_{offs-}) \quad (2)$$

$$F_{DL} = F_{UL_low} + 0,1 (N_{DL} - N_{offs-}) \quad (3)$$

Teniendo en cuenta la ecuación 2 y ecuación 3, acorde a la estandarización 3GPP, se tendría que para la Banda 28, los valores serían:

F_{DL_LOW} : 703 MHz (The lowest frequency of the downlink operating band)

F_{UL_LOW} : 758 MHz (The lowest frequency of the uplink operating band)

$N_{OFFS-DL}$: 9210 (Offset used for calculating downlink EARFCN)

$N_{OFFS-UL}$: 27210 (Offset used for calculating uplink EARFCN)

Bajo estos indicadores, se tendrían los siguientes rangos (3erd Generation Partnership, 2020), que se muestran en la Tabla 4:

Tabla 4

Rangos EARFCN

E-UTRA Band	F_{DL_low} (MHz)	$N_{Offs-DL}$	N_{DL} Range	F_{UL_low} (MHz)	$N_{Offs-UL}$	N_{UL} Range
28	758	9210	9210- 9659	703	27210	27210- 27659

Nota. Estandarización establecida por el organismo 3GPP, "CR for 38.101-1:to introduce UE RF requeriments for adding wider channel bandwidth in band n28" (3erd Generation Partnership, 2020).

En el caso de la red que vamos a usar, va a asociarse a un operador existente, en el presente proyecto sería América Móviles Perú S.A.C. (Nombre Comercial “Claro”), el cual usa un EARFCN de 9435, por consiguiente, la fórmula de downlink y uplink sería:

$$F_{DL} = 758 \text{ MHz} + 0,1 (9435 - 9210)$$

$$F_{DL} = 758 \text{ MHz} + 0,1 (225)$$

$$F_{DL} = 758 \text{ MHz} + 22,5$$

$$F_{DL} = 780,5 \text{ MHz}$$

$$F_{UL} = 703 \text{ MHz} + 0,1 (27435 - 27210)$$

$$F_{UL} = 703 \text{ MHz} + 0,1 (225)$$

$$F_{UL} = 703 \text{ MHz} + 22,5$$

$$F_{UL} = 725,5 \text{ MHz}$$

La banda 28, usa el Modo de Duplexación FDD, según los estándares 3GPP (3rd Generation Partnership, 2021). Esta banda nos permite el uso de Bandwidth de forma independiente, para lo que se tendrá la recomendación del 3GPP, que se muestra en la Tabla 5:

Tabla 5

Bandwidth de los canales para cada banda NR

NR Band	SCS kHz	NR band / SCS / UE Channel bandwidth												
		5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz	25 MHz	30 MHz	40 MHz	50 MHz	60 MHz	70 MHz	80 MHz	90 MHz	100 MHz
n28	15	Si	Si	Si	Si		Si							
	30		Si	Si	Si		Si							
	60													

Nota. Estandarización de bandwidth según 3GPP “CR for 38.101-1:to introduce UE RF requirements for adding wider channel bandwidth in band n28” (3rd Generation Partnership, 2020)

El ancho de banda (Bandwidth) para el estudio que se está realizando será de 15 MHz, por lo cual sería 75 PRBs, esto se debe a que cuando se realiza la división de cuantos PRBs hay en 15 MHz, se deben dejar unas frecuencias de guarda para evitar interferencias, esta relación se puede apreciar en la Tabla 6:

Tabla 6*Relación PRBs/Canalización en LTE*

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

Nota. La relación establecida de PRBs/Canalización, se debe a los resource block utilizados (Rumney, 2013).

En la tabla mencionada corresponde a la relación que existe entre PRBs y subportadoras disponibles, por lo cual teniendo esto en cuenta se puede indicar que las subportadoras son 12+1 el número de PRBs, siendo una de estas la subportadora central, la cual es la encargada de transmitir la información y permite simplificar procesos de ajuste y sincronización.

Para el esquema de modulación en LTE podremos usar los siguientes: QPSK, 16QAM, 64QAM. Se logrará un aumento en la relación bits/símbolo, esto se debe a que estos esquemas utilizan una mayor cantidad de símbolos, esta mejora se observa en el aprovechamiento del canal en el espectro radioelectrico de diferentes formas dependiendo su estado y los requerimientos de Quality of Service (QoS) que tengan los distintos servicios.

En los diagramas de constelación, se puede observar que la fase de la onda corresponde a la longitud de puntos de distintos cuadrantes, mientras que la amplitud de la onda corresponde a la longitud entre cada símbolo y el punto de origen. Cada XQAM hace posible la modulación, ya sea en fase como en amplitud. Esto se puede apreciar en la Tabla 7:

Tabla 7*Esquema de modulación usados en LTE*

Modulación	QPSK	16QAM	64QAM
Número de vectores	4	16	64
Número de amplitudes	1	3	9
Número de fases	4	12	52
Número de Bits por símbolo	2	4	6

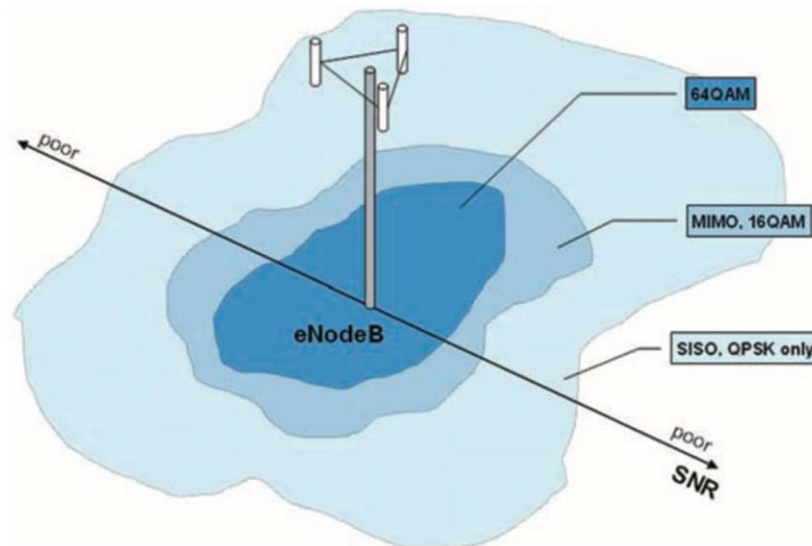
Nota. Se toma de referencia lo indicado en "LTE, WiMAX and WLAN Network Design, Optimization and Performance Analysis" (Korowajczuk, 2011).

La eficiencia espectral, se incrementa según el esquema de modulación que se aplica, pero esto conlleva a un mayor número de requisitos SNR, como ejemplo se puede observar el esquema mostrado en la Figura 33 correspondería al enlace mencionada anteriormente, lo cual se debe a la relación de a mayor número de

símbolos, se tendrá mayor probabilidad de error en la demodulación, esto adquiere el nombre de BER (Bit Error Ratio), también se puede definir el BER, como la asociación entre bit errados y bits transmitidos.

Figura 33

Esquema de modulación utilizado con respecto al SNR



Nota. Adaptado de *LTE (Long Term Evolution) El siguiente nivel*, por Rohde & Schwarz, 2010 (Schwarz, 2010).

Para reducir estos errores, juega un papel muy importante el MIMO, reduciendo los errores que se presentan con respecto a la transmisión, logrando elevar la tasa de transferencia (Maltez Rodriguez, 2019) . El esquema de modulación que se aplicará para el presente proyecto será de 64 QAM, según la estandarización 3GPP, indicada en la Tabla 8:

Tabla 8

Resumen MCS para Banda 28

MCS index	Spatial streams	Modulation type	Coding rate	Data rate (Mbit/s)			
				20 MHz channel		40 MHz channel	
				800 ns GI	400 ns GI	800 ns GI	400 ns GI
28	4	64-QAM	3/4	156	173,2	324	360

Nota. Son las principales características del Modulation and Coding Scheme (MCS) (Panagiotis Vouzis, 2020).

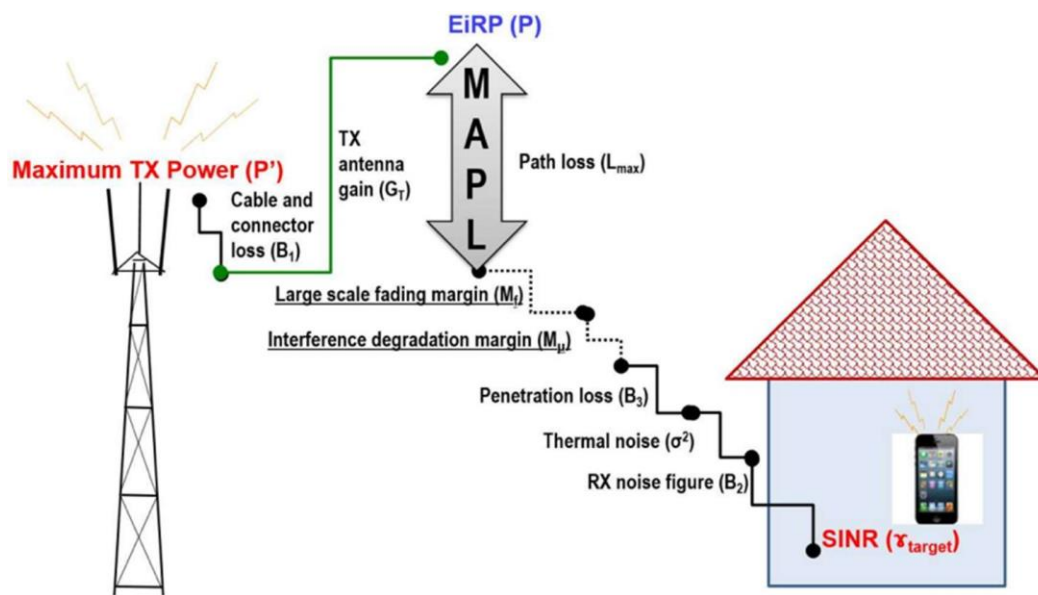
3.2.3. Planeación de Cobertura

La calidad y cobertura son factores importantes, por lo cual la planificación busca como objetivo buscar un balance de calidad, capacidad, cobertura y costo. Estos factores son muy importantes, debido a que, alterando este equilibrio, se afectaría directamente la cobertura y la cantidad de estaciones.

En la planeación estimaremos cuantos sitios serán necesarios para poder dar la cobertura óptima para la localidad campesina. Como primer paso se debe realizar el cálculo del Link Budget, el molde para este cálculo se aprecia en la Figura 34, el cual nos dará un aproximado de la atenuación entre el UE y el eNodeB. Para este cálculo se tendrá como base una cobertura tradicional.

Figura 34

Molde Radio Link Budget



Nota. Adaptado de *Tutorial on LTE/LTE-A Cellular Network Dimensioning using Iterative Statistical Analysis*, por Zaher Dawy, 2016 (Mona Jaber, 2016).

En la imagen se observa MAPL, que corresponde a la pérdida máxima de ruta permitida, el cual es el valor proporcionado luego del cálculo del link budget. Con la información recolectada podremos ir estableciendo los parámetros básicos, observados en la Tabla 9:

Tabla 9

Tabla de parámetros básicos del sistema

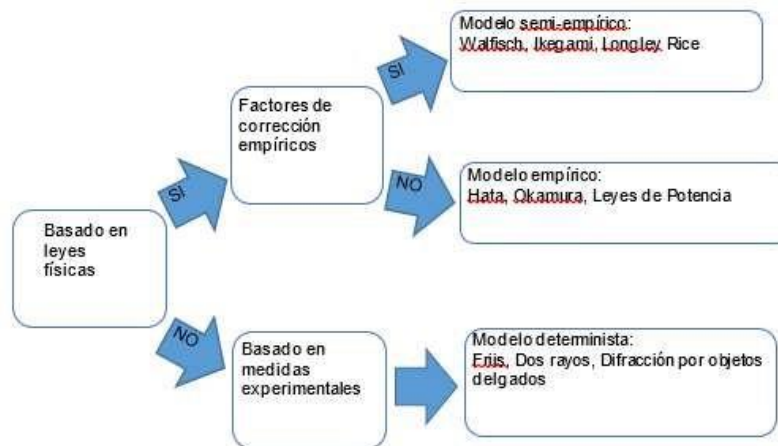
Parámetros del Sistema	
Modo	FDD
Frecuencia	700 MHz Banda 28
Ancho de Banda	15 MHz
Resource Block	75
Altura de la antena base	20 m
Altura de la antena móvil	1,2 m
Shadow Fading	6
Penetration Loss	8

3.2.4. Modelo de Propagación

En la Figura 35 se pueden apreciar los modelos de propagación, estos modelos sirven para mostrar en un ambiente específico una proyección de radio, usando ya sea matemáticas, fórmulas y algoritmos. Estos modelos se han clasificado en teóricos o determinísticos, empíricos o estadísticos. Cuando se habla de modelos empíricos, como su nombre hace referencia estamos indicando modelos que su principal fuente son las mediciones realizadas, mientras que para el caso de los teóricos su fuente son los principios de fenómenos de propagación.

Figura 35

Modelos de Propagación



Nota. Adaptado de *Despliegue de una red LTE en una zona rural al sureste de Madrid*, por Teresa Tellez, 2013 (García, 2013).

Dentro de los modelos de propagación una de las consideraciones principales son ambientes de propagación, área de cobertura y origen de los datos, dentro de los

cuales en el área de cobertura comprenden las Micro celdas y Macro celdas, siendo el caso de estudio un área rural, por lo que trabajaremos con las macroceldas, las que cuentan con un radio de alcance de la celda de 1 a 30 Km. Estas celdas tienen la característica que utilizan equipos outdoor y son ubicadas por encima del nivel de los techos de edificios aledaños.

3.2.5. Modelo Propagación Okumura-Hata

Este modelo está considerado dentro de aquellos que son empíricos, es utilizado para ambientes específicos, como se observan en la Tabla 10. En esta se deben cumplir las siguientes características para el uso del modelo:

Tabla 10

Restricciones del modelo Okumura-Hata

Frecuencia	150 MHz < f_c < 1500 MHz
Altura de la antena base	20 m. < h_b < 200 m.
Altura de la UE	1 m. < h_m < 10 m.
Distancia del UE a eNodeB	1 Km. < d < 20 Km.

Nota. Los parámetros corregidos del modelo por M. Hata en 1980 (Xirio, s.f.)

La ecuación 4, nos permitirá establecer el Path Loss (*Deme, 2013*), lo cual ha de ser:

$$L_p = 69,55 + 26,16 \log_{10}(f_c) - 13,82 \log_{10}(h_b) - a(h_m) + (44,9 - 6,55 \log_{10}(h_b)) * \log_{10}(d) \quad (4)$$

Usando la ecuación 4 como base, tendríamos lo siguiente:

$$L_p = 69,55 + 26,16 \log_{10}(700) - 13,82 \log_{10}(20) - (-0,722823529) + (44,9 - 6,55 \log_{10}(20)) * \log_{10}(1)$$

$$L_p = 69,55 + 74,42776473 - 17,98023454 - (-0,722823529) + 0$$

$$L_p = 126,72 \text{ dB}$$

La ecuación 5, es utilizada para los escenarios de ciudades pequeñas (*Deme, 2013*), se tendrá en cuenta lo siguiente:

$$a(h_r) = (1,1 \log_{10}(f_c) - 0,7) * h_m - (1,56 \log_{10}(f_c) - 0,8) \text{ dB} \quad (5)$$

Debido a que el estudio realizado sirve para determinar Path Loss en zona rural, debemos utilizar la Ecuación 5, para determinar las pérdidas adicionales:

$$a_{(hr)} = (1,1 \log_{10}(700) - 0,7) * (1,2) - (1,56 \log_{10}(700) - 0,8)$$

$$a_{(hr)} = 2,915529413 - 3,638352942$$

$$a_{(hr)} = -0,722823529$$

Una vez establecida las ecuaciones correspondientes para completar el cálculo de Path Loss urbano, podemos establecer debido a la Ecuación 6 (Deme, 2013) el escenario rural:

$$L_{pr} = L_p(\text{urbano}) - 4,78(\log_{10}f_c)^2 + 18,33\log_{10}f_c - 40,94 \text{ dB} \quad (6)$$

Se debe de tomar en cuenta la Ecuación 6, debido a que el caso de investigación corresponde a una comunidad campesina, por lo que el escenario sería rural:

$$L_p = 126,72 - 38,69 + 52,15 - 40,94 \text{ dB}$$

$$L_p = 99,24 \text{ dB}$$

Donde:

L_p : Pérdidas de espacio libre

f_c : frecuencia en MHz

h_b : Altura de la estación

h_m : Altura de UE

d : Distancia entre UE y eNodeB (en Km, para efecto del diseño es 1)

$a(h_m)$: Factor de corrección de altitud UE (Mawjoud, 2013)

3.2.6. Potencia de Transmisor eNodeB

Para el presente caso, el valor de la potencia del transmisor depende de los equipos que se usaran, por lo cual, para las RRU3268, este valor es de 43 dBm. En la Tabla 11 se verán las especificaciones del fabricante:

Tabla 11*Especificaciones Técnicas de Potencia RRU3268*

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 1: 5,10
	carrier 2: 2 x 27	carrier 2: 10, 20

Nota. Datasheet de Huawei para equipo Radio Remote Unit (Huawei Technologies Co., 2014).

Se ha tomado este valor como base teniendo en cuenta una futura expansión, y con la consideración de que el terreno donde se instalaran las estaciones base corresponde a un emplazamiento geográfico accidentado.

3.2.7. Link Budget (Presupuesto del Enlace)

Con los datos determinados previamente procedemos a realizar el cálculo del Link Budget teniendo en cuenta la Tabla 12 para el downlink, y las ecuaciones correspondientes:

Tabla 12*Link Budget para el Downlink*

Link Budget para el Downlink		
Parámetros	Valores	Fuente o Ecuación
1 Potencia de Transmisión de la Antena	43 dBm	Valor recomendado por el vendedor
2 Ganancia de la antena	15,8 dBi	Valor aparece en el datasheet
3 Cable Loss + Connector Loss	4 dB	Valores de diseño entre 1-6 dB
4 EIRP (Effective Isotropic Radiated Power)	54,8 dB	$1^{\circ}+2^{\circ}\cdot 3^{\circ}$
5 UE RF Noise Figure	7 dB	Valores de diseño entre 6-11 dB
6 Thermal Noise	-102,21 dBm	"K(Boltzmann constant)*T(290K)*Bw(15Mhz)"
7 Receiver Noise Floor	-95,21 dB	$5^{\circ}+6^{\circ}$
8 SINR (Signal to Interference plus Noise Ratio)	8 dB	Valor recomendado por el vendedor
9 Sensibilidad del Receptor	-87,21dBm	$7^{\circ}+8^{\circ}$
10 Shadow Fading	6 dB	Valor recomendado por el vendedor
11 Penetration Loss	8 dB	Valor recomendado por el vendedor
12 MHA (Minimum Detectable Signal at the Antenna)	2 dBm	Constante de diseño

Mientras que la Tabla 13 corresponde a la información recopilada para el uplink, y sus ecuaciones correspondientes:

Tabla 13

Link Budget para el Uplink

Link Budget para el Uplink		
Parámetros	Valores	Fuente o Ecuación
1 Potencia de Transmisión	23 dBm	Valor recomendado por el vendedor
2 Ganancia de la antena	0	Valor recomendado por estándar 3GPP
3 Body Loss	0	Valor recomendado de diseño
4 EIRP (Effective Isotropic Radiated Power)	23 dB	$1^{\circ}+2^{\circ}-3^{\circ}$
5 NodeB Noise Figure	2,2 dB	Valores de diseño
6 Thermal Noise	-102,21 dBm	"K(Boltzmann constant)*T(290 K)*Bw(15 Mhz)"
7 Receiver Noise Floor SINR (Signal to Interference plus Noise Ratio)	-100,01 dB	$5^{\circ}+6^{\circ}$
8 Sensibilidad del Receptor	-89,01 dBm	$7^{\circ}+8^{\circ}$
9 Shadow Fading	6 dB	Valor recomendado por el vendedor
10 Penetration Loss	8 dB	Valor recomendado por el vendedor
11 Ganancia de la antena transmisora	15,8 dBi	Valor aparece en el datasheet

El objetivo de este cálculo es el de determinar el MAPL, el cual vendría a ser la mayor pérdida presente en el trayecto, ya sea por uplink o downlink. Esto para poder ingresarlos al simulador Atoll y en los modelos de propagación que se utilizarán para el diseño. Por lo cual, tomando para el diseño los valores asignados en las tablas de la parte superior, se podrá completar la ecuación 7, la cual corresponde al Downlink del MAPL (Agusti, 2014), para el cálculo del link budget en downlink (Maltez Rodriguez, 2019):

$$DLMAPL = EIRP - SRX + Ga + MHA - Shadow Fading - Penetration Loss \quad (7)$$

Con la ecuación 7, podremos determinar la mayor pérdida en el trayecto para nuestra investigación, la cual sería:

$$DLMAPL = 54,8 - (-87,21) + 15,8 + 2 - 6 - 8$$

$$DLMAPL = 145,81 \text{ dB}$$

Mientras que la ecuación 8, se utiliza para el caso del uplink, por lo cual tendríamos la siguiente (Maltez Rodriguez, 2019):

$$MAPL = EIRP - SRX + G_a ATx - \text{Penetration Loss} - \text{Shadow Fading} \quad (8)$$

Según lo indicado en la ecuación 8, procedemos a sustituir para el caso del uplink:

$$\begin{aligned} MAPL &= 23 - (-89,01) + 15,8 - 8 - 6 \\ MAPL &= 113,81 \text{ dB} \end{aligned}$$

3.2.8. Cálculo de Throughput

Este cálculo se realiza con el fin de poder establecer la utilización del canal destinado para la data. Para el enlace descendente se obtendría de la siguiente forma:

Planeamiento del sistema:

Modulación = 64QAM

Antena = 2T2R MIMO

Banda = 15 MHz (75 PRB y 900 subcarriers existen en 15 MHz)

- El número de bits en un Physical Resource Block son los símbolos por subportadora, por bit, ($12 \cdot 7 \cdot 6$), de lo cual se tendría 504 bits (0,5 ms).
- Mínimo scheduling for user es igual a 504 bits (0,5 ms) más 504 bits (0,5 ms), esto por lo cual son 1008 bits per ms.
- El número de bits en toda la banda sería el número de PRBS por los bits por usuario, de lo cual se tendría que $75 \cdot 1008 = 75600$ bits per-ms.
- La transmisión elegida es de 2T2R MIMO, por lo cual se tendría $2 \cdot 75600 = 151200$ bits per-ms para dos transmisiones.
- Teniendo de referencia otros canales que normalmente ocupan el 25% de todos los recursos 113400 bits per-ms = 113,4 mbps.

El cálculo que se realizará a continuación corresponde al enlace ascendente, teniendo en cuenta lo siguiente:

Planeamiento del sistema:

Modulación = 16QAM (4 bits per-Resource Element, la mayoría de los terminales soportan un máximo de 16QAM)

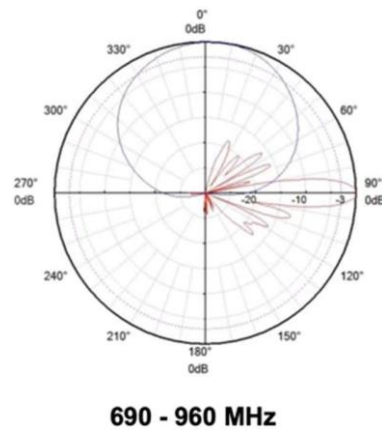
Antena = 1T1R SISO

Banda = 15 MHz (75 PRB y 900 subcarriers existen en 15 MHz)

- El número de bits en un Physical Resource Block son los símbolos por subportadora, por bit, por lo cual se tendría de la siguiente forma $12 \times 7 \times 4$, de lo cual se tendría 336 bits (0,5 ms).
- Mínimo scheduling for user es igual a 336 bits (0,5 ms) más 336 bits (0,5 ms), esto por lo cual son 672 bits per ms.
- Por lo cual, el número de bits en toda la banda sería el número de PRBS por los bits por usuario, de lo cual se tendría que $75 \times 672 = 50400$ bits per ms.
- La transmisión elegida es de 1T1R SISO, por lo cual se tendría $1 \times 50400 = 50400$ bits per-ms para una transmisión.
- Teniendo de referencia otros canales que normalmente ocupan el 25% de todos los recursos 37800 bits per-ms = 37,8 mbps.

3.2.9. Antena a utilizar

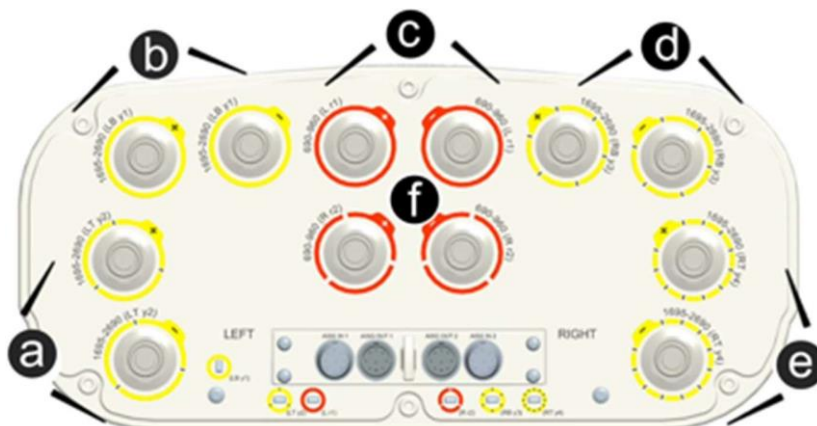
Para el presente proyecto se utilizará el modelo de antena ASI4518R10v06 de la marca Huawei, en la Figura 36 observaremos el lóbulo de la antena sectorial, el cual tiene las siguientes características:

Figura 36*Lóbulo de Antena*

Nota. Adaptado de *Antenna Specifications*, por Huawei Technologies, 2016 (Huawei, 2016).

La cual es una antena de tipo hexa-banda, contiene el ret-kit o kit de inclinación de forma integrada AISG 2.0/3GPP, el rango de frecuencia es de 690-803 MHz, la polarización corresponde a $+45^\circ$, -45° , con un tilt de 0-10.

En la Figura 37, se observan 6 puertos para conexión en la parte inferior, de los cuales se utilizará el puerto C, para la conexión de LTE700. Son antenas de tipo sectorial.

Figura 37*Parte inferior de Antena*

Nota. Adaptado de *Antenna Specifications*, por Huawei Technologies, 2016 (Huawei, 2016).

En la Tabla 14, se observarán las especificaciones presentes en el datasheet, con respecto a las siguientes características físicas:

Tabla 14

Características de la Antena

Características Físicas	
Dimensionamiento (Altura x Peso x Profundidad) (mm)	2769 x 429 x
Peso de la Antena	45,6 Kg
Material	Fiberglass
Temperatura Operacional	-40<x<65
Conector	12 x 4,3-10 Female

Nota. Datasheet de antena ASI4518R10v06 (Huawei, 2016)

3.3. Materiales y/o Instrumentos

En esta sección veremos los equipos utilizados para las visitas de campo, tanto para el diseño, como a su vez una propuesta de equipos que pueden ser utilizados, para la implementación de la presente tesis. Estos últimos teniendo en cuenta cuales son los utilizados por parte de América Móvil para sitios nuevos.

3.3.1. Hardware

- Ordenador para programación: HP Laptop, modelo: 15-ef1019la, procesador: AMD Ryzen 5 (serie 4000), memoria Instalada: 8 Gb, tipo de Sistema: Windows 10 Home x64.
- Equipo Móvil con LTE: Samsung Galaxy A22.
- Cámara Canon T-5 Rebel XLR.

3.3.2. Software

- Sistema Operativo Windows 10
- Google Earth
- G-NetTrack lite

- ChecatuCaso (Aplicativo Osiptel)
- G-NetTilt
- SpeedTest
- Atoll para simulación de enlace (Simulador de enlaces estación - móvil)

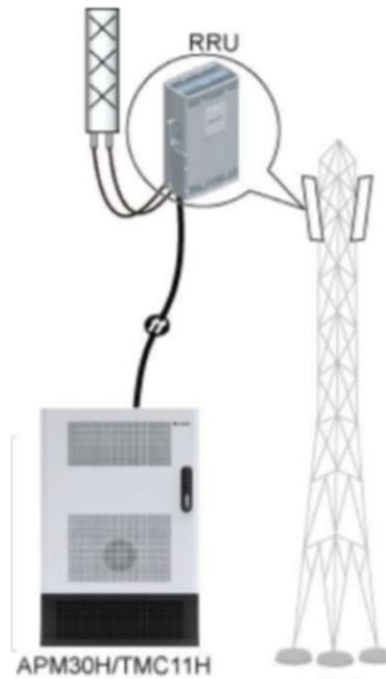
3.3.3. Dispositivos Usados en la Tecnología LTE

Para el presente caso de tesis, el equipo a utilizar en las estaciones base será la BBU3900 de Huawei. La cual se incorpora dentro de la solución DBS3900, de este fabricante.

La solución DBS3900, que corresponde a la infraestructura física, es parte del concepto de SBTS, este se encuentra conformado por los módulos BBU y RRU. En cuanto a esta solución, está incluida también en el concepto de SRAN, que son aquellos equipos que cuentan con la capacidad de gestionar varias tecnologías en un mismo equipo, debido a lo cual se tiene una solución práctica y compacta.

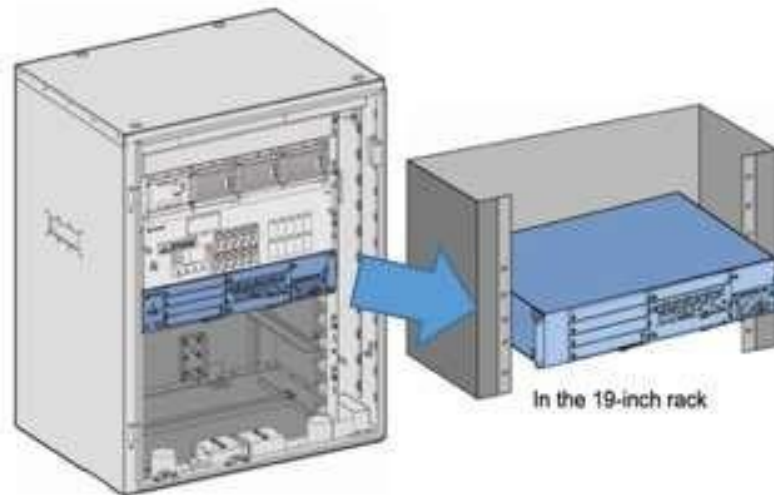
Al ser esta solución compacta, permite que el gasto de consumo de energía sea menor, así como el despliegue e instalación de los módulos. La distribución de los mismos conlleva a una reducción en los costos de construcción, por lo que se consigue una reducción en los gastos operativos, que están directamente relacionados con la adquisición del sitio.

En la Figura 38 la radio base DBS3900, está compuesta por una BBU3900 (Baseband unit) adosada a un mástil con solución outdoor y una RRU3268.

Figura 38*Modelo Estación Base DBS3900*

Nota. Adaptado de Huawei DBS3900 Distributed Base Stations - exquisitely 'distributing' radio access, por Huawei Technologies, 2022 (Huawei, 2022).

En el esquema propuesto la BBU3900, se encuentra instalado en un cabinet mini shelter el cual es el modelo APM30, el cual se observa su distribución en la Figura 39, para una solución outdoor, consta de un rack interior de 48 cm. El APM30 también provee un espacio para la instalación del equipo de transmisión por fibra, este gabinete da la protección necesaria a los equipos de la intemperie. Esto se logra debido a que luego de la instalación, los orificios de ingreso de la energía y fibra proceden a ser sellados con espuma de poliuretano.

Figura 39*Diseño del shelter APM30*

Nota. Adaptado de *Installation Guide*, por Huawei Technologies, 2011 (Huawei Technologies Co., Ltd. , 2011).

3.3.3.1. BBU3900

El equipo BBU3900 cuenta con una distribución de 8 slot para ingresar las tarjetas correspondientes a cada tecnología, este equipo forma parte de las soluciones SRAN (SingleRAN), el cual corresponde a soluciones que permiten el trabajo de diferentes tecnologías dentro de un mismo equipamiento, en este equipo hemos de ingresar la tarjeta asociada a la tecnología LTE.

Mientras que, para el caso de las RRU, éstas se deben instalar lo más cercano posible a las antenas, ya que son equipos de tipo outdoor. La comunicación entre la BBU y la RRU se realiza mediante una fibra multimodo, la cual es conectada mediante un transceiver de 3 Gbps a cada extremo.

Para el caso de las BBU es necesario tener en cuenta la siguiente configuración de las tarjetas para la tecnología LTE:

- **LMPT (LTE Main Processing and Transmision Unit)**, es quien se encarga de los procesos principales y el direccionamiento de la transmisión en el nodo, por la cual se tienen los accesos a E-UTRAN, para los procesos de O&M. Además, es encargada del sincronismo y la señalización de la BBU.
- **LBBP (LTE Baseband Processing Unit)**, esta tarjeta es la encargada del procesamiento de la señal de la baseband, a su vez que también

mantiene comunicación directa con las RRU, esta comunicación se realiza mediante los 6 puertos de fibra que posee la tarjeta.

- **UPEU (Universal Power & Environment Interface Unit)**, esta interfaz corresponde a la encargada de la energía en la BBU, se conecta a la DCDU para proveer de 12 VDC a las tarjetas conectadas, realizando la conversión de los -48 VDC, que provienen del DCDU a 12 VDC. También se encarga del monitoreo de las alarmas externas, mediante dos puertos RJ45.
- **Módulo de Ventilación FAN**, es el módulo encargado de la refrigeración del equipo, controla la velocidad de giro del ventilador y permite disminuir el descenso del calor en la BBU. Brinda reportes en periodos de tiempo determinados, sobre el estado del ventilador.

3.3.3.2. RRU3268

La Radio Remote Unit (RRU), que se utilizarán en las estaciones es el modelo 3268, esto se puede observar en la Tabla 15 que corresponde a las especificaciones para este equipo, el cual sirve para la banda de 700 MHz, este realiza funciones de modulación/demodulación de señales RF y las que provienen de la BBU. Físicamente la instalación de la RRU se realiza cerca de las antenas, esto con el fin de reducir la pérdida en el cable RF, para el caso del proyecto se usarán latiguillos de cable coaxial de ½", de 1,5 metros, instalados en la parte posterior de la antena, en el mismo soporte.

Tabla 15

Especificaciones Técnicas de Frecuencia RRU3268

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 A: 758 to 798
	Band B: 718 to 748	Band B: 773 to 803
DD 800 (band 20)	832 to 862	791 to 821

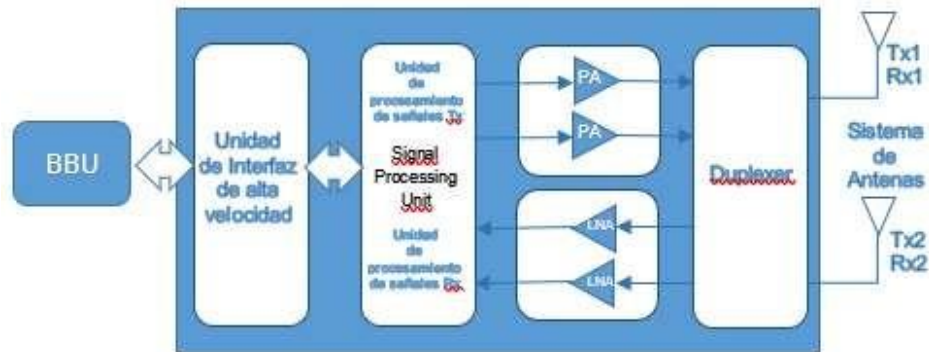
Nota. Datasheet de RRU3268 (Huawei Technologies Co., 2014).

Cada RRU cuenta con salidas para cable coaxial y para fibras, esta última se conectará a la BBU, el enlace ascendente proveerá información de la BBU, mientras que en el enlace ascendente se comparte información de la RRU a la BBU. Esta unidad es energizada con -48 VDC, desde el PDU. Esto se instala en la parte superior de la torre, así como también un cable para el GND, el cual debe ser identificado con los

colores verde y amarillo, de no menor a 16 mm². En la Figura 40, mediante un diagrama de bloques se observa la estructura lógica de una RRU.

Figura 40

Estructura lógica RRU3268



Nota. Adaptado de *Installation Guide*, por Huawei Technologies, 2011 (Huawei Technologies Co., Ltd. , 2011).

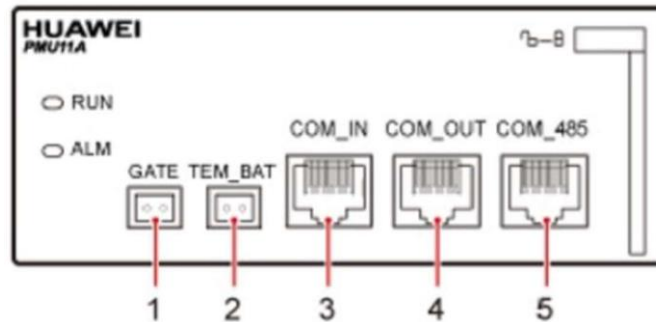
3.3.3.3. Alimentación de Equipos Solución DBS3900

Como se ha podido apreciar en las especificaciones técnicas, los equipos BBU y RRU funcionan con -48 VDC, por lo cual para poder alimentarlos es necesario contar con un rectificador, para convertir 220 AC a -48 VDC, el cual estará conformado por los siguientes módulos: PMU 11A, R4850G, DCDCU. A su vez para soporte de energía, debe contar con un banco de baterías, el cual se ha de gestionar con el PMU (Power Management Unit):

- **PMU 11A**, es la tarjeta controladora del rectificador, esta se observa en la Figura 41, es el procesador que se encarga de gestionar los rectificadores. Así como las alarmas correspondientes a energía y realizar el switch con el conjunto de baterías, cuando se producen los cortes de energía.

Figura 41

Conexiones PMU 11A

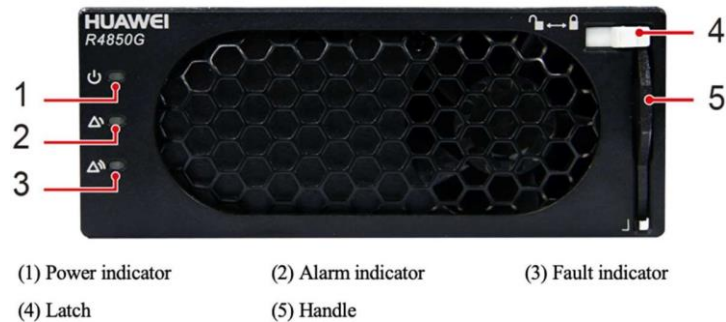


Nota. Adaptado de *BTS3900C Hardware Description*, por Huawei Technologies, 2013 (Huawei Technologies Co., Ltd., 2013).

- **R4850G**, corresponde a los rectificadores que se observan en la Figura 42, los cuales se encargan de realizar la conversión de 220~240 VAC a -48 VDC, este modelo es instalado dentro del APM30, los cuales a su vez son gestionados por el PMU.

Figura 42

Vista frontal del R4850G

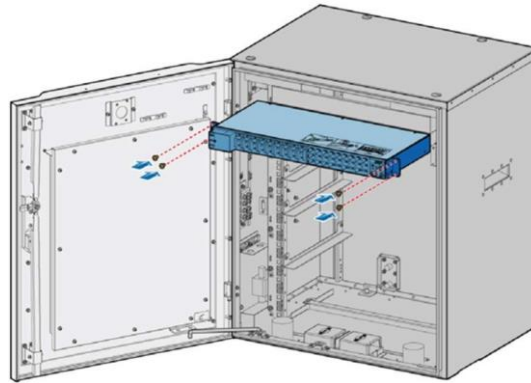


Nota. Adaptado de *BTS3900C Hardware Description*, por Huawei Technologies, 2013 (Huawei Technologies Co., Ltd., 2013).

- **DCDU**, corresponde a la unidad encargada de distribuir la energía, la cual se observa en la Figura 43, en el cual se aprecia su instalación, esto se realiza mediante breakers conectados en la misma, en esta unidad van conectadas para su energización, tanto la BBU, así como las RRU.

Figura 43

Esquema de la instalación del DCDU



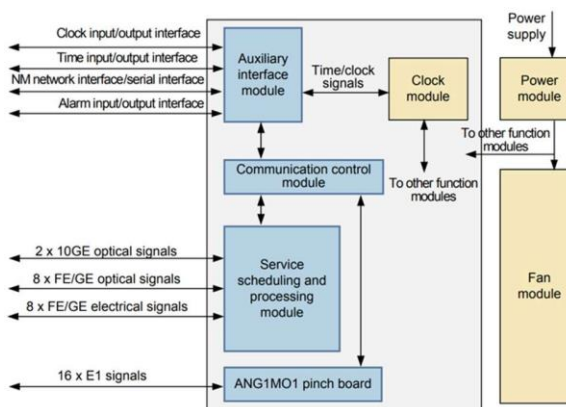
Nota. Adaptado de *BTS3900C Hardware Description*, por Huawei Technologies, 2013 (Huawei Technologies Co., Ltd., 2013).

3.3.3.4. ATN910B-D

Es el switch de la marca Huawei, encargado de la comunicación entre los eNodeB, esto lo hace mediante una conexión al OSN 6800, perteneciente a Claro, ubicado en la ciudad de Tacna, entre sus principales características tenemos que cuenta con 4 puertos de 10 Giga Ethernet, adicionalmente 24 puertos de fibra Fast Ethernet. Este funciona con -48 VDC, alimentado desde el DCDU. En cuanto a las dimensiones del equipo son 442 mm x 220 mm x 44,45 mm, lo que equivale a un rack unit, dentro del gabinete. En la Figura 44 se puede apreciar el funcionamiento del ATN910B, mediante un diagrama de bloques.

Figura 44

Diagrama de Flujo de ATN910B



Nota. ATN 910 Multi-Service Access Equipment *Hardware Description*, por Huawei Technologies, 2013 (Huawei Technologies CO., Ltd., 2013).

3.4. Operacionalización de variables

3.4.1. Variable de Estudio

En la Tabla 16 se puede apreciar que la variable de estudio sería el diseño de una red LTE para brindar cobertura y servicios de banda ancha a una zona geográfica determinada:

Tabla 16

Operacionalización de variables de investigación

Variable	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores
Red de Acceso LTE	Diseñar una red de acceso que brinde cobertura a toda la zona de la comunidad campesina, de forma optima	Parámetros de Diseño	Ancho de Banda (Hz)
			Efi. Espectral (bits/Hz)
			Superficie (km ²)
		Cobertura	Tráfico (bits/s/usuario)
Calidad de Señal (dB)			
			Usuarios (usuario/km ²)

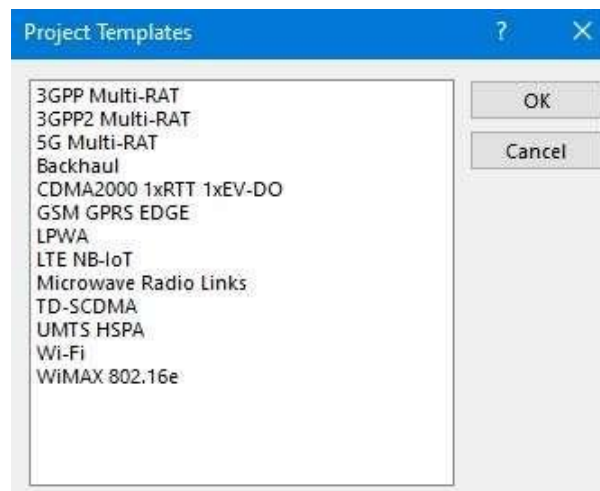
CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. Configuración Básica para Atoll (Inputs)

Si bien es cierto el Atoll es una plataforma que nos da un gran soporte al momento de realizar el dimensionamiento de una red, es necesario ingresar la información elaborada, esto con el fin de tener una mejor proyección de la red que vamos a diseñar, por lo cual apenas ingresamos a esta herramienta debemos proceder a crear un nuevo proyecto, esto lo hacemos desde las plantillas que trae por defecto el programa, en nuestro caso se va a trabajar a la que corresponde a LTE, como se puede ver en la Figura 45:

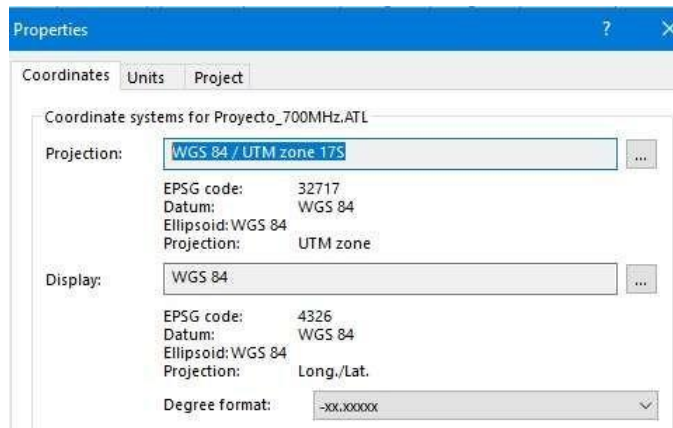
Figura 45

Creación de Proyecto ATOLL



Luego de realizado la creación del nuevo proyecto, se procederá a ingresar el tipo de coordenadas con las cuales trabajaremos, esto se debe a que las coordenadas en Perú corresponden a WGS84/UTM 17S. Lo cual se observa en la Figura 46:

Figura 46
Coordenadas en Atoll Perú



Para poder ubicar los sitios dentro del Atoll procederemos a ingresar las coordenadas que seleccionamos para las estaciones, como se observa en la Figura 47, ATL6001_Vía_Chucatamani con latitud: -17,4836222, longitud: -70,120325 y ATL6002_Chucatamani_Pueblo con latitud: -17,4788972, longitud: -70,125311.

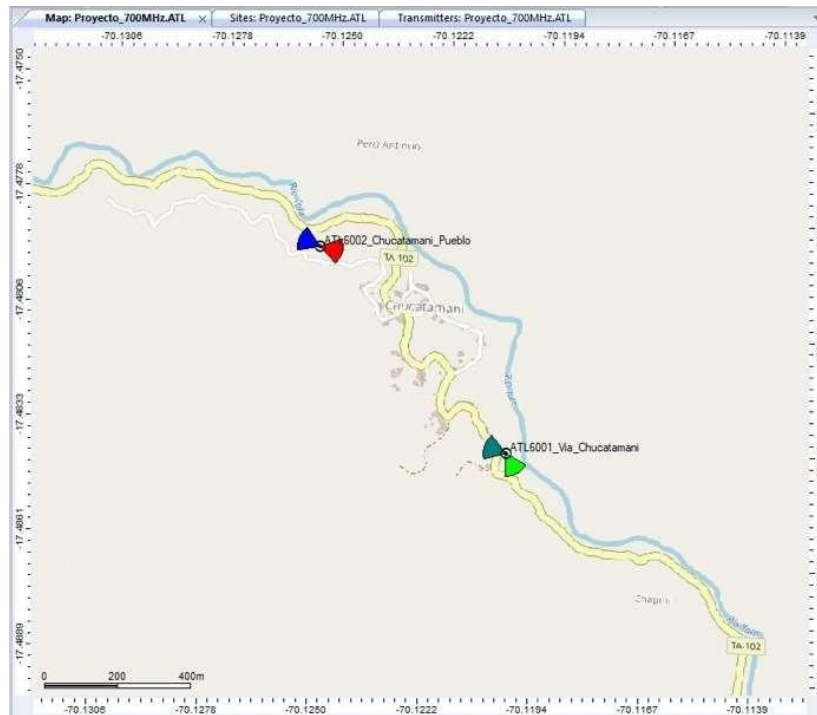
Figura 47
Ingresando ubicación de sitios

Name	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Comments	Support Height (m)
ATL6001_Vía_Chucatamani	-70.120325	-17.483622	[0]	Chucatamani	
ATL6002_Chucatamani_Pueblo	-70.125311	-17.478897	[0]	Chucataman	

La parametrización asignada para este escenario, estos son determinados por el simulador, según configuremos la trama y los resource block que asignemos para nuestro caso serán 75 RB. Como se puede apreciar en la Figura 48, las estaciones son ubicadas en el mapa de Atoll:

Figura 48

Ubicación de sitios en mapa Atoll



En la Tabla 17, se pueden observar las coordenadas correspondientes para ambas estaciones, ubicadas en Chucatamani.

Tabla 17

Configuración de coordenadas eNodeB

eNodeB Name	Longitude	Latitude
ATL6001_Vía_Chucatamani	-70,120325	-17,4836222
ATL6002_Chucatamani_Pueblo	-70,125311	-17,478897

En la presente tesis, debido a su alto uso en zonas rurales en diferentes países se procede a utilizar la banda 28, que corresponde a la banda de 700 MHz, en el caso de nuestro país es usada por América Móvil, para las zonas rurales. De la cual la técnica que usaremos de duplexado será el FDD, por los beneficios con respecto a eficiencia espectral. Esto se ingresa según como indica la Figura 49 en Atoll:

Figura 49*Ingreso de banda en Atoll*

The screenshot shows the 'E-UTRA Band 28 - 15MHz Properties' dialog box. The 'General' tab is active. The 'Name' field contains 'E-UTRA Band 28 - 15MHz'. The 'DL start frequency' is set to 780.5 MHz and the 'UL start frequency' is 725.5 MHz. The 'First channel number' is 9,210 and the 'Last channel number' is 9,658. The 'Channel width' is 15 MHz and the 'Inter-channel spacing' is 0 MHz. The 'Channel number step' is 150. The 'Excluded channels' field is empty. The 'Adjacent channel suppression factor' is 26.99 dB. The 'Sampling frequency' is 23.04 MHz, the 'Number of PRBs' is 75, and the 'Duplexing method' is FDD.

Con el fin de tener un entorno más preciso en la simulación debemos elegir un modelo de propagación, por lo cual Atoll, nos proporciona un pool de los mismos, para el presente trabajo estaremos usando el Standard Propagation Model, debido a que es el ideal con respecto al tema de pérdidas por trayecto en el entorno LTE rural, este modelo se encarga del cálculo de la atenuación de la señal, entre el UE y el eNodeB.

Se basa a partir de la fórmula Hata, para evaluar la calidad y cobertura de la estación en diferentes emplazamientos, usando como factor la distancia entre el eNodeB y el UE, la elevación del terreno y antenas, a su vez también tiene en consideración los obstáculos que se pueden tener en la zona. Uno de los principales defectos de este modelo es no tener en cuenta las variaciones del terreno y la aparición de obstáculos ya sean árboles o variaciones en la geografía.

La plataforma Atoll, también nos permite seleccionar en un listado de antenas, como se observa en la Figura 50, la que vamos a utilizar en este caso sería la ASI4518R10v06 del proveedor Huawei, esto debido a que, con la antena seleccionada, podremos utilizar el MIMO, Carrier Aggregation y modulación avanzada:

Figura 50

Configuración de la antena en Atoll

asi4518r10v060 0Tilt 700/800MHz Properties

General Horizontal Pattern Vertical Pattern

Name: asi4518r10v060 0Tilt 700/800MHz

Physical antenna: 65deg 15-16dBi

Manufacturer: Huawei

Half-power beamwidth: 65 ° Gain: 15.8 dBi

Pattern Frequencies

Electrical tilt: 0 ° Min: 698 MHz

Electrical azimuth: 0 ° Max: 894 MHz

Comments:

700/800 MHz

Para este proyecto estaremos usando la técnica de procesamiento de señal MIMO, por lo cual es necesario también ingresarla a la plataforma, como se ve en la Figura 51, esta se encuentra dentro de las configuraciones avanzadas que tiene el Atoll, el cual nos permiten configurar ya sea los parámetros de transmisión del UE, así como los del eNodeB, en nuestro caso lo configuraremos a 2T2R (MU-MIMO), el cual nos ofrecerá un excelente rendimiento y equilibrio.

Figura 51

Configuración MIMO en Atoll

Almost Blank Subframe (ABS) Pattern	
Reception Equipment	Default Cell Equipment
Scheduler	Proportional Fair
Diversity Support (DL)	Transmit Diversity; MU-MIMO
Diversity Support (UL)	Receive Diversity; MU-MIMO
Number of MU-MIMO Users (DL)	2
Number of MU-MIMO Users (UL)	2

En el caso de la configuración de los parámetros con respecto al tráfico, debido a que este servicio se brindará en la zona rural de Héroes Albarracín, los servicios suministrados serán:

1. FTP
2. Video Conferencia
3. VoIP
4. Web Browsing
5. Email
6. Streaming Media

Todos estos servicios tendrán identificadores QoS (Quality of Service), de esta forma se podrán establecer según parametrización las prioridades para los servicios. Para nuestro caso se aprecia en la Figura 52, se configurarán los parámetros de tipo estándar:

Figura 52
Configuración Parámetros de tráfico en Atoll

Name	Type	Priority (0=lowest)	Supported Layers	Downlink Activity Factor	Uplink Activity Factor	Lowest Bearer (DL)	Best Bearer (DL)	Lowest Bearer (UL)	Best Bearer (UL)	Min DL throughput demand (kbps)	Min UL throughput demand (kbps)	Max Throughput Demand (DL) (kbps)	Max Throughput Demand (UL) (kbps)	Average Requested Throughput (DL) (kbps)	Average Requested Throughput (UL) (kbps)	Throughput Scaling Factor (%)	Throughput Offset (kbps)	Body Loss (dB)	Min Number of PRBs (UL)
High Speed Internet	Data	1 (All)		1	1.4	15	4	15		0	0	1,024	128	256	32	95	0	0	1
Mobile Internet Access	Data	0 (All)		1	1.4	15	4	15		64	32	128	64	64	32	95	0	0	1
Video Conferencing	Voice	2 (All)		0.5	0.5	15	4	15		64	64	64	64	64	64	95	0	0	1
VoIP	Voice	3 (All)		0.6	0.6	15	4	15		12.2	12.2	12.2	12.2	12.2	12.2	95	0	3	1

Posteriormente se debe seleccionar una categoría de terminales móviles, en este caso según estándar 3GPP, seleccionaremos la categoría 5, como se puede apreciar en la Figura 53. El cual tendría las siguientes características en Atoll:

Figura 53
Terminales Móviles en Atoll

Name	UE Category	Reception Equipment	Min power (dBm)	Max Power (dBm)	Gain (dB)	Losses (dB)	Diversity Support	Number of Transmission Antennas	Number of Reception Antennas	Noise Figure (dB)	Max Number of Secondary Cells (DL)	Max Number of Secondary Cells (UL)	FeICIC
MIMO Terminal	UE Category 5	Default UE Equipment	-40	23	0	0	MIMO	2	2	8.0	0	0	Deactivate
Mobile Terminal	UE Category 5	Default UE Equipment	-40	23	0	0	None	1	1	8.0	0	0	Deactivate

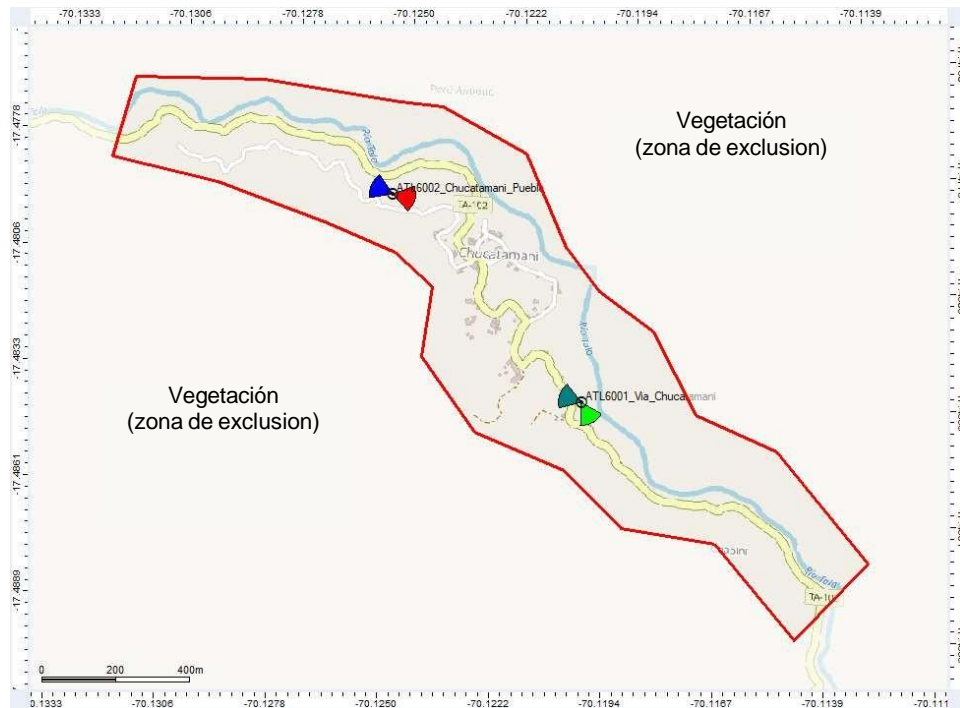
4.2. Simulaciones y/o Predicciones

4.2.1. Zona de Análisis

Para el presente estudio se realizará una delimitación de la zona, como se observa en la Figura 54, donde se pretende garantizar el 95% de cobertura a (RSRP, SINR, Best Server):

Figura 54

Área de Análisis



Como se observa en la Tabla 18 de predicciones, estos serán los límites propuestos para rangos aceptables:

Tabla 18

Rango aceptable de cobertura

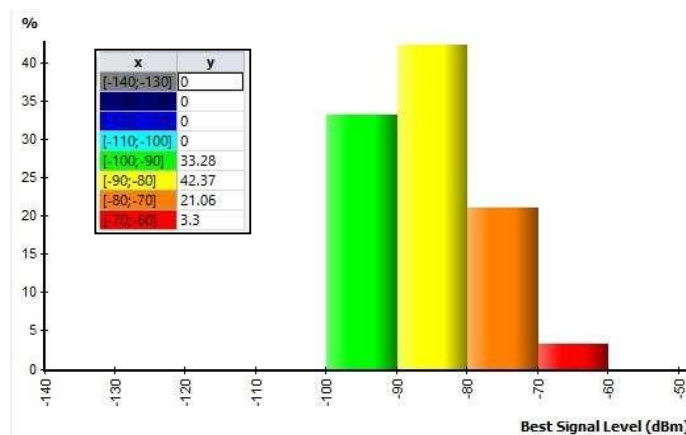
KPI	Rango Aceptable	% Muestras
RSRP	≥ -100 dBm	95%
SINR	≥ 10 dB	95%
Tasa de Datos (DL)	≥ 500 kbps	95%

Como se observa en la Figura 55, estos parámetros que vamos a establecer para la muestra son ingresados al Atoll:

Figura 55*Parámetros de configuración de RSRP*

Las predicciones nos permiten obtener una huella de cobertura, para el análisis se procede a realizar las siguientes predicciones:

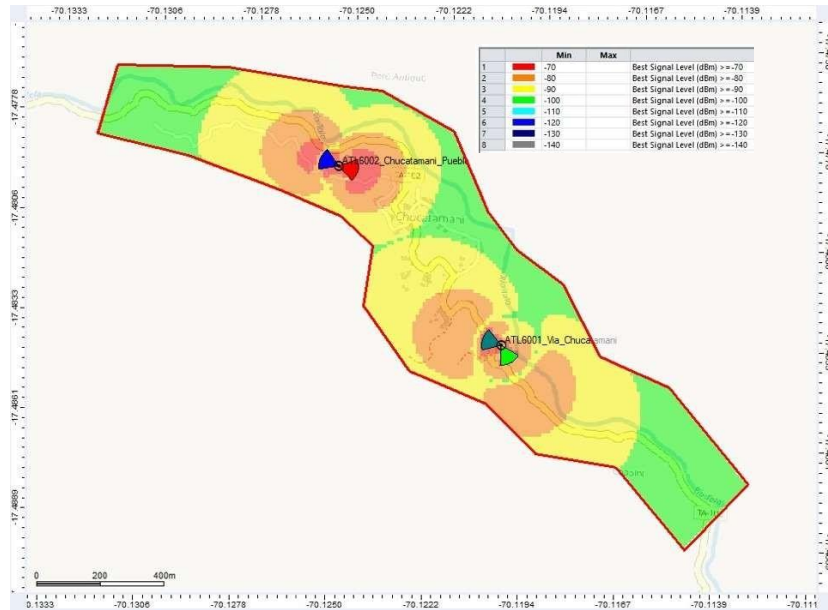
- Predicciones de Cobertura por niveles de señal - Coverage by Signal Signal Level (DL). Nos dará una visión amplia de la cobertura, tomando de referencia los niveles de señal en cada píxel, esto lo hace tomando la intensidad de la señal en diferentes puntos de muestreo. De esta forma establecerá estándares sean excelente, buena o mala, según lo proyectado. Cuando se aplica más de una celda, se toma en cuenta la celda con la mayor potencia de referencia. Esto se ve tanto en la Figura 56 que corresponde al Histograma de Cobertura

Figura 56*Histograma por Cobertura de Señal*

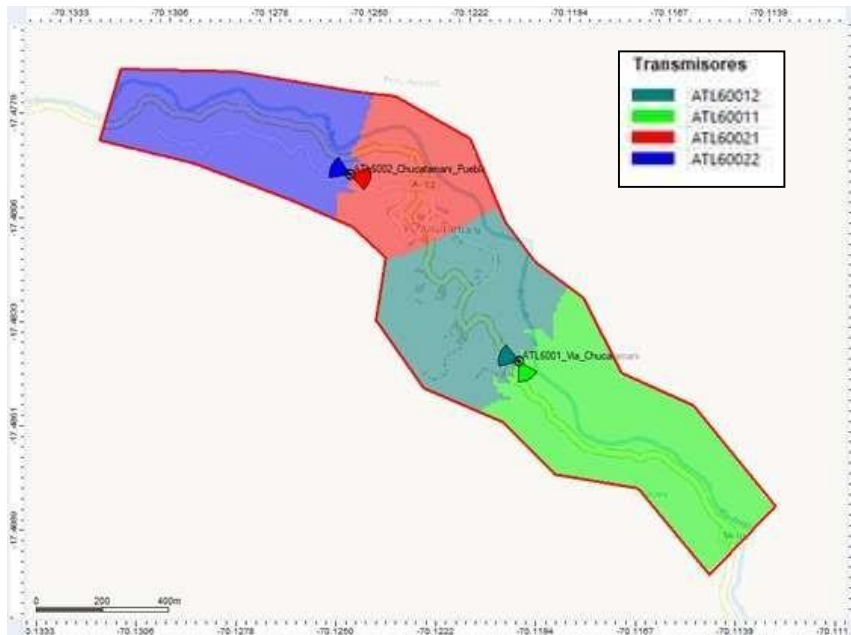
A su vez se observa en la Figura 57, la gráfica correspondiente a la Cobertura por Nivel de Señal

Figura 57

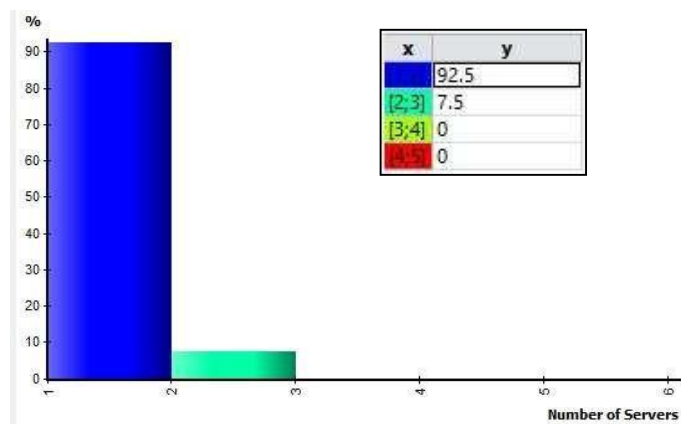
Cobertura por Nivel de Señal



- Predicciones de Cobertura por transmisor - Coverage by Transmitter (DL) Nos permite la predicción teniendo en cuenta el transmisor, llevando a cabo un análisis de cada pixel, y determinando su mejor transmisor. Como podemos observarlo a través de la Figura 58, que corresponde a la cobertura por transmisor:

Figura 58*Cobertura por transmisor*

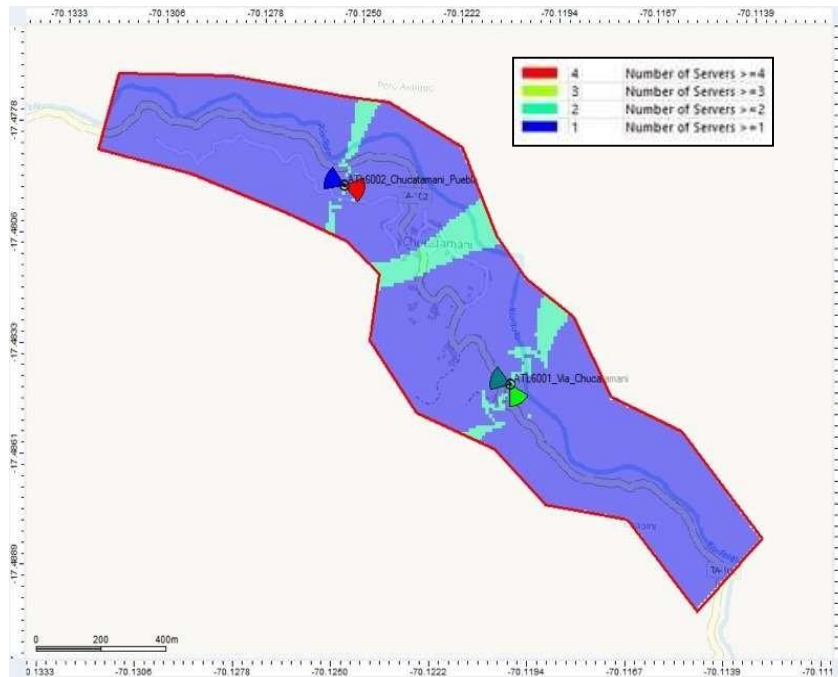
- Predicciones de Solapamiento – Overlapping Zones (DL). Esta predicción nos ayuda para poder establecer los puntos donde se produce la convergencia de dos o más transmisores. Como en la Figura 59, se pueden observar en el Histograma de Solapamiento, generado por Atoll:

Figura 59*Histograma de Solapamiento*

En la Figura 60, se puede apreciar la gráfica del mapa con respecto a las zonas de predicciones de solapamiento:

Figura 60

Predicciones de Solapamiento

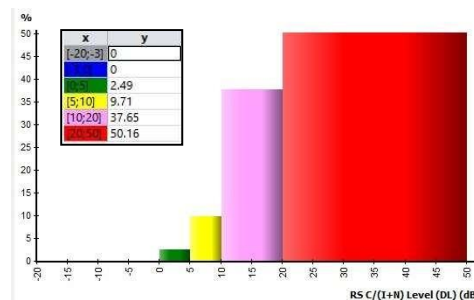


Predicciones por calidad de señal:

- Cobertura por C/(I+N)- Coverage by C/(I+N) level: Nos permite determinar los niveles de interferencia, portadora a interferencia y el ruido con respecto a cada píxel. Esto se puede observar en la Figura 61, que corresponde al histograma:

Figura 61

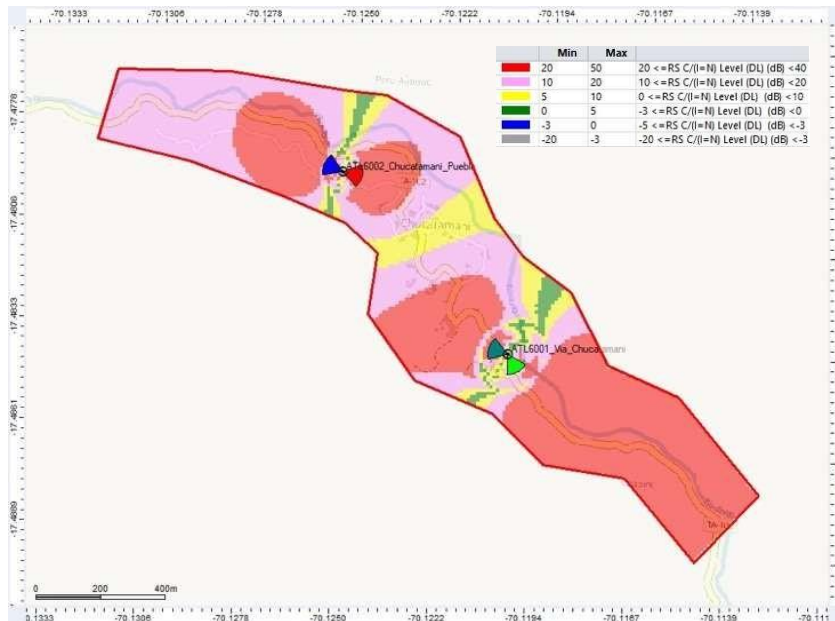
Histograma de C/(I+N)- Coverage by C/(I+N) level



Mientras que en la Figura 62, se observará en el mapa Atoll la distribución de la cobertura por los índices de C(I+N)- Coverage by C/(I+N) level:

Figura 62

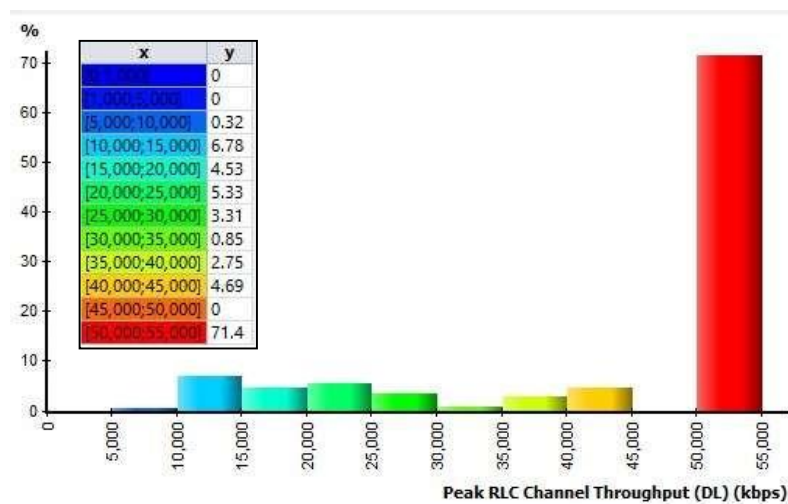
Prediction's Cobertura por C(I+N)- Coverage by C/(I+N) level



- Cobertura por Throughput: Nos da una percepción por píxel de los throughput por canal basándose en los niveles de SNR. Esto se puede apreciar en la Figura 63, que corresponde al histograma:

Figura 63

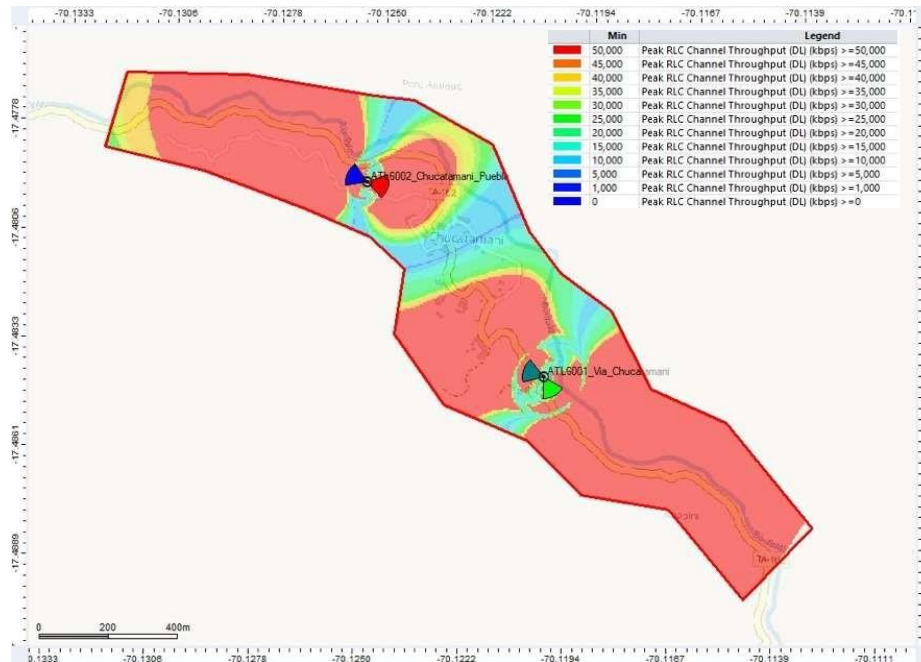
Histograma de Throughput



Mientras que la Figura 64, nos muestra los alcances de la cobertura por Throughput en el mapa Atoll:

Figura 64

Cobertura por Throughput



4.3. Informe de las Estaciones Base a Instalar

Para realizar este estudio se ha procedido a realizar el viaje a las zonas correspondientes y a su vez conversar con los propietarios de dichos inmuebles, con el fin de recolectar de manera precisa la información para el presente trabajo. Se procederá a nombrar a los sitios, con los estándares que se aplican en la operadora América Móvil. La información del datafill generado para ambos sitios será colocado en el anexo. Debido a los accidentes geográficos de la zona, se determina que para tener una cobertura óptima en toda la comunidad campesina, esto con el fin de cubrir el recorrido diario de las personas de esta comunidad, debe ser necesario la instalación de dos estaciones base, las cuales se detallan a continuación:

4.3.1. ATL6001_Vía Chucatomani

Este sitio se encuentra al ingreso de la comunidad campesina, cuenta con dos sectores, el cual sería S1, con un azimuth de 150°, se encuentra direccionado a la carretera

afirmada que da acceso a la comunidad. La proyección del sector se realiza mediante el programa Google Earth como se observa en la Figura 65.

Figura 65

Proyección Site: Vía Chucatamani_S1



En la Figura 66, podemos ver el direccionamiento del azimuth con respecto a la estación el cual sería de 150°:

Figura 66

Vista Fotográfica Site: Vía Chucatamani_S1



Como se puede apreciar en la Figura 67, vendría a ser la zona de cobertura del Sector 1:

Figura 67*Zona de Cobertura Site: Vía Chucatamani_S1*

Mientras que el otro sector que llevaría por nombre S2 con azimuth de 290° , se encuentra direccionado a la parte oeste de la comunidad, dando cobertura al colegio de la zona, la iglesia, el local de la junta de riego y la loza deportiva. Esta proyección se puede ver en la Figura 68, mediante el programa Google Earth:

Figura 68*Proyección Site: Vía Chucatamani_S2*

En la Figura 69, se observa donde se encontrará la instalación de la torre del sitio Via Chucatamani, el cual sería en la construcción de color verde, propiedad de la Municipalidad de Chucatamani:

Figura 69

Vista Fotográfica Site: Vía Chucatamani_S2



En la Figura 70, observaremos el rango de la cobertura correspondiente a la estimación realizada a raíz del diseño planteado:

Figura 70

Zona de Cobertura Site: Vía Chucatamani_S2



El terreno donde se tiene proyectado la instalación de la torre corresponde a la Municipalidad Distrital Héroes Albarracín. Se proyecta la instalación de una torre de tipo ventana arriostrada de 20 metros, el sitio cuenta con los siguientes datos mostrados en la Tabla 19 correspondientes a la latitud y longitud:

Tabla 19*Especificaciones de Sitio ATL6001 Vía Chucatamani*

eNodeB ID	LTE SITE	Number of Sectors	Base Station
236001	ATL6001_Vía Chucatamani	2	MBTS_AT6001_VIA CHUCATAMANI
Tower Height	20 m.	Site	Greenfield
Address	S/N Propiedad de la Municipalidad	Base Station	Outdoor
Latitude	-17,4836222	Loc Id	TAC_Tacna
Longitude	-70,120325	Name	

Para la parametrización básica de los sitios que se observa en la Tabla 20, se tomarán valores estándar (MCC, MNC, PRACH, TAC).

Tabla 20*Parametrización ATL6001 Vía Chucatamani*

Cell Configuration						
Sector	Local Cell ID	CellID	LTE Cell Identity	Sector ID	LTE BAND	
ATL60011	100	251	60416507	1	28	
ATL60012	101	252	60416508	2	28	
Antenna Configuration						
Sector	Antenna Type	Equipo	Azimuth	E-Downtilt	M-Downtilt	Downtilt
ATL60011	ASI4518R10v06	RRU3268	150°	3	2°	5°
ATL60012	ASI4518R10v06	RRU3268	290°	3°	2°	5°
Parameters Configuration						
Sector	Frequency Bandwidth Uplink / Downlink	Earfcn DL	Earfcn UL	Physical Random Access Channel (PRACH)	Tracking Area Code (TAC)	Physical Cell Identity (PCI)
ATL60011	15 MHz	9435	27435	624	56141	80
ATL60012	15 MHz	9435	27435	624	56141	81
Parameters Configuration						
Sector	MIMO Mode	Cell transmission and reception mode	Maximum Output Power (dBm)	Duplex Mode	MCC	MNC
ATL60011	MIMO 2x2	2T2R	43	FDD	716	10
ATL60012	MIMO 2x2	2T2R	43	FDD	716	10

4.3.2. ATL6002_Chucatamani Pueblo

La estación se encuentra en la carretera de salida de la comunidad con dirección a Tala y Chipispaya, cuenta con dos sectores, los cuales serán S1, con un azimuth de 105° , se encuentra direccionado a la sección oeste de la comunidad, donde se encuentra la plaza principal. En la Figura 71 se observa la proyección del sector que se realiza mediante el programa Google Earth.

Figura 71

Proyección Site: Chucatamani Pueblo_S1



En la Figura 72, podemos ver el direccionamiento del azimuth con respecto a la estación el cual sería de 105° :

Figura 72

Vista Fotográfica Site: Chucatamani Pueblo_S1



En la Figura 73, observaremos el rango de la cobertura correspondiente a la estimación realizada a raíz del diseño para el Sector 1:

Figura 73

Zona de Cobertura Site: Chucatamani Pueblo_S1



El segundo sector que llevaría por nombre S2 con azimuth de 295°, se encuentra direccionado a la carretera a Tala-Chipispaya, dando cobertura a gran parte de la zona agrícola del poblado. En la Figura 74, veremos la proyección del sector mediante el programa Google Earth:

Figura 74

Proyección Site: Chucatamani Pueblo_S2



En el caso de la Figura 75, corresponde a la dirección del azimuth del sector 2:

Figura 75

Vista Fotográfica Site: Chucatamani Pueblo_S2



Para la Figura 76, se puede tener en cuenta que corresponde al rango de cobertura del sector 2, del site Chucatamani Pueblo:

Figura 76

Zona de Cobertura Site: Chucatamani Pueblo_S2



El terreno donde se tiene proyectado la instalación de la torre corresponde a Manuel Colque Santos. Se proyecta la instalación de una torre de tipo mástil ventado, el sitio cuenta con la información mostrada en la Tabla 21 con respecto a sus datos de latitud y longitud:

Tabla 21*Especificaciones de Sitio ATL6002 Chucatamani Pueblo*

eNodeB ID	LTE SITE	Number of Sectors	Base Station
236002	ATL6002_Chucatamani Pueblo	2	MBTS_AT6002_CHUCATAMANI PUEBLO
Tower Height	15 m.	Site	Greenfield
Address	S/N Espaldas de Iglesia, Propiedad de Manuel Colque Santos	Base Station	Outdoor
Latitude	-17,4788972	Loc Id	TAC_Tacna
Longitude	-70,125311	Name	

Para la parametrización básica de los sitios como se observa en la Tabla 22, se tomarán valores estándar aplicados a sitios nuevos pertenecientes a la red de América Móvil (MCC, MNC, PRACH, TAC):

Tabla 22*Parametrización ATL6002 Chucatamani Pueblo*

Cell Configuration						
Sector	Local Cell ID	CellID	LTE Cell Identity	Sector ID	LTE BAND	
ATL60021	100	251	60416763	1	28	
ATL60022	101	252	60416764	2	28	
Antenna Configuration						
Sector	Antenna Type	Equipo	Azimuth	E-Downtilt	M-Downtilt	Downtilt
ATL60021	ASI4518R10v06	RRU3268	105	6°	2°	8
ATL60022	ASI4518R10v06	RRU3268	295	3°	2°	5°
Parameters Configuration						
Sector	Frequency Bandwidth Uplink / Downlink	Earfcn DL	Earfcn UL	Physical Random Access Channel (PRACH)	Tracking Area Code (TAC)	Physical Cell Identity (PCI)
ATL60021	15 MHz	9435	27435	624	56141	90
ATL60022	15 MHz	9435	27435	624	56141	91
Parameters Configuration						
Sector	MIMO Mode	Cell transmission and reception mode	Maximum Output Power (dBm)	Duplex Mode	MCC	MNC
ATL60021	MIMO 2x2	2T2R	43	FDD	716	10
ATL60022	MIMO 2x2	2T2R	43	FDD	716	10

4.4. Confirmación de área sin servicio celular mediante G-NetTrack

Durante la visita de campo a la comunidad campesina, se realiza la evaluación de la zona mediante la aplicación de GnetTrack Lite, el cual es un programa para Android de la empresa Gyokov Solutions, este vendría a ser la contraparte del NetMonitor para Android, esta comprobación se realiza mediante el celular Samsung A22, con el fin de corroborar que no se encuentre señal en la zona, dando el resultado esperado, en resumen que en la ubicación donde se realizó el diseño actualmente no se encuentra América Móvil u otro operador. Esto se realiza en diferentes puntos de la comunidad. A su vez en conversación con los pobladores de la zona, manifiestan tener problemas de comunicación debido a esto. Para poder tener la evidencia de estas muestras se tomaron los print screen del caso. Primero en la Figura 77, se establecerá un escenario de ejemplo, para que se pueda apreciar el programa G-NetTrack en valores con cobertura:

Figura 77

Ejemplo G-NetTrack con Cobertura Tacna



5:34 PM		5:35 PM							
G-NetTrack Lite v17.0		G-NetTrack Lite v17.0							
Operador: Sin servicio		Operador: Sin servicio							
MCC: 716	MNC: 10	TAC: 56141	Tipo: 4G						
eNB: 234092	CID: 203	PCI: 73	TA: 0						
ARFCN: 2825	BAND: L7	BW: 15							
F DL: 2627,5 MHz	F UL: 2507,5 MHz	F DL: 2627,5 MHz	F UL: 2507,5 MHz						
RSRP: -77	RSRQ: -13	SNR: -	CQI: -						
RSI: -51									
Longitud: -70.24635	Latitud: -18.01018	Longitud: -70.24641	Latitud: -18.01011						
Velocidad: 0 km/h	Dirección: 0°	Velocidad: 0 km/h	Dirección: 0°						
NGPS Exactitud		NGPS Exactitud							
Alto: 618m	Altitud: 618m	Nivel del suelo: 0m							
Alto: 625m	Altitud: 625m	Nivel del suelo: 0m							
CARGA: 2 kbps	DESCARGA: 53 kbps	CARGA: 0 kbps	DESCARGA: 0 kbps						
Datos: Sin servicio-4G	DATA	Datos: Sin servicio-4G	IDLE						
Hora de publicación: 33s		Hora de publicación: 102s							
HORA	EVE.	AC	CELL.	CI	ARF.	NIVEL	CALI.	TIPO	SERV.
17:33:...	-	-	-	-	-200	-	-	-	44
17:33:...	56141	2340...	73	2825	-90	-14	4G		

Luego de una vez realizado esto, se procederá a realizar la misma medición, pero esta vez en el emplazamiento estudiado, esto se puede observar en la Figura 78:

Figura 78

Muestras de G-NetTrack Lite Chucatomani (Héroes Albarracín)

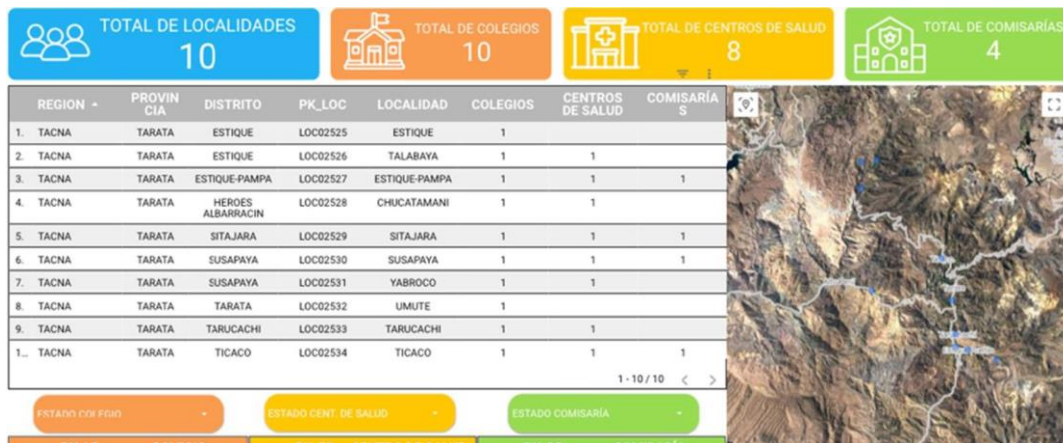
12:14 PM		12:11 PM							
G-NetTrack Lite v16.0		G-NetTrack Lite v16.0							
Operador: NO COVERAGE		Operador: NO COVERAGE							
MCC:	MNC:	LAC:	Tipo:-						
BSC:	CID:18725	BSIC:	TA:						
ARFCN:	BAND:	BW:0	BW:0						
RXLEV:-200	RXQUAL:-	SNR:-	SNR:-						
Longitud:-70.12053		Latitud:-17.48413							
Velocidad:0 km/h		Dirección:0° N							
GPS Exactitud:		GPS Exactitud:							
Alto:2373m		Altitud:2373m							
Nivel del suelo:0m		Nivel del suelo:0m							
CARGA: 0 kbps		DESCARGA: 0 kbps							
Datos: No Connection		IDLE							
Hora de publicación:12s									
HORA	EVE	AC	CELL	CI	ARF	NIVEL	CALI	TIPO	SERV
12:10:...		5255	18725	0	128	-91	-	2G	25
12:10:...			18725			-200	-	-	3
12:10:...	CR2G	5255	18725	0	128	-95	-	2G	24
12:10:...			18725			-200	-	-	51
12:11:...	HD2G	5255	18725	0	128	-89	0	2G	17
12:12:...			18725			-200	0	-	14
12:14:...	CR2G	5255	18725	0	128	-101	0	2G	18
12:14:...			18725			-200	0	-	-

4.5. Transmisión en la zona

Debido a que es una zona que cuenta con muchos accidentes geográficos no es viable la instalación de enlace por microondas, por lo cual se opta por el enlace mediante fibra, debido a que la elevación necesaria para la línea de vista, de uno de estos enlaces sobrepasa el tamaño de las torres dimensionadas, así como el acarreo para su instalación elevaría los costos excesivamente. Por lo cual, se opta por la solución de fibra óptica, esta solución ya se encuentra en la comunidad campesina. Se observa que el tendido de fibra del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones ha sido desplegado mediante el proyecto estatal de Pronatel, en la zona de Héroes Albarracín. Se corrobora que en ambos puntos seleccionados para el diseño se encuentra tendido de fibra cercano, esto se puede corroborar en la plataforma online de Pronatel, como se observa en la Figura 79, por lo cual se puede solicitar la instalación de una mufa de fibra, para una conexión a los equipos de transmisión de Huawei, el recorrido de la fibra va desde la localidad campesina de Chucatomani, hasta la estación base de fibra situada en el ingreso de la ciudad de Tarata.

Figura 79

Indicadores de Fibra en la zona de Pronatel



Nota. Adaptado de *Tablero de Control - Proyectos Regionales*, por Pronatel, <https://lookerstudio.google.com/reporting/5182aa51-e838-48ec-8f67-05acd821fa1f/page/1FOVC>, 2021 (Pronatel, 2021).

En la Figura 80, se ve que cercana al emplazamiento destinado a la estación base, se encuentra un punto de fibra, del cual se podrá solicitar una derivación para el sitio:

Figura 80

Punto de Fibra cercano a estación base



El tendido de fibra como se muestra en el mapa de la Figura 81, viene desde la localidad de Tarata, donde se encuentra la estación de fibra correspondiente, esta llega a la comunidad mediante postes.

Figura 81

Enrutamiento de Fibra Chucatanani -Tarata



CAPÍTULO V: DISCUSIONES

Herramientas de Simulación Utilizadas, para el presente trabajo de investigación se tuvo de base la tesis de Ever Chino Catari (Catari, 2018), como primer antecedente, en la cual se observa que el uso del simulador Airlink, el cual es un simulador gratuito, mediante página web, que tiene la falencia que utiliza valores por defecto tanto para los equipos, como para las antenas utilizadas, no dando la flexibilidad correspondiente en cuanto a las características de la antena. Caso contrario de lo que ocurre con Atoll, el cual es un software, que permite el ingreso de datasheet de las antenas con las que se van a trabajar, así como el ingreso de nuevos valores para las bandas que se utilizan, esto conlleva también a cierto grado de error, incluso al ingresar celdas nuevas a un proyecto existente de Atoll, da la opción de optimizar la parametrización de una red existente (Forsk, 2019).

Modelos de Propagación, teniendo en cuenta el segundo antecedente utilizado como base de este trabajo de investigación de Diana Carolina Alvarez Paredes (Paredes, 2014), se tiene de referencia que para el caso de la banda utilizada de 700 MHz, el modelo más acorde a las condiciones de la banda 28 es el modelo Okumura-Hata el cual fue establecido para estos tipos de escenarios, por lo cual se procede a utilizar este modelo empírico, debido que el modelo de Cost 231-Hata Huawei, es utilizado para frecuencias de 1500 MHz a 2000 MHz (Xirio, s.f.).

CONCLUSIONES

De acuerdo con las simulaciones realizadas a nivel de cobertura, calidad e interferencia, se puede apreciar que no se contarán con zonas con bajos niveles, lo cual ha de garantizar el servicio en la zona al 99%. Esto se debe a que ambas estaciones se encargarán de cubrir en su totalidad a la comunidad campesina de Chucatamani.

Teniendo en cuenta el modelo empírico de Okumura-Hata, y las proyecciones de Link Budget realizadas, las que fueron aplicadas a la plataforma de simulación Atoll de Forsk, se valida que la parametrización establecida da como resultado los valores óptimos para la zona en cuanto a rendimiento de la red.

A partir del proceso de investigación realizado, se puede observar que este permite dar la continuidad para poder realizar una optimización posterior con la plataforma Atoll, lo cual llevará a dar una mejor cobertura y calidad de señal, no solo para la comunidad campesina sino, que esto se podría extender a zonas aledañas como los poblados de Tala y Chipispaya. De esta forma se logrará el acceso a una mejor calidad de vida y educación.

La presente tesis puede tomarse como un modelo para el diseño de redes celulares de tecnología LTE, en zonas rurales, sentando las bases para futuros proyectos de dimensionamiento aplicados a otras zonas, esto debido a que el dimensionamiento de esta fue realizado siguiendo los estándares de Site Survey y Plan Expansion realizados para Overlay que utiliza el operador, tanto en la zona del departamento de Tarata, como para zonas las cuales actualmente no cuentan con tecnología celular.

Los equipos que se han usado de referencia para el dimensionamiento corresponden a los que actualmente usan el operador América Móvil, por lo cual siguiendo estas recomendaciones el proyecto puede ser viable en caso de implementarse a posterior en la localidad campesina de Chucatamani, para esto se debe realizar una evaluación por parte del operador, debido a que cada uno cuenta con un estándar de margen de ganancia con respecto a proyecto implementado, por lo cual se deberá tener en cuenta este indicador.

RECOMENDACIONES

La presente tesis puede tomarse como un modelo para la implementación de tecnología 4G, en otras zonas rurales, con esto se podrá sentar las bases para una posterior mejora en la calidad de vida y educación, a su vez que a futuro puede ser proyectado una red de 5G en la zona.

Una vez sean alineados los parámetros de implementación en la zona, el proyecto puede ser nuevamente ingresado a Atoll, para mejoras en cuanto implementación de nuevas celdas y cobertura de las rutas de acceso a la comunidad campesina de Chucatamani.

Para el caso de la viabilidad del proyecto, por parte de capital privado, se debe tener en cuenta que los costos tanto de equipos, como antenas y asignación de bandas, debe ser mediante los operadores que poseen la banda 28.

El presente proyecto es viable a nivel de diseño, por lo cual se agregó en la sección de anexos, una proforma de costos referenciales de instalación, en caso el presente proyecto sea implementado, permita una fácil evaluación de costo beneficio, en cuanto a márgenes de ganancias.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 3rd Generation Partnership. (2020). *CR for 38.101-1:to introduce UE RF requirements for adding wider channel bandwidth in band n28*. Valbonne, France: 3GPP support office address.
- 3GPP. (2016, Febrero). *The Mobile Broadband Standard*. <http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/36-series.htm>
- 3rd Generation Partnership. (2013). *TS 36.306 User Equipment(UE) Radio Access Capabilities* . 3GPP support office address.
- 3rd Generation Partnership. (2017). *Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception (3GPP TS 36.101 version 14.3.0 Release 14)*. Cedex - France: 3GPP support office address.
- 3rd Generation Partnership. (2021). *Technical Specification Group Radio Access Network (Release 17)*. Valbonne, France: 3GPP support office address.
- Agusti, R. (2014). *LTE: NUEVAS TENDENCIAS EN COMUNICACIONES MOVILES*. Fundación Vodafone España.
- Argandoña, J. M. (2019). *Estado del espectro radioeléctrico en el Perú y recomendaciones para promover su uso en nuevas tecnologías*. OSIPTEL.
- Bernal, I. (2008). *Revisión de Conceptos Básicos de Antenas y Propagación*. Quito.
- Catari, E. C. (2018). *Diseño de una red 4G LTE Avanzado mejorando la densificación de red de acceso mediante despliegue heterogéneo de células para la ciudad de Juliaca*. Puno, Puno, Perú: Facultad de IngenieraMecanica Electrica,Electronica y Sistemas Universidad Nacional del Altiplano.
- Cox, C. (2014). *An introduction to LTE LTE,LTE-advanced,SAE,VoLTE and 4G mobile communications*. John Wiley and Sons.
- Deme, A. (2013). *Computer Analysis of the COST 231 Hata Model and Least Squares Approximation for Path Loss Estimation at 900 MHz on the Mountain Terrains of the Jos-Plateau, Nigeria*. Jos-Plateau: International Institute for Science, Technology and Education.

- FEMP. (n.d.). *Diagrama de emisión de una antena de telefonía móvil*. Federación Española de Municipios y Provincias: <http://femp.femp.es/files/3580-606-fichero/P.26.pdf>
- Forsk. (2019). *Atoll Wireless Network Engineering Software*. Blagnac: Forsk.
- García, T. I. (2013). *Despliegue de una red LTE en una zona rural al sureste de Madrid*. Escuela Politécnica Superior de Leganés.
- GSMA. (2019). *Los beneficios de la neutralidad tecnológica en las licencias de espectro*. GSMA.
- Huawei. (2016, Junio 01). ASI4518R10v06. *Antenna Specifications*. Shenzhen, China: Huawei Technologies Co., Ltd.
- Huawei. (2022). *Huawei DBS3900 Distributed Base Stations - exquisitely 'distributing' radio access*. Huawei Technologies Co.: <https://forum.huawei.com/enterprise/en/huawei-dbs3900-distributed-base-stations-exquisitely-distributing-radio-access/thread/706943-100305>
- Huawei Technologies. (2014). *LTE Principle Fundamental Issue 1.01*. SlideShare: <https://www.slideshare.net/amacom123/oea000000-lte-principle-fundamental-issue-101>
- Huawei Technologies Co., L. (2014). *RRU3268 Description*. Shenzhen: Huawei Technologies Co., Ltd.
- Huawei Technologies Co., Ltd. . (2011). *Installation Guide*. Shenzhen: Huawei Technologies Co., Ltd. .
- Huawei Technologies CO., Ltd. (2013). *ATN 910&910I&910B&950B Multi-Service Access Equipment Hardware Description*. Shenzhen: Huawei Technologies CO., Ltd.
- Huawei Technologies Co., Ltd. (2013). *BTS3900C Hardware Description*. Shenzhen: Huawei Technologies Co., Ltd.
- INEI. (2017). *Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas*. Instituto Nacional de Estadística e Informática: <http://censos2017.inei.gob.pe/redatam/>
- Informática, I. N. (2017). *ensos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas*. INEI: <http://censos2017.inei.gob.pe/redatam/>
- Ipsos Perú. (2022, Enero 4). *Usos del smartphone en la vida cotidiana 2021*. Ipsos: <https://www.ipsos.com/es-pe/usos-del-smartphone-en-la-vida-cotidiana-2021>

- Korowajczuk, L. (2011). *LTE, WiMAX and WLAN Network Design, Optimization and Performance Analysis*. John Wiley & Sons, Ltd.
- Kukushkin, A. (2018). *Introduction to Mobile Network Engineering: GSM, 3G-WCDMA, LTE and the road to 5G*. Hoboken NJ: John Wiley and Sons.
- Maltez Rodriguez, E. A. (2019, Mayo). Diseño y simulación de una red LTE-A para la Zona Urbana de la Ciudad de Granada. Managua, Nicaragua: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Mawjoud, S. A. (2013). *Comparison of Propagation Model Accuracy for Long Term Evolution (LTE) Cellular Network*. Mosul: International Journal of Computer Applications.
- MIDAGR. (2020). *Dirección de Estadística Agraria Producción Agrícola*. Dirección Regional de Agricultura Región Tacna: https://www.agritacna.gob.pe/link_buscar_estadi.php
- Mona Jaber, Z. D. (2016). *Tutorial on LTE/LTE-A Cellular Network Dimensioning using Iterative Statistical Analysis*. Beirut: IEEE Communications Surveys & Tutorials .
- Olsson, M. (2009). *SAE and the Evolved Packet Core: Driving the Mobile Broadband Revolution*. Burlington: Elsevier.
- OSIPTEL. (2022, Agosto 17). *OSIPTEL: estas fueron las operadoras que ofrecieron el internet más rápido en julio*. OSIPTEL El regulador de las Telecomunicaciones: <https://www.osiptel.gob.pe/portal-del-usuario/noticias/osiptel-estas-fueron-las-operadoras-que-ofrecieron-el-internet-movil-mas-rapido-en-julio/>
- OSIPTEL. (2022). *Panel de Monitoreo de Internet Móvil: Análisis de indicadores a nivel departamental - Julio*. Lima: OSIPTEL.
- Panagiotis Vouzis. (2020, September 16). *What is the MCS Index?* NetBeez: <https://netbeez.net/blog/what-is-mcs-index/>
- Paredes, D. C. (2014). *Diseño de una red 4G (Long Term Evolution) en el Cluster 2 de la Ciudad de Quito para el Operador CNT EP*. San Miguel de Ibarra, Imbabura, Ecuador: Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas de la Universidad Técnica del Norte.
- Pronatel. (2021). *Observatorio Pronatel*. Tablero de Control - Proyectos Regionales: <https://lookerstudio.google.com/reporting/5182aa51-e838-48ec-8f67-05acd821fa1f/page/IFOVC>
- Rumney, M. (2013). *LTE and the Evolution to 4G Wireless*. John Wiley and Sons.

- Sanchez Herrera, M. A. (n.d.). *Curso 4G LTE*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Schmidt, A. L. (2013). *FFT: Transformada Rápida de Fourier*. Bahía Blanca, Argentina.
- Schwarz, R. a. (2010). *LTE(Long Term Evolution) El siguiente nivel*. España.
- Sesia, S. (2011). *LTE—the UMTS long term evolution : from theory to practice*. John Wiley & Sons Ltd.
- The Internet Society. (2001). *Reverse Tunneling for Mobile IP IETF RFC 3024*.
- Toskala, H. H. (2011). *LTE for UMTS : Evolution to LTE-Advanced - Second Edition*. John Wiley and Sons.
- Wray Castle Limited. (2009). *Cell Planning for LTE Networks*. Bridge Mills, Stramongate, Kendal.
- Xirio. (n.d.). *Okumura-Hata*. Xirio Online: <https://www.xirio-online.com/web/help/es/index.htm>

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

Formulación del Problema	Objetivo	Variable	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores
¿Cómo se podrá establecer la cobertura óptima de la comunidad campesina de Chucatamani?	Diseñar estaciones base celular LTE, teniendo en cuenta los accidentes geográficos, para dar cobertura óptima a la comunidad campesina	Red de Acceso LTE	Diseñar una red de acceso que brinde cobertura a toda la zona de la comunidad campesina, de forma óptima	Parámetros de Diseño	Ancho de Banda (Hz)
					Eficiencia Espectral (bits/Hz)
¿Cuáles son los parámetros que considerar para el diseño de una red LTE, en la comunidad campesina de Chucatamani?	Establecer la parametrización de calidad correspondiente, ancho de banda y eficiencia espectral, para cumplir de manera óptima la demanda de usuarios de la zona y caseríos aledaños	Red de Acceso LTE	Diseñar una red de acceso que brinde cobertura a toda la zona de la comunidad campesina, de forma óptima		Superficie (km ²)
					Tráfico (bits/s/usuario)
				Cobertura	Calidad de Señal (dB)
					Usuarios (usuario/km ²)

Anexo 2: Datafill de Estaciones Base

eNodeB Site: ATL6001_Via_Chucutamani										
eNodeB ID	LTE SITE			Request Date	Number of Sectors	Base Station			Base Station	
236001	ATL6001_Via_Chucutamani			3-mar-23	2	MBTS_AT6001_VIA_CHUCATAMANI			Outdoor	
Tower Height	20 m.			Site	Greenfield			Type of Tower	Ventada Arriostada	
Address	S/N Propiedad de la Municipalidad			District	Héroes Albarracín			Department	Tacna	
Latitude	-17.4836222	Longitude	-70.120325	Province	Tarata			Loc Id Name	TAC Tacna	
Band 28 : Data Fill eNodeB - Cell										
Cell Configuration										
eNodeB ID	eNodeB Name	Sector	CellName	Local Cell ID	CellID	LTE Cell Identity	Sector ID	MCC	MNC	LTE BAND
236001	ATL6001_Via_Chucutamani	ATL60011	ATL60011C4_Via_Chucutamani	100	251	60416507	1	716	10	28
236001	ATL6001_Via_Chucutamani	ATL60012	ATL60012C4_Via_Chucutamani	101	252	60416508	2	716	10	28
Antenna Configuration										
eNodeB ID	eNodeB Name	Sector	CellName	Antenna Type	Equipo	Ground Height	Azimuth	E-Downtilt	M-Downtilt	Downtilt
236001	ATL6001_Via_Chucutamani	ATL60011	ATL60011C4_Via_Chucutamani	ASH4518R10v06	RRU3268	20 meters	150°	3°	2°	5°
236001	ATL6001_Via_Chucutamani	ATL60012	ATL60012C4_Via_Chucutamani	ASH4518R10v06	RRU3268	20 meters	290°	3°	2°	5°
Parameters Configuration										
eNodeB ID	eNodeB Name	Sector	CellName	Frequency Bandwidth Uplink	Frequency Bandwidth Downlink	Earfcn DL	Earfcn UL	Physical Random Access Channel (PRACH)	Tracking Area Code (TAC)	Physical Cell Identity (PCI)
236001	ATL6001_Via_Chucutamani	ATL60011	ATL60011C4_Via_Chucutamani	15 MHz	15 MHz	9435	27435	624	56141	80
236001	ATL6001_Via_Chucutamani	ATL60012	ATL60012C4_Via_Chucutamani	15 MHz	15 MHz	9435	27435	624	56141	81
Parameters Configuration										
eNodeB ID	eNodeB Name	Sector	CellName	EPC Primario	EPC Secundario	Management Plane (VLAN)	MIMO Mode	Cell transmission and reception mode	Maximum Output Power (dBm)	Duplex Mode
236001	ATL6001_Via_Chucutamani	ATL60011	ATL60011C4_Via_Chucutamani	HARQvUSN01	HLBvUSN02	3600	MIMO 2x2	2T2R	43	FDD
236001	ATL6001_Via_Chucutamani	ATL60012	ATL60012C4_Via_Chucutamani	HARQvUSN01	HLBvUSN02	3600	MIMO 2x2	2T2R	43	FDD

eNodeB Site: ATL6002_Chucutamani_Pueblo										
eNodeB ID	LTE SITE			Request Date	Number of Sectors	Base Station			Base Station	
236002	ATL6002_Chucutamani_Pueblo			3-mar-23	2	MBTS_AT6002_CHUCATAMANI_PUEBLO			Outdoor	
Tower Height	15 m.			Site	Greenfield			Type of Tower	Mastil Ventado	
Address	S/N Espaldas de Iglesia, Propiedad de Manuel Colque Santos			District	Héroes Albarracín			Department	Tacna	
Latitude	-17.4788972	Longitude	-70.1253111	Province	Tarata			Loc Id Name	TAC Tacna	
Band 28 : Data Fill eNodeB - Cell										
Cell Configuration										
eNodeB ID	eNodeB Name	Sector Name	CellName	Local Cell ID	CellID	LTE Cell Identity	Sector ID	MCC	MNC	LTE BAND
236002	ATL6002_Chucutamani_Pueblo	ATL60021	ATL60021C4_Chucutamani_Pueblo	100	251	60416763	1	716	10	28
236002	ATL6002_Chucutamani_Pueblo	ATL60022	ATL60022C4_Chucutamani_Pueblo	101	252	60416764	2	716	10	28
Antenna Configuration										
eNodeB ID	eNodeB Name	Sector Name	CellName	Antenna Type	Equipo	Ground Height	Azimuth	E-Downtilt	M-Downtilt	Downtilt
236002	ATL6002_Chucutamani_Pueblo	ATL60021	ATL60021C4_Chucutamani_Pueblo	ASH4518R10v06	RRU3268	15 meters	105	6°	2°	8
236002	ATL6002_Chucutamani_Pueblo	ATL60022	ATL60022C4_Chucutamani_Pueblo	ASH4518R10v06	RRU3268	15 meters	295	3°	2°	5°
Parameters Configuration										
eNodeB ID	eNodeB Name	Sector Name	CellName	Frequency Bandwidth Uplink	Frequency Bandwidth Downlink	Earfcn DL	Earfcn UL	Physical Random Access Channel (PRACH)	Tracking Area Code (TAC)	Physical Cell Identity (PCI)
236002	ATL6002_Chucutamani_Pueblo	ATL60021	ATL60021C4_Chucutamani_Pueblo	15 MHz	15 MHz	9435	27435	624	56141	90
236002	ATL6002_Chucutamani_Pueblo	ATL60022	ATL60022C4_Chucutamani_Pueblo	15 MHz	15 MHz	9435	27435	624	56141	91
Parameters Configuration										
eNodeB ID	eNodeB Name	Sector Name	CellName	EPC Primario	EPC Secundario	Management Plane (VLAN)	MIMO Mode	Cell transmission and reception mode	Maximum Output Power (dBm)	Duplex Mode
236002	ATL6002_Chucutamani_Pueblo	ATL60021	ATL60021C4_Chucutamani_Pueblo	HARQvUSN01	HLBvUSN02	3600	MIMO 2x2	2T2R	43	FDD
236002	ATL6002_Chucutamani_Pueblo	ATL60022	ATL60022C4_Chucutamani_Pueblo	HARQvUSN01	HLBvUSN02	3600	MIMO 2x2	2T2R	43	FDD

Anexo 3: Proforma de Instalación de Estaciones Base

PROFORMA N°:	No. 007-01	
FECHA:	20/01/23	
DEPARTAMENTO:	TACNA	
ESTACION:	CHUCATAMANI	
CODIGO:	CHUCATAMANI	
PAP:		
VALIDEZ:	15 DIAS	

ITEM	DESCRIPCION	P.Total
1,00	Torre Ventada Triangular (altura 20 Mts,Ancho 0.40 Mts) Pintado 9 Mils (3 capas) ATL6001_Via_Chucatamani	62.561,99
2,00	Torre Ventada Triangular (altura 20 Mts,Ancho 0.40 Mts) Pintado 9 Mils (3 capas) ATL6002_Chucatamani_Pueblo	44.122,14
3,00	Instalacion Nodo B	27.706,80
		134.390,9
		2

Condiciones Comerciales -

- * Los precios no incluyen IGV
- * Los precios estan expresados en Nuevos Soles

Filiberto Santillán | Gerente Operaciones | Somercor Peru SA
 Juvenal Denegri 268 – 270 – Santa Catalina – La Victoria –Lima –Peru
 T (+511) 224-8153 | RPC: 987 322 837
fsantillan@somercorperu.com

COTIZACION INSTALACION NODO B						
SITE: ATL6001_Via_Chucatamani						
ITEM	DESCRIPCION	UM	CANT	UNIT.	TOTAL	OBSERVACIONES
1.00	PARTIDAS GENERALES y MANTENIMIENTO DE ESTRUCTURA					
	MÓDULO SÓLO PARA PROYECTO INSTALACION ANTENA Installation Service consists: - TSS Visit for all sites -01 4 Port Antenna -Installation of 01 UBBDP Board, 01 UPEU board and 01 DCCU - Installation of 01 BBU (if suitable) -Commissioning 700 LTE, Acceptance Service - PIM LOGICAL - VSWR LOGICAL -01 2800 RRU Installation Service -Provisioning for Local Materials (Breakers, conduit Pipe, Connectors, labels) Site Adaptation Service 1. Supply and Installation of 1mx2.5' bracket or 2mx2.5' selfsupported Pole for each RRU. 2. Supply and Installation of 2m Bracket for each Antenna (if necessary) 3. Supply and Installation of cooper Grounding Bar L"W*300'50'5mm, 18 Holes. 4. Supply and Installation of 300mm width Cable Tray. 5. Supply and Installation of cooper Grounding Cable TW 50 mm2, 0AWG, yellow. 6. Supply and installation of Local Installation Kit Project Management, incluye instalación GPS, VSWR y PIM lógico	Und	2.00	7950,00	15900,00	
4.00	TRANSPORTE					
4.01	Pasajes técnicos- Lima Provincia Ica y Retomo			5,00	S/ 205,00	S/ 1.025,00
4.02	Viáticos solo para personal especializado obras que duren menos de 20 dias - 75X 4 Tecnicos	Da	15,00	S/ 300,00	S/ 4.500,00	
4.03	Transporte de equipos, herramientas y personal (overhaul) - incluye proteccion de paredes y equipos , acameo.	KG	1280,00	S/ 25	S/ 32.000,00	
					IMPORTE	S/ 23.089,00
					GG-UTILIDAD 20%	S/ 4.617,80
					IMPORTE TOTAL	S/ 27.706,80

COTIZACION INSTALACION TORRE VENTADA DE 20 MTS						
SITE: ATL6001_Via Chucutamani						
ITEM	DESCRIPCION	UM	CANT	UNIT.	TOTAL	OBSERVACIONES
1.00	PARTIDAS GENERALES y MANTENIMIENTO DE ESTRUCTURA					
1.01	Transporte de equipos, herramientas y personal (overhaul), incluye proteccion de paredes y equipos , acarreo.	GL	1,00		313,76	
2.00	MANTENIMIENTO DE ESTRUCTURA					
2.01	Cambio de linea (cable) de vida , incluye suministro	ML	27,00	6,30	170,10	Linea de Vida
2.02	Viento tipo retenida 1/2" , incluye suministro y engrase	M.	145,64	16,50	2403,04	12 Vientos
2.03	Grapa para cable de acero 1/2" , incluye suministro	UND	102,00	10,98	1119,96	12 Vientos
2.04	Grapa para cable de acero 3/8" , incluye suministro	UND	6,00	7,98	47,88	Linea de Vida
2.05	Guardacabo galvanizado 1/2" , incluye suministro	UND	34,00	5,46	185,64	12 Vientos
2.06	Guardacabo galvanizado 3/8" , incluye suministro	UND	2,00	3,46	6,92	Linea de Vida
2.07	Grillete galvanizado 3/8" , incluye suministro	UND	34,00	14,85	504,90	12 Vientos
2.08	Grillete galvanizado 1/2" , incluye suministro	UND	2,00	9,85	19,70	Linea de Vida
2.09	Templador galvanizado 3/4" , incluye suministro ojo-qp	UND	18,00	96,75	1741,50	12 Vientos
2.09	Templador galvanizado 5/8" , incluye suministro ojo-qp	UND	1,00	86,75	86,75	Linea de Vida
2.01	Cambio de elementos galvanizados (grado 5) , incluye pernos , tuercas , arandelas , abrazaderas , planas.	KG	387,76	22,50	8724,60	
2.02	Cambio de estructuras galvanizadas, incluye perfiles , planchas , soportes , pivotantes , mastiles , cable rack.	KG	2132,58	10,70	22818,63	
3.00	PINTADO DE TORRES , MONOPOLOS y MASTILES					
3.03	Iponiac Primer e = 1 mil (sistema Sherwin Williams) - Duraplate301 W al 80%	M2	139,71	6,98	975,17	
3.04	Macropoxy HS e = 6.0 mils (sistema Sherwin Williams)	M2	139,71	15,01	2097,02	
3.05	Sumatane HS e = 2 mils (sistema Sherwin Williams)	M2	139,71	15,16	2117,98	
4.00	TRANSPORTE					
4.01	Pasajes tecnicos- Lima Provincia Ida y Retomo		5,00	S/ 205,00	S/ 1.025,00	
4.02	Vialicos solo para personal especializado obras que duren menos de 20 dias - 75X 4 Tecnicos	Dia	15,00	S/ 300,00	S/ 4.500,00	
4.03	Transporte de equipos, herramientas y personal (overhaul), incluye proteccion de paredes y equipos , acarreo.	KG	2520,3	S/ 1,30	S/ 3276,4	Traslado de Torre de Lima a Gregorio Abarracn
					IMPORTE	S/ 52434,69
					GG-UTILIDAD20%	S/ 10.427,00
					IMPORTE TOTAL	S/ 62.561,99

COTIZACION INSTALACION TORRE MASTIL 15						
SITE: ATL6002 Chucutamani Pueblo						
ITEM	DESCRIPCION	UM	CANT	UNIT.	TOTAL	OBSERVACIONES
1.00	PARTIDAS GENERALES y MANTENIMIENTO DE ESTRUCTURA					
1.01	Transporte de equipos, herramientas y personal (overhaul), incluye proteccion de paredes y equipos , acarreo.	GL	1,00		313,76	
2.00	MANTENIMIENTO DE ESTRUCTURA					
2.01	Cambio de linea (cable) de vida , incluye suministro	ML	18,00	6,30	113,40	Linea de Vida
2.04	Grapa para cable de acero 3/8" , incluye suministro	UND	6,00	7,98	47,88	Linea de Vida
2.06	Guardacabo galvanizado 3/8" , incluye suministro	UND	2,00	3,46	6,92	Linea de Vida
2.08	Grillete galvanizado 1/2" , incluye suministro	UND	2,00	9,85	19,70	Linea de Vida
2.09	Templador galvanizado 5/8" , incluye suministro ojo-qp	UND	1,00	86,75	86,75	Linea de Vida
2.01	Cambio de elementos galvanizados (grado 5) , incluye pernos , tuercas , arandelas , abrazaderas , planas.	KG	387,76	22,50	8724,60	
2.02	Cambio de estructuras galvanizadas, incluye perfiles , planchas , soportes , pivotantes , mastiles , cable rack.	KG	1635,00	10,70	17484,50	
3.00	PINTADO DE TORRES , MONOPOLOS y MASTILES					
3.03	Iponiac Primer e = 1 mil (sistema Sherwin Williams) - Duraplate301 W al 80%	M2	89,00	6,98	621,22	
3.04	Macropoxy HS e = 6.0 mils (sistema Sherwin Williams)	M2	89,00	15,01	1335,89	
3.05	Sumatane HS e = 2 mils (sistema Sherwin Williams)	M2	89,00	15,16	1349,24	
4.00	TRANSPORTE					
4.01	Pasajes tecnicos- Lima Provincia Ida y Retomo		5,00	S/ 205,00	S/ 1.025,00	
4.02	Vialicos solo para personal especializado obras que duren menos de 20 dias - 75X 4 Tecnicos	Dia	10,00	S/ 300,00	S/ 3.000,00	
4.03	Transporte de equipos, herramientas y personal (overhaul), incluye proteccion de paredes y equipos , acarreo.	KG	2022,70	S/ 1,30	S/ 2.629,50	Traslado de Torre de Lima a Gregorio Abarracn
					IMPORTE	S/ 36.768,45
					GG-UTILIDAD20%	S/ 7.353,69
					IMPORTE TOTAL	S/ 44.122,14

Anexo 4: Datasheet de Antenas Huawei (Huawei, 2016)

ASI4518R10v06

DXXXXXX-690-960/690-960/1695-2690/1695-2690/1695-2690/1695-2690-
65/65/65/65/65/65-17/17/17.5/17.5/17.5/17.5/17.5/17.5-M/M/M/M/M-R
EasyRET Hexa-Band Antenna with 6 Integrated RCUs - 2.6m



HUAWEI

Antenna Specifications

Electrical Properties										
Frequency range (MHz)		2 x (690 - 960)				4 x (1695 - 2690)				
		690 - 803	790 - 862	824 - 894	880 - 960	1695 - 1990	1920 - 2200	2200 - 2490	2490 - 2690	
Polarization		+45°, -45°								
Electrical downtilt (°)		0 - 10, continuously adjustable, each band separately				2 - 12, continuously adjustable, each band separately				
Gain (dBi)	Bottom	at mid Tilt	15.8	16.5	16.7	17.0				
		over all Tilts	15.5 ±0.5	16.3 ±0.5	16.5 ±0.5	16.7 ±0.5				
	Top	at mid Tilt					16.6	17.0	17.2	17.6
		over all Tilts					16.4 ±0.6	16.8 ±0.5	17.0 ±0.5	17.4 ±0.5
			at mid Tilt				16.6	17.0	17.2	17.6
			over all Tilts				16.4 ±0.6	16.8 ±0.5	17.0 ±0.5	17.4 ±0.5
Side lobe suppression for first side lobe above main beam (dB)		> 16	> 17	> 17	> 17	> 16	> 16	> 16	> 16	
Horizontal 3dB beam width (°)		68 ±5	65 ±5	62 ±5	60 ±5	65 ±5	63 ±5	61 ±5	60 ±5	
Vertical 3dB beam width (°)		8.8 ±0.7	8.0 ±0.6	7.8 ±0.5	7.5 ±0.5	7.0 ±0.7	6.0 ±0.5	5.5 ±0.4	5.0 ±0.5	
VSWR		< 1.5								
Cross polar isolation (dB)		≥ 28								
Interband isolation (dB)		≥ 28								
Front to back ratio, ±30° (dB)		> 23	> 26	> 26	> 26	> 26	> 27	> 27	> 28	
Cross polar ratio (dB)		0°	> 17	> 18	> 19	> 20	> 15	> 16	> 17	

ASI4518R10v06

DXXXXXX-690-960/690-960/1695-2690/1695-2690/1695-2690/1695-2690-
65/65/65/65/65/65-17/17/17.5/17.5/17.5/17.5/17.5/17.5-M/M/M/M/M-R
EasyRET Hexa-Band Antenna with 6 Integrated RCUs - 2.6m



HUAWEI

Integrated RET Specifications

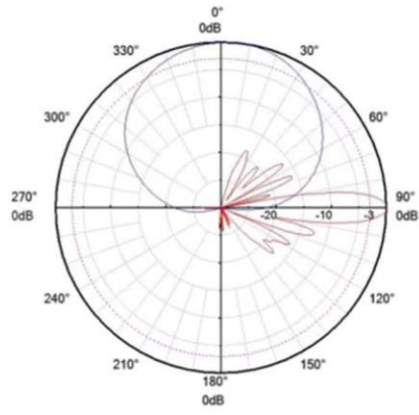
Properties								
RET type	Integrated RET							
RET protocols*	AISG 2.0 / 3GPP							
Input voltage range (V)	10 - 30 DC							
Power consumption (W)	< 6 (motor activated, 12V) < 1.5 (stand by, 12V)							
Adjustment time (full range) (s)	< 65 (typically, depending on antenna type)							
RET connector	4 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 μs) 10 (8/20 μs)							

* 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.

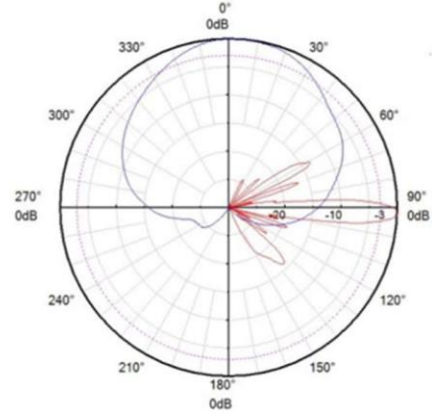
Standards: UL 60950-1 (Safety), UL 60950-22 (Safety – Equipment installed outdoor), EN 55022 (Emission),
EN 55024 (Immunity), ETSI EN 301 489, FCC Part15, ICES-003

Certification: CE, FCC, IC, RCM

Integrated RET S/N:



690 - 960 MHz



1695 - 2690 MHz

Anexo 5: Glosario de Términos

3GPP	Third Generation Partnership Project
4G	Fourth Generation of Mobile Phone
AAS	Active Antenna System
ACK	Acknowledgement
ACK/NACK	Acknowledgement/Negative Acknowledgement
BBU	Baseband Unit
BER	Bit Error Ratio
BPSK	Binary Phase Shift Keying Modulation
BTS	Base Transceiver Station
BW	Bandwidth
CA	Carrier Aggregation
CC	Component Carrier
CoMP	Coordinated Multi-Point
CPICH	Common Pilot Channel
CPRI	Common Public Radio Interface
CQI	Channel Quality Indicator
CRC	Cyclic Redundancy Check
DAS	Distributed Antenna System
DFT	Discrete Fourier Transform
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
EARFCN	E-UTRA Absolute Radio Frequency Channel Number
eNb	Evolved NodeB
EPC	Evolved Packet Core
FDD	Frequency Division Duplex
FFT	Fast Fourier Transform
FE	Fast Ethernet, soporta hasta 100 Mb/s
GE	Gigabit Ethernet, soporta hasta 1000 Mb/s
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communication
IP	Internet Protocol
LAC	Location Area Service
LTE	Long Term Evolution
MIMO	Multiple-Input Multiple-Output
MME	Mobile Management Entity
NAS	Non Access Stratum

OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiplex Access
PAPR	Peak to Average Power Ratio
PCCH	Paging control channel
PDN	Packet Data Network
PRB	Physical Resource Block
PUSCH	Physical Uplink Shared Channel
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RACH	Random access channel
RAN	Radio Access Network
RAT	Radio Access Technology
RET	Remote Electrical Tilt
RRC	Radio Resource Control
RRU	Remote Radio Unit
S-GW	Serving Gateway
SAE	System Architecture Evolution
SC-FDMA	Single Carrier Frequency Division Multiple Access
TDD	Time Division Duplex
UE	User Equipment
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
Wi-Fi	Wireless fidelity