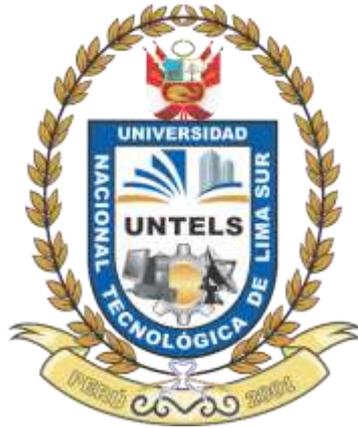


UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**



**“DISEÑO DE UNA RED 4G LONG TERM EVOLUTION (LTE) EN
REDES MOVILES PARA EL DISTRITO DE AYACUCHO – PROVINCIA
DE HUAMANGA REGION DE AYACUCHO”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de
INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES

**PRESENTADO POR EL BACHILLER
REYES ZEGARRA, ANGHELLO ELIAS**

Villa El Salvador

2016

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a toda mi familia, en especial a mi padre y madre, ya que son los dos pilares más importantes en mi vida, quienes me han enseñado a no desfallecer ni rendirme ante nada y siempre perseverar, a mis hermanos quienes de una u otra forma me apoyaron en toda mi carrera universitaria y finalmente a mi abuela que desde el cielo sé que estará muy orgullosa de mi.

Gracias a ellos y mi esfuerzo he podido cumplir mi primer objetivo de vida planteado hace muchos años que es llegar a ser ingeniero electrónico y telecomunicaciones.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme salud, sabiduría y mucha fuerza para no decaer en el camino de llegar a ser un ingeniero.

A mis padres sabiendo que no me alcanzara la vida para agradecerle por todo su sacrificio y esfuerzo, este objetivo cumplido también es de ustedes.

A mis hermanos por brindarme su ayuda cuando más lo necesite fueron ejes fundamentales en vida universitaria y seguirán siendo el resto de mi vida.

A mis profesores tanto de colegio como de universidad por brindarme sus conocimientos tanto en mi vida estudiantil como en el desarrollo del proyecto.

Finalmente a todos mis amigos y compañeros con los cuales conviví 5 años de mi vida los cuales nunca olvidare.

Índice

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
ÍNDICE.....	iv
LISTA DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE TABLAS.....	viii
INTRODUCCIÓN.....	11
CAPÍTULO I : PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA	13
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	15
1.3 DELIMITACIÓN DEL PROYECTO	16
1.3.1 Teórica:	16
1.3.2 Espacial:	16
1.3.3 Temporal:	17
1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	17
1.4.1 Problema General.....	17
1.4.2 Problemas Específicos	17
1.5 OBJETIVO.....	18
1.5.1 Objetivo General	18
1.5.2 Objetivos Específicos.....	18
CAPÍTULO II : MARCO TEÓRICO.....	19
2.1 ANTECEDENTES	19
2.2 BASES TEÓRICAS.....	23
2.2.1 Antecedentes LTE.....	23
2.2.2 Conceptos Básicos	24
2.2.2.1 Funcionamiento general de una red móvil.....	24
2.2.2.2 Sub-Portadora.....	25
2.2.2.3 OFDMA	26
2.2.2.4 SC-FDMA.....	27
2.2.3 Arquitectura - LTE.....	29
2.2.3.1 Núcleo de red (EPC)	30
2.2.3.2 Red de Acceso (E-UTRAN).....	31
2.2.4 Bandas de frecuencias disponibles para LTE.....	32
2.2.5 Arquitectura de protocolos LTE.....	33
2.2.6 Interfaz aire – capa física LTE	34
2.2.7 Estructura de trama genérica.....	35
2.2.8 Capa física LTE – Downlink.....	36
2.2.8.1 Modulación LTE	36
2.2.8.2 Recursos físicos (Downlink).....	37
2.2.8.3 Canales físicos (Downlink).....	39
2.2.8.4 Canales de transporte (Downlink).....	40

2.2.8.5	Procesamiento de la capa física.....	41
2.2.9	Capa física LTE – Uplink (enlace de subida)	41
2.2.9.1	Parámetros de modulación del enlace de subida.....	42
2.2.9.2	Recursos físicos del enlace de subida	42
2.2.9.3	Canales físicos del enlace de subida	42
2.2.9.4	Canales de transporte del enlace de subida	43
2.2.9.5	Procesamiento de la capa física del enlace de subida	43
2.2.10	Técnicas de Multi-Antenas (MIMO Múltiple entrada – múltiple salida) – LTE.....	44
2.2.10.1	Mimo en el enlace de bajada.....	44
2.2.10.2	MIMO en el enlace de subida	44
2.2.11	Capa 2 (MAC - Control Acceso al medio).....	45
2.2.11.1	Canales Lógicos del enlace de subida.....	46
2.2.11.2	Flujo de datos en la capa MAC	47
2.2.12	Capa RRC.....	48
2.2.12.1	Estados RRC (Plano de control)	48
2.3	MARCO CONCEPTUAL	49
CAPÍTULO III : DISEÑO		55
3.1	ANÁLISIS DEL DISEÑO	55
3.1.1	Procedimientos de recolección de datos	55
3.1.1.1	Estudio económico del mercado	55
3.1.1.2	Análisis de la población en Ayacucho	59
3.1.1.3	Distribución de la PET en el distrito de Ayacucho por rango de ingresos	61
3.1.1.4	Distribución de la PET en el distrito de Ayacucho según rango de edad.....	62
3.1.1.5	Distribución de la PET según actividad Económica.....	63
3.1.1.6	Determinación de la demanda.....	65
3.1.1.7	Servicios a ofrecer.....	70
3.2	DISEÑO DEL PROYECTO	72
3.2.1	Cálculo del número de eNodos B.....	72
3.2.2	Topología de la red.....	81
3.2.3	Diseño de la Red de Transporte	82
3.2.4	Diseño de la Red de Acceso.....	89
3.2.5	Especificaciones Técnicas del Equipamiento.	99
3.2.6	Análisis de Costos de Implementación.	105
3.2.6.1	Costos del equipamiento e instalación (CAPEX)	106
3.2.6.2	Costos de Operación y Mantenimiento (OPEX).....	109
3.2.6.3	Ingresos	111
3.2.6.4	Flujo de Caja y Evaluación Financiera	113
3.3	RESULTADOS.....	114
3.3.1	Resultados de la red de transporte:.....	114
3.3.2	Resultados de la red de acceso:.....	114
Conclusiones.....		116
Recomendaciones.....		117
Bibliografía.....		118
Anexos.....		123

LISTADO DE FIGURAS

FIGURA 1.1: REPORTES DE RECLAMOS DEL SERVICIO DE LOS OPERADORES MÓVILES.	15
FIGURA 2.1: ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE UNA RED MÓVIL	25
FIGURA 2.2: COMPARACIÓN EN LO QUE RESPECTA A AHORRO DE ANCHO DE BANDA ENTRE FDM Y OFDM.	26
FIGURA 2.3: VISTA DE OFDMA Y SC-FDMA EN FORMA GRÁFICA.	28
FIGURA 2.4: ELEMENTOS DE RED UMTS EVOLUCIONADA (EPS).	29
FIGURA 2.5: ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN LA RED TRONCAL (EPC).....	30
FIGURA 2.6: RED DE ACCESO INALÁMBRICO.....	31
FIGURA 2.7: ARQUITECTURA DE PROTOCOLOS LTE.....	34
FIGURA 2.8: ESTRUCTURA DE LA TRAMA GENÉRICA PARA <i>DOWNLINK</i> Y <i>UPLINK</i> LTE...	35
FIGURA 2.9: RECURSOS FÍSICOS DOWNLINK.....	39
FIGURA 2.10: LTE - ORGANIZACIÓN CAPA 2.....	46
FIGURA 3.2: PBI INTERNO A PRECIOS CONSTANTES DE 1994 DE LOS DEPARTAMENTOS DEL PERÚ.....	57
FIGURA 3.2: MAPA POLÍTICO DEPARTAMENTAL DE AYACUCHO.....	58
FIGURA 3.3: ACTIVIDAD ECONÓMICA EN LA REGIÓN DE AYACUCHO, 2007 (MILES DE PERSONAS).	59
FIGURA 3.4: ACTIVIDAD ECONÓMICA EN EL DISTRITO DE AYACUCHO, 2007 (MILES DE PERSONAS).	60
FIGURA 3.5: MERCADO MÓVIL DEL PERÚ 2014 – 2020.	66
FIGURA 3.6: NÚMERO DE LÍNEAS PARA PLAN BÁSICO.	76
FIGURA 3.7: NÚMERO DE LÍNEAS PARA PLAN INTERMEDIO.	77
FIGURA 3.8: NÚMERO DE LÍNEAS PARA PLAN EMPRESARIAL.	79
FIGURA 3.9: DISTRIBUCIÓN DE LOS 11 ENODOS B Y ZONA DE COBERTURA.....	82
FIGURA 3.10: TOPOLOGÍA DE LA RED DE TRANSPORTE.....	83
FIGURA 3.11: ENLACE ENTRE EL ENODO B1 Y ENODO B2.....	84
FIGURA 3.12: ENLACE ENTRE EL ENODO B1 Y ENODO B3.....	84
FIGURA 3.13: ENLACE ENTRE EL ENODO B1 Y ENODO B4.....	85

FIGURA 3.14: ENLACE ENTRE EL ENODO B1 Y ENODO B5.....	85
FIGURA 3.15: ENLACE ENTRE EL ENODO B1 Y ENODO B6.....	86
FIGURA 3.16: ENLACE ENTRE EL ENODO B1 Y ENODO B7.....	86
FIGURA 3.17: ENLACE ENTRE EL ENODO B1 Y ENODO B8.....	87
FIGURA 3.18: ENLACE ENTRE EL ENODO B1 Y ENODO B9.....	87
FIGURA 3.19: ENLACE ENTRE EL ENODO B1 Y ENODO B10.....	88
FIGURA 3.20: ENLACE ENTRE EL ENODO B1 Y ENODO B11.....	88
FIGURA 3.21: ÁREA DE UNA CELDA LTE.....	99
FIGURA 3.22: ENODO B DE HUAWEL.....	100
FIGURA 3.23: GABINETE APM30H.	101
FIGURA 3.24: BBU3900.....	102
FIGURA 3.25: RRU3908.....	103
FIGURA 3.26: DIMENSIONES DE LA ANTENA.	103
FIGURA 3.27: ESPECIFICACIONES GENERALES DE LA ANTENA.	104
FIGURA 3.28: ANTENA MARCA ARGUS.....	104
FIGURA 3.29: TORRE MIMETIZADA.....	105

LISTADO DE TABLAS

TABLA 2.1: EVOLUCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE TELECOMUNICACIONES MÓVILES.....	24
TABLA 2.2: DESCRIPCIÓN ELEMENTOS NÚCLEO DE RED.....	30
TABLA 2.3: BANDAS DE FRECUENCIA DISPONIBLES PARA LTE.....	32
TABLA 2.4: ENLACE DE BAJADA (DOWNLINK) - PARÁMETROS DE MODULACIÓN.....	37
TABLA 2.5: NÚMERO DE PRBS PARA DISTINTOS ANCHOS DE BANDA.....	38
TABLA 2.6: ENLACE DE BAJADA (DOWNLINK) - CANALES FÍSICOS.....	40
TABLA 2.7: ENLACE DE BAJADA (DOWNLINK) - CANALES DE TRANSPORTE.....	40
TABLA 2.8: PROCESAMIENTO DE LA CAPA FÍSICA DOWNLINK.....	41
TABLA 2.9: ENLACE DE SUBIDA (UPLINK) - PARÁMETROS MODULACIÓN.....	42
TABLA 2.10: ENLACE DE SUBIDA (UPLINK) - CANALES FÍSICOS.....	43
TABLA 2.11: ENLACE DE SUBIDA (UPLINK) - CANALES DE TRANSPORTE.....	43
TABLA 2.12: ENLACE DE SUBIDA (UPLINK) - PROCESAMIENTO DE LA CAPA FÍSICA.....	44
TABLA 2.13: CANALES LÓGICOS DE CONTROL DEL ENLACE DE SUBIDA.....	47
TABLA 2.14: CANALES LÓGICOS DE TRÁFICO.....	47
TABLA 3.1: PET Y TASA DE CRECIMIENTO POBLACIÓN.....	61
TABLA 3.2: PET POR RANGO DE INGRESOS.....	62
TABLA 3.3: DISTRIBUCIÓN DE LA PET SEGÚN RANGO DE EDADES.....	62
TABLA 3.4: DISTRIBUCIÓN DE LA PET SEGÚN ACTIVIDAD ECONÓMICA.....	63
TABLA 3.5: AFLUENCIA DE TURISTAS NACIONALES E INTERNACIONALES PARA LA REGIÓN AYACUCHO.....	64
TABLA 3.6: AFLUENCIA DE TURISTAS NACIONALES E INTERNACIONALES PARA EL DISTRITO DE AYACUCHO.....	65
TABLA 3.7: PENETRACIÓN DEL SERVICIO 3G Y LTE EN EL DISTRITO DE AYACUCHO PARA EL AÑO 2016.....	67
TABLA 3.8: PENETRACIÓN DEL SERVICIO 3G Y LTE EN EL TURISTA NACIONAL E INTERNACIONAL PARA EL AÑO 2016.....	67
TABLA 3.9: PERSONAS A LAS QUE FINALMENTE SE LES BRINDARÁ EL SERVICIO (ESCENARIO OPTIMISTA).....	68

TABLA 3.10: PERSONAS A LAS QUE FINALMENTE SE LES BRINDARÁ EL SERVICIO (ESCENARIO MODERADO).....	69
TABLA 3.11: PERSONAS A LAS QUE FINALMENTE SE LES BRINDARÁ EL SERVICIO (ESCENARIO PESIMISTA).....	69
TABLA 3.12: CARACTERÍSTICAS DEL PLAN BÁSICO.....	70
TABLA 3.13: CARACTERÍSTICAS DEL PLAN INTERMEDIO.....	71
TABLA 3.14: CARACTERÍSTICAS DEL PLAN EMPRESARIAL.	71
TABLA 3.15: DISTRIBUCIÓN DE LOS CLIENTES.	73
TABLA 3.16: CONSUMO DE DATOS PARA EL PLAN BÁSICO.	74
TABLA 3.17: CONSUMO DE DATOS PARA EL PLAN INTERMEDIO.	74
TABLA 3.18: CONSUMO DE DATOS PARA EL PLAN INTERMEDIO.	74
TABLA 3.19: CONSUMO DE VOZ PARA EL PLAN BÁSICO EN MÈRL.	75
TABLA 3.20: CONSUMO DE VOZ EN MBPS PARA EL PLAN BÁSICO.	76
TABLA 3.21: CONSUMO DE VOZ PARA EL PLAN INTERMEDIO EN MÈRL.	77
TABLA 3.22: CONSUMO DE VOZ EN MBPS PARA EL PLAN INTERMEDIO.....	78
TABLA 3.23: CONSUMO DE VOZ PARA EL PLAN EMPRESARIAL EN MÈRL.....	78
TABLA 3.24: CONSUMO DE VOZ EN MBPS PARA EL PLAN EMPRESARIAL.....	79
TABLA 3.25: NÚMERO DE ENODOS B REQUERIDOS.	80
TABLA 3.26: UBICACIÓN DE LOS ENODOS B.....	81
TABLA 3.27: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL ENLACE MICROONDAS.	83
TABLA 3.28: VARIACIÓN DEL SINR E IM EN FUNCIÓN DEL TIPO DE MODULACIÓN Y DEL CODE RATE.....	92
TABLA 3.29: VALORES MÍNIMOS Y MÁXIMOS DEL SINR SEGÚN EL TIPO DE MODULACIÓN.	92
TABLA 3.30: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL EQUIPO TRANSMISOR Y RECEPTOR, EN EL ENLACE DE SUBIDA.	94
TABLA 3.31: VALORES PARA LA PERDIDA POR PROPAGACIÓN EN EL ESPACIO LIBRE PARA EL ENLACE DE SUBIDA.....	95
TABLA 3.32: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL EQUIPO TRANSMISOR Y RECEPTOR, EN EL ENLACE DE BAJADA.....	96
TABLA 3.33: VALORES PARA LA PERDIDA POR PROPAGACIÓN EN EL EN ESPACIO LIBRE PARA EL ENLACE DE BAJADA.....	97

TABLA 3.34: RADIOS DE COBERTURA SEGÚN EL TIPO DE MODULACIÓN.....	98
TABLA 3.35: COSTOS DE EQUIPOS, DE LA RED DE ACCESO + CORE, RED DE TRANSPORTE E INFRAESTRUCTURA.	107
TABLA 3.36: COSTOS DE INSTALACIÓN DE EQUIPOS.....	108
TABLA 3.37: COSTOS DE EQUIPOS TERMINALES DE USUARIO.	108
TABLA 3.38: CAPEX TOTAL.	109
TABLA 3.39: GASTOS DE MANTENIMIENTO.....	109
TABLA 3.40: GASTOS DE OPERACIÓN.....	110
TABLA 3.41: GASTOS GENERALES.....	111
TABLA 3.42: OPEX TOTAL.....	111
TABLA 3.43: INGRESOS POR SERVICIO EN EL PRIMER AÑO.	112
TABLA 3.44: INGRESOS POR VENTA DE TERMINALES MÓVILES PARA EL PRIMER AÑO. .	112
TABLA 3.45: INGRESO TOTAL PARA EL PRIMER AÑO DE SERVICIO.....	113
TABLA 3.46: FLUJO DE CAJA PARA LOS PRIMEROS 5 AÑOS.....	113
TABLA 3.47: VAN Y TIR DEL PROYECTO.....	113
TABLA 3.48: DATOS MÁS RELEVANTES DE LOS ENLACES MICROONDAS DE LA RED DE TRANSPORTE.	114
TABLA 3.49: VALORES MÍNIMOS MÁS RELEVANTES DE LA RED DE ACCESO.....	115
TABLA 3.50: VALORES MÁXIMOS MÁS RELEVANTES DE LA RED DE ACCESO.....	115

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación lleva por título **“DISEÑO DE UNA RED 4G LONG TERM EVOLUTION (LTE) EN REDES MÓVILES PARA EL DISTRITO DE AYACUCHO – PROVINCIA DE HUAMANGA - REGIÓN DE AYACUCHO”**, para optar el título de Ingeniero electrónico y telecomunicaciones, presentado por el bachiller Anghello Elias Reyes Zegarra.

En la actualidad el mundo de las telecomunicaciones cobra cada vez mayor importancia e influencia en la vida de todos nosotros. Una de las áreas de mayor uso es el de las comunicaciones móviles, que está siempre en constante evolución.

Los usuarios de hoy exigen menores costos tanto de equipos como planes, una mejor calidad en las llamadas y mejores servicios tales como videos llamadas y otras aplicaciones que requieran de altas velocidades.

Por lo tanto el objetivo principal del presente proyecto es realizar el diseño de una red 4G–Long Term Evolution (LTE) para el distrito de Ayacucho debido a que es uno de los distritos turísticos más importantes que tiene la provincia de Huamanga, porque contiene el 80% del total de iglesias que existen en la región de Ayacucho, recordemos que la ciudad de huamanga es conocida como la ciudad de las iglesias, el cual acoge a miles de turistas en todo el año y sobre todo en el mes de semana santa, donde se genera gran cantidad de tráfico de llamadas, con este diseño se desea satisfacer la demanda que se genere en dicho distrito.

La estructura que hemos seguido en este proyecto se compone de 3 capítulos:

El primer capítulo comprende el planteamiento del problema, donde se describe la realidad problemática que afecta al distrito de Ayacucho, por la cual se dio la necesidad de desarrollar el presente proyecto.

El segundo capítulo comprende desarrollo del marco teórico, donde se muestra los antecedentes de la investigación, además de las bases teóricas en la cual se sustenta el proyecto y por último el marco conceptual que nos ayuda a comprender mejor algunos términos usados en el presente proyecto.

El tercer capítulo corresponde al diseño del proyecto, donde se realiza un análisis de mercado de la telefonía móvil en el distrito de Ayacucho, para poder identificar a la población potencial, además se muestra la construcción del diseño, seguidamente se realiza un análisis de costos de implementación y por último se muestra una revisión y consolidación de resultados.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

La telefonía celular demuestra ser un excelente medio a utilizar para brindar acceso a datos y servicios de telefonía en cualquier lugar y momento surgiendo así la necesidad de que día a día la telefonía móvil este en constante estudio y evolución.

Se puede decir que hoy en día según la ITU (unión internacional de telecomunicaciones) que existen alrededor de 7000 millones de teléfonos celulares que son prácticamente igual a la cantidad de habitantes en el planeta, América latina no es la excepción, ya que cerca del 70% de la población es decir unos 400 millones de personas tienen un teléfono celular.

En la actualidad en el Perú existen 4 operadores de telefonía móvil con red propia las cuales son:

- Telefónica del Perú – 17 millones 300 mil líneas móviles.
- América móvil (claro) – 12 millones 500 mil líneas móviles.

- Entel Perú – 1 millón 700 mil líneas móviles.
- Bitel – 323 mil líneas móviles.

Dando un total de 3 millones 823 mil líneas móviles, información tomada del Organismo Supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones (OSIPTEL) actualizada a marzo del año 2015, esto indica que el número de líneas móviles supera la cantidad de habitantes en el país.

El distrito de Ayacucho no es ajena al crecimiento vertiginoso de usuarios de telefonía móvil, al ser un distrito turístico (por sus iglesias) que acoge a miles de turistas casi todo el año y sobre todo en el mes de marzo que se celebra la semana santa, no está preparada para poder satisfacer ese aumento de tráfico de llamadas que se ocasiona, además no cuenta con una expectativa hacia la aparición de nuevos servicios y aplicaciones como videoconferencia, internet móvil, video llamada, descarga de archivos multimedia, juegos en línea, etc.

Según el Organismo Supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones (OSIPTEL) en su aplicativo informático SEÑAL OSIPTEL actualizada al año 2015, donde se muestra la cobertura y el servicio que brinda cada operadora móvil, además de los reclamos de los usuarios, se puede observar que actualmente en el distrito de Ayacucho el servicio de telefonía móvil es deficiente, ya que solo cuenta con estaciones bases celulares con tecnología 2G y 3G en operación, todo lo dicho se muestra en la FIGURA 1.1. Todo esto provoca que las conexiones de las llamadas y el uso de internet en dispositivos móviles sean aún limitados en cuanto a velocidad de transmisión de datos se refieren. A pesar de haber aumentado el número de estaciones bases celulares con tecnología 3G, aún existe un déficit a la hora de soportar una demanda de alta conexiones ocasionando una baja y mala conectividad, es por esto que es necesario

realizar un estudio apropiado para la migración de redes 3G a 4G-LTE para poder brindar un mejor servicio de telefonía móvil tanto a los pobladores del distrito de Ayacucho como a sus visitantes.

Todo esto se puede lograr solucionando algunos problemas, como reducir la pérdida de información por zonas sin cobertura y la mala calidad del servicio QoS, implementando técnicas y protocolos nuevos para optimizar el funcionamiento de la red móvil.



Departamento	Provincia	Distrito	Empresa	Fecha Visita	Fecha Reporte	Nombre	Apellido Paterno	Apellido Materno	Comentario	Calidad
AYACUCHO	HUAMANGA	AYACUCHO	MOVISTAR	01/04/2014	08/04/2014	JOHN	NETO	HERRERA	La señal desde hace ya varios meses va cayendo, imposibilitando poder realizar llamadas y también poder contestarlas, se para perdiendo la señal constantemente y lamentablemente la empresa NO HACE NADA	Se corta la llamada, No se entiende, Se entrecorta la voz, Con ruido
AYACUCHO	HUAMANGA	AYACUCHO	CLARO	01/04/2015	28/04/2015	MIGUEL ANGEL	CAMPOS	VEGA	Mi Operador Claro en la Ciudad de Ayacucho. Supuestamente en esta ciudad hay 4G pero eso es vil mentira que hace a sus clientes, engañan solo muestra intensidad de señal 4G solo 2 barras y pesima calidad de navegación muy lento e inclusive se va el servicio de internet. MEJORAR CON MAS ANTENAS EN ESTA CIUDAD. SU INSPECTIVA SUPERVISION PORFAVOR DE PARTE DE USTEDES OSIPTEL	Con eco, Se escucha muy bajo

FIGURA 1.1: Reportes de reclamos del servicio de los operadores móviles.
FUENTE: OSIPTEL [1].

1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Actualmente en el distrito de Ayacucho se están instalando estaciones bases celulares con tecnología 3G, con la cual se ha mejorado la calidad de servicios, seguridad, reducir los tiempos de latencia y tener un mejor uso del espectro en las comunicaciones, pero al existir una demanda creciente tanto de población, aparición de nuevos servicios móviles y terminales de usuarios más potentes, todo esto sigue causando más tráfico de información, por ello es necesario buscar la migración a tecnologías inalámbricas más eficientes, que reduzcan costos y mejoren aún más la calidad de servicio, es por ello que

LTE reúne características especiales que solucionan notablemente estos problemas por lo cual en el país ya está siendo utilizada.

Por ello es necesario realizar un diseño de red 4G-LTE en el distrito de Ayacucho para la migración de sus redes actuales a LTE que es una de las últimas propuestas para redes de acceso móvil, con la migración de las redes móviles de 3G a LTE los beneficiarios son los usuarios que utilizan internet móvil, ya que LTE ofrece una mejor velocidad de navegación siendo hasta 10 veces más rápida que 3G, permitiendo velocidades de bajada de hasta 100Mbps y entre 40-60Mbps de subida, con una latencia de 20 a 25 milisegundos.

La implantación de la tecnología 4G-LTE en el distrito de Ayacucho, a pesar de necesitar algunos cambios con respecto a las redes de telefonía actuales se justifica con los beneficios que tendrán tanto los pobladores como turistas que pisen dicho distrito, ellos notarán el impacto ya que el cambio no solo se verá en los servicios a los que accederán sino también a la rapidez con la podrán acceder a dichos servicios.

1.3 DELIMITACIÓN DEL PROYECTO

1.3.1 Teórica:

Modelo de propagación Okumura - Hata, modelo de tráfico Erlang B, tecnologías de acceso (OFDMA, SC-FDMA), Handover.

1.3.2 Espacial:

El desarrollo del presente proyecto de investigación tiene por limitación espacial el Distrito de Ayacucho – Provincia Huamanga – Región Ayacucho.

1.3.3 Temporal:

El presente proyecto de investigación se desarrolló en un periodo de 3 meses, el cual se dio inicio en MAYO del 2016 y se finalizó en JULIO del 2016.

1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.4.1 Problema General

¿Cómo diseñar una red 4G-Long Term Evolution (LTE) en redes móviles para el distrito de Ayacucho - provincia de Huamanga – región de Ayacucho?

1.4.2 Problemas Específicos

1. ¿Cómo desarrollar el análisis del mercado de la telefonía móvil del distrito de Ayacucho - provincia de Huamanga – región de Ayacucho para poder obtener la población potencial?

2. ¿Cómo dimensionar el tráfico de la red 4G-LTE en el distrito de Ayacucho - provincia de Huamanga – región de Ayacucho para la población potencial?

3. ¿Cómo desarrollar la simulación del diseño de la red 4G-LTE planteado en el distrito de Ayacucho - provincia de Huamanga – región de Ayacucho?

4. ¿Cómo analizar los costos de implementación de la tecnología 4G-LTE en el distrito de Ayacucho - provincia de Huamanga – región de Ayacucho?

1.5 OBJETIVO.

1.5.1 Objetivo General

Diseñar una red 4G-Long Term Evolution (LTE) en redes móviles para el distrito de Ayacucho – provincia de Huamanga – región Ayacucho.

1.5.2 Objetivos Específicos

1. Desarrollar un análisis del mercado de la telefonía móvil en el distrito de Ayacucho - provincia de Huamanga – región de Ayacucho para poder obtener la población potencial.

2. Dimensionar el tráfico de la red 4G–LTE en el distrito de Ayacucho - provincia de Huamanga – región de Ayacucho para la población potencial.

3. Desarrollar la simulación del diseño de la red 4G–LTE planteado en el distrito de Ayacucho - provincia de Huamanga – región de Ayacucho.

4. Analizar los costos de implementación de la tecnología 4G–LTE en el distrito de Ayacucho – provincia de Huamanga – región de Ayacucho.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

Existen trabajos de investigación afines al que estoy realizando los cuales se citan a continuación:

Antecedentes Nacionales

WONG, C, (2010). *Análisis y diseño de una red 3GPP LTE en el departamento de Cusco*. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ. Perú. El autor de este trabajo llegó a las siguientes conclusiones [2]:

“El despliegue de una red LTE en la ciudad de Cusco presenta una serie de dificultades en cuanto a la ubicación de las estaciones bases, sobre todo en los lugares turísticos como Machupicchu, pero ese problema también se presenta en las redes actuales. El gran desafío está en la red de transporte ya que el uso de microondas a mediano plazo será ineficiente y la fibra óptica se hace imprescindible para poder soportar las grandes capacidades de transmisión”.

“Con respecto al análisis económico, definitivamente la inversión que se tiene que hacer es alta, pero las ganancias y la experiencia que se le puede brindar al usuario son también elevadas. Todo lo dicho se aplica para una nueva operadora pero para operadoras que ya cuentan con un despliegue de redes 3G en Cusco, los costos de inversión se reducen entre un 15 y 25%. Los indicadores como el VAN y el TIR nos indican que el proyecto es rentable desde todo punto de vista”.

“La distancia teórica obtenida fue de 15.95 Km, distancia que es válida y eso se puede comprobar en campo realizando mediciones en los clusters de las estaciones bases haciendo recorridos de drive test. Pero a esa distancia las velocidades obtenidas no llegan a cumplir los KPIs que piden las operadoras. Es por ello que sólo se considera el 30% de dicha distancia”.

MILLA, J. A, (2012). *Diseño de una red LTE para el distrito del Callao*. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ. Perú. El autor de este trabajo llegó a las siguientes conclusiones [3]:

“El despliegue de una red LTE en el distrito del Callao no presenta mayores problemas en lo que respecta a la red de transporte, ya que al tratarse de un distrito costero, se cuenta con una demografía ideal para el despliegue de redes móviles. Es por ello que es importante indicar que este modelo aplica generalmente para zonas costeras con bajo relieve demográfico. Para localidades de la sierra o selva sería distinto ya que es muy probable que se necesite emplear repetidores, mayor cantidad de amplificadores, femtoceldas o picoceldas”.

“Se corroboró que LTE es una tecnología que brinda mayores mejoras tecnológicas que se ven reflejadas en las velocidades de transmisión de datos, así como en la cobertura y calidad de servicio de la señal”.

“Con respecto al análisis económico, se ha demostrado que el proyecto es rentable, tomando en cuenta de que el proyecto está diseñado para el despliegue de una red LTE de una empresa operadora nueva. Por lo que si se tratase de una empresa operadora que ya se trabaja en el país, la inversión sería menor y por consiguiente, las ganancias y la rentabilidad del proyecto serán mayores”.

Antecedentes Internacionales

SALGADO, J. I, (2014). *Estudio de viabilidad para llevar internet 4G LTE a zonas rurales de Colombia caso de estudio: municipio de Zipaquirá*. UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA. Colombia. El autor de este trabajo llegó a las siguientes conclusiones [4]:

“La viabilidad de 4G LTE en el municipio de Zipaquirá no tiene mayores problemas, debido a que su geografía que permite un buen acceso a las redes de servicio. Sin embargo es necesario tener en cuenta que debido a su geografía montañosa se necesita más repetidores, mayor cantidad de amplificadores y picos de celdas”.

“A partir del análisis de costos de implementación se concluyó que el proyecto es rentable, tomando en cuenta que está diseñado para una empresa operadora nueva, lo que significa que para un operador existente es menor el costo debido a la menor inversión de infraestructura en donde la productividad será mayor”.

“El tamaño de las celdas depende de diferentes factores como el tipo de antenas utilizado, el terreno: llanuras, montañas, valles; La ubicación de la instalación: área rural; urbana; y la densidad de población el alcance del teléfono móvil o del dispositivo móvil”.

“Los costos de la implementación puede variar de acuerdo a la cantidad de equipos necesarios, y el fabricante”.

“El tráfico puede variar debido al tamaño de población donde se vaya a hacer la implantación, debido a su cultura, a la zona geográfica y a sus costumbres”.

“Debido a las diferentes bandas que utilizan en 4G LTE puede variar las antenas usadas en este estudio y la cantidad de las mismas en los diferentes municipios”.

GÓMEZ, P. R. (2013). *Diseño de una red de cuarta generación LTE (Long Term Evolution) para obtener la actualización tecnológica de telefonía móvil e internet de la CNT E.P. provincia de Santa Elena*. UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA. Ecuador. El autor de este trabajo llegó a las siguientes conclusiones [5]:

“Las características presentadas por la tecnología LTE ofrecen mejores prestaciones que sus predecesoras, ya que maneja un alta tasa de transferencia de datos llegando a los 100Mbps de descarga y 40-60Mbps de carga con un ancho de banda de 20MHz para cada canal. Su arquitectura es plana, no jerárquica, es decir, no es necesario ningún equipo adicional como el RNC para la comunicación eNBs, lo que genera que se formen arquitecturas semi-malladas entre nodos que permiten el envío de información de control y de tráfico de usuarios al nodo de la red troncal más adecuado, atendiendo a criterios de balanceo de carga”.

“La tecnología LTE soporta elevadas prestaciones de movilidad de hasta 220Km/h sin perder la conectividad, servicio muy atractivo para usuarios en otros países, aunque no en Ecuador ya que las leyes de tránsito solo permiten viajar hasta los 100Km/h”.

“Las encuestas revelaron que el 92% de aceptación de comprar un dispositivo móvil 4G, el 84% de los encuestados optaron por adquirir el móvil con plan de voz y de datos. Las estadísticas comprueban que el 73.58% de los peninsulares tienen un celular

activado, el 5.2% es un Smartphone y el 80% accede a una conexión de banda ancha desde distintos lugares”.

“La capacidad promedio actual de transferencia de datos en los principales cantones de la provincia difícilmente supera 1Mbps de descarga y posee altas latencias, evidenciando la baja calidad de servicio y la pobre cobertura en ancho de banda para datos”.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Antecedentes LTE

LTE - evolución a largo plazo, es el estándar de comunicaciones móviles que da paso a la siguiente generación de redes móviles y nace para cubrir principalmente las siguientes necesidades:

- Tener una conexión de datos que descargue y suba datos a mayor velocidad.
- Estándar menos complejo y reduce significativamente costos.
- Asegurar la competitividad del 3G en el futuro, por ejemplo frente a WiMAX.

LTE permite tener velocidades de 50Mbps y 100Mbps para *Uplink* (UL) y *Downlink* (DL) respectivamente como se observa en la TABLA 2.1, el ancho de banda de LTE es variable pudiendo encontrarse desde 1,4 a 20Mhz.

TABLA 2.1: Evolución de las tecnologías de telecomunicaciones móviles.

PARAMÉTROS	WCDMA-UMTS	HSPA HSDPA/HSUPA	HSPA-Plus	LTE-4G	LTE ADV.
Máxima Velocidad downlink (bps)	384 K	14 M	28 M	100 M	1G
Máxima Velocidad uplink (bps)	128 K	5.7 M	11 M	50 M	500 M
Latencia	150 ms	100 ms	50 ms (Máx.)	Aprox. 10 ms	Menos de 5ms
Release 3GPP	99/4	5/6	7	8	10
Año aproximado de lanzamiento	2003 /4	2005/6 HSDPA 2007/8 HSUPA	2008 /9	2009 /10	
Método de acceso	CDMA	CDMA	CDMA	OFDMA / SC-FDMA	OFDMA / SC-FDMA

FUENTE: LTE Advanced for IMT 4G [6].

LTE al encontrarse aún en desarrollo por parte de 3GPP, hace posible que cada vez aparecen más detalles y requerimientos.

2.2.2 Conceptos Básicos

En este apartado se analiza parámetros y conceptos muy importantes que son de gran ayuda para comprender mejor todo lo concerniente con LTE.

2.2.2.1 Funcionamiento general de una red móvil

En la FIGURA 2.1 se muestra los elementos que intervienen en una llamada efectuada a través de un móvil.

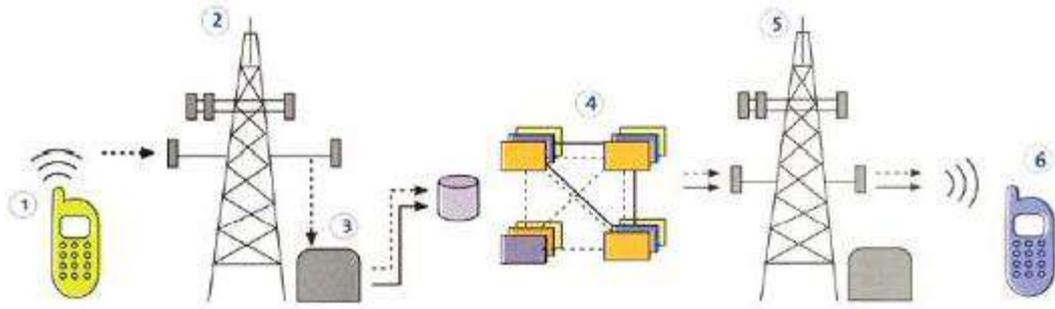


FIGURA 2.1: Esquema de funcionamiento de una red móvil.
FUENTE: CEM asociados a la Telefonía Móvil [7].

Los pasos a seguir para establecer una comunicación móvil son los siguientes:

1. El usuario realiza una llamada que interceptan las antenas receptoras.
2. Antenas y
3. Estación base: Las antenas envían la información a las estaciones base o las transforman para mandarlas a los centros de conmutación.
4. Nodos de conmutación: Los nodos de conmutación reciben todas las informaciones, ordena y las envía según donde se encuentre el destinatario: a la red fija (con lo que se acaba el trayecto de la llamada en la red móvil) o dentro de la red móvil si el destinatario es un móvil
5. Antenas: Las antenas reciben información y la transmiten en la zona donde se encuentra el usuario.
6. Llamada: El usuario recibe la llamada.

Del análisis de la FIGURA 2.1 se concluye que las instalaciones radio eléctricas constituyen un elemento imprescindible de la red móvil a la hora de establecer conexiones.

2.2.2.2 Sub-Portadora

Una sub-portadora es una portadora de banda angosta que se usa en comunicaciones basadas en OFDM. Estas sub-portadoras serán distribuidas sobre toda la banda de

frecuencias asignada al usuario creando un espectro de hasta 1200 bandas angostas y portadoras ortogonales

2.2.2.3 OFDMA

OFDM es una técnica de multicanalización basada en el uso de varias sub-portadoras. Estas sub-portadoras son elegidas de tal manera que ninguno de sus espectros interfiera con la frecuencia central de las otras sub-portadoras. El estándar IEEE 802.16e tiene dos capas físicas basadas en OFDM: una que usa OFDM como tal, y otra que usa una variante de esta OFDMA, donde varios usuarios comparten un símbolo OFDM.

La técnica OFDM es similar a FDM. La diferencia se basa en que mientras FDM debe dejar una banda de guarda entre canales, OFDM por su parte trata de acercar los canales lo más posible hasta superponerlos. Esto se logra escogiendo frecuencias que sean ortogonales, lo cual significa que estas son perpendiculares en el sentido matemático; permitiendo así que sus espectros se superpongan sin interferir. Esto significará un ahorro de ancho de banda.

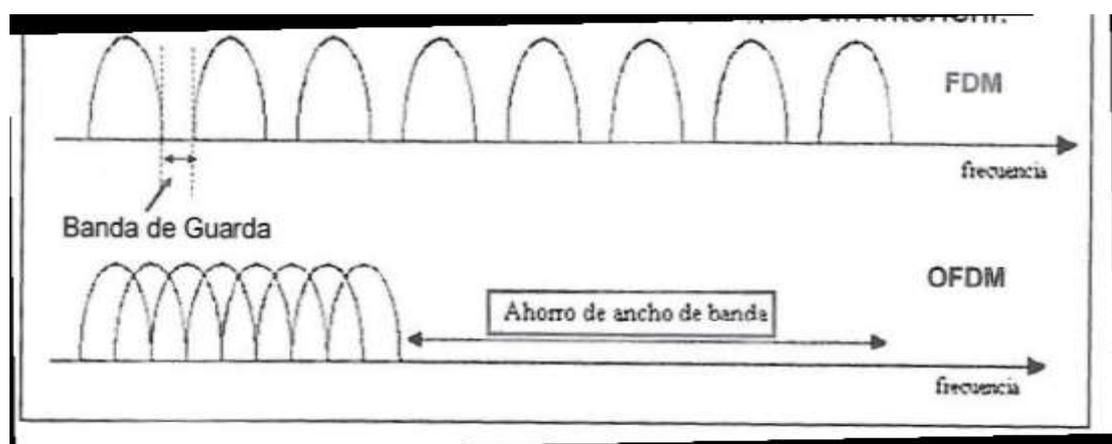


FIGURA 2.2: Comparación en lo que respecta a ahorro de Ancho de Banda entre FDM y OFDM.

FUENTE: Principios de OFDM [8].

Como se aprecia en la FIGURA 2.2, OFDM puede ser considerada como una técnica de modulación y también una técnica de acceso múltiple. Si se da el caso en que las sub-portadoras se comparten entre varios usuarios finales, entonces se hablará de una técnica de acceso múltiple, es decir OFDMA. OFDM ha sido principalmente empleada en 3G. Ahora con 4G, OFDMA ha sido la técnica más empleada, ambas para el Downlink.

OFDM presenta dos desventajas claras. En primer lugar, el hecho de tener un PAPR elevado, lo cual genera limitaciones para los dispositivos electrónicos de los sistemas, en particular a los amplificadores. Y en segundo lugar, el hecho de ser muy sensible a cambios en la frecuencia de las sub-portadoras. Sin embargo, presenta grandes ventajas como el reducir la Interferencia Intersimbólica, el presentar Robustez ante los multitrayectos, contar con una alta eficiencia espectral y el hecho de que su implementación sea sencilla.

2.2.2.4 SC-FDMA

SC-FDMA es una variante de OFDMA. Es por ello que tiene las mismas características de esta como el hecho de presentar robustez ante los multitrayectos, el tener una alta eficiencia espectral, reducir la interferencia intersimbólica y el hecho de que su implementación sea sencilla. Además, muestra otras ventajas que OFDMA no nos daba, como el caso del PAPR, con SC-FDMA el PAPR será reducido al igual que el consumo de potencia. Sin embargo, en SC-FDMA tendremos un receptor muy complejo, pero esto se soluciona utilizando SC-FDMA para el Uplink, con lo cual tendremos que el receptor en la unidad móvil debe ser sencilla y económica mientras que la complejidad del receptor y los altos costos que se pudiesen generar se dejan a la Estación Base, la cual tiene más recursos.

En resumen, en OFDMA se comparte el ancho de banda, cada símbolo de datos (dependiendo de la modulación) se usa para modular una sub-portadora, las cuales son ortogonales entre sí, de aquí es de donde nace la característica multiportadora de OFDMA. Además los “M” símbolos que se transmiten lo harán en paralelo y repartiéndose en todo el ancho de banda disponible. Esto implicará que se superpongan varios símbolos de datos en forma simultánea, es decir varias sinusoides con amplitudes y fases distintas, las cuales en determinado instante pueden estar algunas de ellas en fase y producir un PAPR elevado.

Por el contrario, en SC-FDMA se emplea una combinación lineal, donde varios símbolos de datos se usan para modular varias sub-portadoras ortogonales; es decir que cada símbolo de los “M” que se transmitan lo harán ocupando todo el ancho de banda disponible y con una duración igual a una parte del tiempo del símbolo SC-FDMA. Esto quiere decir, que en el ancho de banda que se dispone, solo se envía información de varios símbolos de datos dependiendo de la modulación que se elija, todo lo dicho se puede apreciar en la FIGURA 2.3.

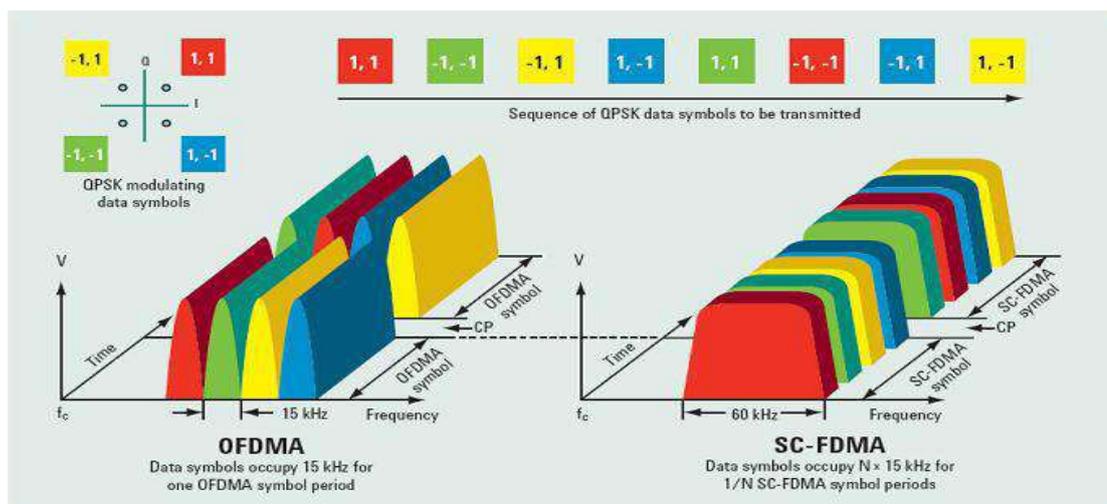


FIGURA 2.3: Vista de OFDMA y SC-FDMA en forma gráfica.
FUENTE: Principios de OFDM [8].

2.2.3 Arquitectura - LTE

LTE reduce significativamente su arquitectura con respecto a generación anteriores, la misma consta únicamente de dos elementos que son: núcleo de red y red de acceso como se observa en la FIGURA 2.4, donde la primera corresponde al EPC (Red Troncal) (Evolved Packet Core) que proviene del SAE (Arquitectura LTE) (System Architecture Evolution), y la red de acceso también llamada E-UTRAN (Red de Acceso Inalámbrico) evolución de UTRAN, conformando entre los dos elementos el EPS (Evolved Packet System) también conocida como red UMTS evolucionada.

El EPS (Red UMTS evolucionada) conecta a los usuarios a las redes lógicas para conexión PDN (Packet Data Network) utilizando direcciones IP, lo que le permite utilizar varios servicios como: VoIP, Internet, elementos de EPS (Red UMTS evolucionada) y sus diferentes interfaces.

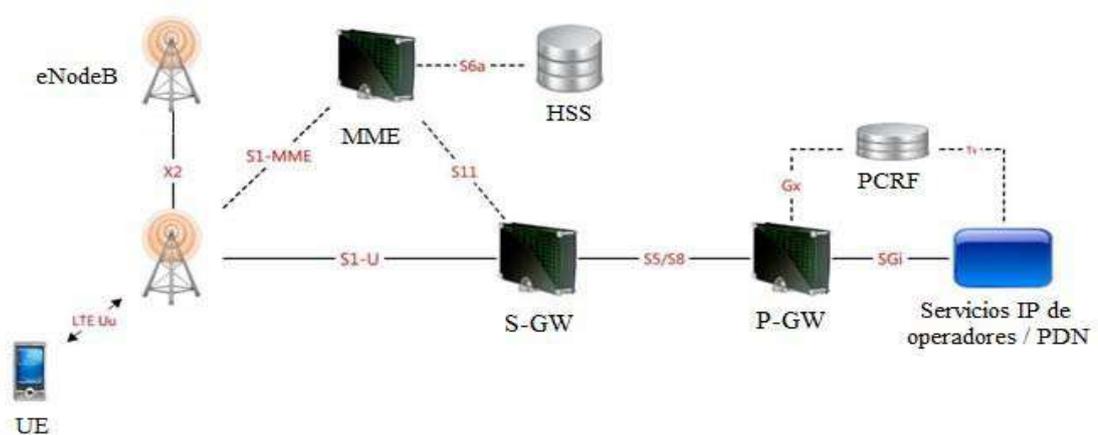


FIGURA 2.4: Elementos de Red UMTS evolucionada (EPS).

FUENTE: Diseño de una red 4G LONG TERM EVOLUTION (LTE) en redes móviles [9].

2.2.3.1 Núcleo de red (EPC)

El núcleo de red es conocido como red troncal (EPC) en el SAE (Arquitectura LTE), el mismo que consta de varios elementos como se observan en la FIGURA 2.5.

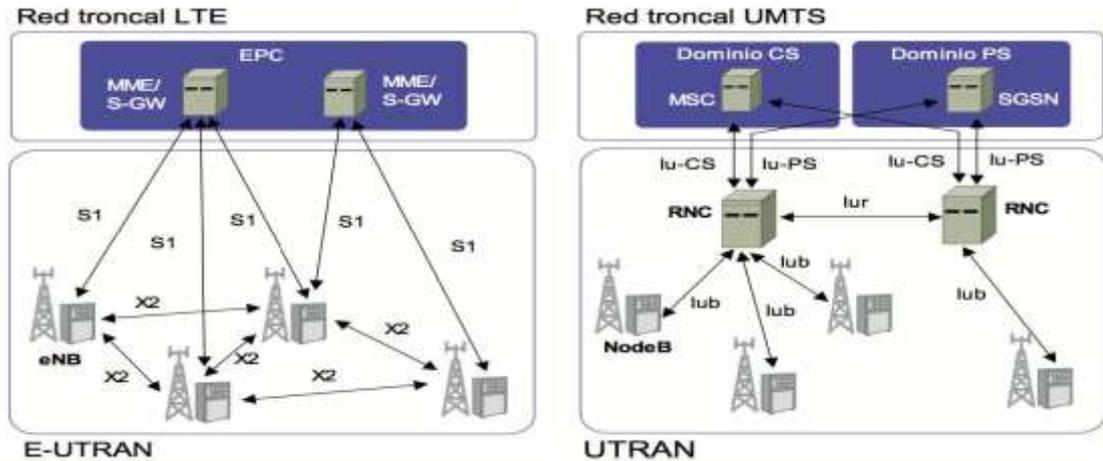


FIGURA 2.5: Elementos que constituyen la Red Troncal (EPC).

FUENTE: Diseño de una red 4G LONG TERM EVOLUTION (LTE) en redes móviles [9].

En la TABLA 2.2 se detallan las funciones que cumple cada elemento que interviene en una red LTE.

TABLA 2.2: Descripción elementos núcleo de red.

Elementos de la Red Troncal	Función
MME	Dentro de sus funciones principales esta: autenticar, autorizar y seleccionar el PDN correcto para crear el enlace entre el E-UTRAN y redes externas.
P-GW	Asigna una dirección IP al equipo de usuario, realiza la facturación basada en el flujo que este genera. Encargado de la aplicación de QoS - Calidad de servicio.
S-GW	La función que cumple este elemento es la de transferir paquetes IP, almacenar información de movilidad local cuando un equipo de usuario a pasado por varias estaciones base.
PCRF	Crea reglas que permiten dar autorización QoS así como controlar funciones de facturación.
HSS	Aloja datos acerca de suscripción e información dinámica como la identificación del MME, base de datos principal del sistema.

FUENTE: Diseño de una red 4G LONG TERM EVOLUTION (LTE) en redes móviles [9].

Existen protocolos que permiten al usuario tener una interacción directa con el núcleo de la red, conocidos como protocolos NAS.

2.2.3.2 Red de Acceso (E-UTRAN)

Red de Acceso Inalámbrico compuesta por una red de estación base (*eNodeB*) conectadas entre sí por medio de interfaces X2, cada estación base se encuentra conectada a red troncal utilizando la interfaz S1 y al MME (Gestión de movilidad) por medio de la interfaz S1-MME.

Los protocolos AS son el resultado de interconectar las estaciones base con el equipo de usuario, en la FIGURA 2.5, FIGURA 2.6 se observa los diferentes elementos que intervienen dentro de la red de Acceso Inalámbrico.

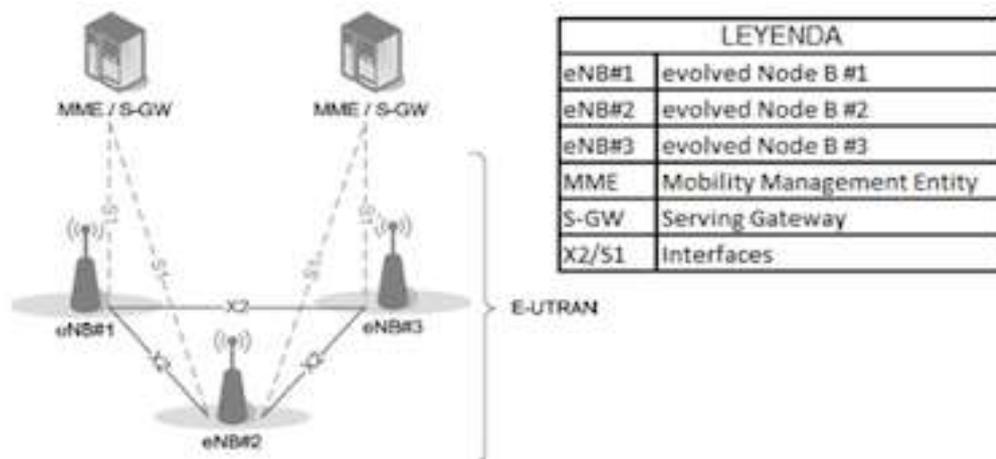


FIGURA 2.6: Red de Acceso Inalámbrico.

FUENTE: Diseño de una red 4G LONG TERM EVOLUTION (LTE) en redes móviles [9].

Dentro de las funciones principales de la red de acceso inalámbrico se tiene:

- Gestión de recursos de radio.
- Compresión de cabecera, interfaz de radio eficiente para manejar paquetes IP pequeños.
- Seguridad en la encriptación.
- Conectividad con la red troncal.

2.2.4 Bandas de frecuencias disponibles para LTE

LTE ofrece varias alternativas que dentro del diseño permite elegir una frecuencia de operación como se observa en la TABLA 2.3, tanto para downlink (enlace de bajada) como para uplink (enlace de subida) y el modo de duplexaje.

TABLA 2.3: Bandas de frecuencia disponibles para LTE.

Banda de Operación E-UTRAN	Enlace de bajada - Downlink(MHz)	Enlace de subida - Uplink (MHz)	Modo de duplexaje
1	1920 – 1980	2100 – 2170	FDD
2	1850 – 1910	1930 – 1900	FDD
3	1710 – 1785	1805 – 1880	FDD
4	1710 – 1755	2110 – 2155	FDD
5	824 – 849	869 – 894	FDD
6*	830 – 840	875 – 885	FDD
7	2500 – 2570	2620 – 2690	FDD
8	880 – 915	925 – 960	FDD
9	1749.9 – 1784.9	1844,9 - 1879.9	FDD
10	1710 – 1770	2110 – 2170	FDD
11	1427.9 – 1452.9	1475.9 – 1500.9	FDD
12	698 – 716	728 – 746	FDD
13	777 – 787	746 – 756	FDD
14	788 – 798	758 – 768	FDD
15	No disponible	No disponible	FDD
16	No disponible	No disponible	FDD
17	704 – 716	734 – 746	FDD
18	815 – 830	860 – 875	FDD
19	830 – 845	875 – 890	FDD
33	1900 – 1920	1900 – 1920	TDD
34	2010 – 2025	2010 – 2025	TDD
35	1850 – 1910	1850 – 1910	TDD
36	1920 – 1990	1920 -1990	TDD
37	1910 – 1930	1910 -1930	TDD
38	2570 – 2620	2570 -2620	TDD
39	1880 – 1920	1880 -1920	TDD
40	2300 – 2400	2300 -2400	TDD

*Banda 6 no utilizable

FUENTE: Diseño de una red 4G LONG TERM EVOLUTION (LTE) en redes móviles [9].

2.2.5 Arquitectura de protocolos LTE

En la arquitectura de LTE se puede observar como los datos provienen en forma de paquetes IP de capas superiores hacia el PDCP (Packet Data Convergence Protocol), el que se encarga de realizar los siguientes procesos: compresión de cabecera y cifrado del paquete.

Los PDU's originados por el sistema son pasados al RLC donde tienen un procesamiento posterior:

- El RLC reúne todos los PDU's en RLC SDU's y luego realiza una segmentación junto con la colocación de la cabecera.
- Luego los RLC PDU's son enviados hacia la capa MAC donde reúne a los MAC SDU's para convertirlos en MAC PDU's.
- Estos PDU's son trasladados a la capa física, donde se codifica y decodifica los datos que estos contienen, se organizan los PDU's enviados por la capa MAC en bloques de transporte.
- La capa física coloca un CRC en cada bloque de transporte por donde transitan los PDU's, en la FIGURA 2.7 se observa la arquitectura de protocolos LTE.

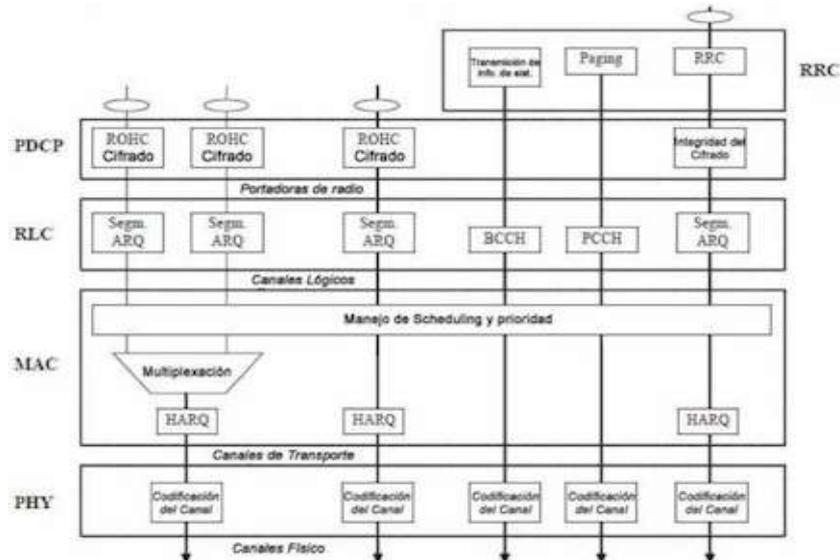


FIGURA 2.7: Arquitectura de protocolos LTE.

FUENTE: Análisis y diseño de una red 3GPP LTE en el departamento de Cusco [2].

2.2.6 Interfaz aire – capa física LTE

La capa física ofrece el servicio de transporte a la subcapa MAC mediante canales de transporte, sus principales características son:

- Detección de errores en el canal de transporte.
- Codificación/decodificación FEC en el canal de transporte.
- Ajuste de la tasa de canal de transporte codificado al canal físico.
- Correspondencia entre el canal de transporte y el canal físico.
- Control de la potencia de los canales físicos.
- Modulación y demodulación de los canales físicos.
- Sincronización de tiempo y de frecuencia.
- Mediciones radio e indicación a capas superiores.
- Procesado de antenas en MIMO.
- Diversidad de TX.
- Formación de haces de antena.

LTE utiliza dos modos de duplexación que son: TDD y FDD, en el primero las señales transmitidas y recibidas son enviadas a la misma frecuencia pero en diferentes instantes de tiempo y en el segundo los enlaces de las transmisiones uplink (enlace de subida) y downlink (enlace de bajada) para un terminal utilizan bandas de frecuencia diferentes separadas entre sí.

2.2.7 Estructura de trama genérica

LTE tiene una trama genérica con una duración de 10 milisegundos, la cual está subdividida en 10 sub-tramas de 1 milisegundo, donde cada sub-trama se encuentra dividida en 2 ranuras de 0,5 milisegundos generando así entre 6 ó 7 símbolos OFDM. En la FIGURA 2.8 se observa la trama genérica para downlink (enlace de bajada) y uplink (enlace de subida), se determina que cada ranura utiliza 7 y 6 símbolos OFDM con CP (Cyclic prefixes) normal y CP extendido respectivamente.

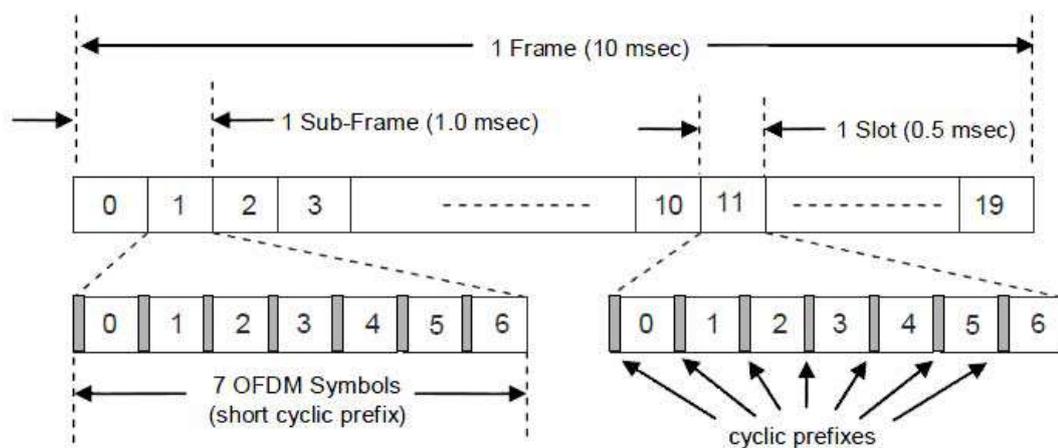


FIGURA 2.8: Estructura de la trama genérica para *Downlink* y *Uplink* LTE.
FUENTE: Overview of the 3GPP Long Term Evolution Physical Layer [10].

Las señales de sincronización se encuentran ubicadas en las sub-tramas 1 y 6 para el enlace de bajada, utilizando FDD todas las sub-tramas se utilizan para el enlace de subida y bajada, en cambio con TDD para transmisiones el enlace de bajada se utiliza

las sub-tramas 1 y 6 quedando disponibles el resto tanto para el enlace de bajada y subida.

2.2.8 Capa física LTE – Downlink

Es la capa encargada de realizar la transmisión a través del canal radio, en el enlace descendente el esquema de transmisión es OFDMA.

2.2.8.1 Modulación LTE

OFDM es el esquema de transmisión utilizado para LTE trabajando este con un prefijo cíclico CP, con 15KHz de espaciado base entre sub-portadoras así como con 66,67us de duración por símbolo.

El enlace de bajada utiliza 7,5KHz de espaciado con 133us de duración en el caso de MBSFN, las señales de broadcast y dedicadas comparten una sola frecuencia.

Existen 2 tipos de prefijo cíclico los mismos que son usados dependiendo del retardo de dispersión que resulte del radio de la celda.

Para áreas urbanas se ocupa CP normal trabajando con frecuencias altas y para áreas rurales CP extendido con frecuencias bajas.

En la TABLA 2.4 se puede observar varios parámetros de transmisión con distintas configuraciones de ancho de banda con las que trabaja LTE.

TABLA 2.4: Enlace de bajada (Downlink) - parámetros de modulación.

Parámetros	Datos					
Ancho de Banda de transmisión (MHz)	1,25	2,5	5	10	15	20
Duración sub-trama (ms)	0.5					
Espaciamiento Sub-portadora (KHz)	15					
Frecuencia muestreo (MHz)	1,92	3,84	7,68	15,36	23,04	30.72
Tamaño FFT	128	256	512	1024	1536	2048
OFDM símbolos por slot (CP normal/CP extendido)	7/6					
Longitud de CP (us/muestra) Normal	(4,69/9) x 6	(4,69/18) x 6	(4,69/36) x 6	(4,69/72) x 6	(4,69/108) x 6	(4,69/144) x6
	(5.21/10)x1	(5.21/20) x1	(5.21/40)x 1	(5.21/80)x 1	(5.21/120) x1	(5.21/160) x1
Longitud de CP (us/muestra) Extendido	(16.67/32)	(16.67/64)	(16.67/128)	(16.67/256)	(16.67/384)	(16.67/51 2)

FUENTE: Overview of the 3GPP Long Term Evolution Physical Layer [10].

2.2.8.2 Recursos físicos (Downlink)

Estos recursos consisten en bloques conocidos como PRBs (Physical Resource Blocks), el cual es el mínimo elemento de información.

Cada PRB consiste de 12 sub-portadoras consecutivas para 1 slot de 0,5 ms y ancho de banda de 180KHz, donde cada elemento de recurso corresponde a una sub-portadora para la duración de un símbolo OFDM.

Dependiendo de la longitud del CP, un PRB comprende de 84 símbolos OFDM en el caso del CP normal y de 72 símbolos para CP extendido, en la TABLA 2.5 se observa que el número de estos bloques depende del ancho de banda de banda de transmisión de LTE.

TABLA 2.5: número de PRBs para distintos anchos de banda.

Parámetros	Valores					
Ancho de Banda de transmisión (MHz)	1.25	2.5	5	10	15	20
Ancho de banda de sub-portadora (KHz)	15					
Ancho de banda de PRBs (KHz)	180					
Número de PRBs disponibles	6	12	25	50	75	100

FUENTE: Overview of the 3GPP Long Term Evolution Physical Layer [10].

Basado en la estructura de trama genérica en la FIGURA 2.9 se determina que el PBR lo constituyen 12 sub-portadoras con 15KHz de espaciamiento con 6 o 7símbolos lo cual depende del CP.

El enlace de bajada soporta 7,5KHz de espaciamiento únicamente para el caso del CP extendido con 24 sub-portadoras y 3 símbolos.

Con un CP normal de 84 elementos de recursos PBR (7 símbolos x 12 sub-portadoras= 84), los mismos que corresponden a un slot en el dominio del tiempo, una PBR de 180KHz dando como resultado 15KHz x 12 sub-portadoras = 180 los mismos que corresponden al dominio de la frecuencia.

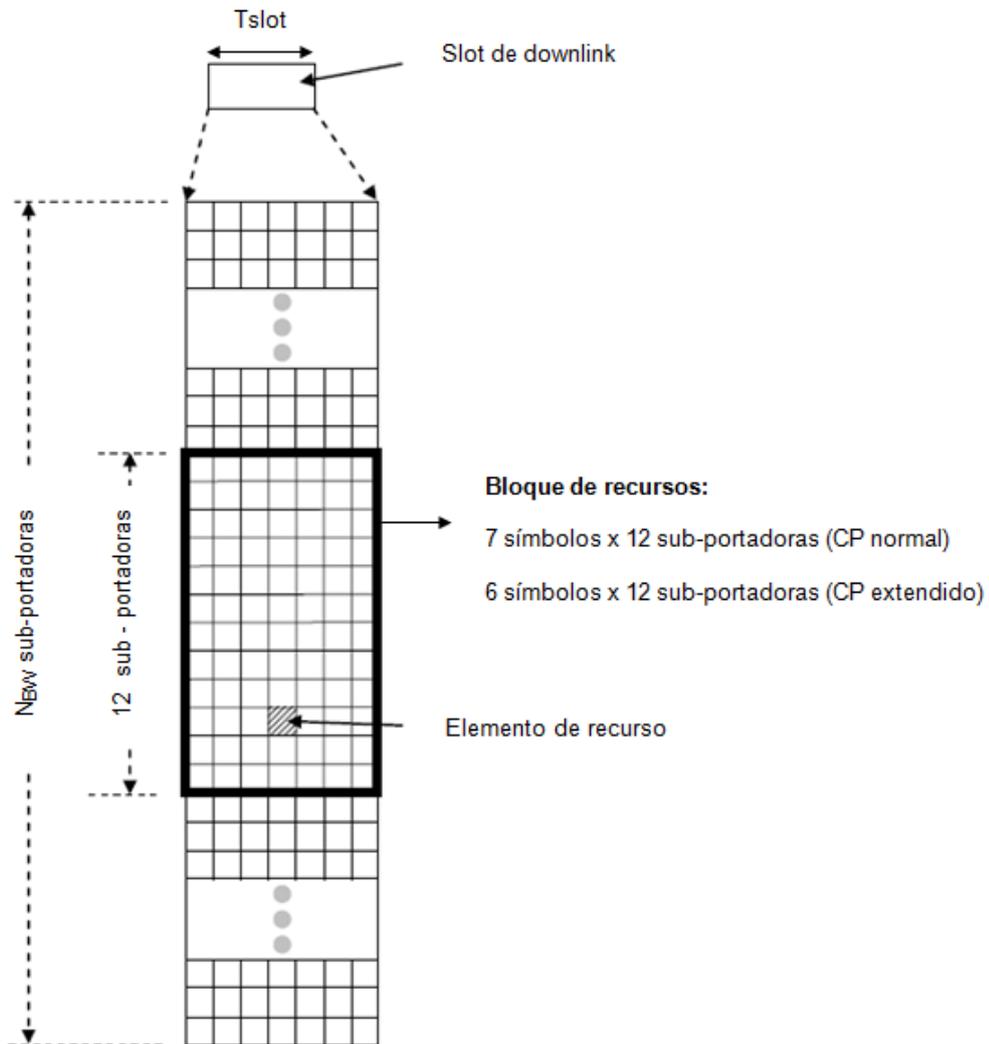


FIGURA 2.9: Recursos físicos Downlink.

FUENTE: Overview of the 3GPP Long Term Evolution Physical Layer [10].

2.2.8.3 Canales físicos (Downlink)

La función que estos canales desempeñan son la de transmitir información de capas superiores los mismos que son mapeados por los canales de transporte.

En la TABLA 2.6 se describe la función que cumplen los canales soportados por LTE.

TABLA 2.6: Enlace de bajada (Downlink) - Canales físicos.

Canales físicos	Función
PBCH	Traslada la información de paging y de señalización de control, utiliza modulación QPSK.
PBFICH	Contiene el número de símbolos OFDM usados por PDCCH.
PDCCH	Utilizado para trasladar información de señalización y control al equipo de usuario.
PHICH	Lleva respuestas ACK/NAK de ARQ híbrido, utiliza modulación QPSK.
PDSCH	Trabaja con modulaciones QPSK, 16-QAM, 64-QAM además es utilizado para transportar datos y servicios multimedia.
PMCH	Trabaja con modulaciones QPSK, 16-QAM, 64-QAM también se encarga de trasladar datos de multicast.

FUENTE: Overview of the 3GPP Long Term Evolution Physical Layer [10].

2.2.8.4 Canales de transporte (Downlink)

Existen canales intermediarios para transmitir información entre la capa MAC y física, llamados canales de transporte. En la TABLA 2.7 se da a conocer en detalle cada uno de estos canales.

TABLA 2.7: Enlace de bajada (Downlink) - Canales de transporte.

Canales	Función
BCH	Transmitir parámetros del sistema.
DL-SCH	Trasladar información de usuario que permita establecer una conexión punto a punto.
PCH	Permite mover el equipo de usuario del estado RRC_IDLE al RRC_CONNECTED.
MCH	Transferir datos de multicast al equipo de usuario.

FUENTE: Overview of the 3GPP Long Term Evolution Physical Layer [10].

2.2.8.5 Procesamiento de la capa física

El procesamiento se da entre la MAC y la capa física mediante datos en bloques de transporte que recibe ésta última. La TABLA 2.8 detalla todos los pasos del proceso.

TABLA 2.8: Procesamiento de la capa física Downlink.

Pasos	Función
Inserción de CRC	Un CRC es calculado e insertado al inicio de cada bloque. El CRC permite por el lado del receptor la detección de errores residuales en el bloque decodificado.
Codificación de Canal	Usa un turbo código basado en QPP.
Procesamiento ARQ híbrido	Su tarea es extraer de los bloques el número exacto de bits a ser transmitidos dentro de un TTI dado.
Scrambling	El scrambling de data codificada asegura que la decodificación por el lado del receptor pueda utilizar la ganancia de procesamiento dado por el código de canal.
Modulación	El downlink soporta modulaciones QPSK, 16- QAM, 64-QAM.
Mapeo de Antenas	Procesa de forma conjunta la modulación de símbolos correspondientes a dos bloques de transporte y mapea el resultado a diferentes antenas.
Mapeo de bloques de recurso	Mapea los símbolos a ser transmitidos en cada antena a elementos de recursos del conjunto de bloques asignados al planificador MAC para la transmisión de los bloques de transporte.

FUENTE: 3G Evolution HSPA and LTE for Mobile Broadband [11].

2.2.9 Capa física LTE – Uplink (enlace de subida)

Es la capa encargada de realizar la transmisión a través del canal radio. En el enlace ascendente la capa física se basa en un esquema Single Carrier FDMA.

2.2.9.1 Parámetros de modulación del enlace de subida

Trabaja con un esquema muy similar al del enlace de bajada, cambiando únicamente la duración del CP.

En la TABLA 2.9 se observa varios parámetros de modulación del enlace de subida.

TABLA 2.9: Enlace de subida (Uplink) - Parámetros modulación.

Parámetros	Valores
Espaciamiento sub-portadora en KHz	15
Duración sub-trama en ms	0.5
SC-FDMA símbolos por slot (CP normal/CP extendido)	7/6
Duración CP normal en us	Símbolo #0: 5.2 Símbolo #1-6: 4.7
Duración de CP extendido en us	Símbolo #0-5: 16.67
Mínimo número de PRB's	6
Máximo número de PRB's	100

FUENTE: Análisis y diseño de una red 3GPP LTE en el departamento de Cusco [2].

2.2.9.2 Recursos físicos del enlace de subida

Están conformados de igual manera que para el downlink (enlace de bajada) con la diferencia que este puede soportar un espaciamento de 7,5KHz para el enlace de subida

2.2.9.3 Canales físicos del enlace de subida

Dentro de la TABLA 2.10 se detallan los canales soportados por el enlace de subida así como sus funciones principales.

TABLA 2.10: Enlace de subida (Uplink) - Canales físicos.

Canales Uplink	Función
PRACH	Traslada información acerca de las longitudes del CP y la secuencia, preámbulos son generados por secuencias de Zadoff - Chu para reducir el PAPR y VER.
PUSCH	Trabaja con modulaciones QPSK, 16-QAM, 64- QAM y traslada datos del usuario para transmisión.
PUCCH	Se encarga de realizar reportes CQI, petición de programación, llevar respuestas HARQ ACK/NACK además traslada información de control del enlace de subida. Trabaja con modulación es QPSK y BPSK.

FUENTE: Análisis y diseño de una red 3GPP LTE en el departamento de Cusco [2].

2.2.9.4 Canales de transporte del enlace de subida

En la TABLA 2.11 se detalla las funciones de cada uno de los canales soportados en el enlace de subida.

TABLA 2.11: Enlace de subida (Uplink) - Canales de transporte.

Canales	Función
RACH	Utilizado para requerimientos de acceso aleatorio y transmitir información de control mínima.
UL-SCH	Utilizado para transmitir datos del enlace de subida, trabaja con varios canales lógicos.

FUENTE: Análisis y diseño de una red 3GPP LTE en el departamento de Cusco [2].

2.2.9.5 Procesamiento de la capa física del enlace de subida

El proceso en el enlace de subida es similar al del enlace de bajada, diferenciándose únicamente por no establecer la transmisión de diversidad y multiplexación espacial, por lo cual no existe funciones de mapeo en las antenas, en la TABLA 2.12 se describen los pasos del proceso a realizar.

TABLA 2.12: Enlace de subida (Uplink) - Procesamiento de la capa física.

Pasos del proceso	Funciones
Inserción de CRC	El CRC es calculado e insertado al final de cada bloque de transporte.
Codificación de canal	Trabaja con turbo código basado en QPP similar al del enlace de bajada.
Procesamiento ARQ Híbrido	Similar al del enlace de bajada diferenciándose en los protocolos utilizados.
Scrambling	Similar al enlace de bajada, cada equipo de usuario trabaja con una única secuencia de scrambling.
Modulación	Soporta modulaciones QPSK, 16-QAM, 64-QAM al igual que el enlace de bajada.

FUENTE: 3G Evolution HSPA and LTE for Mobile Broadband [11].

2.2.10 Técnicas de Multi-Antenas (MIMO Múltiple entrada – múltiple salida) – LTE

MIMO (Múltiple entrada - múltiple salida) técnica que es utilizada para incrementar los valores de velocidad del enlace así como expandir la cobertura para tecnologías de cuarta generación.

LTE soporta configuraciones de antena 2x2 o 4x4 así como beamforming.

2.2.10.1 Mimo en el enlace de bajada

Para el enlace de bajada comúnmente se trabaja con configuraciones de antena 2x2 y 4x4, lo cual soporta diferentes modos de transmisión sea con una o varias antenas, multiplexación espacial se en lazo abierto o cerrado, MU-MIMO y beamforming.

2.2.10.2 MIMO en el enlace de subida

En el enlace de subida se utiliza MU-MIMO, permitiendo así conservar la baja complejidad en el diseño de terminales móviles.

Además otra característica especial de utilizar antenas MIMO es que permite a usuarios con distintos terminales con una sola antena de transmisión, usar el mismo canal.

2.2.11 Capa 2 (MAC - Control Acceso al medio)

La capa 2 de LTE la componen: MAC, RLC y PDCP, estas cumplen varias funciones como las que a continuación que se mencionan:

- Mapeo de canales lógicos sobre canales físicos.
- Segmentación y montaje de RLC PDU.
- Aseguramiento y entrega de datos ARQ/HARQ.
- Selección del formato de transporte.

Además la capa MAC cumple un papel especial ya que tiene funciones importantes a realizar como:

- Enviar y recibir PDU's sea desde o hacia la capa física por medio de los canales de transporte.
- Realizar transmisiones y retransmisiones HARQ.
- Multiplexación y demultiplexación de canales lógicos y scheduling tanto del enlace de bajada como del enlace de subida.

La capa MAC se encuentra conectada con el RLC, la misma se encarga de la corrección de errores a través de ARQ y la segmentación, a su vez la subcapa RLC está conectada con la PDPC que se encarga de la compresión de cabecera usando el protocolo RoHC así como todo lo referente a la seguridad como detección de duplicidad y cifrado. En la FIGURA 2.10 se observa la como está organizada de la capa 2 de LTE.

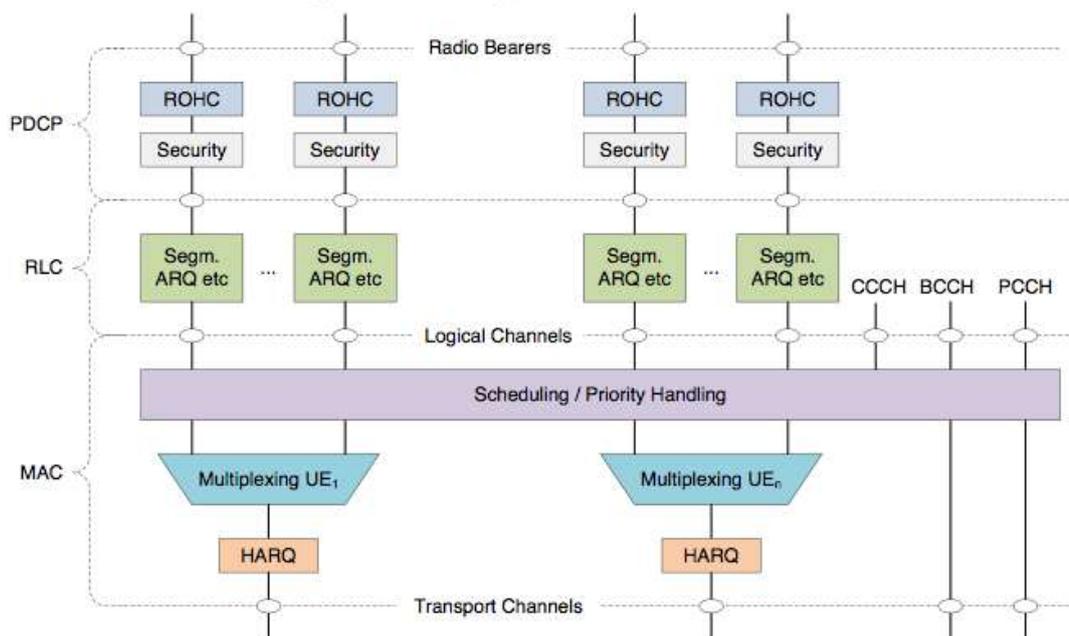


FIGURA 2.10: LTE - Organización capa 2.
 FUENTE: 3GPP LTE Channels and MAC Layer [12].

2.2.11.1 Canales Lógicos del enlace de subida

Los canales lógicos cumplen una función importante como la transferir datos de la capa MAC hacia o desde la capa RLC, los canales y sus diferentes funciones se detallan a continuación en la TABLA 2.13 y TABLA 2.14

TABLA 2.13: Canales lógicos de control del enlace de subida.

Canales lógicos	Funciones
PCCH	Transmitir información de control acerca del paging cuando la ubicación de celda es desconocida para la red.
BCCH	Transmitir información de control del sistema a terminales móviles a través de una celda.
CCCH	Transmisión regular de control de información entre los equipos de usuario y la estación base.
DCCH	Trasmitir información de control dedicada hacia o desde un equipo de usuario específico, utilizado cuando se tiene una conexión RRC para el plano de control con la estación base. Trabaja con un canal bi-direccional con un enlace punto a punto.
MCCH	Canal utilizado exclusivamente por los equipos de usuario que reciben MBMS. Trabaja con un canal punto a multipunto para el enlace de bajada.

FUENTE: 3GPP LTE Channels and MAC Layer [12].

TABLA 2.14: Canales lógicos de tráfico.

Canales lógicos	Funciones
MTCH	Transmitir datos acerca del tráfico de red hacia al equipo de usuario, utilizado exclusivamente por los equipos de usuario que reciben MBMs. Trabaja con un enlace punto a multipunto para el enlace de bajada.
DTCH	Transferir información generada por el equipo de usuario, puede existir tanto para el enlace de subida como para el de bajada.

FUENTE: 3GPP LTE Channels and MAC Layer [12].

2.2.11.2 Flujo de datos en la capa MAC

El trabajo que realiza la capa MAC con el flujo de datos es el siguiente: recibe datos en forma de SDU's de la capa RLC, luego los SDU's son combinados junto con la cabecera MAC y los elementos de control así formando PDU's.

Se encuentra que la cabecera MAC está dividida en subcabeceras, estas contienen un identificador lógico de canal llamado LCID, el cuál determina qué tipo de elementos de control van a ser utilizados dentro del campo de carga útil o tipo de canal.

2.2.12 Capa RRC

Protocolo de señalización el cuál soporta varias funciones entre la estación y el terminal móvil, dentro de las funciones más importantes se tiene:

- Gestionar varios parámetros relacionados con la calidad del enlace
- Gestión, establecimiento, mantenimiento y liberación de conexión RRC en el plano de control.
- Establecimiento, configuración y liberación de portadoras en recursos de radio.
- Transmisión de información del sistema.
- Paging.
- Transferencia de contexto del usuario entre la estación base para el handover.

2.2.12.1 Estados RRC (Plano de control)

El plano de control permite gestionar las conexiones entre el terminal móvil y la red de acceso inalámbrico, teniendo así dos estados que son: RRC_IDLE y RRC_CONNECTED.

- **RRC_IDLE**

Estado desconectado, no hay conexión entre el terminal y la estación base, el equipo de usuario es desconocido por la red estación base.

- **RRC_CONNECTED**

Estado conectado, existe una conexión activa entre el terminal y la estación base, se puede intercambiar información de usuario así como mensajes de señalización acerca de los canales lógicos.

2.3 MARCO CONCEPTUAL

A continuación se hará mención a la definición de conceptos utilizados para la realización del presente proyecto.

3GPP (3rd Generation Partnership Project)

Organización de desarrollo de estándares.

AS (Access Stratum)

Información específica de la red de acceso.

Beamforming

Técnica de procesamiento de señal utilizada para controlar la direccionalidad de la transmisión y recepción de señales de radio.

Block Header (BH - Mac and RLC header)

El bloque RLC / MAC es la unidad básica de transporte en la interfaz de aire que se utiliza entre el móvil y la red. Se utiliza para transportar datos y la señalización RLC / MAC.

CAPEX (CAPital EXpenditures)

Son inversiones de capital que a la larga generan beneficio para la empresa. Se utilizan para la compra de equipos, maquinarias, inmuebles, etc.

Clúster

Cantidad total de canales que la banda de frecuencias requiere y se distribuye entre varias celdas.

Célula

Área geográfica a la que proporciona cobertura una estación base.

eNodeB (Evolved NodeB)

Elemento en E-UTRAN de LTE que es la evolución del elemento de nodo base UTRA de UMTS.

EARFCN (E-UTRA Absolute Radio Frequency Channel Number)

Canal asignado al equipo de usuario para comunicarse con la estación base.

EPC (Evolved Packet Core)

Red central del Sistema LTE.

EPS (Evolved Packet System)

Red troncal EPC que constituye la nueva red UMTS evolucionada.

E-UTRAN (Evolved Utran)

Red de acceso hace mención a aquella parte de la red de comunicaciones que conecta a los usuarios finales con algún proveedor de servicios, complementaria al núcleo de red.

Escenario optimista

Posible escenario donde se considera lograr algo más de lo que proyectamos.

Escenario moderado

Escenario en el que se considera de forma más realista las proyecciones.

Escenario pesimista

Posible escenario donde se considera el peor panorama para las proyecciones.

FDD (Frequency Division Duplexing)

El transmisor y el receptor operan a diferentes frecuencias portadoras.

Handover

Es un sistema utilizado en comunicaciones móviles celulares con el objetivo de transferir el servicio de una estación base a otra cuando la calidad es insuficiente.

HARQ (Fast Hybrid Arq)

Combinación de alta velocidad: codificación, corrección de errores y control de errores ARQ.

HSS (Home Subscriber Server)

Central de base de datos que contiene información relacionada con una suscripción y relacionada con el usuario. Las funciones de la HSS incluyen funcionalidades como la gestión de la movilidad, la llamada y el apoyo de establecimiento de sesión, autenticación de usuario y autorización de acceso.

IMS (IP Multimedia Subsystem)

Conjunto de especificaciones que describen la arquitectura de las redes de siguiente generación.

MIMO (Múltiple entrada - múltiple salida)

Se refiere específicamente a la forma como son manejadas las ondas de transmisión y recepción en antenas para dispositivos inalámbricos.

MMME (Mobility Management Entity)

Nodo de control clave para la red de acceso LTE.

NAS (Non Access Stratum)

Información específica de la red troncal.

OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

Multiplexación por división de frecuencias ortogonales, consiste en enviar un conjunto de ondas portadoras de diferentes frecuencias, donde cada una transporta información, la cual es modulada en QAM o en PSK.

OPEX (OPeration EXpenditures)

Son los gastos del día a día en los que incurre la empresa estos gastos irían desde los gastos administrativos, mantenimiento, salarios de personal, entre otros.

Paging

Utilizado por la red para solicitar el establecimiento de una conexión de señalización NAS para el UE (equipo de usuario).

PBI (Producto Bruto Interno)

Es un indicador económico, que mide el crecimiento, el progreso económico de un país o departamento según sea el caso.

PCRF

Ofrece gestión de servicios y control del servicio 4G.

PDCCP (Packet Data Convergence Protocol)

Control de la interfaz aire LTE y planos de usuario.

PDN (Packet Data Network)

Asigna la dirección IP al UE (equipo de usuario), quien la utiliza para comunicarse con otros Host IP en redes externas.

PDN-GW (PDN Gateway)

Proporciona conectividad del equipo de usuario a las redes de paquetes de datos externas al ser el punto de entrada y salida del tráfico del equipo de usuario.

PGW (PDN Gateway)

El PGW tiene un importante rol en el control de la movilidad, asigna la dirección IP al equipo de usuario.

Releases

Comunicados que contienen información sobre varios aspectos sobre LTE.

RNC

Elemento de red de alta jerarquía de la red de acceso de la tecnología UMTS, responsable del control de los nodos B que se conectan a ella.

RNL (Radio network layer)

Gestiona la movilidad en la capa de red de radio (RNL).

RRC (Radio resource control)

El protocolo de control de recursos de radio (RRC) pertenece a la UMTS

WCDMA pila de protocolos y maneja el plano de control de señalización de la Capa 3 entre los UEs (equipos de usuario) y la UTRAN.

SAE (System Architecture Evolution)

Arquitectura de red central de estándar de comunicación inalámbrica LTE del 3GPP.

Scrambling

Cifrar o codificar.

SCTP (Stream Control Transmission Protocol)

Protocolo de comunicación de capa de transporte que fue definido por el grupo SIGTRAN de IETF en el año 2000.

S-GW (Serving Gateway)

Parte de la infraestructura de red que se mantiene en los centros de operación.

SC-FDMA

Esquema de acceso múltiple que utiliza modulación de portadora única, multiplexación frecuencial ortogonal y ecualización en el dominio frecuencial.

TDD (Time Division Duplex)

Técnica para convertir un canal simplex en un canal dúplex separando las señales enviadas y recibidas en intervalos de tiempos diferentes sobre el mismo canal usando acceso múltiple por división de tiempo.

Throughput

Tasa promedio de éxito en la entrega de un mensaje sobre un canal de comunicación.

TNL (Transport Network Layer)

Capa de transporte.

UGW (Unified Gateway)

Diseñado para ser utilizado en la arquitectura del sistema (LTE / EPC).

CAPÍTULO III

DISEÑO

3.1 ANÁLISIS DEL DISEÑO

3.1.1 Procedimientos de recolección de datos

Con estos procedimientos se desea hacer un análisis de mercado para identificar a nuestros clientes potenciales y los tipos de servicios a ofrecer, Además del dimensionamiento del tráfico de red para el distrito de Ayacucho, para luego poder plantear el diseño de red.

3.1.1.1 Estudio económico del mercado

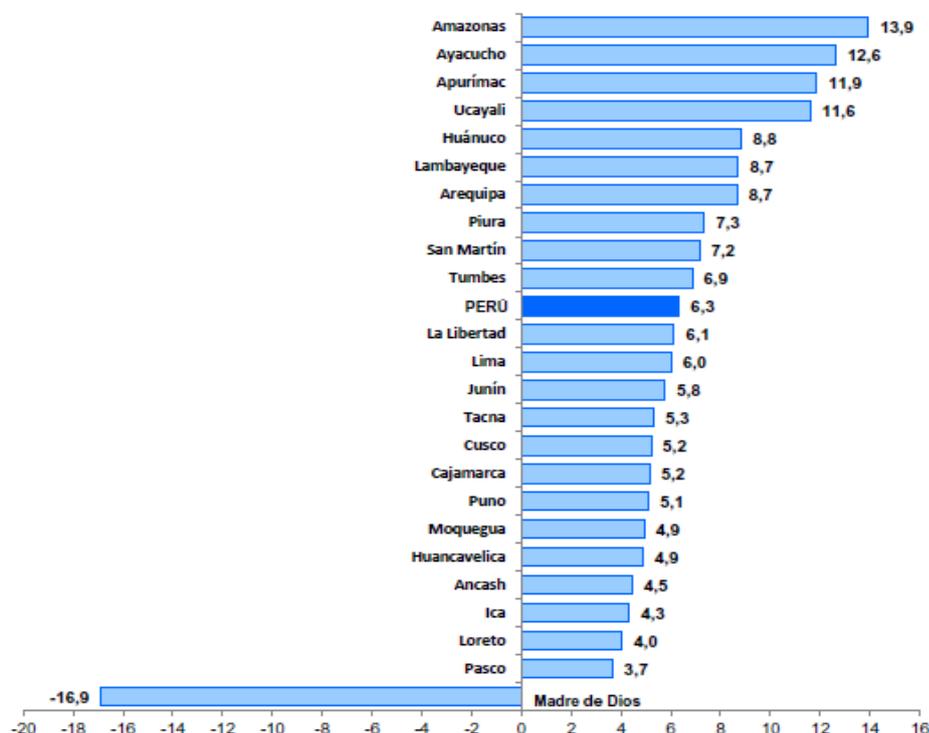
Un indicador económico muy importante a analizar es el Producto Bruto Interno (PBI), si este indicador es mayor al del año anterior significa que el país o departamento según sea el caso está creciendo, progresando en términos económicos, significa que hay más empleo, más demanda y las empresas están vendiendo más, por eso es muy importante analizar este indicador económico, para nuestro caso analizaremos el PBI de todos los departamentos del Perú para luego centrarnos en el departamento de Ayacucho.

A nivel departamental, el PBI a precios constantes o Precios reales de 1994, se incrementó en veintitrés departamentos, de los cuales diez lograron un crecimiento mayor al obtenido por el PBI del país (6.3%); el departamento de Madre de Dios fue el único que registró una reducción de 16,9%.

Los departamentos que alcanzaron un mayor aumento del PBI fueron: Amazonas (13,9%), Ayacucho (12,6%), Apurímac (11,9%), Ucayali (11,6%), Huánuco (8,8%); Lambayeque y Arequipa (8,7% cada uno); Piura (7,3%), San Martín (7,2%) y Tumbes (6,9%); los demás departamentos experimentaron un incremento menor al registrado por el PBI del país: La Libertad (6,1%), Lima (6,0%), Junín (5,8%), Tacna (5,3%); Cusco y Cajamarca (5,2% cada uno); Puno (5,1%); Moquegua y Huancavelica (4,9% cada uno); Áncash (4,5%), Ica (4,3%), Loreto (4,0%) y Pasco (3,7%). Por otro lado, el departamento de Madre de Dios experimentó un decrecimiento de 16,9%, debido a la menor producción de la actividad minera explicado por la disminución en la extracción del mineral de oro.

Centrándonos en el departamento de Ayacucho en el año 2012; es el segundo departamento que tiene un mayor incremento del PBI incluso por encima del PBI nacional que fue de 6.3% tal y como se muestra en la FIGURA 3.1, este crecimiento del PBI se produjo principalmente por el incremento de las siguientes actividades: construcción; agricultura, turismo, casa y silvicultura, lo que hace a Ayacucho un departamento muy atractivo para realizar inversiones o generar proyectos. A continuación se presenta la relación del PBI a precios constantes de 1994 obtenida del estudio del INEI.

Gráfico N°1
PERÚ: PRODUCTO BRUTO INTERNO SEGÚN DEPARTAMENTOS, 2012
 Valores a precios constantes de 1994
 (Variación porcentual del índice de volumen físico, 2012/2011)



Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática.

FIGURA 3.1: PBI Interno a Precios Constantes de 1994 de los Departamentos del Perú.
FUENTE: INEI 2012 [14].

Finalmente según el análisis hecho, se puede decir que el departamento de Ayacucho es lugar muy atractivo para poder realizar inversiones y generar empresas, además de no ser un mercado saturado en cuanto la tecnología móvil se refiere.

Ubicación geográfica

El departamento de Ayacucho se encuentra ubicado en la zona sur – central de los andes peruanos, con un área total de 43 815 km², equivalente al 3,4 por ciento del territorio nacional. Limita por el norte con Junín, por el noroeste con Huancavelica, por el oeste con Ica, por el sur con Arequipa, por el este con Apurímac y con el Cusco por el nor-este.

El departamento fue creado el 26 de abril de 1822, y se encuentra políticamente dividido en 11 provincias y 111 distritos, siendo su capital la ciudad de Ayacucho, situada a 2 761 m.s.n.m. y distante a 576 km de la ciudad de Lima.

La superficie del departamento muestra un relieve muy accidentado, donde los ríos Apurímac, Pampas y Mantaro forman impresionantes cañones. En las punas o altas mesetas andinas el relieve presenta pampas onduladas, y en el sur el nevado Sara - Sara es el más importante. Su suelo es muy accidentado por cruce de dos cordilleras que lo divide en tres unidades orográficas: montañosa y tropical al norte, de abrupta serranía al centro, y de altiplanicies al sur. Tal y como se muestra en la FIGURA 3.2.



FIGURA 3.2: Mapa Político Departamental de Ayacucho.
FUENTE: INEI 2012 [14].

3.1.1.2 Análisis de la población en Ayacucho

De acuerdo al XI Censo de Población y VI de Vivienda del año 2007 realizado por el Instituto Nacional de Estadísticas e Informática (INEI) se obtuvo que la Población en Edad de Trabajar (PET), (se considera dentro de la PET a las personas cuya edad va desde los 14 años a más que estén potencialmente disponibles para realizar una actividad productiva), ascendía a 405 mil 563 personas, Mientras que la Población Económicamente Activa (PEA), asciende a 319 mil 866 personas. Además, del total de personas que conforman la PEA en la región de Ayacucho, 309 mil 96 personas tienen empleo y 10 mil 770 personas se encuentran desempleados. Todo lo dicho se muestra en la FIGURA 3.3.

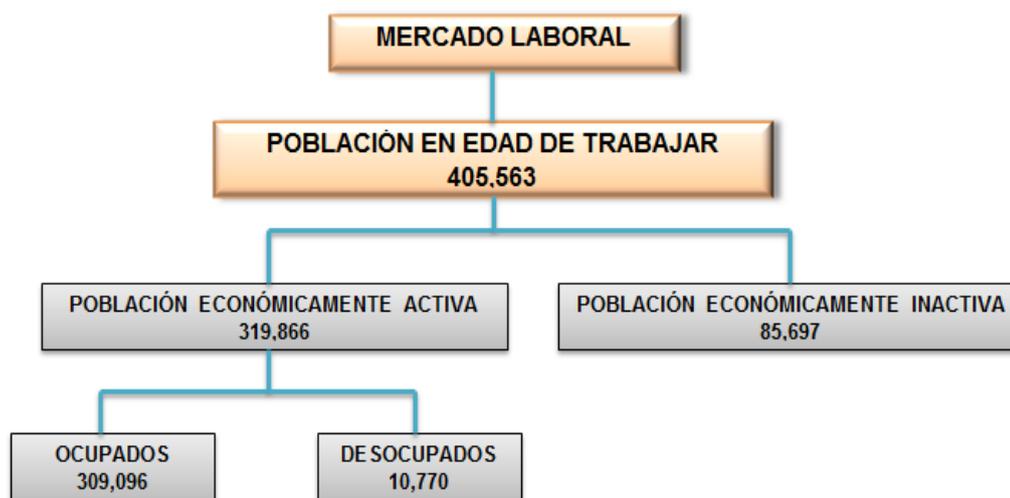


FIGURA 3.3: Actividad Económica en la región de Ayacucho, 2007 (miles de personas).

FUENTE: INEI 2007 [13].

Por otro lado, centrándonos en el distrito de Ayacucho tenemos que la PET la conforman 67 mil 65 personas. Mientras que la PEA asciende a 40 mil 239 personas, de la cuales se tiene que 36 mil 215 tienen empleo y 4 mil 24 se encuentran desempleados. De acuerdo a estos datos podremos hacer una proyección de estos valores a la actualidad. Todo lo dicho se muestra en la FIGURA 3.4.



FIGURA 3.4: Actividad Económica en el distrito de Ayacucho, 2007 (miles de personas).

FUENTE: INEI 2007 [13].

Comparando los datos registrados de la PET en el distrito de Ayacucho en el año 2007 con el censo registrado en el año 1993, se observa un incrementado en 17 mil 857 personas, lo que representa una tasa de crecimiento anual de 2.236%, superior a la tasa de crecimiento anual de la población que es 1.483%. Con lo cual se puede hacer la proyección al año 2016. En la TABLA 3.1 se muestra los datos de la PET, la población total y la tasa de crecimiento poblacional del distrito de Ayacucho tanto para Censos de 1993 como del 2007 y la proyección al año 2016.

TABLA 3.1: PET y Tasa de Crecimiento Poblacional.

		Distrito de Ayacucho
Censo 1993	PET	49,208
	total de población	82,131
	% de población que representa de PET	59.914%
Censo 2007	PET	67,065
	total de población	100,935
	% de población que representa de PET	66.444%
Proyección 2016	PET	81,834
	total de población	115,239
	% de población que representa de PET	71.013%

FUENTE: INEI 2007 [13].

3.1.1.3 Distribución de la PET en el distrito de Ayacucho por rango de ingresos

Según a los estudios realizados por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) en el distrito de Ayacucho en el año 2007 se tiene 18 mil 175 personas no tiene ingresos, 34 mil 404 personas tienen ingresos menor a S/. 500, 8 mil 249 personas tienen ingresos entre S/.500 a S/.999, además 3 mil 957 personas tienen ingresos entre S/. 1000 - S/. 1499 y por ultimo 2 mil 280 personas tienen ingresos de más S/. 1500. En la TABLA 3.2 se muestra el rango de ingresos para el distrito de Ayacucho, tanto para el Censo del año 1993 como para el Censo del año 2007 y la proyección al año 2016.

TABLA 3.2: PET por Rango de Ingresos.

Rango de ingresos	PET al año 1993	PET al año 2007	Proyección de la PET al año 2016
Sin ingreso	15,550	18,175	22,178
Menos de S/. 500	26,129	34,404	41,981
De S/. 500 - S/. 999	4,724	8,249	10,066
De S/. 1000 - S/. 1499	2,116	3,957	4,828
De S/. 1500 a más	689	2,280	2,782
Total	49,208	67,065	81,834

FUENTE: INEI 2007[13].

Como podemos observar en la TABLA 3.2 hay una mayor concentración en los Personas en el Rango de ingresos que ganan menos S/.500, este análisis ayuda mucho al momento de ofrecer los tipos de planes para el usuario final.

3.1.1.4 Distribución de la PET en el distrito de Ayacucho según rango de edad.

De acuerdo al Censo realizado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) en el año 2007, 33 mil 625 personas tienen entre 14 a 29 años de edad, 24 mil 714 personas tienen entre 30 a 49 años y 8 mil 726 personas tienen de 50 a 65 años. De estos datos obtendremos la proyección al año 2016.

En la TABLA 3.3 se muestra la PET según rango de edades para el distrito de Ayacucho, tanto para el Censo del año 1993 como para el Censo del año 2007 y la proyección al año 2016.

TABLA 3.3: Distribución de la PET según rango de edades.

Rango de edad (años)	Censo del año 1993	Censo del año 2007	Proyección al 2016
14 - 29	27,607	33,625	37,876
30 - 49	16,170	24,714	32,213
50 - 65	5,431	8,726	11,745
Total	49,208	67,065	81,834

FUENTE: INEI 2007 [13].

Según la ley N° 27453, de fecha 22 de mayo del 2001 ratificada por DS N° 038- 2001 publicado el 31 de mayo de 2001, se considera dentro de la PET a aquellas personas de 14 años a más que están potencialmente disponibles para desarrollar actividades productivas, para el presente proyecto de investigación consideraremos la PET desde los 14 años hasta 65 años de edad, ya que es en esas edades donde se concentra la mayor cantidad de población.

3.1.1.5 Distribución de la PET según actividad Económica.

Según a los estudios realizados por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) en el distrito de Ayacucho en el año 2007 se tiene 35 mil 813 personas que se dedican a la Agricultura/Pesca /Minería, 3 mil 622 personas a la manufactura, 2 mil 817 personas a la construcción, 8 mil 316 personas al comercio, 3 mil 286 al transporte y comunicaciones y por ultimo 13 mil 212 personas a otros servicios. En la TABLA 3.4 se muestra la distribución de PET según actividad económica para el distrito de Ayacucho, tanto para el Censo del año 1993 como para el Censo del año 2007 y la proyección al año 2016.

TABLA 3.4: Distribución de la PET según Actividad Económica.

Actividad	PET al año 1993	PET al año 2007	Proyección de la PET al año 2016
Agricultura /Pesca / Minería	26,277	35,813	43,699
Manufactura	2,657	3,622	4,419
Construcción	2,067	2,817	3,437
Comercio	6,102	8,316	10,147
Transportes y comunicaciones	2,411	3,286	4,010
Otros servicios	9,694	13,212	16,121
Total	49,208	67,065	81,834

FUENTE: INEI 2007 [13].

Como podemos observar en la TABLA 3.4, la mayor cantidad de la PET radica en la Agricultura /Pesca / Minería, esto ayuda mucho al momento de elegir los planes, tarifas y promociones a ofrecer al usuario final.

Afluencia de turistas nacionales e internacionales al distrito de Ayacucho.

Tener en cuenta a los turistas es parte importante para la determinación de la demanda, ya que en él se concentra gran cantidad de personas a las cuales se les podrá ofrecer el servicio.

En este sentido, el Ministerio de Comercio Exterior y Turismo (MINCETUR), brinda datos claves para la determinación de la demanda en la región de Ayacucho. Para ello, se va a analizar la cantidad de afluencia tanto de turistas nacionales como internacionales.

En la TABLA 3.5 se muestra la afluencia de turistas nacionales e internacionales que frecuentan la región de Ayacucho tanto para el año 2008 como el año 2009, para luego hacer una proyección al 2016.

TABLA 3.5: Afluencia de turistas nacionales e internacionales para la región Ayacucho.

Año	Turista Nacional e internacional
2008	136,833 personas
2009	141,896 personas
2016	182,989 personas

FUENTE: MINCETUR [15].

Las cifras anteriores indican que en la región de Ayacucho cada año que pasa se incrementa la cantidad de turistas, esto se debe principalmente a que existe una mayor

información turística y se está mejorando la calidad de servicios que se ofrecen al visitante.

Según, el Ministerio de Comercio Exterior y Turismo (MINCETUR) del total de turistas nacionales e internacionales que visitaron la región de Ayacucho en el año 2008 y 2009 el 60% visitó el distrito de Ayacucho.

En la TABLA 3.6 se muestra la cantidad de turistas para el distrito de Ayacucho para los años 2008 y 2009, así como también la proyección para el año 2016.

TABLA 3.6: Afluencia de turistas nacionales e internacionales para el distrito de Ayacucho.

Año	Turista Nacional e internacional
2008	82,100 personas
2009	85,138 personas
2016	109,793 personas

FUENTE: MINCETUR [15].

3.1.1.6 Determinación de la demanda

De acuerdo a datos estadísticos realizados por la entidad 4G Américas a grandes escalas, el Perú con una población de 31 millones de personas en el año 2014 tenía una penetración móvil del 102%, se estima que para el año 2020 contará con 39.8 millones de líneas móviles y una penetración móvil del 119%. En el 2014, la mayoría de suscriptores correspondía a líneas con tecnologías 2G, con un 60.1% de participación en el mercado, seguido de la tecnología 3G con una participación en el mercado de 35.7% y por último LTE con 4.2%. Hacia el año 2020, se espera que el mercado cambie, con una mayor participación de las tecnologías 3G y LTE con porcentajes de 51% y 46.2%

respectivamente, seguido de la tecnología 2G con una participación del 2.8% todo lo dicho se observa en la FIGURA 3.5.

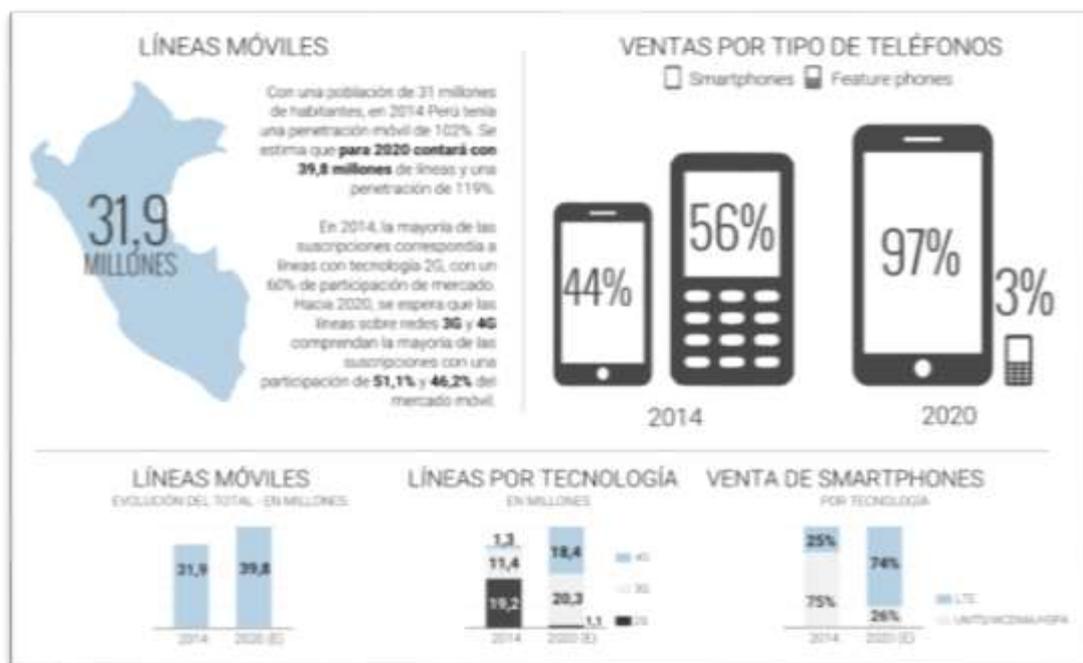


FIGURA 3.5: Mercado móvil del Perú 2014 – 2020.

FUENTE: 4G Americas [16].

Según la entidad 4G Américas en el año 2014, la penetración de la tecnología 3G y LTE es del 40% en el Perú, asumiremos esta misma cantidad para decir que la penetración de la tecnología 3G y LTE en la PET del distrito de Ayacucho es del 40%. Se ha elegido evaluar la PET ya que si bien es cierto pensar que se debe evaluar la PEA para ver nuestro universo de clientes, no aplica siempre que las personas que conforman la PEA adquirirán nuestros servicios, sino que personas de la PET también lo harán. Con estos datos, se puede hacer una estimación de la cantidad de personas en el distrito de Ayacucho que optarían por tener nuestro servicio. En la TABLA 3.7 se muestra la posible penetración del servicio para el año 2016.

TABLA 3.7: Penetración del servicio 3G y LTE en el distrito de Ayacucho para el año 2016.

	Distrito de Ayacucho
PET	81,834 personas
Personas que cuentan con servicio 3G y LTE	32,734 personas
Porcentaje de personas con servicio 3G y LTE	40%

FUENTE: INEI 2007 [13].

Por lo tanto, a lo que se apunta es a conseguir que este grupo de personas (32 mil 734 personas) opten por nuestros servicios.

Aparte de la población que se encuentra en el distrito de Ayacucho se debe de tener en cuenta las personas que visitan dicho distrito, ya que es un punto importante para la determinación de la demanda. Se estima que un 70% de las personas que visitan el distrito de Ayacucho cuentan con equipo con acceso a servicios 3G y LTE, como se muestra en la TABLA 3.8.

TABLA 3.8: Penetración del servicio 3G y LTE en el turista nacional e internacional para el año 2016.

	Distrito de Ayacucho
Total de turistas nacionales e internacionales	109,793 personas
Personas con equipos con acceso 3G y LTE	76,855 personas
Penetración de servicios 3G y LTE	70%

FUENTE: elaboración propia.

Por lo tanto el número de personas en las que se centrará nuestra atención es de 76 mil 855 personas. Si a esta cantidad le sumamos las personas iniciales a las que

apuntaba nuestro servicio (32 mil 734 personas), tendremos que nuestra población potencial es de 109 mil 589 personas.

Una vez que conocemos la cantidad de personas a las que apunta nuestros servicios, se presentan 3 escenarios

ESCENARIO OPTIMISTA

Este escenario como su nombre lo indica es el más optimista de los tres y se tiene planeado que el 80% de la población potencial usará nuestros servicios, en la TABLA 3.9 se muestra lo dicho anteriormente.

TABLA 3.9: Personas a las que finalmente se les brindará el servicio (escenario optimista).

	Distrito de Ayacucho
Porcentaje del escenario	80%
Total de personas en las que se centrará la atención	109,589 personas
Personas a las que finalmente se les brindará nuestros servicios	87,671 personas

FUENTE: Elaboración propia.

ESCENARIO MODERADO

Este escenario que es el más realista de los tres se tiene planeado que el 45% de la población potencial usará nuestros servicios, en la TABLA 3.10 se muestra lo dicho anteriormente.

TABLA 3.10: Personas a las que finalmente se les brindará el servicio (escenario moderado).

	Distrito de Ayacucho
Porcentaje del escenario	45%
Total de personas en las que se centrará la atención	109,589 personas
Personas a las que finalmente se les brindará nuestros servicios	49,315 personas

FUENTE: Elaboración propia.

ESCENARIO PESIMISTA

Este escenario como su nombre lo indica es el peor de los tres se tiene planeado que el 10% de la población potencial usará nuestros servicios, en la TABLA 3.11 se muestra lo dicho anteriormente.

TABLA 3.11: Personas a las que finalmente se les brindará el servicio (escenario pesimista).

	Distrito de Ayacucho
Porcentaje del escenario	10%
Total de personas en las que se centrará la atención	109,589 personas
Personas a las que finalmente se les brindará nuestros servicios	10,959 personas

FUENTE: Elaboración propia.

De acuerdo a ello y teniendo en cuenta los factores y estándares habituales que toman las empresas operadoras en el Perú, se opta por elegir el ESCENARIO MODERADO. Por lo que finalmente nuestra población potencial 49 mil 315 personas.

3.1.1.7 Servicios a ofrecer

Se piensa establecer tres planes de servicio para las personas interesadas en los servicios de 4G-LTE.

Básicamente los tres planes cuentan las siguientes aplicaciones Facebook, WhatsApp y Twitter totalmente gratis. Lo que se busca con estos planes es llegar a los usuarios que normalmente están interesados en adquirir planes para navegar en la web, pero también llegar a la población de escasos recursos económicos brindando planes especiales para ellos.

Es por esto que se han diseñado los siguientes planes, que incluyen minutos para llamar a cualquier operador y plan de datos para poder navegar en la web.

PLAN BÁSICO

Es un plan mayormente dedicado a la población de bajos recursos, que cuenta con las siguientes características mostradas en la TABLA 3.12

TABLA 3.12: Características del plan básico.

Tipo de plan	Velocidad de Uplink (Mbps)	Velocidad de Downlink (Mbps)	Minutos
Plan 1G	1	2	20
Plan 3G	2	4	40

FUENTE: Elaboración propia.

PLAN INTERMEDIO

Es un plan diseñado para las personas que buscan mayor velocidad y están navegando frecuentemente y que necesitan mayor tamaño de descargas. Las características se muestran en la TABLA 3.13.

TABLA 3.13: Características del plan intermedio.

Tipo de plan	Velocidad de Uplink (Mbps)	Velocidad de Downlink (Mbps)	Minutos
Plan 5G	4	6	300
Plan 10G	6	8	500

FUENTE: Elaboración propia.

PLAN EMPRESARIAL

Como su nombre lo indica es un plan diseñado para las empresas que son las que requieren mayor cantidad de minutos para llamar y también mayor cantidad de datos. Las características se muestran en la TABLA 3.14.

TABLA 3.14: Características del plan empresarial.

Tipo de plan	Velocidad de Uplink (Mbps)	Velocidad de Downlink (Mbps)	Minutos
Plan 15G	9	10	3000
Plan 30G	14	15	ilimitado

FUENTE: Elaboración propia.

Es importante indicar que para los tres planes, los picos de velocidad tanto de descarga (downlink) como de subida (uplink) se dan cuando se emplea el paquete de datos. De no ser este el caso, la velocidad en el uplink será de 200 Kbps y en el downlink será de 500 Kbps.

3.2 DISEÑO DEL PROYECTO

Una vez realizado el estudio de mercado, así como de haber descrito los tipos de servicios a ofrecer, se hará el diseño de la red para el distrito de Ayacucho en lo que respecta al cálculo y las consideraciones que involucra diseñar una red de acceso y una red de transporte.

En el Perú, el 26 de mayo del presente año se acaba de licitar la banda de los 700 MHZ, en el cual las empresas operadoras América móvil, Telefónica del Perú y Entel Perú se adjudicaron dicha banda. El presente proyecto trabaja con dicha banda ya que es la banda que se está utilizando en la actualidad para brindar servicios de 4G-LTE.

3.2.1 Cálculo del número de eNodos B

Para calcular la cantidad de números de eNodos B, es necesario hallar la cantidad de tráfico total que se tendrá para el distrito.

Es por esto que se ha determinado la siguiente información de acuerdo a un porcentaje que se tiene debido a la cantidad de personas que posiblemente adquieran el servicio, el cual anteriormente se nombró como un escenario moderado en donde queremos que el servicio lo adquiera el 45% que es igual a 49 mil 315 personas.

Teniendo en cuenta esto se ha determinado un porcentaje aproximado de los planes, los cuales se han sugerido anteriormente. En donde el plan básico se aspira que tenga un consumo de alrededor de un 45%, el plan intermedio del 35% y el empresarial del 20%. Todo lo dicho anteriormente se muestra en la TABLA 3.15.

TABLA 3.15: Distribución de los clientes.

Número de clientes	Plan de consumo	Porcentaje de consumidores	Clientes por plan de consumo	Alternativa de consumo	Porcentaje de consumidores	Clientes por alternativa
49,315	Básico	45%	22,192	Plan 1G	60%	13,315
				Plan 3G	40%	8,877
	Intermedio	35%	17,260	Plan 5G	55%	9,493
				Plan 10G	45%	7,767
	Empresa	20%	9,863	Plan 15G	70%	6,904
				Plan 30G	30%	2,959

FUENTE: Elaboración propia.

Para el cálculo del tráfico, se analizarán tanto el consumo de datos como el consumo de voz.

CONSUMO DE DATOS

Para el cálculo de consumo de datos, se tiene en cuenta que para los 3 planes se cuenta con un Factor de Simultaneidad de 40% y un Factor de Overbooking de 10 [3], [4]. Por lo que se realizará el cálculo teniendo presente la siguiente fórmula:

$$\text{Consumo (Mbps)} = \frac{(\text{N}^\circ \text{clientes} \times \text{Factor de Simult.} \times \text{Velocidad (Mbps)})}{\text{Factor de Overb}} \quad (3.1)$$

A continuación se analiza de acuerdo al tipo de plan.

Plan Básico

En la TABLA 3.16 se muestra el consumo total en Mbps para el plan básico.

TABLA 3.16: Consumo de datos para el plan básico.

Tipo de plan básico	Número de clientes	Factor de simultaneidad	Velocidad (Mbps)	Factor de overbooking	Consumo por tipo de plan (Mbps)
Plan 1G	13,315	40%	2	10	1,065
Plan 3G	8,877		4		1,420
Total					2,486

FUENTE: Elaboración propia.

Plan Intermedio

En la TABLA 3.17 se muestra el consumo total en Mbps para el plan intermedio.

TABLA 3.17: Consumo de datos para el plan intermedio.

Tipo de plan básico	Número de clientes	Factor de simultaneidad	Velocidad (Mbps)	Factor de overbooking	Consumo por tipo de plan (Mbps)
Plan 5G	9,493	40%	6	10	2,278
Plan10G	7,767		8		2,485
Total					4,764

FUENTE: Elaboración propia.

Plan Empresarial

En la TABLA 3.18 se muestra el consumo total en Mbps para el plan empresarial.

TABLA 3.18: Consumo de datos para el plan intermedio.

Tipo de plan básico	Número de clientes	Factor de simultaneidad	Velocidad (Mbps)	Factor de overbooking	Consumo por tipo de plan (Mbps)
Plan15G	6,904	40%	10	10	2,762
Plan30G	2,959		15		1,775
Total					4,537

FUENTE: Elaboración propia.

CONSUMO DE VOZ

Para el cálculo de consumo de voz, se tiene en cuenta que para los 3 planes se cuenta con un Factor de Simultaneidad de 25% y un Factor de Overbooking de 1 [3], [4]. Además, se considera que la llamada promedio por cliente es de 3 minutos, lo cual da un consumo promedio por cliente de 50mErl. Con ello, se realizará el cálculo teniendo presente la siguiente fórmula:

$$\text{Consumo(mErl)} = \frac{(\text{N}^\circ \text{clientes} \times \text{Factor.Simult.} \times \text{cons.Prom.Cliente(mErl)})}{\text{Fac.Overb}} \quad (3.2)$$

Se analizará según el tipo de plan.

Plan Básico

En la TABLA 3.19 se muestra el consumo total en mErl para el plan básico.

TABLA 3.19: Consumo de voz para el plan básico en mErl.

Tipo de plan básico	Número de clientes	Factor de simultaneidad	Factor de overbooking	consumo promedio por cliente (mErl)	Consumo total por el tipo de plan (mErl)
Plan 1G	13,315	25%	1	50	166,438
Plan 3G	8,877	25%	1	50	110,963
Total					277,400

FUENTE: Elaboración propia.

Con la ayuda de la calculadora Erlang B procederemos a calcular la cantidad de líneas. Como se muestra en la FIGURA 3.6.



FIGURA 3.6: Número de Líneas para Plan Básico.

FUENTE: Elaboración propia.

Una vez calculado el número de líneas del plan básico, se debe tener presente que por cada canal de voz se debe tener 0.064Mbps de velocidad según la ITU. Con esta aclaración procedemos a calcular el consumo total de voz en Mbps, con la siguiente fórmula:

$$\text{Consumo Total(Mbps)} = N^{\circ} \text{ líneas} \times \text{Velocidad(Mbps)} \quad (3.3)$$

En la TABLA 3.20 se muestra en consumo total de voz en Mbps

TABLA 3.20: Consumo de voz en Mbps para el Plan Básico.

Número de líneas	Velocidad (Mbps)	Consumo total (Mbps)
301	0.064	19.264

FUENTE: Elaboración Propia.

Plan Intermedio

En la TABLA 3.21 se muestra el consumo total en mErl para el plan intermedio.

TABLA 3.21: Consumo de voz para el plan intermedio en mErl.

Tipo de plan intermedio	Número de clientes	Factor de simultaneidad	Factor de overbooking	consumo promedio por cliente (mErl)	Consumo total por el tipo de plan (mErl)
Plan 5G	9,493	25%	1	50	118,664
Plan 10G	7,767	25%	1	50	97,089
Total					215,753

FUENTE: Elaboración propia.

Procedemos a calcular la cantidad de líneas con la ayuda de la calculadora Erlang B.

como se muestra en la FIGURA 3.7.

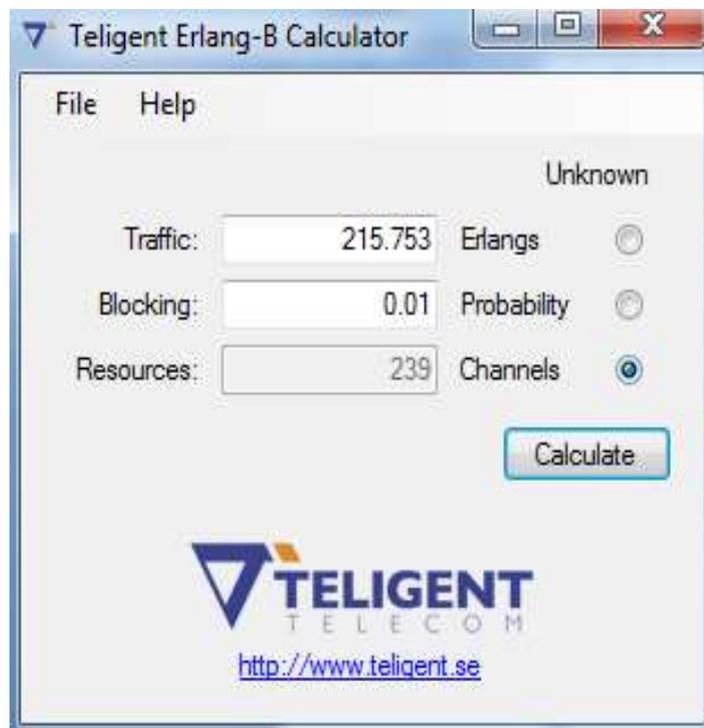


FIGURA 3.7: Número de Líneas para Plan Intermedio.

FUENTE: Elaboración propia.

Una vez calculado el número de líneas del plan intermedio, procederemos a calcular el consumo total de voz en Mbps, con la formula (3.3). En la TABLA 3.22 se muestra los resultados.

TABLA 3.22: Consumo de voz en Mbps para el Plan Intermedio.

Número de líneas	Velocidad (Mbps)	Consumo total (Mbps)
239	0.064	15.296

FUENTE: Elaboración Propia.

Plan Empresarial

En la TABLA 3.23 se muestra el consumo total en mErl para el plan empresarial.

TABLA 3.23: Consumo de voz para el plan empresarial en mErl.

Tipo de plan empresarial	Número de clientes	Factor de simultaneidad	Factor de overbooking	consumo promedio por cliente (mErl)	Consumo total por el tipo de plan (mErl)
Plan 15G	6,904	25%	1	50	86,301
Plan 30G	2,959	25%	1	50	36,986
Total					123,288

FUENTE: Elaboración propia.

Procedemos a calcular la cantidad de líneas con la ayuda de la calculadora Erlang B.

Como se muestra en la FIGURA 3.8.

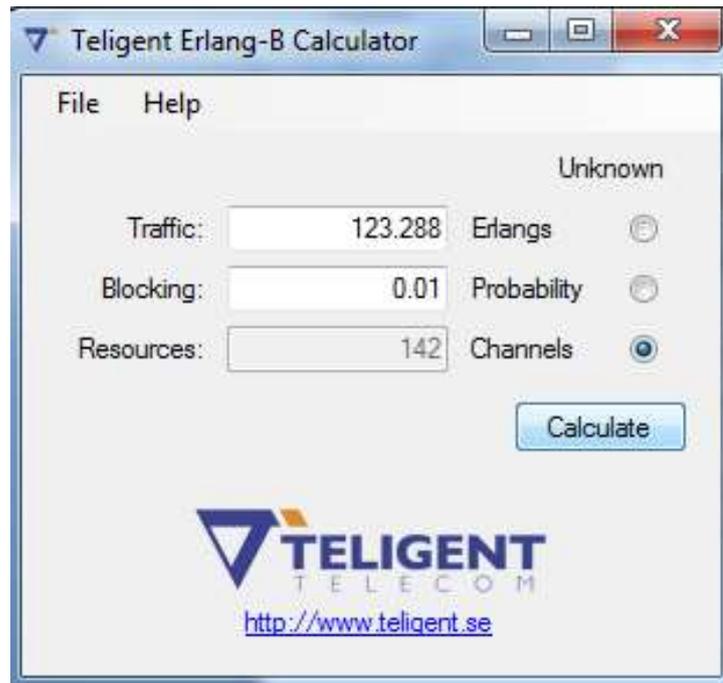


FIGURA 3.8: Número de Líneas para Plan Empresarial.

FUENTE: Elaboración propia.

Una vez calculado el número de líneas del plan Empresarial, procederemos a calcular el consumo total de voz en Mbps, con la formula (3.3). En la TABLA 3.24 se muestra los resultados.

TABLA 3.24: Consumo de voz en Mbps para el Plan Empresarial

Número de líneas	Velocidad (Mbps)	Consumo total (Mbps)
142	0.064	9.088

FUENTE: Elaboración Propia.

NÚMERO DE eNODOS B REQUERIDOS PARA LA RED.

Luego de haber calculado el consumo total en Mbps de la red, procederemos a calcular el número de eNODOS B que demandará el proyecto, se está considerando para el proyecto 3 sectores por eNODOS B, además de usar el equipo Huawei BBU3900 que tiene una capacidad de consumo por sector de 380Mbps, haciendo un consumo por eNODOS B de 1140 Mbps [4].

$$N^{\circ} \text{ de eNodos B requeridos} = \frac{\text{Consumo Total (Mbps)}}{\text{Consumo por eNodoB (Mbps)}} \quad (3.4)$$

En la TABLA 3.25 se muestran los resultados obtenidos.

TABLA 3.25: Número de eNODOS B requeridos.

Consumo Total de red (Mbps)	datos	11,787	11,831
	voz	43.648	
consumo por eNODO B (Mbps)	1140		
eNODOS B requeridos	10.38		

FUENTE: Elaboración propia.

Finalmente se va a necesitar 11 eNODOS B para poder satisfacer la demanda de consumo de datos de la red.

3.2.2 Topología de la red

En el presente proyecto de investigación se contarán con 11 eNODOS B distribuidos en el territorio del distrito de Ayacucho, el criterio de selección de las ubicaciones ha sido tomado en cuenta en base a las ubicaciones de los NODOS B que cuenta telefónica del Perú en dicho distrito, los cuales se ubican como se muestra en la TABLA 3.26.

TABLA 3.26: Ubicación de los eNODOS B.

eNODOS B	Ubicación	Latitud	Longitud
eNODO B1	Referencia: Central de telefónica	-13.157713	-74.224672
eNODO B2	Referencia: Terrapuerto Libertadores de América	-13.142390	-74.235392
eNODO B3	Referencia: Parque Simón Bolívar	-13.144530	-74.228535
eNODO B4	Jr. Inclán Referencia : Centro Recreacional Mama Juana	-13.169888	-74.229072
eNODO B5	Av. Progreso 596	-13.158792	-74.236317
eNODO B6	Av. Las Palmeras 14809	-13.168990	-74.235026
eNODO B7	Av. Arguedas 405	-13.162237	-74.235036
eNODO B8	Rio Seco cruce con Av. 2 de Mayo	-13.166927	-74.226671
eNODO B9	Jr. Manco Capac Referencia: Complejo Deportivo Nery García Zarate	-13.149631	-74.231381
eNODO B10	Av. Breña 308 Referencia: Cevicheria el Huarique	-13.147714	-74.225330
eNODO B11	Vía los Libertadores 3049	-13.154164	-74.234621

FUENTE: Elaboración Propia.

En la FIGURA 3.9 se muestra la distribución los 11 eNODOS B, es importante indicar que tenemos como CORE al eNODO B1 la razón por la cual se toma esta decisión es porque la experiencia demuestra que es un lugar óptimo para desde allí hacer enlaces microondas y de fácil acceso ante cualquier emergencia, también porque telefónica del Perú utiliza como CORE dicho lugar, además se muestra la delimitación de la zona la cual tendrá cobertura.



FIGURA 3.9: Distribución de los 11 eNODOS B y zona de cobertura.
FUENTE: Elaboración Propia.

3.2.3 Diseño de la Red de Transporte

La red 4G-LTE es una tecnología que requiere altas capacidades de transmisión, nuestro diseño de red de transporte está basado en el uso exclusivo de enlaces microondas entre los eNODOS B.

Estos enlaces van a tener las siguientes características:

- Enlaces de 2Gbps de capacidad
- Configuración 1+1.
- Topología en estrella.
- Se usará la banda de los 6 Ghz

Los equipos de microondas a usarse son los RTN 950 del proveedor HUAWEI y las antenas VHLPX3-6W del proveedor COMMSCOPE, en la TABLA 3.27 se muestran las especificaciones técnicas más importantes.

TABLA 3.27: Especificaciones Técnicas del Enlace Microondas.

Características	Valores
Banda	6 GHZ
Potencia Máxima (dBm)	25
Sensibilidad (dBm)	-72
Ganancia (dBi)	33

FUENTE: Elaboración Propia.

Una vez mencionado las especificaciones técnicas del enlace microondas pasamos a mostrar en la FIGURA 3.10 como se conectan los eNODOS B.

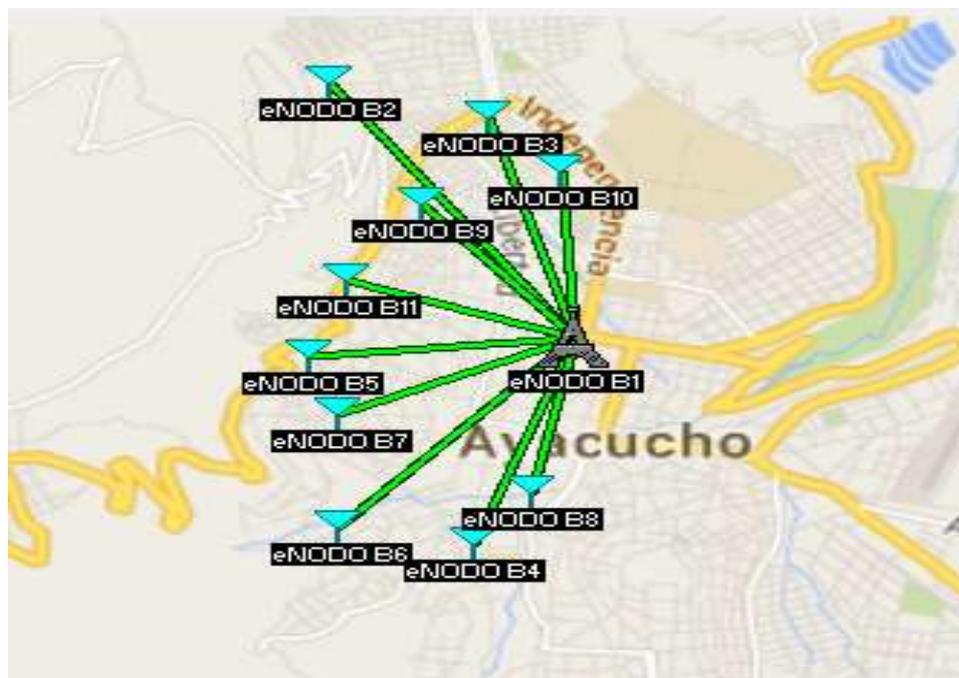


FIGURA 3.10: Topología de la Red de Transporte.

FUENTE: Elaboración Propia.

En las FIGURAS 3.11 a 3.20 se muestran los perfiles realizados a cada enlace microondas, los cuales nos garantizan las líneas de vistas entre los eNODOS B, estas simulaciones fueron hechas con el software RADIO MOBILE.

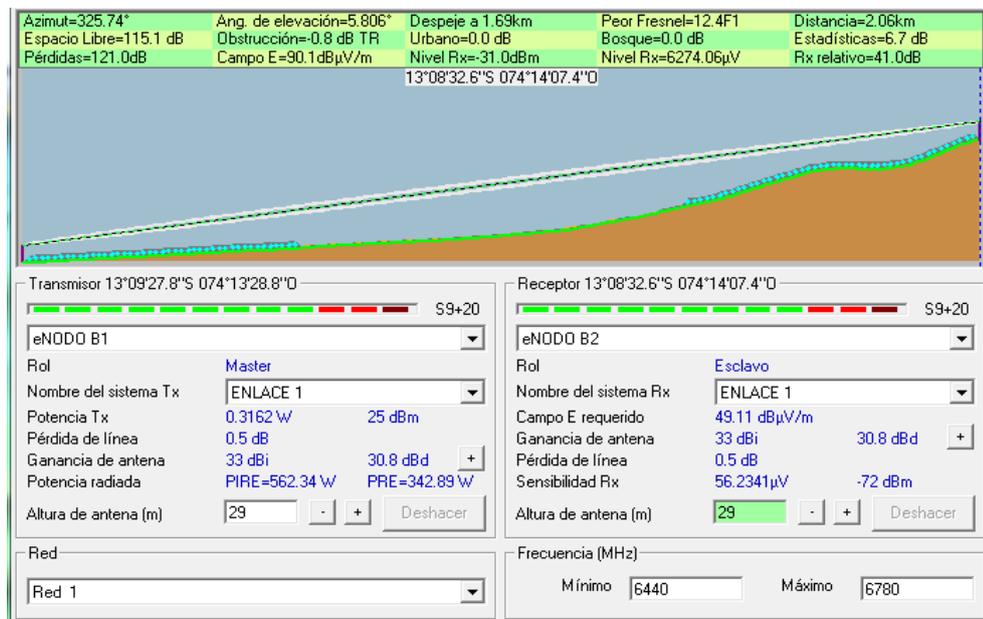


FIGURA 3.11: Enlace entre el eNODO B1 y eNODO B2.

FUENTE: Elaboración Propia.

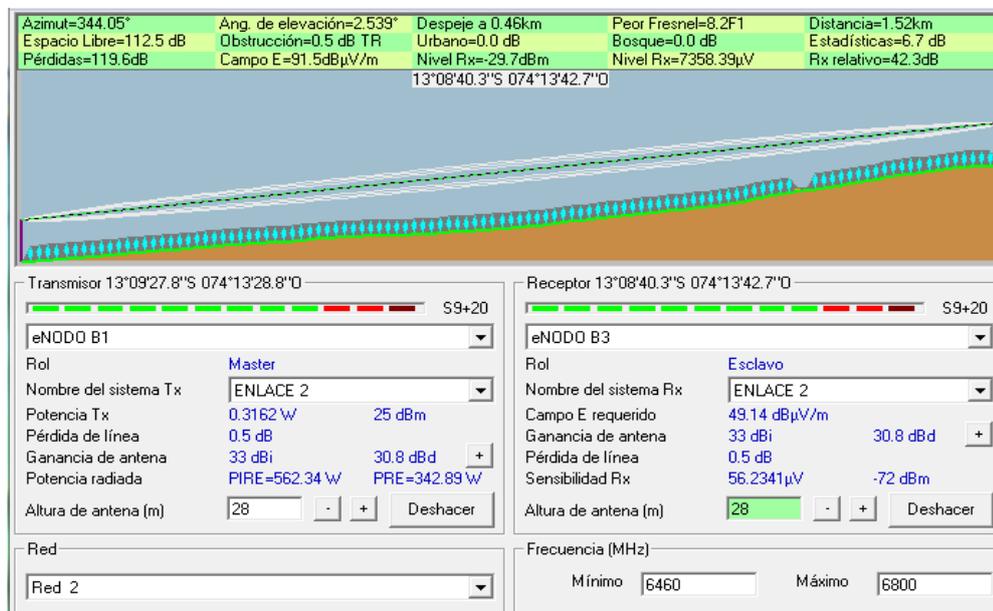


FIGURA 3.12: Enlace entre el eNODO B1 y eNODO B3.

FUENTE: Elaboración Propia.

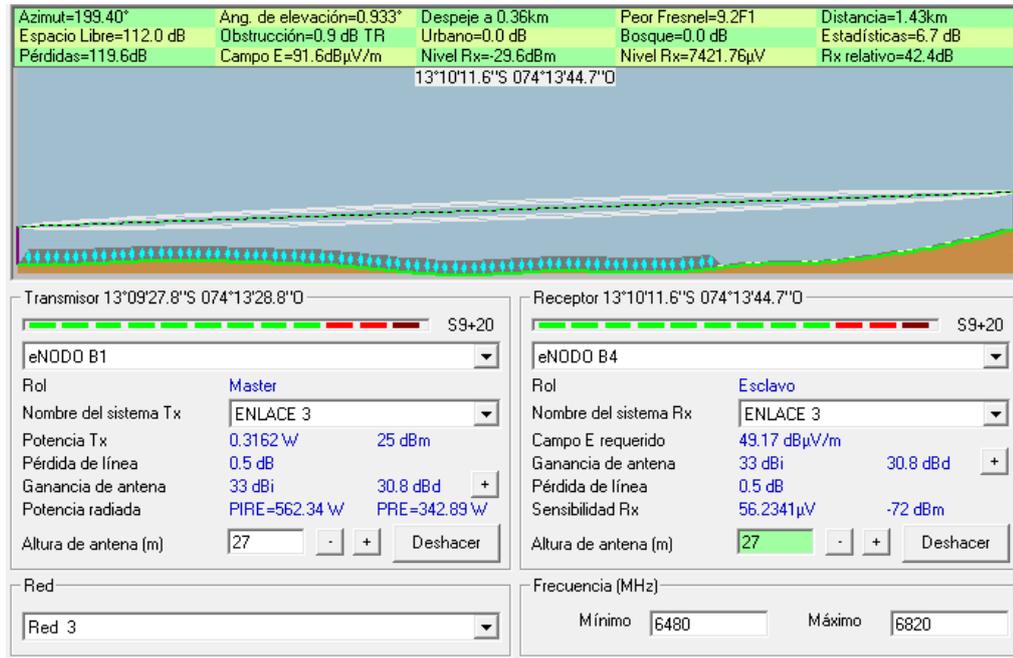


FIGURA 3.13: Enlace entre el eNODO B1 y eNODO B4.

FUENTE: Elaboración Propia.

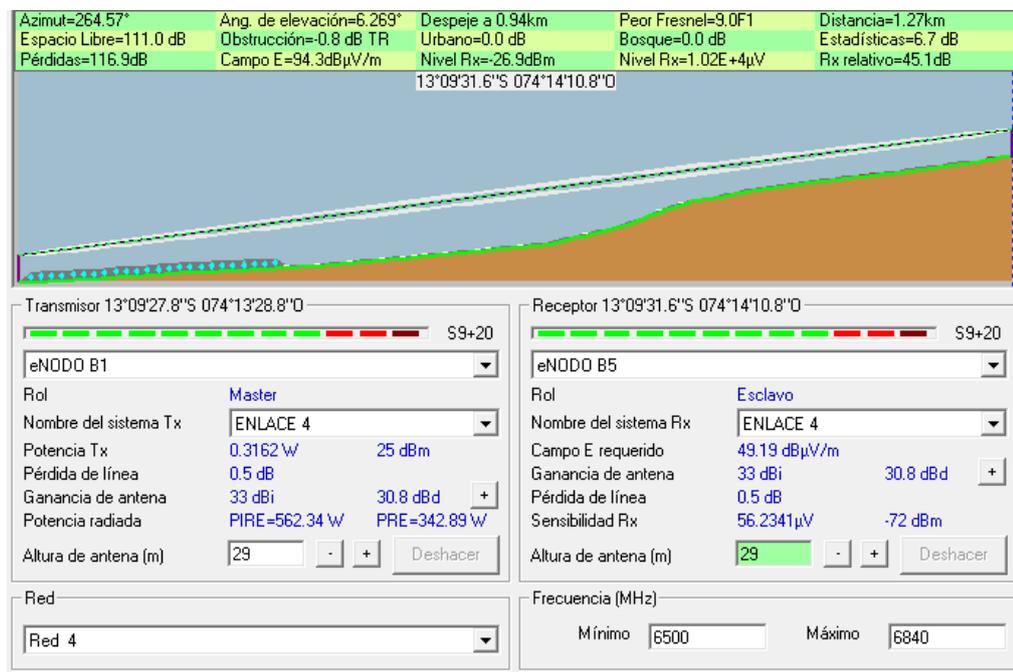


FIGURA 3.14: Enlace entre el eNODO B1 y eNODO B5.

FUENTE: Elaboración Propia.

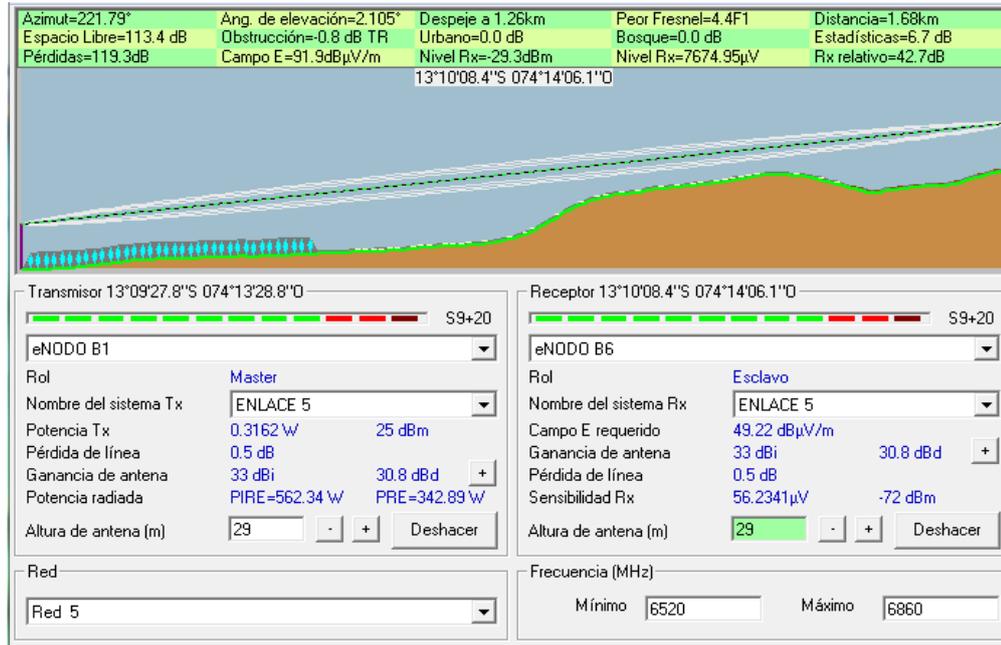


FIGURA 3.15: Enlace entre el eNODO B1 y eNODO B6.

FUENTE: Elaboración Propia.

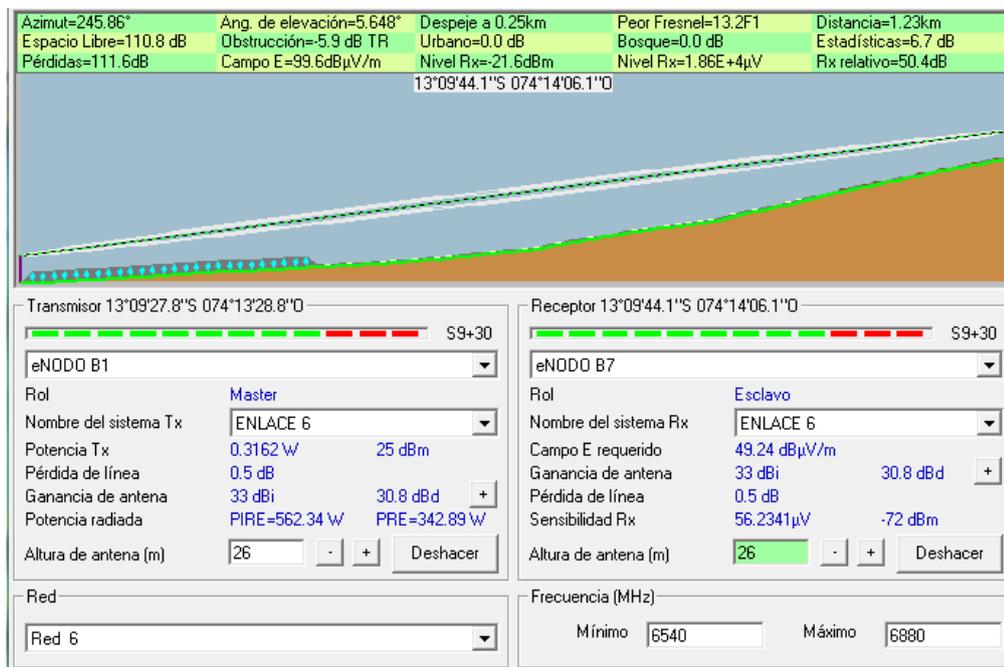


FIGURA 3.16: Enlace entre el eNODO B1 y eNODO B7.

FUENTE: Elaboración Propia.

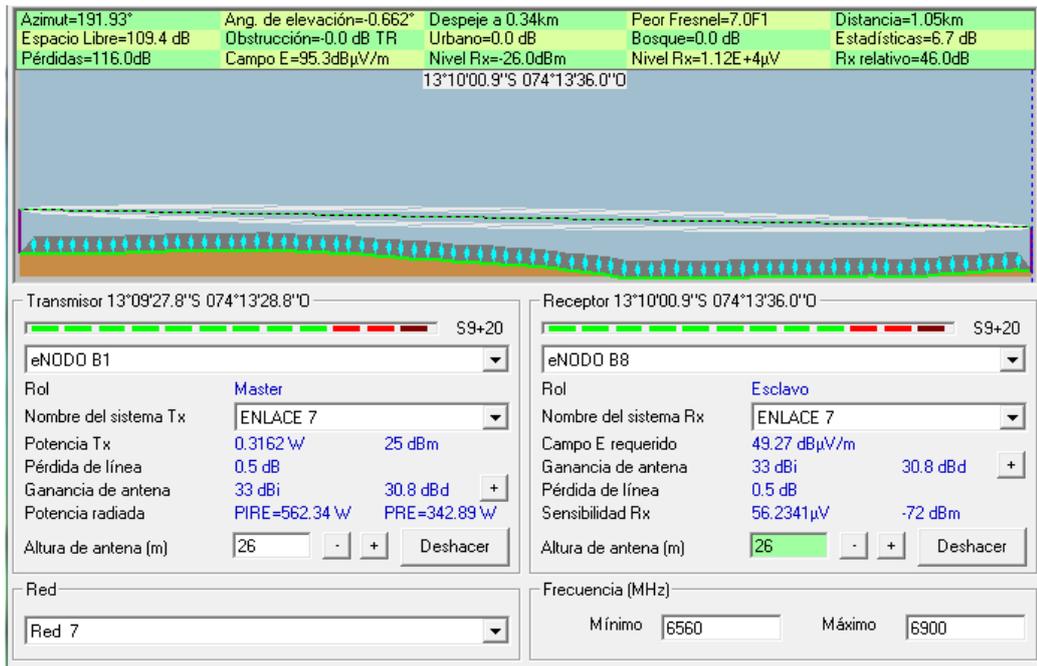


FIGURA 3.17: Enlace entre el eNODO B1 y eNODO B8.

FUENTE: Elaboración Propia.

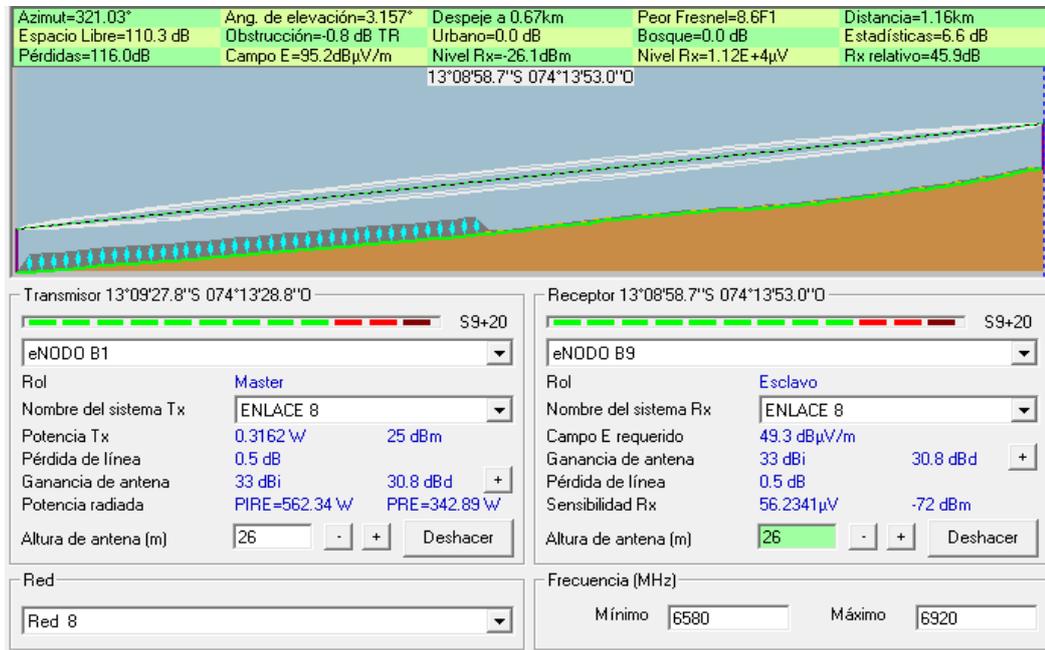


FIGURA 3.18: Enlace entre el eNODO B1 y eNODO B9.

FUENTE: Elaboración Propia.

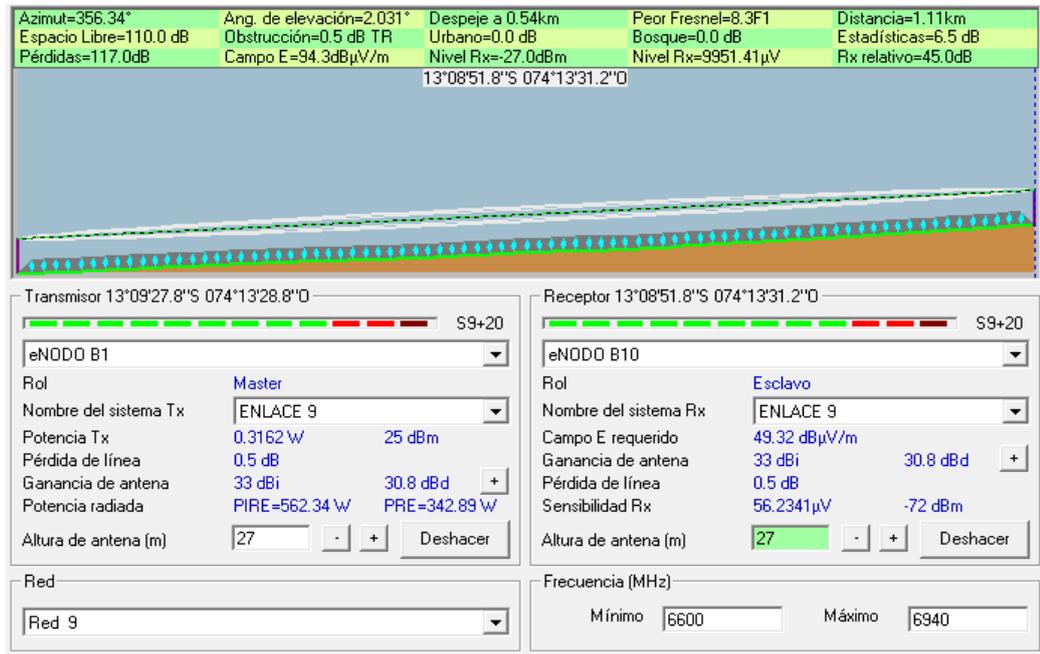


FIGURA 3.19: Enlace entre el eNODO B1 y eNODO B10.

FUENTE: Elaboración Propia.

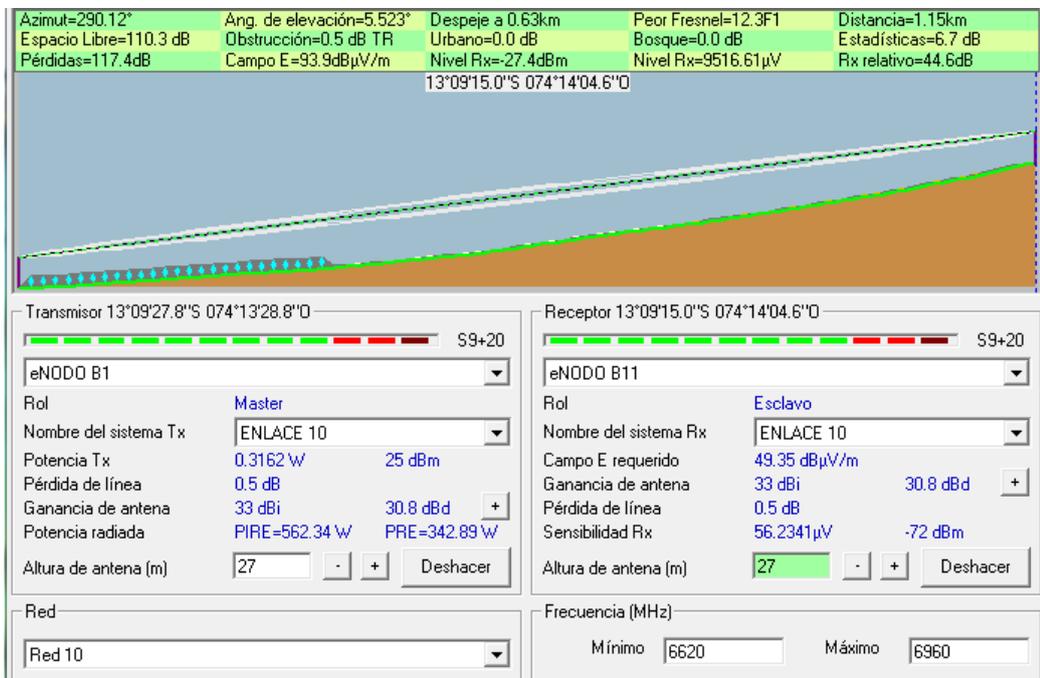


FIGURA 3.20: Enlace entre el eNODO B1 y eNODO B11.

FUENTE: Elaboración Propia.

3.2.4 Diseño de la Red de Acceso.

Para un correcto análisis de la red de acceso, es importante hacer uso de los modelos de propagación. Los modelos de propagación nos permiten conocer cuál es la atenuación de la onda de radio que llega a la antena receptora.

Para el presente proyecto de investigación se ha elegido emplear el modelo de OKUMURA – HATA ya que es muy prolijo y proporciona resultados bastante acorde con las mediciones.

- Modelo de Propagación Okumura – Hata

Este modelo de propagación está basado en una serie de medidas hecha en Japón, utilizando un rango de frecuencias de 100 a 1920 MHZ y de donde se obtuvieron un conjunto de curvas para un medio urbano que proporcionan los siguientes resultados:

- Nivel de atenuación media relativa respecto al espacio libre en función de la frecuencia.
- Distancia entre en el transmisor y el receptor.
- Alturas de las antenas tanto para la estación base como para la antena receptora.

La propagación está definida por:

$$L_b = 69,55 + 26,16 \log(f) - 13,82 \log(h_b) - a(h_m) + (44,9 - 6,55 \log(h_b)) \log(d_m) \quad (3.5)$$

Donde:

L_b : Pérdidas de propagación.

F : Frecuencia de la portadora en MHz.

H_b : Altura de la antena transmisora en metros, válido para $30\text{m} < h_b < 200\text{ m}$

h_m : Altura de la antena receptora en metros, válido para $1\text{ m} < h_m < 10\text{ m}$

$a(h_m)$: Factor de corrección para la altura efectiva de la antena móvil.

D_m : Distancia entre la estación base y terminal móvil expresada en Km (1 a 20).

Para ciudades pequeñas o medianas, $a(h_m)$ está definido como:

$$a(h_m) = (1,11 \log(f) - 0,7)h_m - (1,56 \log(f) - 0,8) \quad (3.6)$$

Para ciudades grandes, $a(h_m)$ está definido como:

$$a(h_m) = 8,29(\log 1,54 \times h_m)^2 - 1,1 \quad \text{si } f \leq 200\text{MHz} \quad (3.7)$$

$$a(h_m) = 3,2(\log 11,75 \times h_m)^2 - 4,97 \quad \text{si } f \geq 400\text{MHz} \quad (3.8)$$

- Cálculo de Coberturas

Los cálculos de cobertura están vinculados directamente a los cálculos de Link Budget o presupuesto del enlace, que nos permite estimar la máxima atenuación de señal permitida entre el móvil y el eNODO B, cumpliendo así con el requisito de calidad dado por SNR. Este valor de la máxima pérdida nos permite calcular la distancia de cobertura de una celda usando un modelo de propagación adecuado, en nuestro caso como ya se mencionó usaremos el modelo de propagación de Okumura – Hata.

- Análisis del Link Budget para el enlace de subida

Primero vamos a proceder a calcular sensibilidad del receptor (eNODO B).

La sensibilidad está definida como:

$$S_{dBm} = -174\text{dBm/Hz} + 10 \log BW_{\text{dBm.Hz}} + NF_{dB} + SINR_{dB} + IM_{dB} - 3\text{dB} \quad (3.9)$$

Donde:

BW: Ancho de banda efectivo del canal (Hz).

NF: Figura de ruido del receptor (dB).

IM: Margen de implementación (dB).

SINR: Relación señal a interferencia más ruido.

-3dB: Factor de corrección.

Para poder hallar la sensibilidad del receptor es importante indicar que el ancho de banda asignado para el presente proyecto es 15 MHz (que es el ancho de banda de la recientemente licitada banda de los 700MHz), pero para cálculos se necesita obtener el ancho de banda efectivo, para lo cual en el capítulo 2 se indicó que la asignación de recursos depende de la canalización. De la TABLA 2.5 se obtiene que para una canalización de 15 MHz se tenga 75PRBs. Adicionalmente, se sabe que el ancho de banda de cada PRB es de 180 KHz. Por lo tanto, el ancho de banda efectivo será 13.5 MHz

También es importante indicar que la figura de ruido del receptor (NF) es una medida de cuanto ruido adiciona el receptor a la señal y se manifiesta como una reducción en la SNR a la salida en comparación con la entrada. LTE define un requisito de no sobrepasar los valores de 9 dB para el UE y 5 dB para un eNODOB.

Finalmente hay que tener presente que tanto en IM como SINR dependen del tipo de modulación y code rate. En la TABLA 3.28 se muestran precisamente los tipos de modulación para LTE relacionándolos con su Code Rate, hay que recordar que LTE utiliza AMC (modulación y codificación adaptativa).

TABLA 3.28: Variación del SINR e IM en función del tipo de modulación y del code rate.

Modulación	Code Rate	SINR (dB)	IM (dB)
QPSK	1/8	-5.1	2.5
	1/5	-2.9	
	1/4	-1.7	
	1/3	-1	
	1/2	2	
	2/3	4.3	
	3/4	5.5	
	4/5	6.2	
16QAM	1/2	7.9	3
	2/3	11.3	
	3/4	12.2	
	4/5	12.8	
64QAM	2/3	15.3	4
	3/4	17.5	
	4/5	18.6	

FUENTE: Diseño de una red LTE en la ciudad de Trujillo [17].

Para cada tipo de modulación se toma un valor mínimo y máximo de SINR, estos valores se muestran en la TABLA 3.29.

TABLA 3.29: Valores mínimos y máximos del SINR según el tipo de modulación.

Modulación	SINR(mínimo) en dB	SINR(máximo) en dB
QPSK	-5.1	7.9
16QAM	7.9	15.3
64QAM	15.3	-

FUENTE: Elaboración Propia.

Con estos datos se calcula la sensibilidad mínima y máxima según el tipo de modulación que se emplee, usando la ecuación (3.9) tenemos:

QPSK

$$S_{min}(dBm) = -174 + 10\log(13.5 \times 10^6) + 5 - 5.1 + 2.5 - 3$$

$$S_{min}(dBm) = -103.2967$$

$$S_{max}(dBm) = -174 + 10\log(13.5 \times 10^6) + 5 + 7.9 + 2.5 - 3$$

$$S_{max}(dBm) = -90.2967$$

16QAM

$$S_{min}(dBm) = -174 + 10\log(13.5 \times 10^6) + 5 + 7.9 + 3 - 3$$

$$S_{min}(dBm) = -89.7967$$

$$S_{max}(dBm) = -174 + 10\log(13.5 \times 10^6) + 5 + 15.3 + 3 - 3$$

$$S_{max}(dBm) = -82.3967$$

64QAM

$$S_{min}(dBm) = -174 + 10\log(13.5 \times 10^6) + 5 + 15.3 + 4 - 3$$

$$S_{min}(dBm) = -81.3967$$

Finalmente con los datos obtenidos se realiza el cálculo de la pérdida por propagación máxima permitida en el espacio libre a partir de la siguiente ecuación:

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} - L_{PROP} + G_{RX} - MARGEN \quad (3.10)$$

Donde:

P_{RX} : Potencia de recepción (dBm).

P_{TX} : Potencia de transmisión (dBm).

G_{TX} : Ganancia de la antena de transmisión (dBi).

L_{PROP} : Pérdida por propagación en el espacio libre (dB).

G_{RX} : Ganancia de la antena de recepción (dBi).

$MARGEN$: Margen de pérdida (dB).

La pérdida por propagación será máxima cuando $P_{RX} = S$. Ordenando la ecuación (3.10) se obtiene la ecuación (3.11) que se muestra a continuación:

$$L_{PROP} = PIRE + G_{RX} - MARGEN - S \quad (3.11)$$

En la TABLA 3.30 se muestra un resumen de las especificaciones técnicas del equipo transmisor (equipo terminal) y del equipo receptor (estación base).

TABLA 3.30: Especificaciones técnicas del equipo transmisor y receptor, en el enlace de subida.

Características de TX del Móvil LTE	Unidades	Valor
Potencia de transmisión P_{TX}	dBm	23.0
Ganancia elemento radiante	dBi	0.0
Elementos del arreglo de antenas	N.A	1.0
Ganancia por elementos de arreglo	dB	0.0
Ganancia por BeamForming	dB	0.0
Ganancia por sistemas MIMO	dB	0.0
PIRE: Potencia Isotrópica Radiada Efectiva	dBm	23.0
Características de RX del eNODO B		
Ganancia de cada elemento radiante de la antena	dBi	15.0
Cantidad de elementos del Arreglo	NA	1.0
Ganancia debido al Arreglo (Diversidad de antenas)	dB	0.0
Ganancia total en RX	dB	15.0
Márgenes		
Margen de Fading Log Normal	dB	6.0
Fast Fading Margin	dB	2.0
Interference Margin	dB	2.0
Pérdidas debido a penetración	dB	2.0
Margen Total	dB	12.0

FUENTE: Diseño de una red LTE en la ciudad de Trujillo [17].

Reemplazando los valores de la TABLA 3.30 en la ecuación (3.11), se obtiene la ecuación (3.12) que se muestra a continuación:

$$L_{PROP} = 26dBm - S \quad (3.12)$$

Al reemplazar los valores sensibilidad hallados anteriormente en la ecuación (3.12), obtenemos los valores de la máxima pérdida por propagación en el espacio libre para los distintos tipos de modulación que se muestran en la TABLA 3.31.

TABLA 3.31: Valores para la perdida por propagación en el espacio libre para el enlace de subida.

Modulación	Sensibilidad (dBm)		Pérdida por Propagación(dB)	
	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
QPSK	-103.2967	-90.2967	116.2967	129.2967
16QAM	-89.7967	-82.3967	108.3967	115.7967
64QAM	-81.3967	-	-	107.3967

FUENTE: Elaboración Propia.

- **Análisis del Link Budget para el enlace de bajada.**

Primero procedemos a calcular los valores de sensibilidad mínima y máxima para el receptor (equipo terminal) para los distintos tipos de modulación, tal como se hizo para el enlace de subida.

QPSK

$$S_{min}(dBm) = -174 + 10\log(13.5 \times 10^6) + 9 - 5.1 + 2.5 - 3$$

$$S_{min}(dBm) = -99.2967$$

$$S_{max}(dBm) = -174 + 10\log(13.5 \times 10^6) + 9 + 7.9 + 2.5 - 3$$

$$S_{max}(dBm) = -86.2967$$

16QAM

$$S_{min}(dBm) = -174 + 10\log(13.5 \times 10^6) + 9 + 7.9 + 3 - 3$$

$$S_{min}(dBm) = -85.7967$$

$$S_{max}(dBm) = -174 + 10\log(13.5 \times 10^6) + 9 + 15.3 + 3 - 3$$

$$S_{max}(dBm) = -78.3967$$

64QAM

$$S_{min}(dBm) = -174 + 10\log(13.5 \times 10^6) + 9 + 15.3 + 4 - 3$$

$$S_{min}(dBm) = -77.3967$$

Similar al cálculo para el enlace de subida la pérdida permitida será máxima cuando $P_{RX} = S$.

TABLA 3.32: Especificaciones técnicas del equipo transmisor y receptor, en el enlace de bajada.

Características de TX del eNODO B	Unidades	valor
Potencia de transmisión P_{TX}	dBm	46.0
Ganancia elemento radiante	dBi	15.0
Elementos del arreglo de antenas	N.A	1.0
Ganancia por elementos de arreglo	dB	0.0
Ganancia por Beam Forming	dB	0.0
Ganancia por sistemas MIMO	dB	0.0
PIRE: Potencia Isotrópica Radiada Efectiva	dBm	61.0
Características de RX del Móvil LTE		
Ganancia de cada elemento radiante de la antena	dBi	0.0
Cantidad de elementos del Arreglo	NA	1.0
Ganancia debido al Arreglo (Diversidad de antenas)	dB	0.0
Ganancia total en RX	dB	0.0
Márgenes		
Margen de Fading Log Normal	dB	6.0
Fast Fading Margin	Db	2.0
Interference Margin	dB	2.0
Pérdidas debido a penetración	Db	2.0
Margen Total	Db	12.0

FUENTE: Diseño de una red LTE en la ciudad de Trujillo [17].

En la TABLA 3.32 se muestran las especificaciones técnicas del equipo transmisor (estación base) y el equipo receptor (terminal móvil).

Con los datos de la TABLA 3.32 y considerando los valores de sensibilidades mínimas y máximas halladas anteriormente reemplazamos en la ecuación (3.11) y obtenemos los valores de las pérdidas por propagación mínima y máxima que se muestran en la TABLA 3.33.

TABLA 3.33: Valores para la perdida por propagación en el en espacio libre para el enlace de bajada.

Modulación	Sensibilidad (dBm)		Pérdida por Propagación(dB)	
	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
QPSK	-99.2967	-86.2967	135.2967	148.2967
16QAM	-85.7967	-78.3967	127.3967	134.7967
64QAM	-77.3967	-	-	126.3967

FUENTE: Elaboración Propia.

- Cálculo del radio de la celda

La 3GPP recomienda que los cálculos de cobertura se realicen para el enlace de subida. Esto debido a que amplificar la señal que emite el equipo móvil en la estación base sería más recomendable que hacerlo en el UE ya que implicaría menos gastos, los cuales financiaría la empresa operadora. A diferencia que si se implementan estos amplificadores en el UE, el que lo tendría que financiar sería el cliente. Además si se desea mejorar la señal se podrían implementar antenas MIMO, para la cual lo convenientes sería implementarlas en la estación base.

Con la ayuda de las ecuaciones (3.5) y (3.6) definidas líneas arriba, procedemos a calcular los radios de cobertura para los distintos tipos de modulación.

$f_c = 703\text{MHz}$ para el enlace de subida y 758MHz para el enlace de bajada

$H_b = 30\text{m}$ para todas las antenas de los NODOS B.
Hay que en cuenta los siguientes valores para el cálculo.

$h_m = 1.5\text{m}$ según la ITU REC. UIT – R P. 1411

Remplazando los valores en la ecuación (3.6) obtenemos:

$$a(h_m) = (1.11 \log(703) - 0.7)1.5 - (1.56 \log(703) - 0.8)$$

$$a(h_m) = 0.04893$$

Remplazando el valor de $a(h_m)$ en la ecuación (3.5) obtenemos la ecuación (3.13):

$$L_b = 69,55 + 26.16 \log(703) - 13.82 \log(30) - 0.04893 + (44,9 - 6.55 \log(30)) \log(d_m)$$

$$L_b = 123.5637 + 35.2249 \log d_m \quad (3.13)$$

Remplazamos los valores de pérdidas por propagación en el espacio libre de la TABLA 3.31 en la ecuación (3.13), obtenemos los valores que se muestran en la TABLA 3.34.

TABLA 3.34: Radios de cobertura según el tipo de modulación.

Modulación	Enlace de Subida	
	Radio mínimo(Km)	Radio máximo(Km)
QPSK	0.6219	1.4548
16QAM	0.3710	0.6019
64QAM	-	0.3475

FUENTE: Elaboración Propia.

- Cobertura de la celda LTE

La cobertura de la celda LTE está determinada por un hexágono regular tal y como se muestra en la FIGURA 3.21.

$$\text{Área} : \frac{3\sqrt{3}}{2} R^2 \approx 2.5981R^2$$

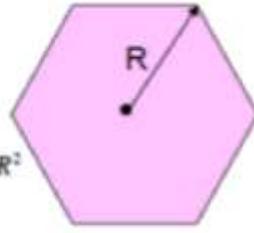


FIGURA 3.21: Área de una celda LTE.
FUENTE: Diseño de una red LTE en la ciudad de Trujillo [17].

De la TABLA 3.34 se observa que el $R_{\max} = 1.4548 \text{ Km}$, en la figura 3.21 se observa la fórmula para calcular el área de un hexágono, reemplazando el R_{\max} en dicha fórmula obtenemos un área igual a:

$$\text{Área} = 5.4985 \text{ Km}^2$$

Debido a que se usarán antenas con un diagrama de radiación de 120° , el área real de cada celda será:

$$A_{\text{celda}} = \frac{5.4985 \text{ Km}^2}{3} = 1.8328 \text{ Km}^2$$

3.2.5 Especificaciones Técnicas del Equipamiento.

Para el presente proyecto de investigación se ha optado por usar equipos de la marca Huawei, ya que son equipos que tienen muchas prestaciones, económicos y también porque son los operan en la actualidad en el Perú.

A continuación se muestran los equipos necesarios para la implementación.

- **Nodo**

Para el diseño de la red el equipo a utilizar es el Nodo DBS3900 (estación base distribuida) de Huawei que consta de los siguientes componentes:

- RRU3908

- BBU3900, instalada en gabinete TP48200E o APM 30H.
- Antena y sistema feeder o jumper.

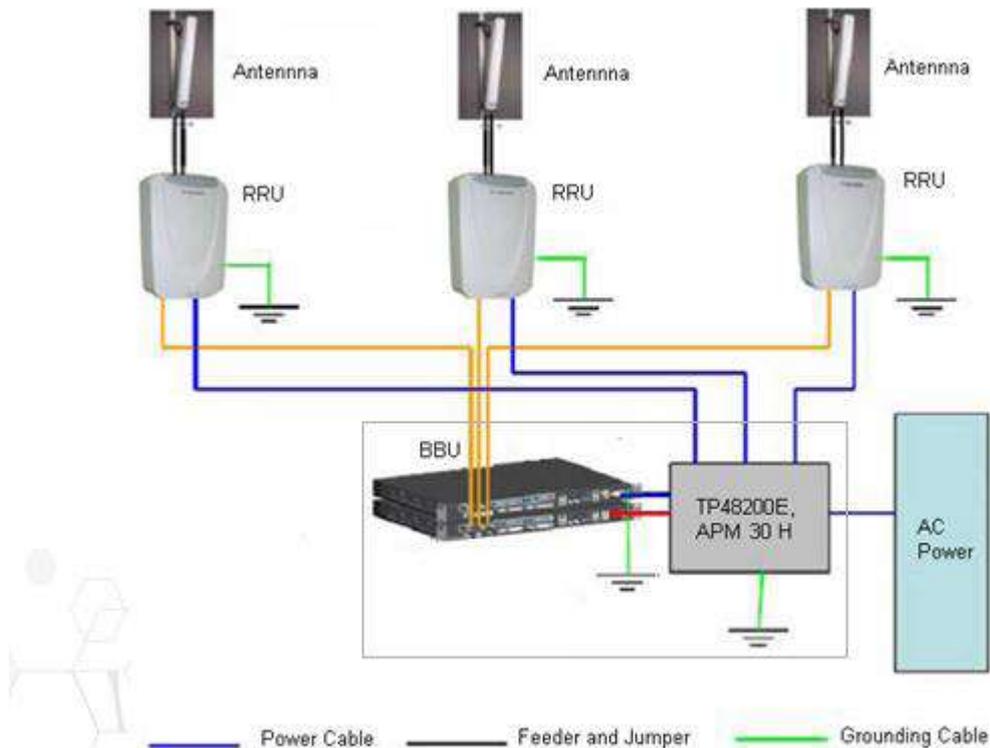


FIGURA 3.22: eNODO B de Huawei.

FUENTE: Estudio de viabilidad para llevar internet 4G LTE a zonas rurales de Colombia caso de estudio: Municipio de Zipaquirá [4].

- Gabinete

APM 30H: Es un gabinete Outdoor de poder que transforma corriente alterna a corriente directa (AC-DC). El sistema AC/DC convierte 110 V/220 V AC a -48 V DC. Este módulo provee espacio para la BBU y equipos de transmisión. El APM30H usa una estructura modular e integrada la cual mejora su operatividad y mantenimiento.

Especificaciones técnicas:

- Las dimensiones del gabinete son (H x W x D) 700 mm x 600 mm x 480 mm.
- El gabinete tiene un peso de aproximadamente 72 Kg, y con los equipos ya instalados en su interior tiene un peso de 91Kg aproximadamente.

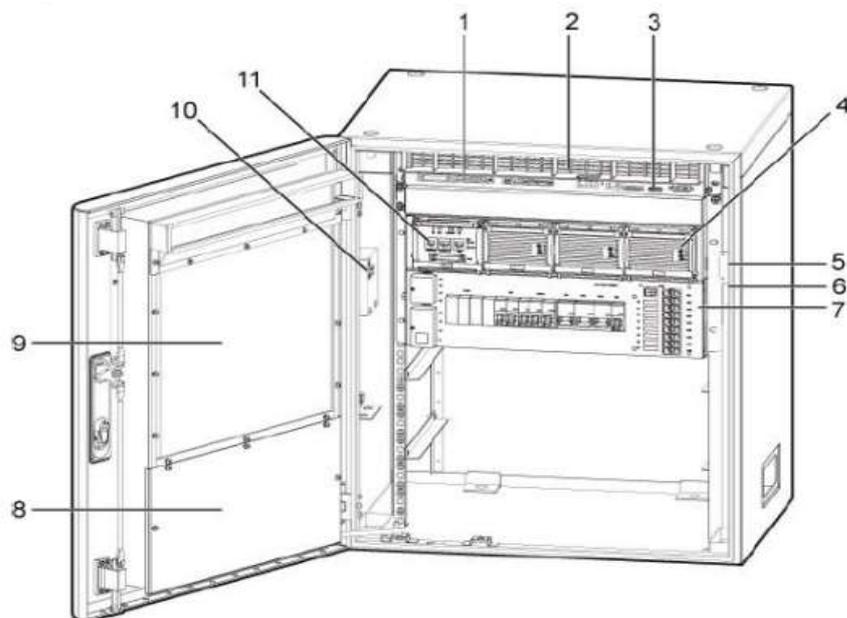


FIGURA 3.23: Gabinete APM30H.

FUENTE: Telefonica 2G 3G Project Quality Installation Standard [18].

- **BBU3900**

La unidad de procesamiento de banda base realiza las siguientes funciones:

- La transferencia de señales entre el DBS3900 y el EPC.
- Procesamiento de las señales banda base de enlace descendente y ascendente.
- Proporcionar el reloj de referencia.
- Gestión de la DBS3900; todo de forma centralizada en términos de operación y mantenimiento (OM) y la señalización de procesamiento.
- Proporcionar el canal de OM para la conexión al LMT o M2000.
- El throughput pico es de 380Mbps en el downlink por sector 2x2 MIMO.

Además cuenta con las siguientes especificaciones técnicas:

- Trabaja con -48V DC, tiene un rango de voltaje de -38.4V DC a -57V DC.
- Las dimensiones del RRU son (H x W x D) 86 mm x 442 mm x 310 mm.
- Tiene un peso de 7Kg.

- Trabaja a temperatura desde -20°C - $+55^{\circ}\text{C}$.

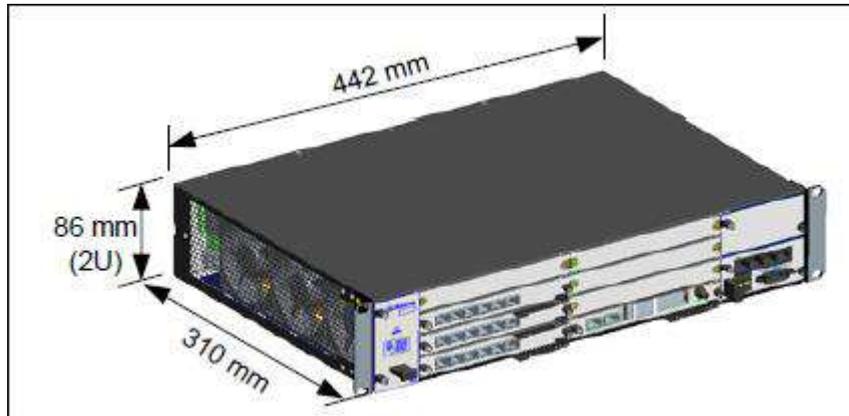


FIGURA 3.24: BBU3900.

FUENTE: Estudio de viabilidad para llevar internet 4G LTE a zonas rurales de Colombia caso de estudio: Municipio de Zipaquirá [4].

- **Unidad Remota de Radio (RRU3908)**

La unidad remota de radio, permite estar en un medio outdoor y es instalada lo más cerca de la antena.

Las especificaciones técnicas más importantes son:

- Trabaja con -48V DC , tiene un rango de voltaje de -36V DC a -57V DC .
- Las dimensiones del RRU son (H x W x D) $480\text{ mm} \times 356\text{ mm} \times 140\text{ mm}$.
- Tiene protección IP65 (protección contra agua).
- Tiene un peso de 23Kg .
- Trabaja a temperatura desde -40°C - $+50^{\circ}\text{C}$.

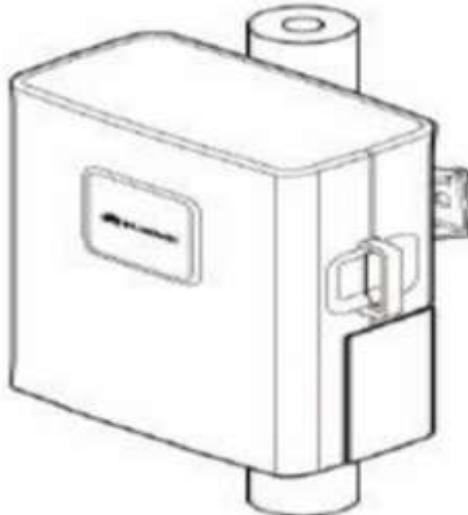


FIGURA 3.25: RRU3908.

FUENTE: Telefonica 2G 3G Project Quality Installation Standard [18].

- **Antenas**

Para el proyecto vamos a usar antenas marca Argus modelo CV3PX308R1 que son la que están instalando actualmente en los eNODOS B, el cual tiene las siguientes especificaciones técnicas.

Dimensions

Depth	209.0 mm 8.2 in
Length	2067.0 mm 81.4 in
Width	353.0 mm 13.9 in
Net Weight	27.1 kg 59.7 lb

FIGURA 3.26: Dimensiones de la antena.

FUENTE: Estandar de Instalacion " Claro GSM Modernization [19].

General Specifications

Antenna Brand	Argus®
Antenna Type	DualPol®
Band	Multiband
Brand	Argus® DualPol®
Operating Frequency Band	1710 – 2690 MHz 790 – 960 MHz
Number of Ports	8

FIGURA 3.27: Especificaciones generales de la antena.
FUENTE: Estandar de Instalacion " Claro GSM Modernization [19].



FIGURA 3.28: Antena marca Argus.
FUENTE: Estandar de Instalacion " Claro GSM Modernization [19].

- Tipo de Torre a usar en el proyecto

Para el presente proyecto de investigación se escogió usar eNODOS B mimetizados el cual tiene como objeto disminuir el impacto visual de los sistemas radiantes de las estaciones bases, el cual están cubiertas con materiales no metálicos que simulan ser tanques de agua, se escogió este modelo porque en el distrito de Ayacucho aún existe personas que no ven con buenos ojos que se instale antenas cercas de sus casas, es importante En la FIGURA 3.29 se muestra justamente este tipo de eNODO B.



FIGURA 3.29: Torre mimetizada.

FUENTE: HUAWEI 2016.

3.2.6 Análisis de Costos de Implementación.

Para emitir que tan viable es el proyecto de investigación es necesario analizar los gastos o inversiones de capital también conocidos como CAPEX (CAPital EXpenditures), así como también los gastos de operación y mantenimiento, conocidos como OPEX (OPeration EXpenditures).

Una vez calculados el CAPEX y OPEX, se pasará analizar mediante el flujo de caja los ingresos y egresos para ver la viabilidad del proyecto, en base a criterios de inversión como el VAN (Valor Actual Neto) y el TIR (Tasa Interna de Rentabilidad).

Es importante indicar que los precios que se muestran en las siguientes tablas, fueron obtenidos con la ayuda de compañeros que laboran como jefes en diferentes contratas de América móvil, Telefónica del Perú, Entel Perú y Bitel, esto debido a que los precios de los equipos de telecomunicaciones son confidenciales, por ese motivo vamos a considera un margen de error del 3% tanto en el CAPEX total como en el OPEX total.

3.2.6.1 Costos del equipamiento e instalación (CAPEX)

Para el análisis del CAPEX se van a tomar en cuenta los gastos generados por la compra de equipos de la red de acceso y Core, red de transporte, infraestructura, instalación de equipos y equipos terminales de usuarios.

Como se mencionó líneas arriba se ha decidió trabajar con equipos de la marca Huawei debido a su economía.

- **Costos de equipos de la red de acceso + Core, red de transporte e infraestructura**

En la TABLA 3.35 se muestra los costos de los equipos de la red de acceso + Core, red transporte e infraestructura.

TABLA 3.35: Costos de equipos, de la red de acceso + core, red de transporte e infraestructura.

			Precio Unitario (US\$)	Precio total (US\$)
Red de Acceso y Core				
eNODO B		11	40,000.00	440,000.00
Core(MME, HSS, PCRF, S-GW, P-GW)		1	1,200,000.00	1,200,000.00
Antena RF(incluyendo todos sus accesorios)		33	2,000.00	66,000.00
Red de Transporte				
antena MW(incluyendo todos sus accesorios)		20	1,800.00	36,000.00
Infraestructura				
Secciones de Torres	las torres vienen en secciones de 3 metros	30	100.00	3,000.00
Pozo a Tierra		11	550.00	6,050.00
Banco de Baterías	cada eNODO B va necesitar 8 baterías	88	680.00	59,840.00
PRECIO TOTAL (US\$)				1,810,890.00

FUENTE: Elaboración propia.

Es importante indicar que las alturas de las torres tendrán aproximadamente una altura de 6 metros porque serán instaladas en casas de 4 pisos, mientras que el Core si tendrá una altura de 30 metros.

- **Instalación de equipos**

Dependerá de la cantidad de equipos a instalarse, de la zona de instalación y el tipo de transporte necesario para llevar los equipos a dicha zona y además de la cantidad de personal necesario, para ello se toma los siguientes precios para el distrito de Ayacucho – provincia de Huamanga – región de Ayacucho. En la TABLA 3.36 se muestra los costos de instalación de equipos.

TABLA 3.36: Costos de instalación de equipos

	Cantidad	Precio Unitario (US\$)	Precio total (US\$)
Instalación de eNODO B + Core	12	1,850.00	22,200.00
Instalación de las antenas MW	20	520.00	10,400.00
Instalación de la infraestructura	12	250.00	3,000.00
PRECIO TOTAL (US\$)			35,600.00

FUENTE: Elaboración propia.

- **Equipo terminal de usuario**

En la TABLA 3.37 se muestra los costos para la adquisición por parte de la empresa de los terminales móviles, Para el primer año se ha proyectado dar servicio al 10% de los clientes potenciales. Por lo que la adquisición de terminales para el primer año será tomando en consideración con este porcentaje de clientes.

Vale recordad que los precios de los equipos móviles LTE tienen diferentes precios lo que está haciendo es considerar un promedio de esos precios.

TABLA 3.37: Costos de equipos Terminales de usuario.

	Población Potencial	Penetración	Cantidad	Precio Unitario (US\$)	Precio Total (US\$)
Equipos Móviles LTE	49,315	10%	4,932	80.00	394,520.00

FUENTE: Elaboración propia.

Finalmente se tendrá un CAPEX total, tal y como se muestra en la TABLA 3.38.

TABLA 3.38: CAPEX total.

Concepto	Precio Total (US\$)
Costos de equipos de la red de acceso + Core, red de transporte e infraestructura	1,810,890.00
Instalación de equipos	35,600.00
Equipo terminal de usuario	394,520.00
Margen de error 3%	67,230.00
CAPEX TOTAL (US\$)	2,308,240.00

FUENTE: Elaboración propia.

3.2.6.2 Costos de Operación y Mantenimiento (OPEX)

Para el análisis del OPEX se van a tomar en cuenta los gastos generados por los mantenimientos de los equipos, gastos de operación y gastos generales. Para fines de cálculo se va a considerar gastos anuales.

- Gastos de Mantenimiento

En la TABLA 3.39 se muestran los gastos generados por el mantenimiento de la red.

TABLA 3.39: Gastos de mantenimiento.

	Cantidad	Precio Unitario (US\$)	Precio total (US\$)
Mantenimiento de eNODO B + Core	12	1,500.00	18,000.00
Mantenimiento de las antenas MW	20	700.00	14,000.00
Mantenimiento de la infraestructura	12	900.00	10,800.00
PRECIO TOTAL (US\$)			42,800.00

FUENTE: Elaboración Propia.

- Gastos de Operación

En la TABLA 3.40 se muestra los gastos generados por la operación de la red.

TABLA 3.40: Gastos de operación.

	Cantidad	Precio Unitario (US\$)	Precio total (US\$)
Jefe de estación	1	3,200.00	3,200.00
Supervisor	1	2,500.00	2,500.00
Ingeniero de RF	1	1,800.00	1,800.00
Ingeniero de red	1	1,800.00	1,800.00
Personal de limpieza	2	300.00	600.00
Personal de vigilancia	1	400.00	400.00
PRECIO TOTAL (US\$)			10,300.00

FUENTE: Elaboración propia.

Gastos Generales

En la TABLA 3.41 se muestran los gastos generados por el alquiler de los locales para los eNB, canon radioeléctrico, gastos de energía, entre otras cosas.

En el D.S. N° 020-2007-MTC artículo 231, menciona que por usar el espectro radioeléctrico se tiene que pagar un canon radioeléctrico, que para el presente proyecto de investigación es igual a 0.35% del UIT por terminal móvil [20], este valor cambia de acuerdo a la cantidad de terminales móviles activos de la empresa operadora móvil. Además en el D.S. 397-2015-EF publicado el 24 de diciembre del año 2015, se aprobó que el nuevo valor de la UIT (Unidad Impositiva Tributaria) para el 2016 fuera de S/.3950 [21].

Además según el Organismo Supervisor de Inversión Privada de Telecomunicaciones (OSIPTEL) para el año 2016, los gastos promedios por

interconexión tienen un valor US\$ 0.0176 por minuto para cualquier operador nuevo en el mercado de las telecomunicaciones [22].

TABLA 3.41: Gastos Generales.

	Cantidad	Precio Unitario (US\$)	Precio total (US\$)
Alquiler de eNB	11	2,500.00	27,500.00
Canon radioeléctrico			20,538
Gastos de marketing		180,000.00	180,000.00
Gastos Administrativos		90,000.00	90,000.00
Consumo de energía		30,000.00	30,000.00
Gastos promedios por interconexión			44,352.00
PRECIO TOTAL (US\$)			392,390.00

FUENTE: Elaboración Propia.

Finalmente se tendrá un OPEX total, tal y como se muestra en la TABLA 3.42.

TABLA 3.42: OPEX total.

Concepto	Precio Total (US\$)
Gastos de Mantenimiento	42,800.00
Gastos de Operación	10,300.00
Gastos Generales	392,390.00
Margen de error 3%	13,365.00
OPEX TOTAL (US\$)	458,854.00

FUENTE: Elaboración propia.

3.2.6.3 Ingresos

En la TABLA 3.43 se muestra los ingresos que generarían anualmente los servicios ofrecidos para el primer año. Se considera que para el primer año se

tiene el 10% de clientes potenciales (49 mil 315 personas). Es decir que para el primer año se cuenta con 4 mil 932 clientes.

TABLA 3.43: Ingresos por servicio en el primer año.

Número de clientes	Plan de consumo	Cientes por plan de consumo	Alternativa de consumo	Cientes por alternativas	Precio mensual del servicio (US\$)	Precio total (US\$)
4,932	Básico	2,219	Plan 1G	1,332	15.00	19,975
			Plan 3G	888	25.00	22,194
	Intermedio	1,726	Plan 5G	949	40.00	37,976
			Plan 10G	777	50.00	38,840
	Empresa	986	Plan 15G	690	100.00	69,048
			Plan 30G	296	125.00	36,990
PRECIO TOTAL (US\$)						225,023

FUENTE: Elaboración propia.

Además en la TABLA 3.44 se muestra los ingresos por la venta de los equipos móviles LTE para el primer año, se considera la misma cantidad de clientes es decir 10% de los clientes potenciales (4 mil 932 personas).

TABLA 3.44: Ingresos por venta de terminales móviles para el primer año.

	Cantidad	Precio Unitario (US\$)	Precio Total (US\$)
Equipos Móviles LTE	4,932	150.00	739,800.00

FUENTE: Elaboración propia.

Por lo tanto el ingreso total para el primer año de servicio será la que se muestra en la TABLA 3.45.

TABLA 3.45: Ingreso total para el primer año de servicio.

Concepto	Precio Total (US\$)
Ingreso por servicios	225,023.00
Ingresos por terminales	739,800.00
INGRESO TOTAL (US\$)	964,823.00

FUENTE: Elaboración propia.

3.2.6.4 Flujo de Caja y Evaluación Financiera

Se estima que tanto el OPEX como los ingresos aumentarán en relación a la PET del distrito de Ayacucho – provincia de Huamanga – región de Ayacucho que es 2.236%.

En la TABLA 3.46 se muestra el Flujo de Caja para los primeros 5 años.

TABLA 3.46: Flujo de caja para los primeros 5 años.

Año	0	1	2	3	4	5
INGRESOS		964,823	986,396	1,008,452	1,031,001	1,054,054
EGRESOS						
CAPEX	-2,308,240					
OPEX		-458,854	-469,114	-479,604	-490,328	-501,291
FLUJO DE CAJA	-2,308,240	505,968	517,282	528,848	540,673	552,763

FUENTE: Elaboración propia.

Finalmente obtendrían los siguientes valores para el VAN y el TIR que se muestran en la TABLA 3.47.

TABLA 3.47: VAN y TIR del proyecto.

VAN	43,168.00
TIR	5%

FUENTE: Elaboración propia.

Por lo que se observa que el presente proyecto de investigación es viable para un periodo de 5 años.

3.3 RESULTADOS

3.3.1 Resultados de la red de transporte:

En la TABLA 3.48 se muestran los datos más relevantes de las simulaciones de los enlaces microondas entre los eNODOS B.

TABLA 3.48: Datos más relevantes de los enlaces microondas de la red de transporte.

eNODOS B	Distancia entre eNODOS B (Km)	Frecuencia (GHz)	Pérdida en el espacio libre (dB)	Mínimo despeje de la zona de Fresnel
eNB1 – eNB2	2.06	6.610	115.1	12.4F1
eNB1 – eNB3	1.52	6.630	112.5	8.2F1
eNB1 – eNB4	1.43	6.650	112.0	9.2F1
eNB1 – eNB5	1.27	6.670	111.0	9.0F1
eNB1 – eNB6	1.68	6.690	113.4	4.4F1
eNB1 – eNB7	1.23	6.710	110.8	13.2F1
eNB1 – eNB8	1.05	6.730	109.4	7.0F1
eNB1 – eNB9	1.16	6.750	110.3	8.6F1
eNB1 – eNB10	1.11	6.770	110.0	8.3F1
eNB1 – eNB11	1.15	6.790	110.3	12.3F1

FUENTE: Elaboración Propia.

Se puede observar que a mayor distancia y frecuencia entre eNBs existe una mayor pérdida en el espacio libre, esto básicamente porque las pérdidas en el espacio libre dependen de la frecuencia y de la distancia entre el transmisor y el receptor, Además se muestra el mínimo despeje de la zona de Fresnel.

3.3.2 Resultados de la red de acceso:

En las TABLAS 3.49 y 3.50 se muestran valores mínimos y máximos respectivamente de los parámetros más importantes de la red a acceso.

TABLA 3.49: Valores mínimos más relevantes de la red de acceso.

Modulación	Sensibilidad Mínima (dBm)	Perdida por propagación Mínima (dB)	Radio de cobertura Mínima (Km)
QPSK	-103.2967	116.2967	0.6219
16QAM	-89.7967	108.3967	0.3710
64QAM	-81.3967	-	-

FUENTE: Elaboración propia.

TABLA 3.50: Valores máximos más relevantes de la red de acceso.

Modulación	Sensibilidad Máxima (dBm)	Perdida por propagación Máxima (dB)	Radio de cobertura Máxima (Km)
QPSK	-90.2967	129.2967	1.4548
16QAM	-82.3967	115.7967	0.6019
64QAM	-	107.3967	0.3475

FUENTE: Elaboración propia.

Finalmente podemos decir que QPSK tiene la ventaja de ser una modulación mucho más robusta que 16QAM y 64QAM, pero también tiene la desventaja de ser una modulación mucho más vulnerable a interferencia.

CONCLUSIONES

Se pudo corroborar, basándonos en el análisis del mercado de la telefonía móvil en el distrito de Ayacucho, que dicho distrito cuenta con la mayor cantidad de personas que tiene un equipo móvil, razón por la cual hace que sea un distrito idóneo para la realización del presente proyecto de ingeniería, esto se debe básicamente a que es el distrito más poblado de la región de Ayacucho y además el que recibe mayor cantidad de turistas.

Se logró dimensionar el tráfico de la red 4G–LTE en el distrito de Ayacucho - provincia de Huamanga – región de Ayacucho para la población potencial de manera adecuada, garantizando que nuestros clientes puedan tener una buena calidad del servicio, para así poder aumentar de manera más rápida nuestra cartera de clientes.

En lo que respecta a la simulación del diseño de la red 4G–LTE planteado para el distrito de Ayacucho - provincia de Huamanga – región de Ayacucho, se ha verificado que no presenta mayores problemas el diseño, esto se debe a que dicho distrito presenta una geografía ideal para la instalación de antenas, no haciendo necesario el uso de repetidores ni amplificadores.

En relación al análisis de costos de implementación de la tecnología 4G–LTE en el distrito de Ayacucho - provincia de Huamanga – región de Ayacucho se ha demostrado que el presente proyecto de ingeniería es viable, tomando en cuenta que está diseñado para el despliegue de una red 4G - LTE de una empresa operadora nueva, lo que significa que para una empresa operadora existente en el mercado móvil la inversión sería menor y por consiguiente tendría una mayor rentabilidad.

RECOMENDACIONES

Se recomienda generar diferentes planes de servicios, de acorde al comportamiento y las necesidades que muestren los clientes una vez puesta en marcha la prestación de servicios.

Se recomienda realizar constantes estudios del tráfico de la red, esto debido a que en cada año se estima un aumento muy rápido de clientes, para así evitar una posible saturación de la red 4G – LTE.

Se recomienda hacer los trabajos de instalación y mantenimiento de los equipos de telecomunicaciones de la red 4G-LTE en épocas de baja lluvia, esto para evitar futuros accidentes del personal.

El presente proyecto de ingeniería ha sido considerado desde un enfoque del:

Impacto social: la telefonía móvil celular se ha convertido en una herramienta necesaria para la sociedad, esta hace parte de muchas actividades diarias que realizamos.

Impacto ambiental: se puede decir que este es uno de los impactos negativos que tiene la telefonía móvil debido a la contaminación electromagnética.

Impacto económico: en la actualidad el tener un teléfono celular no es un lujo sino más bien una necesidad, esto se debe básicamente porque cada año que pasa los dispositivos móviles se hacen más baratos y asequibles a los bolsillos de todos.

BIBLIOGRAFIA

[1] (señal osiptel, 2015)

Señal osiptel. (abril de 2015). Recuperado el 06 de 2016, de OSIPTEL:

<http://www2.osiptel.gob.pe/CoberturaMovil/#>

[2] (Wong, 2011)

Wong, C. (11 de 2011). *Análisis y diseño de una red 3GPP LTE en el departamento de Cusco*. Recuperado el 06 de 2016, de Repositorio Digital de Tesis PUCP:

<http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/937>

[3] (Milla, 2012)

Milla, J. (09 de 2012). *Diseño de una red LTE para el distrito del Callao*.

Recuperado el 06 de 2016, de Repositorio Digital de Tesis PUCP:

<http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/1517>

[4] (Salgado, 2014)

Salgado, J. (2014). *Estudio de viabilidad para llevar internet 4G LTE a zonas rurales de Colombia caso de estudio: Municipio de Zipaquirá*. Recuperado el 06 de 2016, de

http://bibliotecadigital.usb.edu.co/jspui/bitstream/10819/2904/1/estudio_viabilidad_internet_Salgado_2014.pdf

[5] (Gómez, 2013)

Gómez, P. (11 de 2013). *Diseño de una red de cuarta generación LTE (Long Term Evolution) para obtener la actualización tecnológica de telefonía móvil e internet de la CNT E.P. provincia de santa Elena*. Recuperado el 06 de 2016, de

<http://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/1571/1/DISE%C3%91O%20DE%20UN>

A%20RED%20DE%20CUARTA%20GENERACION%20LTE-
PABLO%20GOMEZ.pdf

[6] (4G LTE Advanced Tutorial)

4G LTE Advanced Tutorial. (s.f.). Recuperado el 06 de 2016, de Radio-
Electronics.com: <http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/lte-long-term-evolution/3gpp-4g-imt-lte-advanced-tutorial.php>

[7] (CEM asociados a la telefonía móvil, 2012)

CEM asociados a la telefonía móvil. (2012). Recuperado el 06 de 2016, de FEMP-
Federación Española de Municipio y Provincias:
<http://www.femp.es/index.php/femp/content/download/7544/69882/file/Código%20de%20Buenas%20Prácticas.pdf>

[8] (Marcano, Principios de OFDM)

Marcano, D. (08 de 2011). *Principios de OFDM*. Recuperado el 06 de 2016, de
Dimensionamiento de Redes Móviles:
http://departamento.pucp.edu.pe/ingenieria/images/documentos/seccion_telecomunicaciones/Capitulo%203%20Acceso%20Multiple%20OFDMA.pdf

[9] (Analuisa, 2014)

Analuisa, J. (07 de 2014). *Diseño de una red 4G LONG TERM EVOLUTION (LTE) en redes móviles*. Recuperado el 06 de 2016, de Repositorio Digital de la Universidad Técnica de Ambato: <http://repo.uta.edu.ec/handle/123456789/7796>

[10] (Zyrem & McCoy, 2007)

Zyrem, J., & McCoy, W. (07 de 2007). *Overview of the 3GPP Long Term Evolution Physical Layer*. Recuperado el 06 de 2016, de https://www.nxp.com/files/wireless_comm/doc/white_paper/3GPPEVOLUTIONWPF.pdf

[11] (Dahlman, Parkvall, Sköld, & Beming, 2007)

Dahlman, E., Parkvall, S., Sköld, J., & Beming, P. (2007). *3G Evolution HSPA and LTE for Mobile Broadband*. Recuperado el 06 de 2016, de <http://read.pudn.com/downloads150/ebook/650690/3G%20Evolution%20HSPA%20and%20LTE%20for%20Mobile%20Broadband.pdf>

[12] (3GPP LTE Channels and MAC Layer, 2009)

3GPP LTE Channels and MAC Layer. (2009). Recuperado el 06 de 2016, de EventHelix.com: <http://www.eventhelix.com/lte/presentations/3GPP-LTE-MAC.pdf>

[13] (INEI, 2007)

INEI. (2007). Recuperado el 06 de 2016, de XI Censo de Población y VI de Vivienda : <http://censos.inei.gob.pe/cpv2007/tabulados/#>

[14] (INEI, 2012).

INEI. (2012). Recuperado el 06 de 2016, de XI Censo de Población y VI de Vivienda: <https://www.inei.gob.pe/estadisticas/censos/>

[15] (MINCETUR Ayacucho)

MINCETUR Ayacucho. (s.f.). Recuperado el 06 de 2016, de http://www.mincetur.gob.pe/newweb/portals/0/turismo/pertur/pertur_ayacucho.pdf

[16] (Perú mercado móvil 2014-2020, 2015)

Perú mercado móvil 2014-2020. (12 de 2015). Recuperado el 06 de 2016, de 4G Americas: <http://www.4gamericas.org/es/resources/infographics/peru-mercado-movil-2014-2020/>

[17] (Baltazar, 2013)

Baltazar, A. (2013). *Diseño de una red LTE en la ciudad de Trujillo*. Recuperado el 06 de 2016, de CYBERTESIS de la universidad Nacional de Ingeniería: <http://cybertesis.uni.edu.pe/simple-search?query=dise%C3%B1o+de+red+lte+en+la+cuidad+de+trujillo%2C+baltazar&submit=Ir+>

[18] (Che, 2011)

Che, R. (07 de 2011). *Telefonica 2G 3G Project Quality Installation Standard*. Recuperado el 06 de 2016, de Huawei Technologies: <http://cosconor.fr/GSM/Divers/Equipment/Huawei/Quality%20installation%20standard.pdf>

[19] (Vásquez, 2015)

Vásquez, J. (03 de 2015). *Estandar de Instalacion "Claro GSM Modernization"*. Recuperado el 06 de 2016, de Huawei Technologies: <http://documents.tips/documents/estandar-de-instalacion-claro-gsm-modernization-v1120150421.html>

[20] (DECRETO SUPREMO N° 020-2007-MTC, 2007)

DECRETO SUPREMO N° 020-2007-MTC. (2007). Recuperado el 06 de 2016, de Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones: http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_2137.pdf

[21] (D.S. 397-2015-EF , 2015)

D.S. 397-2015-EF . (12 de 2015). Recuperado el 06 de 2016, de Ministerio de Economía y Finanzas:

<http://www.elperuano.com.pe/NormasElperuano/2015/12/24/1327254-8.html>

[22] (OSIPTEL Fijó Nuevos Cargos de Terminación en la Telefonía Móvil, 2015)

OSIPTEL Fijó Nuevos Cargos de Terminación en la Telefonía Móvil. (04 de 2015).

Recuperado el 06 de 2016, de OSIPTEL: <https://www.osiptel.gob.pe/noticia/osiptel-nuevos-cargos-terminacion-telefonía-movil>

ANEXOS A

Formulas usadas en el proyecto de ingeniería [8]



Modelo de Hata

El modelo inicial presentado por Okumura, está soportado por una serie de datos gráficos, Hata realizó a partir de éstos últimos una formulación del modelo de Okumura que facilita el cálculo de las pérdidas. Dedujo una formula estándar para el caso urbano, y una formula de corrección para los otros tipos de ambientes.

Formula estándar de Hata

$$L_{50}(\text{urbano})(dB) = 69.55 + 26.1 \log(f_c) - 13.82 \log h_{te} - a(h_r) + (44.9 - 6.55 \log h_{te}) \log d$$

Parámetros

- f_c : frecuencia central 150 a 1500 MHz
- d : distancia entre T-R en Km
- h_{te} : altura efectiva de la antena de la BS: 30 a 200m
- h_r : altura de la antena del móvil, de 1 a 10 m
- $a(h_r)$: factor de corrección



Modelo de Hata-Factores de Corrección

Para ciudades medianas y pequeñas

$$a(h_r) = (1.1 \log f_c - 0.7)h_r - (1.56 \log f_c - 0.8) \text{ dB}$$

Para grandes ciudades

$$a(h_r) = 8.29(1.1 \log 1.54h_r)^2 - 1.1 \text{ dB} \quad \text{para } f \leq 300 \text{ MHz}$$

$$a(h_r) = 3.2(1.1 \log 11.75h_r)^2 - 4.97 \text{ dB} \quad \text{para } f \geq 300 \text{ MHz}$$

En áreas suburbanas, las pérdidas del trayecto son

$$L_{50}(\textit{suburbana})(\text{dB}) = L_{50}(\textit{urbana}) - 2[\log(f / 28)]^2 - 5.4$$

En áreas rurales abiertas, las pérdidas del trayecto

$$L_{50}(\textit{rural})(\text{dB}) = L_{50}(\textit{urbana}) - 4.78[\log(f_c)]^2 - 18.33 \log(f_c) - 40.98$$



Potencia Recibida

La ganancia del sistema de antenas, en recepción o transmisión, es la suma de la ganancia de cada elemento del arreglo más la ganancia del arreglo. En general la potencia recibida se expresa como:

$$P_{Rx}(dBm) = P_{Tx}(dBm) + G_{Sistema-Tx}(dBi) + G_{Sistema-Rx}(dBi) - P_{Trayecto}(dB) - P_{Cab}(dB) - P_{Margen}(dB)$$

Donde:

$$G_{Sistema-Tx} = G_{Tx} + G_{Arreglo-Tx}$$

$$G_{Sistema-Rx} = G_{Rx} + G_{Arreglo-Rx}$$

Observamos que las pérdidas promedio dependen sólo de las características del transmisor, del receptor y del ambiente de propagación. Es decir que podemos calcular la potencia recibida sin considerar parámetros como: ancho de banda del canal, SNR, tasa de bits, entre otros.

Por supuesto, la potencia recibida calculada con la relación anterior debe compararse con la sensibilidad. La sensibilidad se define como la mínima potencia recibida para cumplir con el requerimiento de la relación señal a ruido SNR o Eb/No.

P_{margen} se refiere a un margen de seguridad que toma en cuenta diversos factores que no son posibles de considerar en los diferentes modelos. Al restar el margen se está considerando como una pérdida, es decir estamos tomando el escenario más pesimista, dicho de otra manera, si el enlace se da con el peor de los casos también debe darse en otras situaciones más favorables.



Ganancia del Sistema y las Perdidas Máximas Admisibles

La ganancia del sistema es una medida de cuanta potencia se dispone por encima de la sensibilidad. Se define a partir de la siguiente relación:

$$G_{\text{Sistema}} = EIRP + G_{RX} - \text{Sensibilidad } dB$$

Donde G_{RX} es la ganancia total del sistema de antenas en recepción, incluye la ganancia propia de cada elemento, la ganancia del arreglo, beam forming y MIMO, si aplican.

Las pérdidas máximas debido al trayecto que se pueden tolerar (MAPL) se definen como la diferencia entre la ganancia del sistema y los márgenes

$$MAPL = G_{\text{Sistema}} - M_{\text{márgenes}} \text{ dB}$$

Los márgenes consideran el Shadowing (log normal), la interferencia, el efecto del desplazamiento del móvil y pérdidas debido a penetración.

El efecto debido a la velocidad de desplazamiento del móvil se obtiene a través del efecto doppler, para ello debe hacerse una simulación del canal inalámbrico incluyendo el filtro Doppler en función de la máxima velocidad del móvil para un BER determinado.

Una vez que se han calculado las MAPL, se escoge el método de cobertura más apropiado y se calcula el radio de cobertura.

ANEXO B

Costos de implementación de otros trabajos de investigación [3] y [4]

5.1 Costos del Equipamiento e Instalación (CAPEX)

Para el análisis del CAPEX se tomarán en cuenta los gastos generados por la compra de equipos, los gastos por el sistema radiante, la inversión en la infraestructura, los gastos por la instalación de equipos y los gastos por los equipos terminales.

5.1.1 Elementos de la Red de Acceso y el Core

Para lo que concierne a la compra de equipos, se ha decidido trabajar con equipos fabricados por Alcatel-Lucent. Es importante recalcar que los precios indicados son estimados ya que en la actualidad los fabricantes se encuentran elaborando sus propuestas para la implementación de redes LTE; por lo que, el precio de los mismos es confidencial. En la TABLA 5-1 se muestran los precios de los elementos de la red de acceso y el Core.

TABLA 5 - 1: Costos de la red de acceso y el Core
FUENTE: "ELABORACIÓN PROPIA"

ITEM	CONCEPTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (USD)	PRECIO TOTAL (USD)
1	Estación Base eNode B	Estación Base Distribuida	17	45,000.00	765,000.00
2	S-GW		1	85,000.00	85,000.00
3	PDN-GW		1	85,000.00	85,000.00
4	PCRF		1	90,000.00	90,000.00
5	MME		1	450,000.00	450,000.00
6	HSS	Capacidad para 500,000 usuarios	1	560,000.00	560,000.00
PRECIO TOTAL (USD)					2,035,000.00

5.1.2 Elementos del Sistema Radiante

En la TABLA 5-2 se muestra los precios para lo que respecta al sistema radiante.

TABLA 5 - 2: Costos de elementos del sistema radiante
FUENTE: "ELABORACIÓN PROPIA"

ITEM	CONCEPTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (USD)	PRECIO TOTAL (USD)
1	Antenas MIMO 2x2	Panel de antena de la Banda AWS	102	1,000.00	102,000.00
2	Mast Head Amplifier	Amplificador de bajo ruido	51	800.00	40,800.00
3	Patch Cords	Fibra Óptica Monomodo	360	7.5	2,700.00
4	Feeders	Cables alimentadores con resistividad de 50 ohm por metro	425	47.00	19,975.00
5	Conectores y otros		320	12.5	4,000.00
PRECIO TOTAL (USD)					169,475.00

El valor indicado en el Precio Unitario incluye los costos de los feeders, los patch cords y conectores. Como se está usando una configuración 2x2 MIMO, entonces se contará con dos antenas por cada sector. Por lo tanto, al utilizarse 3 sectores por estación base, tendremos que se cuenta con 102 antenas en total.

5.1.3 Infraestructura

En la FIGURA 5-3 se observan los costos de los elementos empleados para la infraestructura de red analizados en el capítulo anterior.

TABLA 5 - 3: Costos de la Infraestructura
FUENTE: "ELABORACIÓN PROPIA"

ITEM	CONCEPTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (USD)	PRECIO TOTAL (USD)
1	Secciones de torre	Secciones de torre de 3 metros	503	180	90,540.00
2	Banco de baterías		17	750.00	12,750.00
3	UPS	Unidad de Potencia Ininterrumpida	17	2,600.00	44,200.00
4	Pozo a tierra		17	650.00	11,050.00
5	Aire acondicionado		17	520.00	8,840.00
6	Luz de balizaje		17	15.00	255.00
PRECIO TOTAL (USD)					167,635.00

5.1.4 Instalación de equipos

En la TABLA 4-4 se observan los costos relacionados a los gastos de operación.

TABLA 5 - 4: Costos de instalación de equipos
FUENTE: "ELABORACIÓN PROPIA"

ITEM	CONCEPTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (USD)	PRECIO TOTAL (USD)
1	Instalación de eNodo B		17	2,000.00	34,000.00
2	Instalación del Sistema Radiante		17	700.00	11,900.00
3	Instalación de Infraestructura	Sistema de protección eléctrica + Torres	17	3,400.00	57,800.00
PRECIO TOTAL (USD)					103,700.00

5.1.5 Terminales

En la TABLA 4-5 se observan los costos para la adquisición por parte de la empresa de los terminales, ya sea para equipos móviles, como para USB – LTEs. Donde la penetración del primero será del 60% y del segundo será del 40%. Para el año 1 se ha proyectado dar servicio al 10% de los clientes potenciales. Por lo que se la adquisición de terminales para el primer año será tomando en consideración con este porcentaje de clientes.

TABLA 5 - 5: Costos de equipos terminales para el año 1
FUENTE: "ELABORACIÓN PROPIA"

ITEM	CONCEPTO	CLIENTES	PENETRACIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (USD)	PRECIO TOTAL (USD)
1	USB – LTE	2,549	0.4	1,020	120.00	122,400.00
2	Equipos móviles LTE		0.8	2,039	80.00	163,120.00
PRECIO TOTAL (USD)						285,520.00

Con lo que se tendrá un CAPEX total, tal y como se muestra en la TABLA 5-6.

TABLA 5 - 6: CAPEX Total
FUENTE: "ELABORACIÓN PROPIA"

CONCEPTO	PRECIO TOTAL (USD)
ELEMENTOS DE RED DE ACCESO Y EL CORE	2,035,000.00
ELEMENTOS DEL SISTEMA RADIANTE	169,475.00
INFRAESTRUCTURA	167,635.00
INSTALACIÓN DE EQUIPOS	103,700.00
EQUIPOS TERMINALES	285,520.00
OTROS	50,000.00
CAPEX TOTAL (USD)	2,811,330.00

5.2 Costos de Operación y Mantenimiento (OPEX)

Para el análisis del OPEX se tomarán en cuenta los gastos generados por la compra de equipos, los gastos por el sistema radiante, la inversión en la infraestructura, los gastos por la instalación de equipos y los gastos por los equipos terminales.

5.2.1 Operación

En la FIGURA 5-7 se muestra los gastos generados por la operación de la red. Para fines de este cálculo, se ha considerado costos promedios anuales.

TABLA 5 - 7: Gastos de operación anual
FUENTE: "ELABORACIÓN PROPIA"

ITEM	CONCEPTO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (USD)	PRECIO TOTAL (USD)
1	Jefe de estación	1	3,500.00	3,500.00
2	Supervisor	1	2,200.00	2,200.00
3	Ingenieros de RF	3	1,250.00	3,750.00
4	Ingenieros de red	3	1,250.00	3,750.00
5	Personal de limpieza	4	400.00	1,600.00
6	Personal de vigilancia	2	400.00	800.00
PRECIO TOTAL (USD)				15,600.00

5.2.2 Mantenimiento

En la FIGURA 5-8 se muestra los gastos generados por el mantenimiento de la red. Para fines de este cálculo, se ha considerado costos promedios anuales.

TABLA 5 - 8: Gastos de mantenimiento anual

FUENTE: "ELABORACIÓN PROPIA"

ITEM	CONCEPTO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (USD)	PRECIO TOTAL (USD)
1	De los eNodos B	17	2,000.00	34,000.00
2	Del Core	1	3,500.00	3,500.00
3	De los elementos radiantes	3	250.00	750.00
4	De la Infraestructura	3	1,500.00	4,500.00
<i>PRECIO TOTAL (USD)</i>				42,750.00

5.2.3 Gastos Generales

En la TABLA 5-9 se muestran los gastos generados anualmente, tanto para alquileres de locales donde se instalarán los eNodos B como para el consumo de energía, gastos de interconexión, entre otras cosas.

TABLA 5 - 9: Costos generales
FUENTE: "ELABORACIÓN PROPIA"

ITEM	CONCEPTO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (USD)	PRECIO TOTAL (USD)
1	Canon Radioeléctrico	-	-	20,000.00
2	Alquiler del local	17	7,800.00	132,600.00
3	Gastos de venta, marketing	-	-	280,000.00
4	Alquiler del local del CORE	1	30,000.00	30,000.00
6	Gastos administrativos	-	-	100,000.00
7	Consumo de energía	-	-	30,000.00
8	Gastos promedios por interconexión	-	-	500,000.00
<i>PRECIO TOTAL (USD)</i>				1,092,600.00

Con lo que se tendrá un OPEX total, tal y como se muestra en la TABLA 5-10.

TABLA 5 - 10: OPEX Total
FUENTE: "ELABORACIÓN PROPIA"

CONCEPTO	PRECIO TOTAL (USD)
GASTOS DE OPERACIÓN	15,600.00
GASTOS DE MANTENIMIENTO	42,750.00
GASTOS GENERALES	1,092,600.00
OTROS	20,000.00
OPEX TOTAL (USD)	1,170,950.00

5.3 Ingresos

En la TABLA 5-11 se muestra los ingresos que generarían anualmente los servicios ofrecidos para el año 1. Se considera que para el primer año se tiene el 10% de clientes potenciales (25 mil 485 personas). Es decir que para el primer año se cuenta con 2 mil 459 clientes.

TABLA 5 - 11: Ingresos por servicios en el año 1
FUENTE: "ELABORACIÓN PROPIA"

NUMERO DE CIENTES	PLAN DE CONSUMO	CIENTES POR PLAN DE CONSUMO	ALTERNATIVA DE CONSUMO	CIENTES POR ALTERNATIVA	PRECIO MENSUAL DEL SERVICIO (USD)	PRECIO TOTAL (USD)
2,549	Básico	1,275	Básico 1	765	16.00	146,880.00
			Básico 2	510	28.00	171,360.00
	Joven	764	Joven 1	382	36.00	165,024.00
			Joven 2	382	48.00	220,032.00
	Empresa	510	Empresa 1	357	60.00	257,040.00
			Empresa 2	153	80.00	146,880.00
PRECIO TOTAL (USD)						1,107,216.00

Además, en la TABLA 5-12 se muestra los ingresos por venta de equipos o terminales que se generaría en el año 1, tomando en cuenta la misma cantidad de clientes (2 mil 549 personas). Es importante indicar que el hecho de que un usuario cuente con un equipo móvil LTE no quiere decir que no cuente con un equipo USB LTE.

TABLA 5 - 12: Ingresos por terminales en el año 1
FUENTE: "ELABORACIÓN PROPIA"

ITEM	CONCEPTO	CLIENTES	PENETRACIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (USD)	PRECIO TOTAL (USD)
1	USB – LTE	2,549	0.4	1,020	200.00	204,000.00
2	Equipos móviles LTE		0.8	2,039	100.00	203,920.00
PRECIO TOTAL (USD)						407,920.00

Con lo que se tiene que para el año 1 el ingreso será el que se muestra en la TABLA 5-13.

TABLA 5 - 13: Ingreso para el año 1
FUENTE: "ELABORACIÓN PROPIA"

CONCEPTO	PRECIO TOTAL (USD)
INGRESOS POR SERVICIOS	1,107,216.00
INGRESOS POR TERMINALES	407,920.00
INGRESO TOTAL (USD)	1,515,136.00

5.4 Flujo de Caja y Evaluación Financiera

Se estima que tanto el OPEX como los ingresos aumentarán en relación al incremento poblacional que es de 0.3 %.

En la TABLA 5-14 se muestra el Flujo de Caja para los primeros 5 años.

TABLA 5 - 14: Flujo de caja para los primeros 5 años
FUENTE: "ELABORACIÓN PROPIA"

AÑO	0	1	2	3	4	5
INGRESOS		1,515,136.00	1,969,676.80	2,560,579.84	3,328,753.79	4,327,379.93
EGRESOS						
CAPEX	-2,811,330.00					
OPEX		-1,170,950.00	-1,522,235.00	-1,978,905.50	-2,572,577.15	-3,344,350.30
FLUJO DE CAJA	-2,811,330.00	344,186.00	447,441.80	581,674.34	756,176.64	983,029.63

Con lo que se obtendrían los siguientes valores para el VAN y el TIR que se muestran en la TABLA 5-15.

TABLA 5 - 15: VAN y TIR del Proyecto
FUENTE: "ELABORACIÓN PROPIA"

VAN (USD)	716,291.03
TIR	3%

Por lo que se puede observar que el proyecto es rentable, considerando un periodo de 5 años.



6. ITEM 5: ANALISIS DE GASTOS

Para analizar la viabilidad del proyecto es necesario analizar tanto los gastos o inversiones, así como los gastos de operación y mantenimiento.

6.1. Costos de Instalación

Para los costos de instalación se toman en cuenta la inversión de los equipos de instalación, así mismo la infraestructura, los gastos por la instalación de equipos, y los gastos por los equipos terminales.

6.2. Elementos de Red de Acceso

En lo que tiene que ver con la compra de equipos, se tomó la decisión de trabajar con equipos Huawei debido a su economía y a la facilidad de convergencia de equipos. También es de gran conocimiento que los demás operadores usan los mismos equipos. Es importante recalcar que los precios que se muestran en las siguientes tablas son precios estimados debido a que cada fabricante elabora su propuesta dependiendo de su implementación y cantidades necesarias para el mismo.

Tabla 34: Costo de Red de Acceso

Equipos	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
HSS	Servidor de Abonado	1	1,064,560,000	1,064,560,000
MME	está a cargo de todas las funciones del plano de control destinadas a abonados y gestión de sesiones	1	855,450,000	855,450,000
PCRF	El servidor PCRF gestiona la política de servicio y envía la información de ajuste QoS para cada sesión de usuario y la información de norma contable	1	171,090,000	171,090,000
PDN-GW	Es el punto de la interfaz de paquetes de datos hacia la red de paquetes de terminación es decir como el punto anclaje	1	161,583,000	161,583,000
SGW	es el punto de la interfaz de paquetes de datos hacia la E-UTRAN	1	161,583,001	161,583,000
Estación Base		50	85,545,000	4,277,250,000
Precio Total				6,691,516,000

Fuente: Autor del Proyecto - (LTE)

6.3. Sistema Radiante

Para el sistema radiante se necesitan de diferentes equipos que nos permitan llegar a los diferentes usuarios localizados en el municipio de Zipaquirá es por esto que en la siguiente tabla se muestra los equipos necesarios para un sistema radiante. Vale recordar que para una configuración 2x2 MIMO, se cuenta dos antenas por cada sector. Por lo tanto, se utilizan 3 sectores por estación base.

Tabla 35: Costos de Sistema Radiante

Equipos	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Conectores	El Sistema de empalme individual de fibra óptica	950	23,765	22,576,750
Patch Cords	se usa en una red para conectar un dispositivo electrónico	1050	14,000,	14,700,000
Feeders	Cables de alimentación	1250	80,347	100,433,750
Match Heard Amplifier	Amplificador de la señal	75	1,523,800	114,285,000
Antenas Mimo	Antenas usadas en 4G LTE vienen en pares de 2	150	1,901,000	285,150,000
Precio Total				537,145,500

Fuente: Autor del Proyecto

5.3.2. Infraestructura

Para los costos de la infraestructura se debe tener en cuenta que las secciones de la torre vienen de 6 metros, para un promedio por torre de 60 m. Vale recordar que todo dispositivo electrónico se debe aterrizar a tierra, tener una unidad que permita tener una potencia interrumpida.

Tabla 36: Costos de Infraestructura

Equipos	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Torre	50	21,320,000	1,066,000,000
Pozo Tierra	50	1,200,000	60,000,000
UPS	50	4,542,600	227,130,000
Banco de Baterías	50	1,400,000	70,000,000
Refrigeración	50	1,000,000	50,000,000
Iluminación	50	30,000.	15,000,000
Total			1,488,130,000

Fuente: Autor del Proyecto

6.4. Instalación de Equipos

Dependerá de la cantidad de instalaciones necesarias, del tiempo que tarde la instalación, del personal requerido para el mismo, La zona de instalación y tipo de transporte necesario para llevar los equipos. Para ello se toma los siguientes precios para el municipio de Zipaquirá.

Tabla 37: Costos de Instalación

Instalación Necesaria	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Instalación del eNodo	50	1,800,000	90,000,000
Instalación de Radio de Transmisión	50	1,400,000	70,000,000
Instalación de Tierra y demás sistemas eléctricos	50	800,000.	40,000,000
Total			200,000,000

Fuente: Autor del Proyecto

6.5. Terminales

Es necesario establecer equipos de acceso al servicio de los usuarios, los cuales son adquiridos debido que en el primer año, como no se tiene la cantidad estimada de clientes, se tomara un rango de referencia del 20%, los clientes estimados que tendrá el servicio, es por esto que solo se contara con los terminales para el primer año. Teniendo en cuenta

que Une ofrece el servicio de hogar y es uno de los planes que se tiene anteriormente nombrado, es necesario ofrecer Terminales Hogar y por supuesto de Celular vale recordar que no todos los celulares poseen un costo igual, pero se ha tomado un promedio de costo de los mismos, así como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 38: Costos de Terminales

Dispositivo	Clientes	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Dispositivo Hogar	27,400.	5327	119,000.	652,120,000
Celular	43,086	8750	900,000	7,665,300,000
Total				8,317,420,000

Fuente: Autor del Proyecto

6.6. Personal

Es importante tener en cuenta los gastos de personal para el sostenimiento de los equipos de instalación y demás.

Tabla 39: Gastos de Operación

Personal De Operación	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Ingeniero Jefe	1	6,000,000	6,000,000
Técnicos	2	1,200,000	2,400,000
Ingeniero de Red	3	2,300,000	6,900,000
Ingeniero de Radiofrecuencia	3	2,300,000	6,900,000
Total			22,200,000
Anual Total			266,400,000

Fuente: Autor del Proyecto

6.7. Mantenimiento

El mantenimiento de equipos y de infraestructura es necesario debido a que existen diferentes problemas que pueden pasar debido al tiempo, el clima, errores eléctricos y un mantenimiento preventivo para las fallas de los equipos. Por eso se analizan los costos en la siguiente tabla.

Tabla 40: Costos de Mantenimiento

Mantenimiento Infraestructura	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Infraestructura-torre	50	2,000,000	100,000,000
Centro de control Core	1	3,200,000	3,200,000
Antenas	30	500,000.	150,000,000
Equipos de Nodo	15	3,500,000	52,500,000
Técnicos	3	1,200,000* 12meses	43,200,000
Total			348,900,000

Fuente: Autor del Proyecto

5.7.1. Gastos Administrativos

Son los gastos que el local normalmente necesita como es el uso de los diferentes servicios públicos, el alquiler del local y la publicidad del producto.

Tabla 41: Gastos Administrativos

Gastos Administrativos	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Alquiler de E nodos o Estaciones Base	50	15,000,000	750,000,000
Alquiler de oficinas Centro de control (Core)	1	10,000,000	10,000,000
Alquiler del Espectro (Canon)		40,000,000	40,000,000
Servicios Públicos		30,000,000	30,000,000
Interconexión		700,000,000	700,000,000
Administrativos		50,000,000	50,000,000
Total			1,580,000,000

Fuente: Autor del Proyecto

6.8. Total De Gastos

6.8.1. Inversión de Bienes

Para la inversión de equipos se tiene referente la siguiente tabla.

Tabla 42: Inversión de Bienes

Instalación de infraestructura	Costo
Terminales	8,317,420,000
Instalación de Equipos	200,000,000
Infraestructura	1,488,130,000
sistema Radiante	537,145,500
Costos de Red de Acceso	6,691,510,000
Total	17,234,205,500

Fuente: Autor del Proyecto

6.8.2. Operación

Son los gastos que se generan por el mantenimiento y sostenimiento del servicio.

Tabla 43: Costos de Operación

Gastos de Operación	Costo
Gastos Administrativos	1,580,000,000
Mantenimiento	348,900,000
Personal	266,400,000
Total	2,195,300,000

Fuente: Autor del Proyecto

5.8.3. Gastos Totales

En la siguiente tabla se muestran los costos de la implementación del servicio.

Tabla 44: Gastos Totales

Gastos Totales	Costo
Gastos de Inversión	17,234,205,500
Gastos de Operación	2,195,300,000
Total	19,429,505,000

Fuente: Autor del Proyecto

6.9. Ingresos**6.9.1. Ingresos de Planes**

Analizando mercado se determinó costos similares a los planes existentes en los diferentes operadores y estos serían los ingresos para el primer año por planes como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 45: Ingresos Por Planes

Total de clientes	Planes	Ciudad	Costo de planes	Ingresos de dinero	Ingresos por Plan
13,997	Plan Básico				
	Básico Celular 1	2520	30,000	75,600,000	270,900,000
	Básico Celular 2	1890	50,000	94,500,000	
	Básico Hogar 1	630	40,000	25,200,000	
	Básico Hogar 2	1260	60,000	75,600,000	
	Plan Intermedio				
	Intermedio Celular 1	1960	60,000	117,600,000	364,760,000
	Intermedio Celular 2	980	80,000	78,400,000	
	Intermedio Hogar 1	1497	80,000	119,760,000	
	Intermedio Hogar 2	490	100,000	49,000,000	
	Plan Empresarial				
	Empresarial Celular 1	1120	120,000	134,400,000	392,000,000
	Empresarial Celular 1	280	170,000	47,600,000	
	Empresarial 1	840	130,000	109,200,000	
	Empresarial 2	560	180,000	100,800,000	
	Total	14027			

Fuente: Autor del Proyecto

5.9.2. Ingresos por Terminales

La venta de equipos es un ítem de los ingresos. Así como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 46: Ingresos Por Terminales

Dispositivo	Cantidad De dispositivos	Precio Unitario	Precio Total
Dispositivo Hogar	5327	135,000.	1,181,250.000
Celular	8750	1,200,000	10,500,000,000
		Total	11,681,250,000

Fuente: Autor del Proyecto

5.9.3. Ingresos Totales

Tabla 47: Ingresos Totales

Ingresos	
Venta de Planes	1,027,660,000
Venta de Equipos	11,689,250,000
Total	12,716,910,000

Fuente: Autor del Proyecto

6.10. Evaluación Administrativa

Se considera que los ingresos incrementaran un 10% anual debido al incremento de acuerdo a los clientes potenciales, Y los gastos de operación se incrementaran un 3% debido a la inflación anual.

Tabla 48: Matriz Costos Beneficio

Item	Años	0	1	2	3	4
Ingresos		12,716,910,000	13,988,601,000	15,387,461,100	16,926,207,210	
Egresos			8,317,420,000	8,317,420,000	8,317,420,000	
Gastos De Operación		2,195,300,000	2,853,890,000	3,710,057,000	4,823,074,100	
Gastos De Infraestructura	17,234,205,500					
Ganancias		10,521,610,000	2,817,291,000	3,359,984,000	3,785,713,110	
					Total de Ingresos	20,484,598,110

Fuente: Autor del Proyecto

Por lo que se puede observar el proyecto es rentable considerando un periodo de 4 años.