

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

DISEÑO DE UNA RED LTE PARA EL DISTRITO DEL CALLAO

Tesis para optar el Título de Ingeniero de las Telecomunicaciones, que presenta el
bachiller:

Jose Alejandro Milla Cazana

ASESOR: Ing. Percy Fernández Pilco

Lima, agosto de 2012

Resumen

En la presente tesis se plantea el diseño de una red LTE para el distrito del Callao para una nueva operadora que quiere ofrecer sus servicios con dicha red. En este diseño se toma en cuenta no sólo a la población que habita el distrito del Callao, sino también a aquellas que visitan con frecuencia el mismo y aquél grupo de personas que concurren diariamente al Aeropuerto Internacional Jorge Chávez que se encuentra en dicho distrito.

La tesis está estructurada de la siguiente manera:

En el capítulo 1 se analiza la problemática en el distrito y el porqué se desea insertar este diseño al distrito.

En el capítulo 2 se muestra el marco teórico, donde se detallan los conceptos del Long Term Evolution (LTE) y el IP Multimedia Subsystem (IMS).

En el capítulo 3 se realiza un análisis de mercado para identificar a los potenciales clientes y los tipos de servicios a ofrecer.

En el capítulo 4 se realiza la Ingeniería del Proyecto, donde se calcula la cantidad de eNodos B a utilizar en la red, la topología de la misma, la red de transporte, la red de acceso, la infraestructura y equipos a emplear para la misma.

Finalmente, en el capítulo 5 se evalúa el costo-beneficio de implementar esta red mediante el análisis del CAPEX Y OPEX, así como del VAR y el TIR.

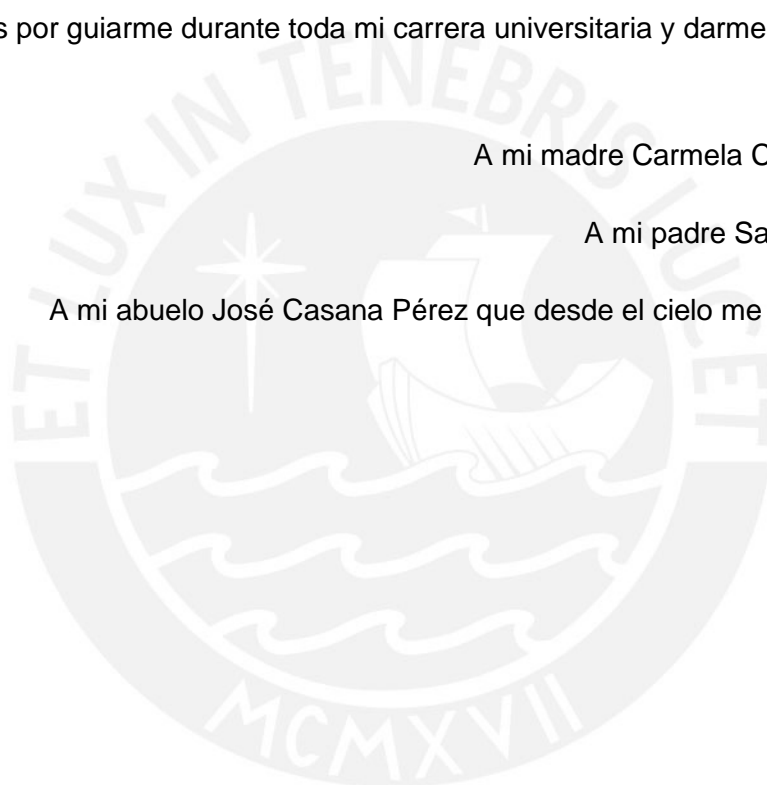
Dedicatoria

A Dios por guiarme durante toda mi carrera universitaria y darme la sapiencia para
afrontar los retos.

A mi madre Carmela Cazana Contreras.

A mi padre Santiago Milla Cano

A mi abuelo José Casana Pérez que desde el cielo me guía diariamente.



Agradecimientos

A mi madre Carmela Cazana Contreras por estar siempre a mi lado apoyándome en lo que necesite.

A mi padre Santiago Milla Cano por sus consejos y por ser un ejemplo de esfuerzo y dedicación para mí.

A mi hermana Jhoselyn Milla por de alguna u otra forma ayudarme a crecer en todo sentido.

A mi tío Jose Casana Vásquez por apoyarme siempre y brindarme sus consejos en todo momento.

A mi abuelo José Casana Pérez por ser mi segundo padre y guía en la vida.

A todos los amigos que conocí a lo largo de mi carrea universitaria y que siempre estuvieron conmigo apoyándome en todo momento en diferentes etapas de mi vida universitaria y sobre todo a quiénes aún me acompañan.

Y finalmente y de forma muy especial, a mi asesor el Ing. Percy Fernández Pilco por su disposición y dedicación para ayudarme en todo momento para la culminación de esta tesis.

Índice

<i>Resumen</i>	ii
<i>Dedicatoria</i>	iii
<i>Agradecimientos</i>	iv
<i>Índice</i>	v
<i>Lista de Figuras</i>	vii
<i>Lista de Tablas</i>	viii
<i>Introducción</i>	10
Capítulo 1 ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA	11
1.1 Aspectos Generales.....	11
1.1.1 Nombre del Proyecto	11
1.1.2 Participación de las Entidades Involucradas y de los Beneficiarios	12
1.2 Identificación de Problema y Objetivos.....	14
1.2.1 Definición del problema y sus causas.....	14
1.2.2 Objetivos del Proyecto.....	15
1.2.3 Campos que abarcará la tesis.....	16
1.3 Diagnóstico de la situación actual.....	17
Capítulo 2 MARCO TEÓRICO DEL PROYECTO	18
2.1 Long Term Evolution (LTE).....	18
2.1.1 Breve Historia de LTE.....	20
2.1.2 Arquitectura de red LTE	22
2.1.3 Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA).....	27
2.1.4 Simple Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA) ..	28
2.1.5 Antenas MIMO	29
2.1.6 Ventajas de LTE	30
2.1.7 Servicios en LTE	30
2.2 IP Multimedia Subsystem (IMS).....	31
2.2.1 Historia del IMS	31
2.2.2 Arquitectura NGN	33
2.2.3 Session Initiation Protocol (SIP)	34
2.2.4 Arquitectura IMS.....	36
2.2.5 IMS y LTE	37
2.2.6 Ventajas de IMS	38
Capítulo 3 DETERMINACIÓN DE LAS NECESIDADES	40
3.1 Estudio Socioeconómico de la zona.....	40
3.1.1 POBLACIÓN EN EDAD DE TRABAJAR (PET)	41
3.1.2 Aeropuerto Internacional Jorge Chávez (LAP).....	42
3.2 Determinación de la demanda.....	45
3.3 Servicios a ofrecer.....	50

<i>Capítulo 4 INGENIERÍA DE PROYECTO</i>	52
4.1 Cálculo del número de eNodos B	53
4.2 Topología de la Red	59
4.3 Diseño de la Red de Transporte	61
4.4 Diseño de la Red de Acceso	63
4.5 Especificaciones técnicas del equipamiento	74
4.6 Infraestructura necesaria	76
4.6.1 Subsistema de Protección	76
4.6.2 Subsistema de Energía	76
4.6.3 Torres	77
<i>Capítulo 5 COSTO DEL PROYECTO</i>	79
5.1 Costos del Equipamiento e Instalación (CAPEX)	80
5.1.1 Elementos de la Red de Acceso y el Core	80
5.1.2 Elementos del Sistema Radiante	81
5.1.3 Infraestructura	81
5.1.4 Instalación de equipos	82
5.1.5 Terminales	83
5.2 Costos de Operación y Mantenimiento (OPEX)	84
5.2.1 Operación	84
5.2.2 Mantenimiento	84
5.2.3 Gastos Generales	85
5.3 Ingresos	86
5.4 Flujo de Caja y Evaluación Financiera	87
CONCLUSIONES	89
RECOMENDACIONES	90
<i>Bibliografía</i>	91
ANEXOS	95

Lista de Figuras

FIGURA 1- 1: Ubicación del distrito del Callao.....	12
FIGURA 1- 2: Árbol de Problemas o de Causas – Efectos	14
FIGURA 1- 3: Árbol de Objetivos	15
FIGURA 1- 4: Árbol Reducido.....	16
FIGURA 2- 1: Evolución a través del tiempo de los Estándares 3GPP	21
FIGURA 2- 2: Arquitectura de red UMTS.....	24
FIGURA 2- 3: Evolución desde UTRAN a E-UTRAN	26
FIGURA 2- 4: Arquitectura General de LTE	27
FIGURA 2- 5: Comparación en lo que respecta a ahorro de Ancho de Banda entre FDM y OFDM	28
FIGURA 2- 6: Vista de OFDMA y SC-FDMA en forma gráfica	29
FIGURA 2- 7: Estratos de IMS.....	33
FIGURA 2- 8: Trapezoide SIP.....	35
FIGURA 2- 9: Arquitectura General de IMS	37
FIGURA 2- 10: IMS y LTE	38
FIGURA 3 - 1: Afluencia diaria de extranjeros en Julio 2011	43
FIGURA 3 - 2: Afluencia diaria de nacionales en Julio 2011	45
FIGURA 4 - 1: Cálculo del Número de Líneas para Servicio Básico	56
FIGURA 4 - 2: Cálculo del Número de Líneas para Servicio Joven	57
FIGURA 4 - 3: Cálculo del Número de Líneas para Servicio Empresa.....	58
FIGURA 4 - 4: Ubicación de los eNodos B y el Core	61
FIGURA 4 - 5: Modelo de conexión de eNodos B y Core a escala	62
FIGURA 4 - 6: Enlace entre eNodos de Av. Saézn Peña y Av. Palacios.....	63
FIGURA 4 - 7: 326 Digital 2U NodeB.....	74
FIGURA 4 - 8: USB Módem LTE VL600	75
FIGURA 4 - 9: proceso de instalación del sistema de puesta a tierra.....	76
FIGURA 4 - 10: Subsistema típico de energía	77
FIGURA 4 - 11: Torre Ventada	78

Lista de Tablas

TABLA 1- 1: Interés de los Grupos Involucrados de acuerdo a su prioridad	13
TABLA 1- 2: Proyección de la Población desde el año 2000 al 2015	17
TABLA 2- 1: Comparación entre las versiones de LTE y las de WiMAX	19
TABLA 3 - 1: PET Y Tasa de Crecimiento Poblacional	41
TABLA 3 - 2: Distribución de la PET según Grupo de edades	42
TABLA 3 - 3: Afluencia mensual de extranjeros en el LAP.....	42
TABLA 3 - 4: Afluencia mensual de nacionales en LAP.....	44
TABLA 3 - 5: Proporción de personas sin servicio 3G o LTE	46
TABLA 3 - 6: Proporción de personas pertenecientes a otros operadores de las que se desea captar su atención	46
TABLA 3 - 7: Total de personas a las que apunta nuestros servicios.....	47
TABLA 3 - 8: Número de personas con 3G o LTE en LAP.....	47
TABLA 3 - 9: Personas a las que finalmente se les brindará el servicio en un escenario optimista.....	48
TABLA 3 - 10: Personas a las que finalmente se les brindará el servicio en un escenario moderado	49
TABLA 3 - 11: Personas a las que finalmente se les brindará el servicio en un escenario pesimista	49
TABLA 3 - 12: Relación de la cantidad de personas a las que se les brindará el servicio respecto a la PET y a la Población Total.....	50
TABLA 3 - 13: Características del plan básico	50
TABLA 3 - 14: Características del plan joven.....	51
TABLA 3 - 15: Características del plan empresa.....	51
TABLA 4 - 1: Distribución de los clientes	53
TABLA 4 - 2: Consumo de datos para el servicio básico.....	54
TABLA 4 - 3: Consumo de datos para el servicio joven	54
TABLA 4 - 4: Consumo de datos para el servicio empresa	55
TABLA 4 - 5: Consumo de voz para el servicio básico en mErl.....	55
TABLA 4 - 6: Consumo de voz para el servicio básico en Mbps	56
TABLA 4 - 7: Consumo de voz para el servicio joven en mErl	57
TABLA 4 - 8: Consumo de voz para el servicio joven en Mbps	57

TABLA 4 - 9: Consumo de voz para el servicio empresa en mErl	58
TABLA 4 - 10: Consumo de voz para el servicio empresa en Mbps.....	59
TABLA 4 - 11: Número de eNodos B requeridos	59
TABLA 4 - 12: Distribución de los eNodos B y el Core.....	60
TABLA 4 - 13: Valores que toma el Lori.....	65
TABLA 4 - 14: Valores que toma el Ka	66
TABLA 4 - 15: Valores que toma el Kd	66
TABLA 4 - 16: Valores que toma el Kf	66
TABLA 4 - 17: Parámetros de los eNodos B.....	67
TABLA 4 - 18: Parámetros para el enlace del Uplink	68
TABLA 4 - 19: Parámetros para el enlace del Downlink.....	70
TABLA 4 - 20: Potencia de recepción para el índice del Uplink.....	71
TABLA 4 - 21: Potencia de recepción para el índice del Downlink	73
TABLA 5 - 1: Costos de la red de acceso y el Core	80
TABLA 5 - 2: Costos de elementos del sistema radiante	81
TABLA 5 - 3: Costos de la Infraestructura.....	82
TABLA 5 - 4: Costos de instalación de equipos	82
TABLA 5 - 5: Costos de equipos terminales para el año 1	83
TABLA 5 - 6: CAPEX Total	83
TABLA 5 - 7: Gastos de operación anual.....	84
TABLA 5 - 8: Gastos de mantenimiento anual	85
TABLA 5 - 9: Costos generales.....	85
TABLA 5 - 10: OPEX Total	86
TABLA 5 - 11: Ingresos por servicios en el año 1	86
TABLA 5 - 12: Ingresos por terminales en el año 1	87
TABLA 5 - 13: Ingreso para el año 1	87
TABLA 5 - 14: Flujo de caja para los primeros 5 años	87
TABLA 5 - 15: VAN y TIR del Proyecto.....	88

Introducción

En la actualidad cuando se lee todo tipo de artículos relacionados con redes celulares, es imposible no toparse con las siglas LTE. Long Term Evolution es el nombre detrás de estas siglas y representa lo último en lo que respecta a tecnologías móviles. Junto con WIMAX son las que están llamadas a revolucionar el mundo de las telecomunicaciones. La razón principal es porque LTE permitirá tener velocidades de transmisión de datos muy altas con una latencia de paquetes mucho menor comparado con las otras tecnologías, lo cual es un creciente requerimiento en los servicios hoy en día.

Por lo tanto, el objetivo de esta tesis es realizar el diseño de una red LTE para el distrito del Callao, debido a que es uno de los distritos de la Provincia Constitucional del Callao donde mejor se podrá aprovechar esta red ya que cuenta con diferentes establecimientos deportivos, sectores industriales y, sobre todo, con el Aeropuerto Internacional Jorge Chávez donde se generará gran cantidad de tráfico. Por lo que, con este diseño, se desea satisfacer la demanda que se genere en el distrito.



Capítulo 1

ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA

1.1 Aspectos Generales

1.1.1 Nombre del Proyecto

“Diseño de una red LTE para el distrito del Callao”

UBICACIÓN:

Distrito	:	Callao
Provincia	:	Callao
Departamento	:	Lima
País	:	Perú

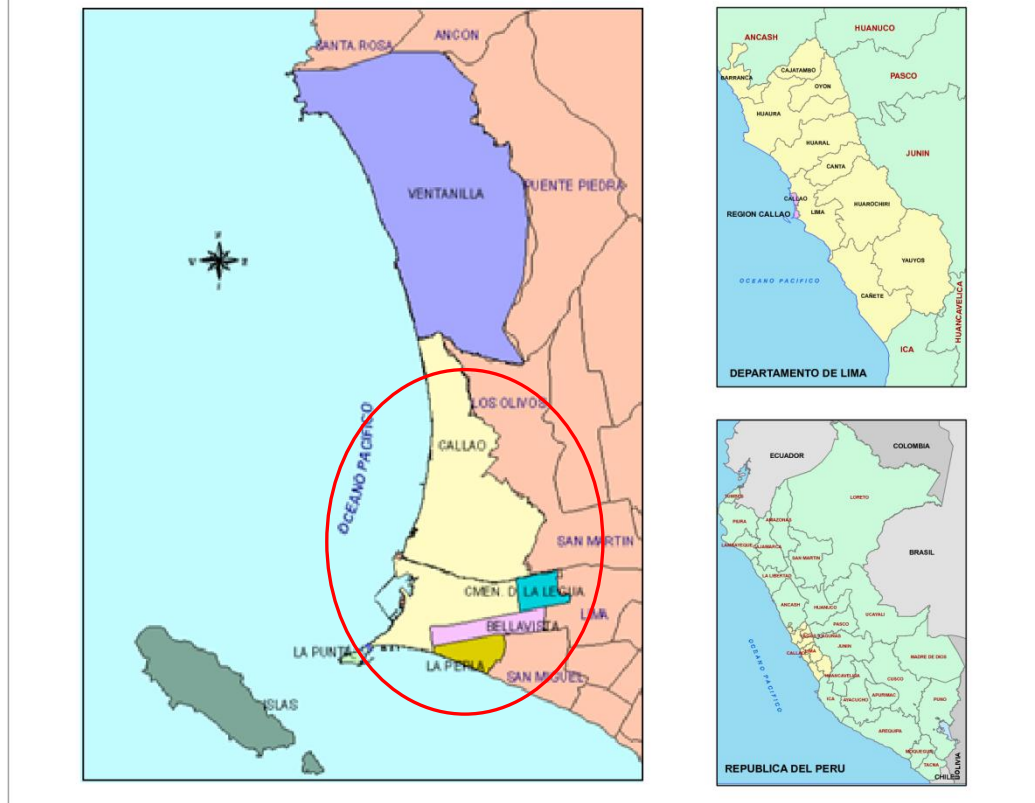
MAPA DE UBICACIÓN DEL DISTRITO DEL CALLAO


FIGURA 1- 1: Ubicación del distrito del Callao
FUENTE: “GOBIERNO REGIONAL DEL CALLAO” [GOB2011]

1.1.2 Participación de las Entidades Involucradas y de los Beneficiarios

El proyecto contará con los siguientes involucrados que están clasificados de acuerdo al grado de interés que tienen hacia el mismo.

POSITIVOS:

- . Ciudadanos del distrito del Callao
- . Aeropuerto Internacional Jorge Chávez
- . Centros comerciales, tales como: Minka, Plaza Veá, Metro, entre otros
- . Centros industriales (en la Av. Argentina)
- . Municipalidad del Callao
- . Gobierno regional del Callao
- . Empresas de construcción para la rotura de pistas y calles por donde pasará la fibra.

NEGATIVOS:

- . Compañías telefónicas
- . Ciudadanos que viven cerca a las calles por donde se colocará la fibra.

NEUTROS:

- . Ciudadanos de distritos aledaños.
- . Municipalidades de los distritos aledaños.

**TABLA 1- 1: Interés de los Grupos Involucrados de acuerdo a su prioridad
FUENTE: “ELABORACIÓN PROPIA”**

ESCALA	GRUPOS INVOLUCRADOS	PROBLEMAS
7 a 10 (directos)	Municipalidad del Callao	Proyectos irrelevantes en el distrito.
	Aeropuerto Internacional Jorge Chávez	Una red con limitaciones de ancho de banda.
	Centros comerciales, tales como: Minka, Plaza Vea, Metro, entre otros.	Una red con limitaciones de ancho de banda.
	Centros industriales (en la Av. Argentina)	Una red con limitaciones de ancho de banda.
6 a 4 (indirectos)	Ciudadanos que viven cerca a las calles por donde se colocará la fibra.	Serán involucrados negativos que afectarán al desarrollo del proyecto.
	Empresas de construcción para la rotura de pistas y calles por donde pasará la fibra.	Poca participación en proyectos de gran envergadura.
	Ciudadanos del distrito del Callao	Imposibilidad de comprar equipos de última tecnología debido a la limitación de la tecnología de red existente en el distrito.
	Compañías telefónicas	Inexistencia de dicha red para brindar sus servicios.
	Gobierno regional del Callao	Realización de pocos proyectos de gran relevancia.
1 a 3 (indirectos)	Ciudadanos de distritos aledaños	Tenerlos vigilados, ya que pueden ser futuros involucrados directos.
	Municipalidades de los distritos aledaños	Tenerlos vigilados, ya que pueden ser futuros involucrados directos.

1.2 Identificación de Problema y Objetivos

1.2.1 Definición del problema y sus causas

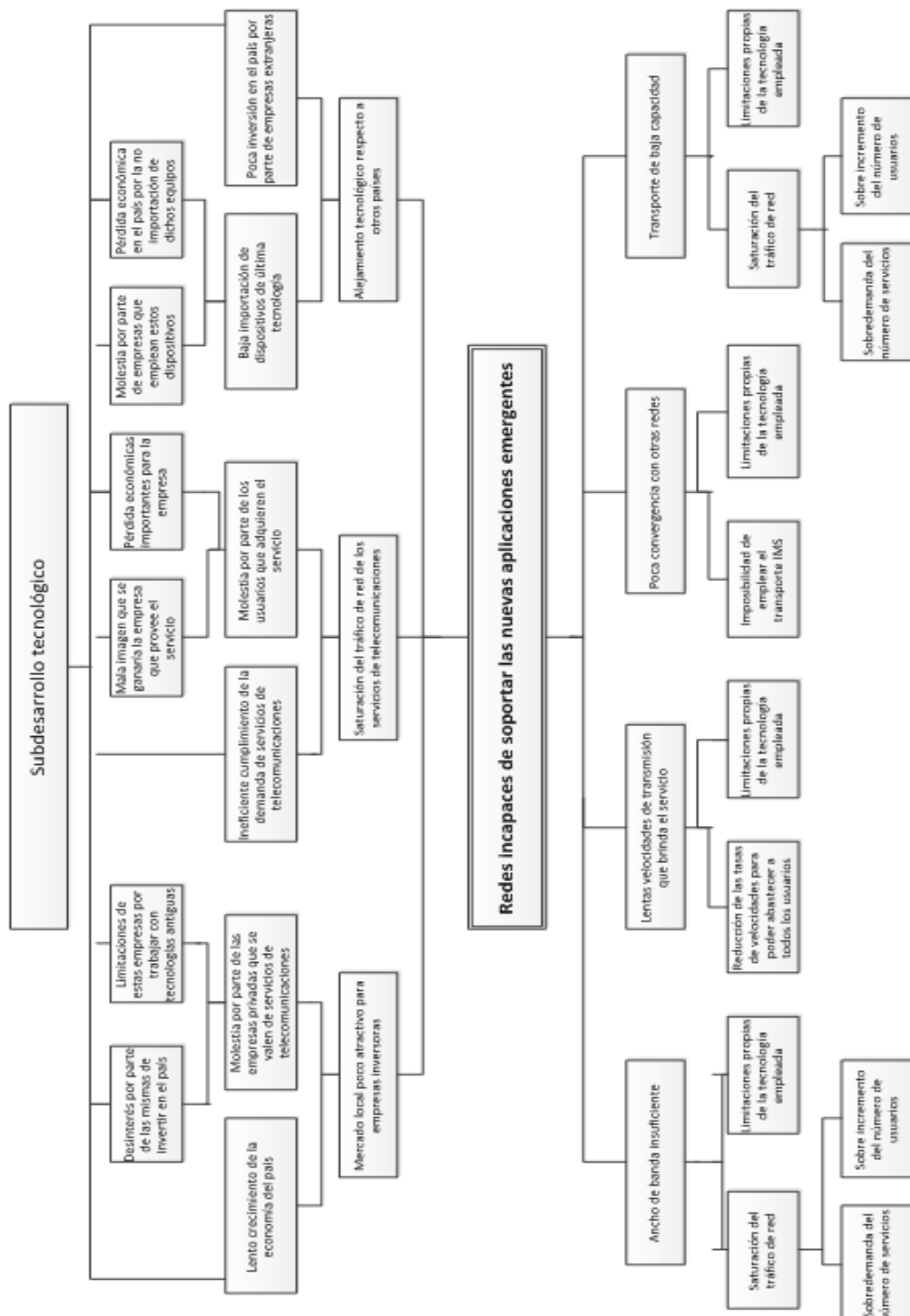


FIGURA 1- 2: Árbol de Problemas o de Causas – Efectos
FUENTE: “ELABORACIÓN PROPIA”

1.2.2 Objetivos del Proyecto

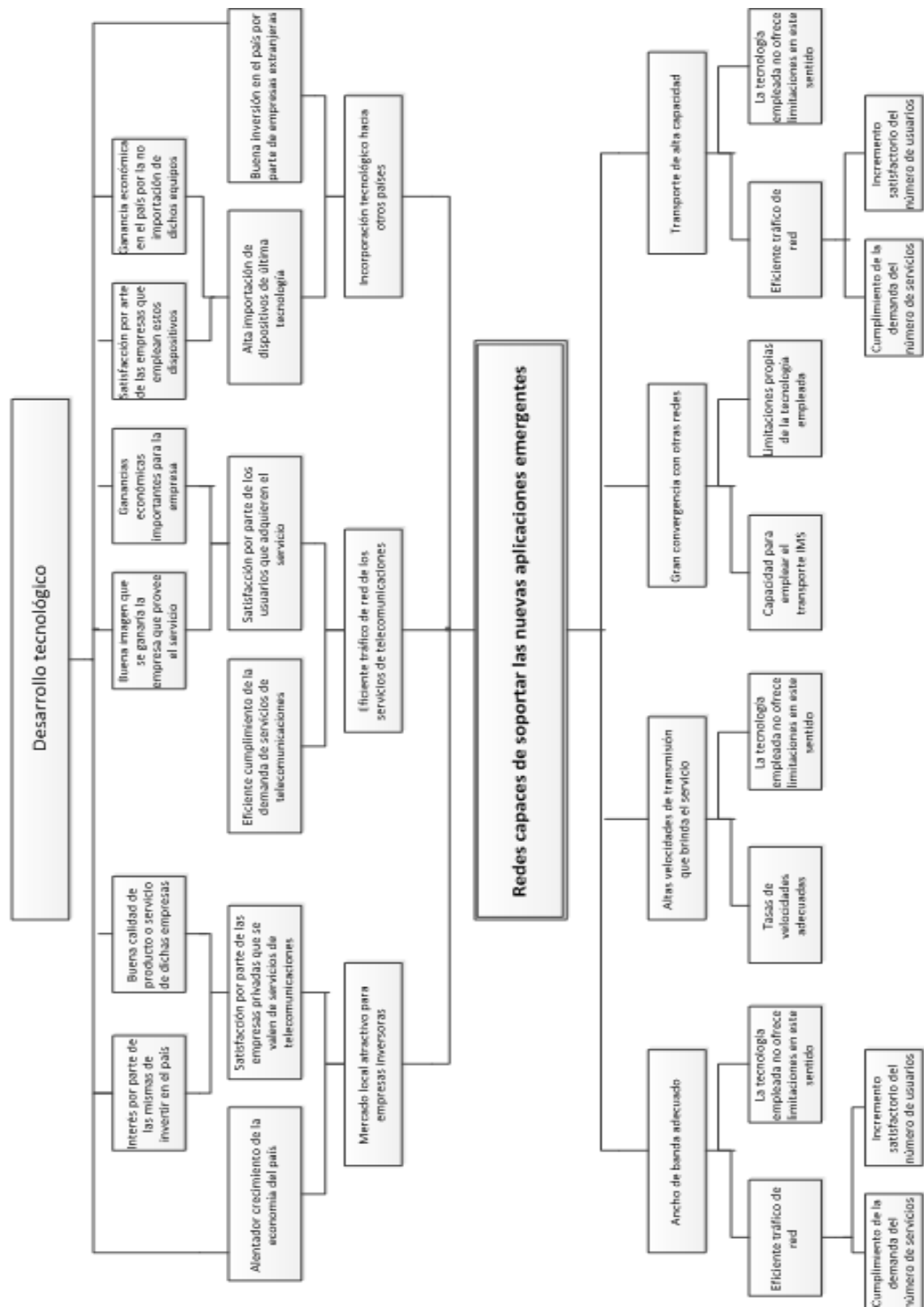


FIGURA 1- 3: Árbol de Objetivos
FUENTE: “ELABORACIÓN PROPIA”

1.2.3 Campos que abarcará la tesis

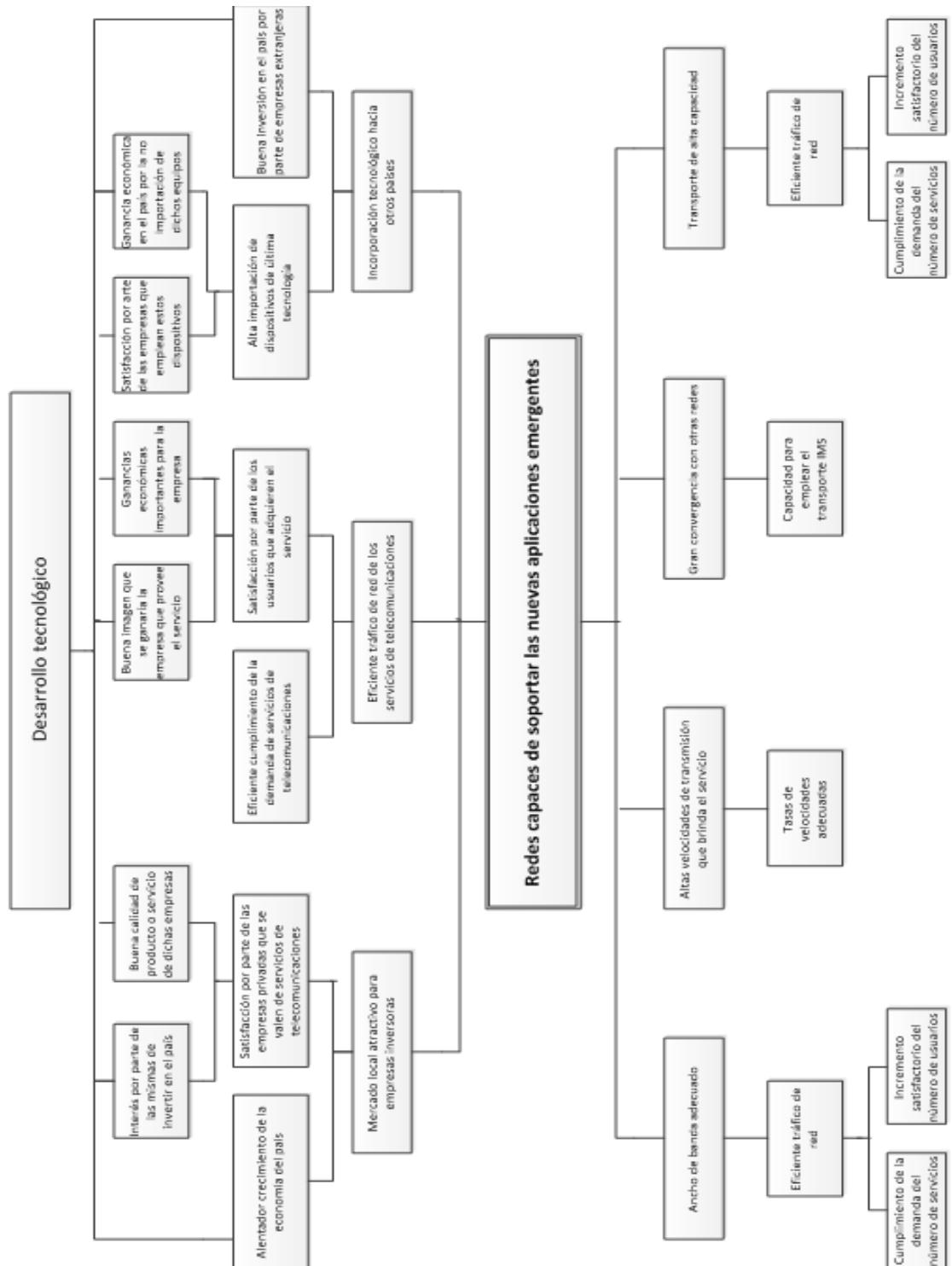


FIGURA 1- 4: Árbol Reducido
FUENTE: “ELABORACIÓN PROPIA”

1.3 Diagnóstico de la situación actual

El distrito del Callao es uno de los 6 distritos que conforman la Provincia Constitucional del Callao, localizado en el departamento de Lima.

Limita al norte con el distrito de Ventanilla, al este con la Provincia de Lima y el distrito de Carmen de la Legua-Reynoso, al sur con el distrito de Bellavista y con el distrito de La Perla, mientras que por el oeste lo hace con el Océano Pacífico y con el distrito de La Punta.

Actualmente tiene una población de 420,654 habitantes. En la TABLA 1-2 se muestra la proyección de la población del distrito del Callao, desde el año 2000 hasta el año 2015.

TABLA 1- 2: Proyección de la Población desde el año 2000 al 2015
FUENTE: "INEI" [INE2010]

Año	Población	Año	Población
2000	422059	2008	426944
2001	424865	2009	425326
2002	426802	2010	423237
2003	428046	2011	420654
2004	428707	2012	417622
2005	428927	2013	414249
2006	428744	2014	410640
2007	428082	2015	406889

Debido a que en el distrito del Callao se cuenta con una tasa de analfabetismo relativamente baja. Se tomará como la Población Objetivo a la totalidad de la población del distrito. Sin embargo, es importante tener en cuenta que en el distrito se cuenta con fábricas industriales en los alrededores de la Avenida Argentina, con importantes clubes sociales (como el Club Atlético Chalaco o el Sport Boys Association), con el primer puerto peruano de país, con grandes centros comerciales y sobre todo con el primer aeropuerto del país, el Aeropuerto Internacional Jorge Chávez. Por lo que la Población Objetivo tendería a aumentar.



Capítulo 2

MARCO TEÓRICO DEL PROYECTO

2.1 Long Term Evolution (LTE)

En la actualidad cuando se lee todo tipo de artículos relacionados con redes celulares, es imposible no toparse con las siglas LTE. Long Term Evolution es el nombre detrás de estas siglas y se trata de lo último en lo que respecta a tecnologías móviles. Junto con WIMAX son las que están llamadas a revolucionar el mundo de las telecomunicaciones. Esto por una sencilla razón, LTE permitirá tener velocidades de transmisión de datos muy altas con una latencia de paquetes mucho menor que las otras tecnologías, lo cual es un creciente requerimiento en los servicios hoy en día.

Esto se logra gracias a que LTE emplea una técnica de acceso múltiple en la capa física, llamada OFDMA (del inglés Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access) en el Downlink (descarga de datos), en la que divide el canal en un conjunto

de subportadoras que se reparten en grupos en función de la necesidad de cada uno de los usuarios. Mientras que para el Uplink (carga de datos) utiliza la técnica SC-FDMA (del inglés Single Carrier Frequency Division Multiplexing Access) que es una variante de OFDMA con la diferencia de que esta presenta un PARP (del inglés Peak to Average Power Ratio) reducido, lo cual evitará que tengamos picos muy grandes en la señal. Además lo que repotencia el esquema de LTE es el uso de antenas MIMO (del inglés Multiple-Input and Multiple-Output). MIMO hace posible el contar con múltiples antenas tanto en el transmisor como en el receptor, para de esta forma mejorar la calidad de la comunicación.

Sin embargo en esta pugna por demostrar quién es mejor, LTE ha sacado ventaja sobre WiMAX, principalmente en el hecho de que esta tecnología utiliza las redes GSM (del inglés Global System for Mobile Communications) actuales, por lo que el coste de su implementación para las compañías sería mucho menor. Además existen otras diferencias, como se puede ver, en lo que respecta a los campos de ancho de banda del canal, Peak Data Rate, eficiencia espectral, capacidad VoIP, entre otros campos.

**TABLA 2- 1: Comparación entre las versiones de LTE y las de WiMAX
FUENTE: “3GPP – LTE” [GPP2010]**

	LTE 3GPP (R8)	LTE 3GPP (R10)	WiMAX 802.16e (R1.0)	WiMAX 802.16m (R2.0)
Capa Física	DL ₍₁₎ : OFDMA ₍₃₎ UL ₍₂₎ : SC-FDMA ₍₄₎	DL: OFDMA UL: SC-FDMA	DL: OFDMA UL: SC-FDMA	DL: OFDMA UL: SC-FDMA
Modo Dúplex	FDD ₍₅₎ y TDD ₍₆₎	FDD y TDD	TDD	FDD y TDD
Movilidad para usuario	350 km/h	350 km/h	60 - 120 km/h	350 km/h
Ancho de banda del canal	1.4, 3, 5, 10, 15, 20 MHz	Componentes agregados a Release 8	3.5, 5, 7, 8.75, 10 MHz	5, 10, 20, 40 MHz
Peak Data Rate	. DL: 302 Mbps (Antenas 4x4) . UL: 75 Mbps (2x4) a 20 MHz FDD	. DL: 1 Gbps . UL: 300 Mbps	. DL: 46 Mbps (2x2) . UL: 4 Mbps (1x2) a 10 MHz TDD 3:1 (DL/UL ratio)	. DL > 350 Mbps (4x4) . UL > 200 Mbps (2x4) a 20 MHz FDD
Eficiencia Espectral	DL: 1.91 bps/Hz (2x2) UL: 0.72 bps/Hz (1x2)	DL: 30 bps/Hz UL: 15 bps/Hz	DL: 1.91 bps/Hz (2x2) UL: 0.84 bps/Hz (1x2)	DL > 2.6 bps/Hz (4x2) UL > 1.3 bps/Hz (2x4)
Latencia	Capa de enlace < 5 ms Handover < 50 ms	Capa de enlace <5ms Handover < 50 ms	Capa de enlace - 20 ms Handover - 35 a 50 ms	Capa de enlace < 10ms Handover < 30 ms
Capacidad VoIP	80 usuarios por sector/MHz (FDD)	> 80 usuarios por sector/MHz (FDD)	20 usuarios por sector/MHz (TDD)	> 30 usuarios por sector/MHz (TDD)

(1) Downlink, (2) Uplink, (3) Orthogonal Frequency-Division Multiplexing Access, (4) Single Carrier Frequency-Division Multiplexing Access, (5) Frequency-Division Multiplexing, (6) Time-Division Multiplexing

Como se observa en la TABLA 2-1, el rendimiento de LTE (3GPP Release 8) y WiMAX IEEE 802.16m son similares en lo que respecta a las tasas de datos, latencia y la movilidad para el usuario. Además, vale la pena mencionar que tanto LTE y WiMAX usan OFDMA en el downlink, pero no en el uplink. En este último caso, WiMAX utiliza OFDMA, mientras que LTE usa SC-FDMA que nos permite un PARP reducido para el uplink, como se explicó líneas más arriba. Esto hace que sea más sencillo que el terminal móvil mantenga una eficiente transmisión de la señal usando un amplificador de potencia [GPP2010].

2.1.1 Breve Historia de LTE

LTE significa hasta el día de hoy el pico de la evolución para 3GPP (del inglés 3G Partnership Project). Sin embargo, es importante recordar el proceso de evolución por las que pasaron las tecnologías de 3GPP para llegar a LTE.

El Release 99 fue publicado en diciembre de 1999 y contenía los aspectos básicos de WCDMA (del inglés Wideband Code Division Multiple Access). A partir del año 2001 el 3GPP dejó de nombrar los Releases por el año de publicación e inició una nueva nomenclatura a partir del Release 4 el cual fue terminado en marzo 2001 y contenía la versión TDD (del inglés Time Division Multiplexing), TD-SCDMA (del inglés Time Division Synchronous Code Division Multiple Access) para baja capacidad. El Release 5 se concluyó en marzo de 2002 y estaba dedicado a HSDPA (del inglés High Speed Downlink Packet Access), mientras que el Release 6 se publicó en diciembre de 2004 y se refería a HSUPA (del inglés High Speed Uplink Packet Access) para WCDMA. El Release 7 se terminó en junio de 2007 y presentaba ciertas mejoras tanto en HSDPA como en HSUPA.

Actualmente se ha terminado el Release 8 con mejoras en HSDPA/HSUPA, denominado HSPA (del inglés High Speed Packet Access) y también contiene las primeras especificaciones de LTE, el Release 8 fue terminado en diciembre de 2008 [MAR2010].

Por su parte el Release 9 se refiere a LTE y se desarrolló en paralelo con el Release 10 que define la tecnología 4G que cumplía con las especificaciones de IMT –Advanced (del inglés International Mobile Telecommunication Advanced) de la ITU (International Telecommunication Unit). Precisamente en el año 2010 esta organización la aprobó junto a WiMAX como las elegidas para llevar el rótulo de tecnología 4G. En la FIGURA 2-1 se muestra esta evolución a través del tiempo.

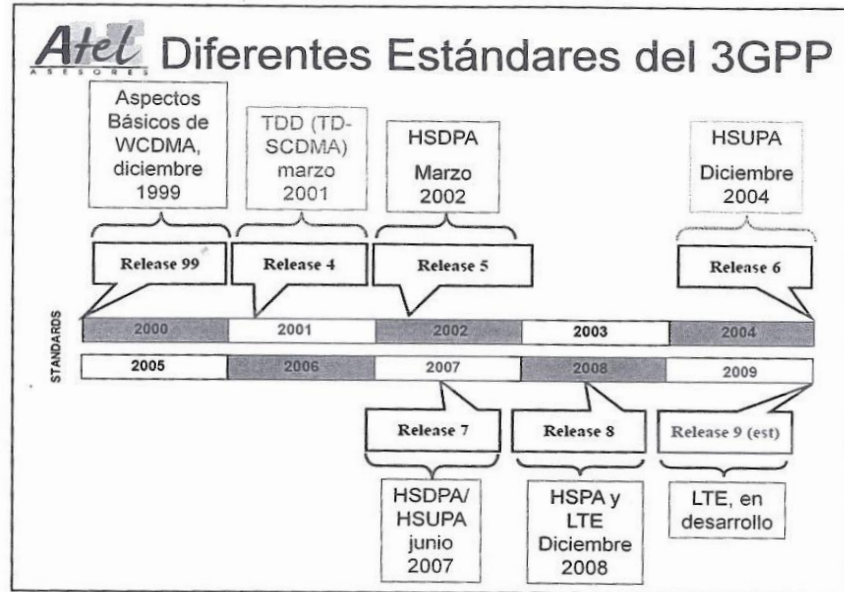


FIGURA 2- 1: Evolución a través del tiempo de los Estándares 3GPP
FUENTE: "LTE – LONG TERM EVOLUTION" [MAR2010]

Sin embargo, definir LTE no fue tan sencillo. El concepto de LTE de hoy en día, se discutió en detalle en el año 2004 en un taller sobre Redes de Acceso de Radio (Radio Access Network, nombre original del taller) que tuvo lugar en Toronto, Canadá.

El taller contó con la presencia de más de 40 operadores de telecomunicaciones, provenientes de universidades e institutos técnicos mundialmente conocidos. Así como de profesionales de las instituciones 3GPP.

El resultado fue un estudio de viabilidad puesto en marcha por el 3GPP sobre la posibilidad de diseñar e implementar de manera oportuna un paquete de alta velocidad optimizado en la red de datos inalámbrica con baja latencia y tiempos rápidos de respuesta [MOB2010]. En otras palabras, desarrollar una red donde se permita transmitir datos a altas velocidades con bajos índices de latencia.

La primera versión notable de LTE incluyen especificaciones para HSPA+, que se trata de una versión mejorada de HSPA y es el puente de conexión entre redes 3G HSPA y LTE. Así como todas las redes basadas en IP esta red brinda eficacia en lo que respecta a la conectividad a Internet [MOB2010], lo cual es muy importante en la era de la banda ancha móvil actual en la que vivimos.

2.1.2 Arquitectura de red LTE

La arquitectura general de LTE es una evolución de la arquitectura general de 3GPP. Así que comenzaremos hablando sobre esta última.

Arquitectura de Red 3GPP

La arquitectura de red general para 3GPP está conformada por el Equipo de Usuario (User Equipment, UE) y de una infraestructura de red que se divide de forma lógica en una infraestructura de red troncal (Core Network, CN) y una de red de acceso (Access Network, AN).

Estas tres partes están compuestas de la siguiente forma:

- El equipo de usuario (UE): se compone de dos elementos básicos como son el propio dispositivo móvil o terminal (denominado como Mobile Equipment, ME) y una tarjeta UICC (del inglés Universal Integrated Circuit Card). La tarjeta UICC, también denominada SIM (del inglés Subscriber Identity Module) en sistemas GSM y USIM (Universal SIM) en sistemas UMTS (del inglés Universal Mobile Telecommunications System) y LTE. Dicha tarjeta es la encargada de almacenar la información y sustentar los procedimientos que tienen que ver con la suscripción del usuario a los servicios proporcionados por la red. Mediante esta separación entre terminal y tarjeta se permite que un usuario (identificado a través de la SIM/USIM) pueda utilizar diferentes terminales para acceder a la red.
- La red de acceso (AN): 3GPP ha especificado tres tipos de redes de acceso diferentes: GERAN (del inglés GSM/EDGE Radio Access Network), UTRAN (del inglés UMTS Terrestrial Radio Access Network) y E-UTRAN (Evolved UTRAN). Las redes de acceso GERAN y UTRAN forman parte del sistema 3G UMTS mientras que E-UTRAN es la nueva red de acceso del sistema LTE que, como su nombre lo indica, es la evolución de la red de acceso UTRAN. Cada red de acceso define su propia interfaz radio para la comunicación con los equipos de usuario: GERAN, también denominada de forma habitual simplemente como GSM, utiliza un acceso basado en TDMA. Mientras que en UTRAN la tecnología utilizada es WCDMA. Y, por último, en E-UTRAN se ha apostado por la tecnología OFDMA. De la misma forma, la interconexión de las redes de acceso a la red troncal se realiza mediante interfaces AN-CN específicas.

- La red troncal (CN): se divide de forma lógica en un dominio de circuitos (del inglés Circuit Switched Domain, CS), un dominio de paquetes (del inglés Packet Switched Domain, PS) y el subsistema IP Multimedia (del inglés IP Multimedia Subsystem, IMS).

El dominio CS alberga a todas las entidades de la red troncal que participan en la provisión de servicios de telecomunicaciones basados en conmutación de circuitos, como por ejemplo, los servicios de voz y videoconferencia en redes UMTS. El dominio de circuitos de la red troncal es accesible a través de las redes de acceso UTRAN y GERAN. En cambio, el diseño de E-UTRAN no contempla el acceso al dominio CS ya que todos los servicios se proporcionan a través del dominio PS.

El dominio PS incluye a las entidades de la red troncal que proporcionan servicios de tele-comunicaciones basados en conmutación de paquetes: la información de usuario se estructura en paquetes de datos que se encaminan y transmiten por los diferentes elementos y enlaces de la red. Existen dos implementaciones diferentes del dominio PS: GPRS (del inglés General Packet Rasio System) y EPC (del inglés Envolved Packet Core). GPRS es la implementación del dominio PS que se desarrolló inicialmente en el contexto de redes GSM y que actualmente también forma parte del sistema UMTS. Los servicios de conectividad por paquetes de GPRS son accesibles tanto a través de UTRAN como de GE-RAN. Por otro lado, EPC es la nueva especificación del dominio PS desarrollada en el contexto del sistema LTE. EPC es una implementación evolucionada de GPRS que ha sido optimizada para proporcionar un servicio de conectividad IP a los equipos de usuario a través de E-UTRAN. El dominio EPC también ha sido concebido para soportar el acceso al servicio de conectividad IP desde las otras redes de acceso 3GPP, como las ya mencionadas UTRN y GERAN; así como desde redes no 3GPP, como WiMAX.

En la red troncal existen también elementos que soportan funciones asociadas a los diferentes dominios. Un ejemplo claro es la base de datos que contiene la información de los usuarios del sistema: el HSS (del inglés Home Subscriber Server), sobre la cual se sustenta la operación de los dominios CS y PS, así como del subsistema IMS.

También como parte de la red troncal, el subsistema IMS comprende los elementos de ésta relacionados con la provisión de servicios IP multimedia basados en el protocolo SIP (del inglés Session Initiation Protocol) de IETF (del inglés Internet Engineering Task Force 2). El subsistema IMS es responsable de la señalización asociada a los servicios multimedia y utiliza como mecanismo de transporte los servicios de transferencia de datos proporcionados por el dominio PS. El concepto IMS será explicado debidamente en el punto 2.2 de este capítulo [SCR2011].

En la FIGURA 2-2 se muestra la arquitectura de la red UMTS. Donde en resumen, la arquitectura de red de 3GPP se divide entre el dispositivo de usuario, el Core Network (que se encarga de realizar el control de llamadas y de gestionar todo lo relativo a la movilidad) y de la red de acceso (que controla la transmisión de paquetes vía radio y administra los recursos disponibles).

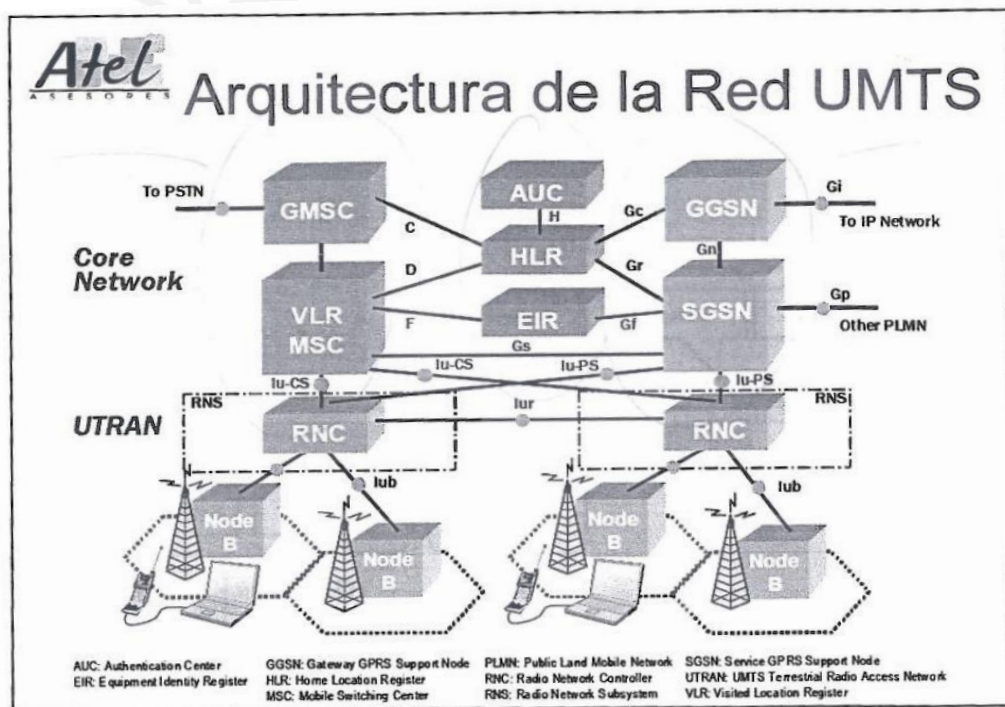
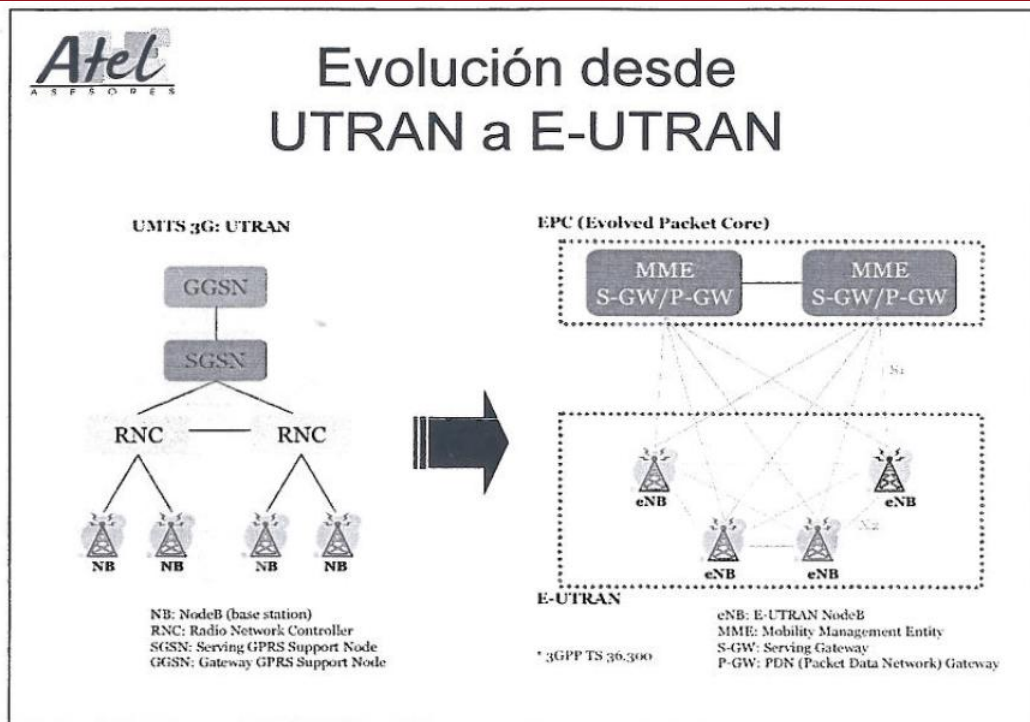


FIGURA 2- 2: Arquitectura de red UMTS
FUENTE: “LTE – LONG TERM EVOLUTION” [MAR2010]

Evolución de UTRAN a E-UTRAN

La arquitectura general 3GPP explicada en el anterior punto es fundamental para explicar la arquitectura general de LTE. Si partimos teniendo como eje la arquitectura general de UMTS, veremos que ésta evolucionó para adaptarse muy bien a GSM y a los requerimientos de la 2G, con una topología en estrella donde el RNC (del inglés Radio Network Controller) podía controlar cientos de Bases Stations (Estaciones Base, BS) o Nodos B sobre la interface IuB (interfaz que conecta el RNB con la BS o con el Nodo B, según sea el caso). Bajo este concepto, UTRAN tuvo que irse adaptando y mejorando, lo que terminó con una arquitectura complicada en la cual no existe comunicación directa entre las BS o Nodo B. A pesar de que el Nodo B es sencillo, el RNC es complejo y se encarga del manejo del tráfico y de los recursos de radio.

Por lo que se paso de UTRAN a E-UTRA, como se muestra en la FIGURA 2-3. Partiendo de este punto, E-UTRAN basado en OFDMA es más sencillo, sólo tiene un elemento: el eNode B o eNodo B, el cual está directamente conectado al EPC (más específicamente al Mobility Management Entity, ME) por medio de la interface S1, y entre ellos (entre los eNodo B) por la interface X2. De esta forma las mejoras que siempre son necesarias introducir se reparten entre el eNodo B y el Core Network. La conexión directa entre eNodos B contribuye a reducir los paquetes perdidos en los móviles cuando se hace handoff [MAR2010]. Los eNodo B permiten que los protocolos, tanto del plano de los usuarios como del de control, puedan comunicarse desde el UE hacia el EPC y viceversa. Por último, el E-UTRAN está dividido en dos capas: el Radio Network Layer (RNL) y la Transport Network Layer (TNL).



**FIGURA 2- 3: Evolución desde UTRAN a E-UTRAN
FUENTE: “LTE – LONG TERM EVOLUTION” [MAR2010]**

Paso hacia la arquitectura Final de LTE

Una vez tocado el anterior punto, concluimos que la arquitectura genera de LTE está integrada por cuatro grandes dominios: UE, E-UTRAN, EPC y el Dominio de Servicios, como se muestra en la FIGURA 2-4. UE, E-UTRAN y EPC representan la capa de conectividad IP; su rol principal es suministrar conectividad IP, es por ello que es optimizada. Todos los servicios que se ofrecen se buscan que sean en IP. En este sentido IMS es una excelente alternativa para ofrecer esto servicios. Precisamente la presente tesis tratará el tema de LTE empleando como dominio de servicios al subsistema IMS.

Con IMS se podrá ofrecer toda clase de servicios. Sin embargo, IMS debe tener los Gateway para comunicarse con las redes públicas basadas en conmutación de servicios, como la PSTN (Public Switched Telephone Network, Red de Telefonía Pública) o la PLMN (Public Land Mobile Network, Red Pública de Datos).

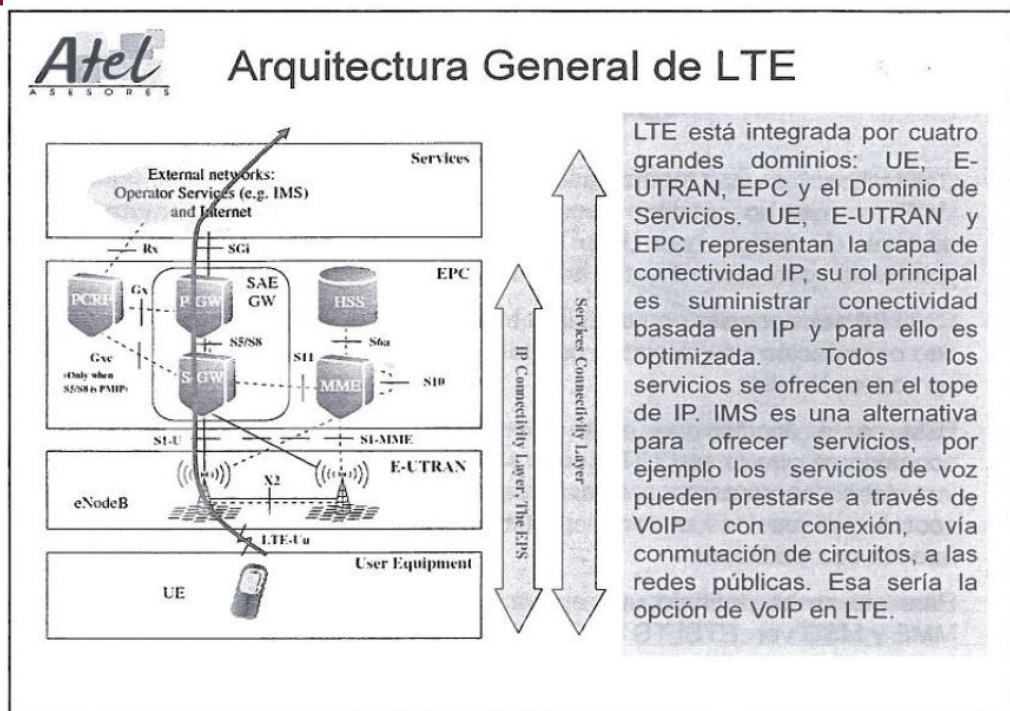


FIGURA 2- 4: Arquitectura General de LTE
FUENTE: “LTE – LONG TERM EVOLUTION” [MAR2010]

2.1.3 Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA)

OFDM es una técnica de multicanalización basada en el uso de varias subportadoras. Estas subportadoras son elegidas de tal manera que ninguno de sus espectros interfiera con la frecuencia central de las otras subportadoras. El estándar IEE 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.

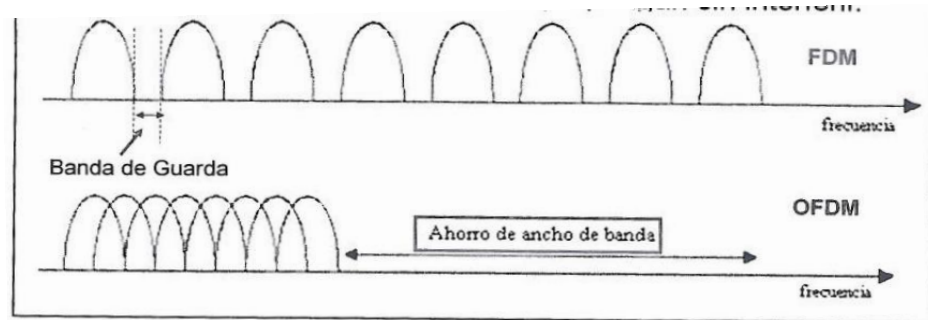


FIGURA 2- 5: Comparación en lo que respecta a ahorro de Ancho de Banda entre FDM y OFDM

FUENTE: “LTE – LONG TERM EVOLUTION” [MAR2010]

Como se aprecia en la FIGURA 2-5, OFDM puede ser considerada como una técnica de modulación y también una técnica de acceso múltiple. Si se da el caso en que las subportadoras 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 subportadoras. 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.

2.1.4 Simple Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA)

Como se mencionó en líneas anteriores, 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 subportadora, 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 subportadoras 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 [MAR2010].

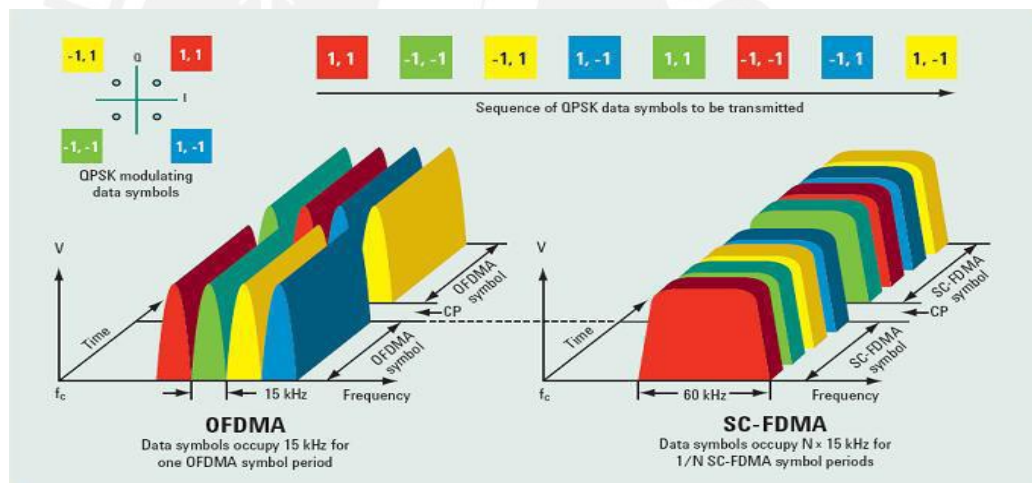


FIGURA 2- 6: Vista de OFDMA y SC-FDMA en forma gráfica
FUENTE: “3GPP LTE” [GPP2011]

2.1.5 Antenas MIMO

Las antenas MIMO forman una parte importante en el sistema de LTE con el fin de cumplir con altos rendimientos en la transmisión de la señal y el de tener una alta eficiencia espectral. MIMO se refiere a la utilización de muchas antenas tanto en el transmisor como en el receptor (de aquí su significado en inglés, Multiple Input Multiple Output).

En el ANEXO 1 se da mayor información sobre la organización de estas antenas.

2.1.6 Ventajas de LTE

Todo lo anteriormente explicado, coopera para que se pueda especificar las ventajas que significaría el hecho de emplear LTE.

- Con LTE será posible llegar a velocidades de hasta 200 Mbps.
- La latencia, es decir el retardo en la respuesta desde la red, será menor a 10 milisegundos.
- Se contará con una arquitectura de red basada únicamente en el protocolo IP que permitirá a los operadores reducir el costo de los servicios que ofrecen, y a su vez permitirá a los usuarios contar con nuevas posibilidades de servicios multimedia interactivos. Con ello, tendremos que el costo de esta tecnología se reducirá notablemente.
- Se generará una alta eficiencia en lo que respecta a los costos de operación de las redes, lo cual permitirá reducir el impacto ambiental en la zona donde esta se implemente.

2.1.7 Servicios en LTE

Existen otras redes que podrían ofrecer los servicios que ofrece LTE, sin embargo necesitarían de IMS para ser ofrecidos, en este punto LTE saca ventaja.

LTE podría ofrecer servicios tales como:

- Push to talk Over Cellular (PoC): se trata básicamente de los servicios de comunicación punto-punto o punto-multipunto que se ofrecen en las redes móviles.
- Presence: servicio que hace posible que los usuarios compartan información de sus actividades, ubicación actual, zona horaria donde se encuentran, etc.
- Multimedia Broadcast y Multicast Service (MBMS): son aquellos servicios como:
 - o Transmisión de audio y/o video: publicidad, suscripción ciertos servicios
 - o Descarga de audio y/o video
 - o Descarga de archivos: actualización de aplicaciones

- Telefonía Multimedia :
 - o VoIP: servicio de transmisión y recepción de voz a través de IP.
 - o Video Telefonía: servicio de telefonía con la particularidad de un video multimedia de la persona en tiempo real durante la llamada.

2.2 IP Multimedia Subsystem (IMS)

IMS fue definida inicialmente como: “un nuevo ‘dominio’ de núcleo de red.” En otras palabras: “Una nueva infraestructura de red móvil compuesta por una serie de elementos discretos” [NET2007].

Esta definición fue realizada por la 3GPP y aceptada tanto por la 3GPP2 como por la ETSI (del inglés European Telecommunications Standards Institute) y por WiMAX Forum.

Sin embargo, esta definición ciertamente no hace justicia a lo que en realidad significa IMS. IMS es una nueva forma de brindar servicios multimedia (voz, videos, datos, entre otros), independientemente del tipo de dispositivo (teléfono móvil, teléfono fijo, Internet, entre otros) y del tipo de acceso al medio (celular, Wi-Fi, Banda Ancha, entre otros) que se utilice: Con lo cual cambiará la forma en que nos relacionamos con nuestro mundo, cada vez más digital.

Aunque IMS fue creado inicialmente para aplicaciones de 3GPP y 3GPP2, su uso se fue extendiendo a tal punto que inclusive los proveedores de servicios de cableados se vieron obligados a buscar formas de integrar las tecnologías móviles a sus carteras. Hoy en día no hay obstáculos para su uso utilización en cualquier entorno de las telecomunicaciones.

2.2.1 Historia del IMS

Antes de llegar a lo que ahora es IMS, se pasó por diferentes conceptos de redes. Se inició con el IN (del inglés Initial Network), desarrollado en los años 80s y tenía como función principal el tener una red con una clara separación entre las funciones de conmutación y aquellas relacionadas con los servicios. Sin embargo, los despliegues de IN no cumplieron con todas estas pautas, sino que por el contrario se desarrollaron redes monolíticas y con muy poca flexibilidad [MAR2011].

Es así que se definió la Next Generation network (NGN), que fue definida en los años 90s. NGN planteó que se pase de una integración vertical a una horizontal. Ya que, mientras en la primera se tenía al acceso, al control y a los servicios, unidos en

una sola entidad. En la segunda se tienen estas funciones separadas en capas de acuerdo con protocolos específicos o APIs (del inglés Application Programming Interface). Esto ofrece una gran ventaja a la red, ya que así los servicios pueden ofrecerse y evolucionar independientemente del transporte (las técnicas de acceso y el backhaul para transportar las señales o datos de un punto a otro de la red).

NGN tenía como objetivo principal el desarrollar una red simple y flexible que permitirá la convergencia con otras redes así como la convergencia de servicios. Es así que el IETF (del inglés Internet Engineering Task Force) estandarizó el SIP, mientras que el 3GPP estandarizó IMS como una arquitectura basada en SIP con el objetivo de apoyar las redes GSM y la evolución de las tecnologías de radio.

En el año 2001, IMS se introdujo por primera vez en el 3GPP Release 5 donde solo se contempló a los usuarios de telefonía móvil. Esto quiere decir que solo se prestó atención a los usuarios que usan una red de acceso de radio (RAN). En este tipo de acceso se encuentran los usuarios de UMTS, CDMA2000 y GSM/GPRS, aunque estos últimos no aprovecharían enteramente la capacidad de una red IMS debido al ancho de banda limitado con el que trabajan.

Posteriormente, en el año 2003, se empleó en el 3GPP Release 6 donde se incorporó el acceso para redes inalámbricas tales como WLAN y WiMAX. Se vio necesaria también la implementación de un Gateway para este tipo de acceso, el cual es llamado Wireless Lan Gateway (WAG) y tiene como función el hacer que los datos de la red de acceso sean entendidos por la red núcleo.

Se fue extendido también al Release 7, en el año 2005, donde se implementó todo el acceso de las redes fijas, principalmente las redes DSL (del inglés Digital Subscriber Line) y Ethernet, para brindar mejores servicios de ancho de banda, servicios de voz continuos y servicios multimedia. Además, fue necesario implementar un Servidor de Acceso de Banda Ancha (BAS) para comunicar los datos entre la red de acceso y la red núcleo.

Finalmente, en el año 2007, se implementó el IMS en LTE. Esta relación será vista en detalle más adelante.

2.2.2 Arquitectura NGN

El NGN cuenta con una arquitectura dividida en dos estratos:

- **Estrato de Servicio:** es una parte del NGN que proporciona las funciones de usuario, como son el de transferir datos relacionados con el servicio, el de controlar y gestionar los recursos de servicio y los servicios de red para poder facilitar los servicios de usuario y aplicaciones.
- **Estrato de Transporte:** es la otra parte del NGN que proporciona las funciones de usuario, como son el de transferir datos, el de controlar y gestionar los recursos de transporte para poder llevar estas entidades entre entidades terminales. Básicamente, este estrato se encarga de brindar la conectividad entre dos puntos.

Es importante mencionar que cada estrato está formado por una o varias capas, las cuales están integradas por tres planos: el plano de usuario o de datos, el plano de control y el plano de gestión, como se muestra en la FIGURA 2-9.

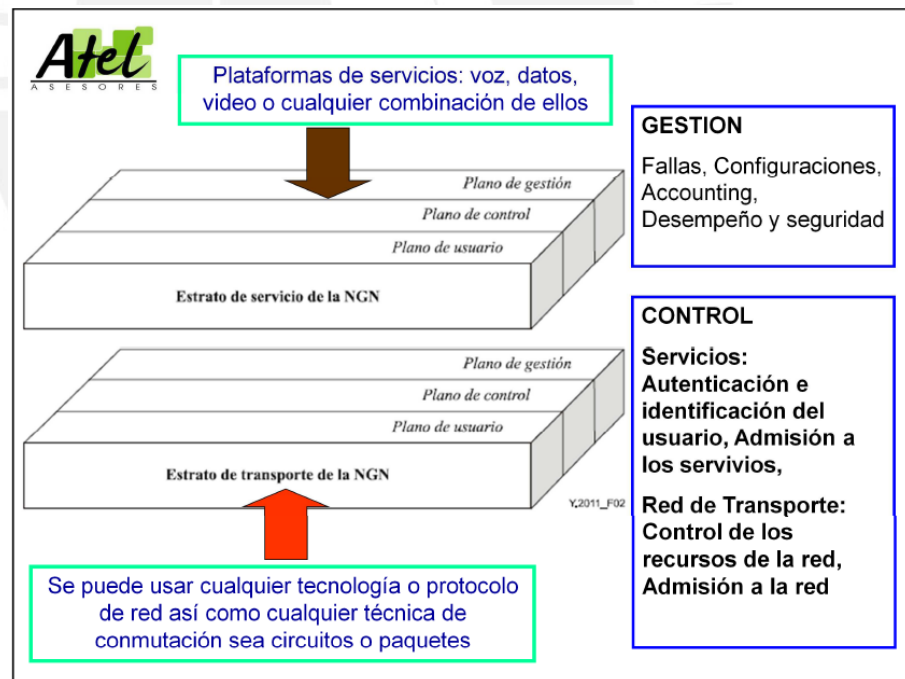


FIGURA 2- 7: Estratos de IMS
FUENTE: “IMS – IP MULTIMEDIA SUBSYSTEM” [MAR2011]

Este tipo de arquitectura tiene como ventaja el hecho de permitir a los operadores de las redes hacer cualquier tipo de modificación, actualización o adición en los

servicios sin necesidad de hacer ninguna intervención en la red de transporte [MAR2011].

2.2.3 Session Initiation Protocol (SIP)

SIP es un protocolo de señalización a nivel de la capa de aplicación para crear, modificar y terminar sesiones de comunicación entre uno o más participantes en una red basada en IP. Sus aplicaciones incluyen voz, video, juegos, mensajería, control de llamadas y presencia, pero no está limitado solo a esas. Está basado en HTTP (del inglés Hyper Text Transfer Protocol) y SNMP (del inglés Simple Management Protocol).

SIP fue creado con las siguientes finalidades:

- Que sea un protocolo de transporte neutralizado.
- Que sea capaz de correr sobre protocolos fiables, tales como TCP y SCTP; y sobre protocolos no fiables, como lo es UDP.
- Que la separación de la señalización de la información sea multimedia
- Que tenga capacidad para extenderse
- Que genere movilidad

Los elementos dentro del protocolo SIP pueden ser clasificados en: User Agents (UAs) e intermediarios (servidores). En el mundo ideal, las comunicaciones entre dos puntos finales (UAs) ocurren sin necesidad de intermediarios, pero no siempre se da el caso en el que el administrador de red y los proveedores de servicios quieran tener todo el tráfico en la red. La FIGURA 2-10 muestra una configuración típica de red, denominada "Trapezoide SIP".

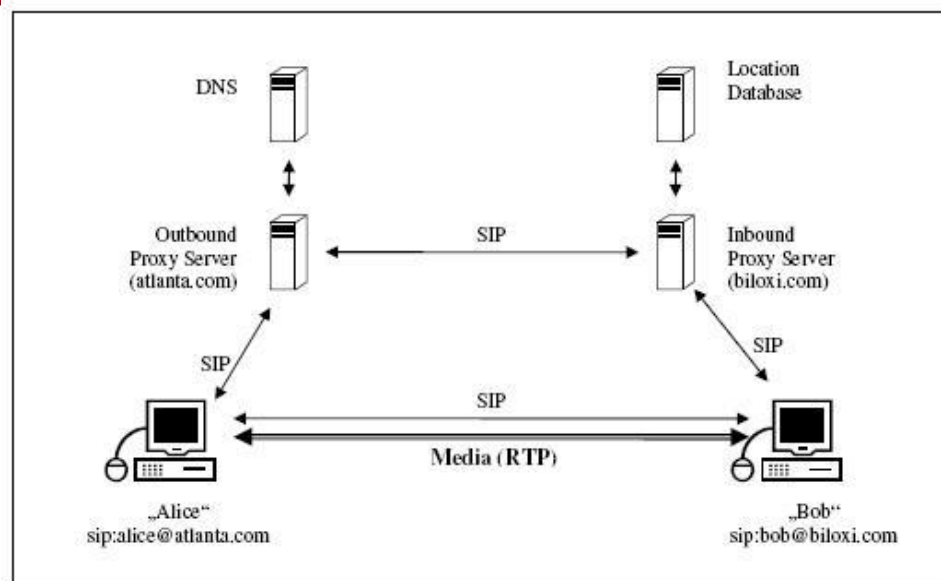


FIGURA 2- 8: Trapezoide SIP
FUENTE: "TRAPEZOIDE" [TKS2007]

Los UA SIP o terminales son el punto final de los diálogos: envían y reciben requerimientos y respuestas SIP y son el punto final del flujo multimedia; éstos son usualmente los UE (User Equipment) que tienen una aplicación en el terminal o un hardware dedicado. Los UAs constan de dos partes: UAC (User Agent Client) que es la aplicación que inicia los requerimientos, y el UAS (User Agent Server) que es el que acepta, redirecciona o rechaza los requerimientos y envía respuestas a los requerimientos en nombre del usuario.

Los intermediarios SIP, por el contrario, son entidades lógicas por donde pasan los mensajes SIP en su camino hacia su destino final. Estos intermediarios son usados para enrutar y redireccionar los requerimientos. Los servidores pueden ser:

- Servidores Proxy
- Servidores de redireccionamiento
- Servidores de ubicación
- Registradores
- Servidores de Aplicación
- B2BUA (del ingles Back-to-back-user-agent)

2.2.4 Arquitectura IMS

IMS es un ejemplo de una red NGN, por lo tanto su arquitectura se basa en gran medida en la arquitectura general NGN. Como ya se dijo, se basa en el uso del protocolo SIP para el control de las sesiones y además ofrece a los operadores la posibilidad de construir redes abiertas basadas totalmente en IP.

La arquitectura IMS es unificada y en capas, con lo cual será más sencillo el poder gestionar el movimiento de los paquetes a través de la red. En total son tres capas:

- **Capa de conectividad/transporte:** esta capa está compuesta por los equipos necesarios para la red troncal IP, así como los necesarios para el acceso a la red. Es aquí donde se encuentra la interfaz necesaria para todo tipo de red o dispositivo que requiera acceder a la red IMS (en la FIGURA 2-11 se muestran estas interfaces representadas por la red IP/MPLS y por la red PSTN). Además, es importante indicar que todos los dispositivos están conectados a la red IMS a través de esta capa, por lo que es considerado como un punto de entrada y salida de la red.
- **Capa de Control:** esta capa está compuesta por los equipos necesarios para la gestión del establecimiento de llamadas, la modificación de la misma y su liberación. Los componentes más importantes de la capa de control son: el servidor CSCF (del inglés Call Session Control Function) que es básicamente un servidor SIP que gestiona llamadas, así como la sesión de protocolos de enrutamiento. También tenemos al HSS (del inglés Home Subscriber Server) que es una base de datos que almacena el perfil de servicio para cada usuario.
- **Capa de Servicio:** esta capa está compuesta por servidores de aplicaciones SIP para recibir, procesar y almacenar datos proporcionando diversos servicios a los usuarios.

Las tres capas desarrolladas se muestran en la FIGURA 2-11.

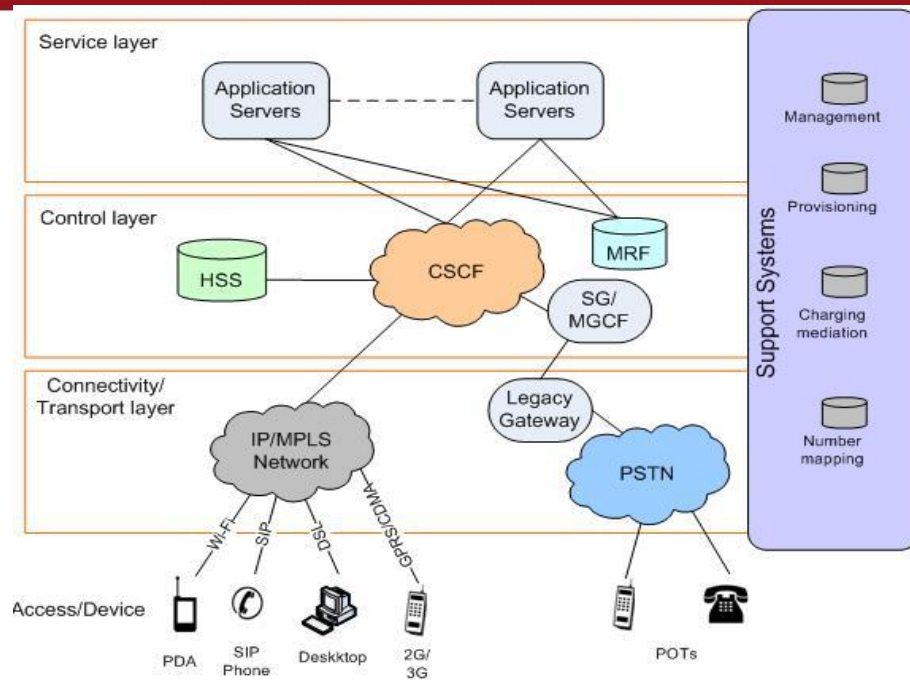


FIGURA 2- 9: Arquitectura General de IMS
FUENTE: “IMS TUTORIAL” [TUT2010]

Como se puede apreciar, con esta arquitectura el objetivo de IMS es soportar aplicaciones que incluyan varios medios como voz, datos y vídeo o cualquier mezcla de ellos con la posibilidad de incluir o excluir componentes de cualquier tipo de medio durante una sesión determinada en una red totalmente IP, a esto se le denomina Aplicaciones IP Multimedia. El soporte eficiente de estas aplicaciones está basado en la premisa de que la red puede separar los diferentes flujos de paquetes de las aplicaciones durante una sesión multimedia; los flujos de paquetes al pertenecer a servicios diferentes tienen también diferente QoS (del inglés Quality of Service – Calidad de Servicio) [MAR2011].

La red totalmente IP de la que tanto se habla, es posible gracias a la IP-CAN (del inglés IP-Connectivity Access Network), que es un grupo de entidades de red e interfaces que suministran la conectividad IP entre el UE (User Equipment) y las entidades de la red IMS.

2.2.5 IMS y LTE

Como habíamos dicho anteriormente, IMS ha sido estandarizado de tal manera que ahora es posible su implementación en diferentes tecnologías de red. Es así, que al surgir 3GPP vio con buenos ojos el implementar IMS en el sistema LTE. Esta implementación se muestra en la FIGURA 2-12.

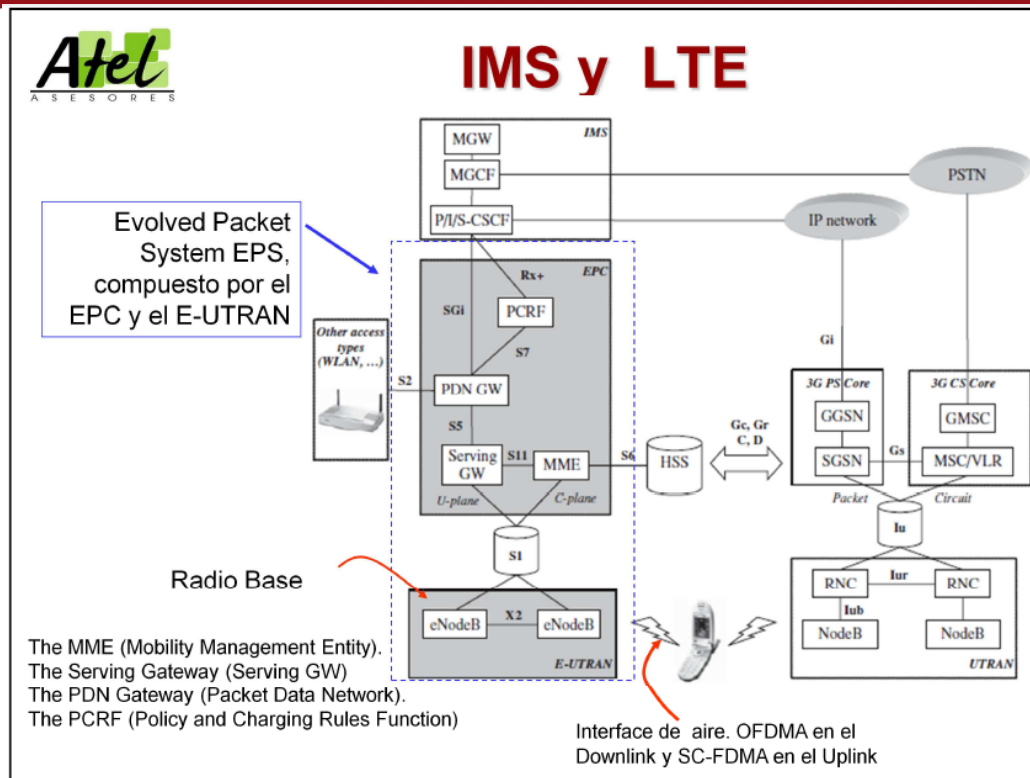


FIGURA 2- 10: IMS y LTE
FUENTE: “IMS – IP MULTIMEDIA SUBSYSTEM” [MAR2011]

En ella LTE se encarga de realizar todas las funciones de transporte (acceso y backhaul), mientras que IMS se encarga de todo lo relacionado con los servicios. Dado que IMS y LTE han sido estandarizados, como ya se dijo, por 3GPP existe un camino natural para que los servicios de LTE sean prestados a través de IMS. En particular los servicios de voz y SMS (del inglés Short Message Service) en LTE, se desarrollarán a través de IMS [MAR2011].

2.2.6 Ventajas de IMS

Las ventajas que nos brinda IMS puede ser visto tanto desde el lado de usuario como del lado del proveedor del servicio:

Ventajas para el Usuario

- Su implementación junto con LTE, permitirá tener una comunicación fluida, independientemente de la ubicación del usuario y la plataforma de comunicación que se esté empleando.
- Todos los servicios, tales como voz, video, SMS, conferencias, IPTV, entre otros, estará disponible en el dispositivo que se utilice. Esto proporcionará al usuario una experiencia multimedia satisfactoria.

- Los usuarios podrán ser capaces de personalizar sus necesidades de comunicación como deseen. Esto quiere que podrán predeterminar el tipo de comunicación que deseen para determinado contacto.
- Los usuarios serán capaces de pasar del entorno de convergencia de fijo a móvil sin interrumpir la comunicación.
- Se contará con una comunicación muy segura.

Ventajas para los Proveedores de Servicio

- El uso del backhaul IP de IMS proporcionará un transporte optimizado y codificado.
- IMS proporciona una plataforma estandarizada con componentes reutilizables para el desarrollo de nuevos servicios. Esto reducirá el tiempo de desarrollo de los servicios y permitirá así el despliegue de nuevos servicios multimedia de forma rápida, lo cual será beneficioso para la empresa en este mercado tan competitivo.
- La calidad de servicio (QoS), ha sido siempre un problema para los servicios IP. Es por ello que IMS fue diseñado teniendo en cuenta esto. Por lo que está garantizado anchos de banda adecuados para los servicios.
- IMS permite a los usuarios pagar solo por los servicios utilizados. Por lo que estaríamos hablando de un sistema flexible para la función de generar los cobros por servicio.
- Los estándares abiertos de IMS permite la interconexión de redes así como la interoperabilidad entre varios proveedores de servicios. Esto permitirá, a los proveedores de servicio, ofrecer una comunicación fluida entre los usuarios, independientemente de la red y que dispositivo se esté empleando.
- La arquitectura abierta con que cuenta IMS, la disponibilidad de los servicios comunes y la convergencia de la red troncal IP reduce la complejidad del sistema, con lo que se reducirán los gastos de capital y los gastos operativos para los operadores.
- Los operadores será capaces de desarrollar nuevos software de aplicación, sin perder el control sobre su red.



Capítulo 3

DETERMINACIÓN DE LAS NECESIDADES

3.1 Estudio Socioeconómico de la zona

De acuerdo al XI Censo de Población y VI de Vivienda del 2007 realizado por el Instituto Nacional de Estadísticas e Informática (INEI) se obtuvo que la Población en Edad de Trabajar (PET) de 14 y más años de edad ascendía a la suma de 658 mil 21 personas. Mientras que, la Población Económicamente Activa (PEA), asciende a 366 mil 706 personas, de las cuales se tiene que 224 mil 868 son hombres y 141 mil 838 son mujeres. Además, del total de personas que conforman la PEA de la Provincia Constitucional del Callao, 350 mil 505 personas tienen empleo y 16 mil 201 se encuentran desempleados.

Por otro lado, centrándonos en el distrito del Callao tenemos que la PET la conforman 319 mil 471 personas. Mientras que la PEA asciende a 176 mil 640 personas, de la cuales se tiene que 109 mil 784 son hombres y 66 mil 856 son mujeres. De acuerdo a estos datos podremos hacer una proyección de estos valores a la actualidad.

3.1.1 POBLACIÓN EN EDAD DE TRABAJAR (PET)

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. También se le conoce como Población en Edad Activa.

De acuerdo a los resultados del Censo del 2007, la población del distrito del Callao que tiene edad para desempeñar una actividad económica, es de 319 mil 471 personas. Al compara estos datos con los registrados en el Censo de 1993, se ha incrementado en 54 mil 783 personas, lo que representa una tasa de crecimiento anual de 1.3%, superior a la tasa de crecimiento anual de la población que es 0.8%. Con lo cual se puede hacer la proyección al año 2012. En la TABLA 3-1 se muestra los datos de la PET y la tasa de crecimiento poblacional del distrito del Callao comparándola con la de la Provincia Constitucional del Callao para los Censos tanto de 1993 como del 2007 y la proyección al año 2012.

TABLA 3 - 1: PET Y Tasa de Crecimiento Poblacional

FUENTE: "INEI" [INE2007]

		Provincia Constitucional del Callao	Distrito del Callao
Censo 1993	PET	460,245 personas	264,688 personas
	% del Total de Población	71.9 %	71.6 %
Censo 2007	PET	658,021 personas	319,471 personas
	% del Total de Población	75.0 %	76.8 %
Proyección al 2012	PET	747,619 personas	341,676 personas
	% del Total de Población	76.2 %	78.8 %
Tasa de Crecimiento Promedio Anual		2.586 %	1.353 %

De este grupo de la PET obtenido para el distrito del Callao, de acuerdo al Censo 2007, el 39.1% tiene entre 14 a 29 años de edad, el 48.2% tiene entre 30 a 59 años y el 12.7% tiene de 60 años a más. De estos datos obtendremos la proyección al año 2012.

En la TABLA 3-2 se muestra la PET según grupos de edades, tanto para la Provincia Constitucional del Callao como para el distrito del Callao, tanto para el Censo de 1993 como para el Censo del 2007 y la proyección al año 2012.

TABLA 3 - 2: Distribución de la PET según Grupo de edades

FUENTE: "INEI" [INE2007]

Grupos de edad	Censo de 1993	Censo del 2007	Proyección al 2012
De 14 a 29 años (%)	39.3 %	39.1 %	39.0 %
De 30 a 59 años (%)	48.4 %	48.2 %	48.16 %
De 60 a más años (%)	12.3 %	12.7 %	12.84 %
% Total	100.0 %	100.0 %	100.0 %

3.1.2 Aeropuerto Internacional Jorge Chávez (LAP)

El Aeropuerto Internacional Jorge Chávez, también conocido como Lima Airport Partners (LAP), 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 del servicio en dicho aeropuerto. Para ello, se va a analizar la cantidad de afluencia tanto del público nacional como del internacional. En la TABLA 3-3 se muestra la cantidad de extranjeros que frecuentan el aeropuerto mensualmente. Este recuento va desde el mes de enero del año 2010 hasta el mes de abril del año 2012.

TABLA 3 - 3: Afluencia mensual de extranjeros en el LAP

FUENTE: "MINCETUR" [MIN2012]

	2010 (personas)	2011 (personas)	2012 (personas)	VARIACIÓN PORCENTUAL ANUAL	
				2011/2010	2012/2011
TOTAL	1,277,290	1,454,110	487,625		
Enero	99,340	110,326	118,978	11.10	7.80
Febrero	85,255	102,730	112,521	20.50	9.50
Marzo	93,799	115,503	131,392	23.10	13.80

	2010 (personas)	2011 (personas)	2012 (personas)	VARIACIÓN PORCENTUAL ANUAL	
				2011/2010	2012/2011
Abril	90,786	111,421	124,734	22.70	11.90
Mayo	103,648	114,793		10.80	
Junio	114,058	126,484		10.90	
Julio	132,532	145,375		9.70	
Agosto	116,454	128,404		10.30	
Septiembre	106,888	121,549		13.70	
Octubre	113,626	131,500		15.70	
Noviembre	108,434	120,674		11.30	
Diciembre	112,470	125,351		11.50	

Se observa que la concurrencia de extranjeros varía cada año significativamente, siendo el mes de julio el mes donde se tiene más concurrencia. Analizando tasa de variación entre la Variación Porcentual Anual del 2011/2010 y el 2012/2011, se observa que esta es decrece en promedio 44.9 %, por lo que en el mes de julio se tendría aproximadamente una variación porcentual 2012/2011 de 5.34 %. Lo que nos indica que en el mes de julio aproximadamente 153 mil 139 extranjeros frecuentaría el aeropuerto.

Sin embargo, si queremos hacer un análisis más riguroso, podremos analizar la afluencia de público día por día en el mes de julio del 2011. La FIGURA 3-1 muestra estos resultados.

Día 01	5 160	Día 02	4 572	Día 03	4 385	Día 04	5 171
Día 05	4 316	Día 06	4 789	Día 07	4 502	Día 08	5 059
Día 09	4 567	Día 10	5 271	Día 11	5 294	Día 12	4 296
Día 13	4 978	Día 14	4 849	Día 15	5 322	Día 16	4 687
Día 17	5 236	Día 18	5 257	Día 19	4 719	Día 20	4 846
Día 21	4 689	Día 22	4 678	Día 23	4 536	Día 24	4 234
Día 25	4 335	Día 26	4 449	Día 27	4 382	Día 28	3 822
Día 29	4 545	Día 30	4 126	Día 31	4 303	TOTAL	145 375

FIGURA 3 - 1: Afluencia diaria de extranjeros en Julio 2011

Fuente: MINCETUR [MIN2012]

Se observa que el pico diario más alto es de 5 mil 322 personas extranjeras. Por lo que realizando la proyección a julio del 2012, se podría tener picos de aproximadamente 5 mil 610 extranjeros por día en dicho mes. Debido a que en toda proyección siempre hay un rango de error, se trabajará en promedio con 5 mil 700 personas extranjeras que frecuentan el aeropuerto diariamente.

Ahora, analizando al público nacional que visita el Aeropuerto Internacional Jorge Chávez mensualmente, tenemos en la TABLA 3-4 este comportamiento. Este recuento va desde el mes de enero del año 2009 hasta el mes de febrero del año 2012.

TABLA 3 - 4: Afluencia mensual de nacionales en LAP

FUENTE: "MINCETUR" [MIN2012]

	2009 (personas)	2010 (personas)	2011 (personas)	2012 (personas)	VARIACIÓN PORCENTUAL ANUAL	
					2011/2010	2012/2011
TOTAL	875,916	935,066	1,000,720	124,299		
Enero	82,473	82,043	86,264	91,146	5.10	5.70
Febrero	74,267	74,857	84,657	33,153	13.00	-60.80
Marzo	76,325	78,951	87,693		11.10	
Abril	68,668	71,086	78,180		10.00	
Mayo	73,437	80,937	88,763		9.70	
Junio	62,538	68,149	73,501		0.90	
Julio	78,530	83,750	91,726		9.50	
Agosto	71,418	81,712	83,690		2.40	
Septiembre	14,240	76,736	80,904		5.40	
Octubre	78,393	86,252	89,347		3.60	
Noviembre	67,987	74,077	75,798		2.30	
Diciembre	67,640	76,516	80,197		4.80	

Se observa que la concurrencia de extranjeros varía cada año significativamente, siendo una vez más el mes de julio el mes donde se tiene más concurrencia. Analizando tasa de variación entre la Variación Porcentual Anual del 2011/2010 y el 2012/2011, se observa que esta tiene un notable decrecimiento en el mes de febrero, lo cual es algo atípico. Por ello se ha visto tomar como referencia la

Variación Porcentual Anual del 2011/2010 (5.1%) y el 2012/2011 (5.7%) para ver que en mes de enero se tiene una tasa de variación creciente en estos puntos de aproximadamente 11.76 %. Es así que tendremos que en el mes de julio se tendría aproximadamente una variación porcentual 2012/2011 de 10.62 %. Lo que nos indica que en el mes de julio aproximadamente 101 mil 470 extranjeros frecuentaría el aeropuerto.

Sin embargo, si queremos hacer un análisis más riguroso, podremos analizar la afluencia de público día por día en el mes de julio del 2011. La FIGURA 3-2 muestra estos resultados.

Día 01	2 120	Día 02	2 739	Día 03	2 597	Día 04	2 793
Día 05	2 444	Día 06	2 689	Día 07	2 149	Día 08	2 611
Día 09	2 217	Día 10	2 747	Día 11	2 788	Día 12	2 516
Día 13	2 810	Día 14	2 726	Día 15	3 033	Día 16	2 361
Día 17	2 950	Día 18	3 226	Día 19	2 958	Día 20	3 589
Día 21	3 199	Día 22	3 813	Día 23	3 574	Día 24	4 052
Día 25	3 493	Día 26	3 598	Día 27	4 180	Día 28	3 738
Día 29	2 695	Día 30	2 622	Día 31	2 699	TOTAL	91 726

FIGURA 3 - 2: Afluencia diaria de nacionales en Julio 2011

Fuente: "MINCETUR" [MIN2012]

Se observa que el pico diario más alto es de 4 mil 180 personas nacionales. Por lo que realizando la proyección a julio del 2012, se podría tener picos de aproximadamente 4 mil 625 extranjeros por día en dicho mes.

Tomando en cuenta que la única referencia en el año 2012 que se tiene es la del mes de enero, se le dará un rango de error mayor, por lo que se trabajará con un promedio de 4 mil 800 personas nacionales que frecuentan el aeropuerto diariamente.

3.2 Determinación de la demanda

De acuerdo a datos estadísticos realizados a grandes escalas por algunos operadores, se sabe que la penetración de servicios 3G en el Perú está entre los 5 y 10%. De los cuales, tenemos que aproximadamente el 70% de las personas que conforman la PET el departamento de Lima y la Provincia Constitucional del Callao, no cuentan con servicios 3G o LTE. Se ha elegido evaluar la PET ya que si bien es cierto es correcto 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 del Callao que no cuentan con estos servicios.

En la TABLA 3-5 se muestra la cantidad de personas sin este servicio y la cantidad de personas que ya cuentan con ello, sea por operadores como América Móviles, Movistar Perú o Nextel del Perú.

TABLA 3 - 5: Proporción de personas sin servicio 3G o LTE

FUENTE: "INEI" [INE2007]

	Distrito del Callao
PET	341,676 personas
Personas que no cuentan con servicios 3G o LTE	239,173 personas
Porcentaje de personas sin 3G o LTE	70.0 %

Por lo tanto, a lo que se apunta es a conseguir que este grupo de personas (239 mil 173 personas) opten por nuestros servicios. Sin embargo, también debemos apuntar a captar la atención de usuarios de los otros operadores antes mencionados. De acuerdo a proyecciones, se estima que este porcentaje puede llegar a ser el 10% de las personas que ya cuentan con servicios 4G independientemente del operador al que pertenezcan.

En la TABLA 3-6 se muestra esta cantidad de personas de las que se desea captar su atención que pertenecen a otros operadores.

TABLA 3 - 6: Proporción de personas pertenecientes a otros operadores de las que se desea captar su atención

FUENTE: "ELABORACIÓN PROPIA"

	Distrito del Callao
Personas que cuentan con servicios 3G o LTE	102,503 personas
Personas de otro operador de las que se desea captar su atención	10,251 personas
Porcentaje personas a captar su atención	10.0 %

De estos resultados, en la TABLA 3-7 tenemos la cantidad de personas en las que se centrará la atención para brindarles nuestro servicio.

TABLA 3 - 7: Total de personas a las que apunta nuestros servicios
FUENTE: “ELABORACIÓN PROPIA”

	Distrito del Callao
Personas que no cuentan con servicios 3G o LTE	239,173 personas
Personas de otro operador de las que se desea captar su atención	10,251 personas
Total de personas en las que se centrará la atención	249,424 personas

De este resultado tenemos que apuntamos 249 mil 424 personas, lo que representa el 73% de la PET.

Pero, además de ellos hay que tomar en cuenta a la cantidad de personas que frecuentan diariamente el Aeropuerto Internacional Jorge Chávez. Se sabe que aproximadamente 5 mil 700 extranjeros y 4 mil 800 nacionales visitan el aeropuerto diariamente.

De los extranjeros, se estima que el 70% cuenta con equipos con acceso a servicios 3G o LTE, mientras que el 30% de los nacionales cuentan con dicho servicio, como se observa en la TABLA 3-8.

TABLA 3 - 8: Número de personas con 3G o LTE en LAP
FUENTE: “ELABORACIÓN PROPIA”

	Personas en el Aeropuerto Jorge Chávez	Personas con dispositivos con acceso 3G o LTE	Penetración de servicios 3G o LTE
Turistas	5,700 personas	3,990 personas	0.7
Población Nacional	4,800 personas	1,440 personas	0.3

Por lo tanto el número de personas en las que se centrará nuestra atención en el Aeropuerto Internacional Jorge Chávez es de 5 mil 430 personas. Si a esta cantidad

le sumamos de personas iniciales a las que apuntaba nuestro servicio (249 mil 424), tendremos que nuestra población objetivo es de 254 mil 854 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 de las personas a las que se apunta brindar nuestros servicios, lo conseguiremos en el 80% de los mismos.

En la TABLA 3-9 se muestra la cantidad de personas a las que se les brindaría nuestro servicio en este escenario.

TABLA 3 - 9: Personas a las que finalmente se les brindará el servicio en un escenario optimista

FUENTE: "ELABORACIÓN PROPIA"

	Distrito del Callao
Porcentaje del escenario	80.0 %
Total de personas en las que se centrará la atención	254,854 personas
Personas a las que finalmente se les brindará nuestros servicios	203,883 personas

ESCENARIO MODERADO

Este escenario que es el más realista de los tres se tiene planeado que de las personas a las que se apunta brindar nuestros servicios, lo conseguiremos en el 40% de los mismos.

En la TABLA 3-10 se muestra la cantidad de personas a las que se les brindaría nuestro servicio en este escenario.

TABLA 3 - 10: Personas a las que finalmente se les brindará el servicio en un escenario moderado

FUENTE: “ELABORACIÓN PROPIA”

	Distrito del Callao
Porcentaje del escenario	40.0 %
Total de personas en las que se centrará la atención	254,854 personas
Personas a las que finalmente se les brindará nuestros servicios	101,941 personas

ESCENARIO PESIMISTA

Este escenario como su nombre lo indica es el peor de los 3 y se tiene planeado que de las personas a las que se apunta brindar nuestros servicios, lo conseguiremos en el 10% de los mismos.

En la TABLA 3-11 se muestra la cantidad de personas a las que se le brindaría nuestro servicio en este escenario.

TABLA 3 - 11: Personas a las que finalmente se les brindará el servicio en un escenario pesimista

FUENTE: “ELABORACIÓN PROPIA”

	Distrito del Callao
Porcentaje del escenario	10.0 %
Total de personas en las que se centrará la atención	254,854 personas
Personas a las que finalmente se les brindará nuestros servicios	25,485 personas

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 la cantidad de personas a las que les brindaremos el servicio será de 101 mil 941 personas.

En la TABLA 3-12 se muestra la proporción que significaría esta cantidad de personas en relación a la PET y a la Población en general del distrito del Callao.

TABLA 3 - 12: Relación de la cantidad de personas a las que se les brindará el servicio respecto a la PET y a la Población Total

FUENTE: “ELABORACIÓN PROPIA”

	Distrito del Callao
Personas a las que finalmente se les brindará nuestros servicios	101,941 personas
Porcentaje respecto a la PET	29.84 %
Porcentaje respecto a la Población Total	24.41 %

3.3 Servicios a ofrecer

Se está pensado implementar tres planes de servicios 4G LTE, teniendo como modalidad el contrato anual.

Básicamente, estos planes están pensados en ofrecerle al cliente servicios de mayor flexibilidad al momento de buscar entretenimiento y de interactuar con la web.

Como características estándares, los tres planes ofrecen comunicación por voz, comunicación por texto y navegación ilimitada por la web en todo el país. Teniendo como principal ventaja que todos los impuestos y los honorarios reglamentarios se incluyan en precio inicial del plan. Dicho ello, los tres planes propuestos son:

PLAN BÁSICO

El Plan Básico cuenta con las características mostradas en la TABLA 3-13.

TABLA 3 - 13: Características del plan básico

FUENTE: “ELABORACIÓN PROPIA”

TIPO DE PLAN	DATOS MENSUALES	VELOCIDAD EN EL UPLINK (Mbps)	VELOCIDAD EN EL DOWNLINK (Mbps)	MINUTOS PARA LLAMAR	TARIFA (USD)	COSTO POR GB ADICIONAL (USD)
BÁSICO 1	1 GB	1	2	30	16	5
BÁSICO 2	3 GB	1	3	50	28	5

PLAN JOVEN

El Plan Joven cuenta con las características mostradas en la TABLA 3-14.

TABLA 3 - 14: Características del plan joven

FUENTE: "ELABORACIÓN PROPIA"

TIPO DE PLAN	DATOS MENSUALES	VELOCIDAD EN EL UPLINK (Mbps)	VELOCIDAD EN EL DOWNLINK (Mbps)	MINUTOS PARA LLAMAR	TARIFA (USD)	COSTO POR GB ADICIONAL (USD)
JOVEN 1	5 GB	2	3	70	36	5
JOVEN 2	10 GB	2	4	90	48	5

PLAN EMPRESA

El Plan Empresa cuenta con las características mostradas en la TABLA 3-15.

TABLA 3 - 15: Características del plan empresa

FUENTE: "ELABORACIÓN PROPIA"

TIPO DE PLAN	DATOS MENSUALES	VELOCIDAD EN EL UPLINK (Mbps)	VELOCIDAD EN EL DOWNLINK (Mbps)	MINUTOS PARA LLAMAR	TARIFA (USD)	COSTO POR GB ADICIONAL (USD)
EMPRESA 1	15 GB	3	4	120	60	5
EMPRESA 2	30 GB	4	5	150	80	5

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.

Además, como se observa en las tablas, se cobra un monto adicional por GB Adicional que se necesite una vez consumido los datos mensuales otorgados por cada plan. Estos datos adicionales se pueden elegir en los tres planes y cuestan lo mismo.



Capítulo 4

INGENIERÍA DE PROYECTO

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

Al igual que en Estados Unidos, en el Perú se piensa licitar las bandas de 700 MHz y la AWS para asignarlas a LTE. En la presente tesis, se trabajará con la banda AWS porque principalmente se trata de una banda que será en otros países de la región como México, Chile, Colombia, Uruguay y otros más tienen en sus planes a esta banda, lo que favorecerá el futuro roaming en esta tecnología.

En el ANEXO 2 se brindan más detalles de esta banda; así como el cálculo de la cobertura teórica para un eNodo B.

4.1 Cálculo del número de eNodos B

Si se sabe que el distrito del Callao cuenta con una superficie total de 45.65 km², entonces se necesitarían un total de 11 eNodos B para cubrir toda el área superficial del distrito del Callao. Sin embargo, esta es solo una cantidad referencial ya que para hallar el número de eNodos B a necesitar, es necesario hallar la cantidad de tráfico total que se tendrá para el distrito.

Es por ello que en la TABLA 4-1 se muestra la distribución de los clientes de acuerdo al tipo de servicio.

TABLA 4 - 1: Distribución de los clientes
FUENTE: “ELABORACIÓN PROPIA”

NUMERO DE CLIENTES	PLAN DE CONSUMO	PORCENTAJE DE CONSUMIDORES	CLIENTES POR PLAN DE CONSUMO	ALTERNATIVA DE CONSUMO	PORCENTAJE DE CONSUMIDORES	CLIENTES POR ALTERNATIVA
25485	Básico	50%	6970	Básico 1	60%	7646
				Básico 2	40%	5097
	Joven	30%	1743	Joven 1	50%	3822
				Joven 2	50%	3823
	Empresa	20%	1743	Empresa 1	70%	3568
				Empresa 2	30%	1529

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 servicios se cuenta con un Factor de Simultaneidad de 40% y un Factor de Overbooking de 10 [TEL2010]. Por lo que se realizará el cálculo teniendo presente la siguiente fórmula:

$$\text{Consumo (Mbps)} = \frac{[N^{\circ}\text{clientes} * \text{Factor de Simult.} * \text{Velocidad (Mbps)}]}{\text{Factor de Overb.}}$$

Se analizará según el tipo de servicio.

- **SERVICIO “BÁSICO”**

En la TABLA 4-2 se muestra el consumo total en Mbps para el servicio Básico en lo que respecta a los datos.

TABLA 4 - 2: Consumo de datos para el servicio básico
FUENTE: “ELABORACIÓN PROPIA”

TIPO DE SERVICIO	NUMERO DE CLIENTES	FACTOR DE SIMULTANEIDAD	VELOCIDAD (Mbps)	FACTOR DE OVERBOOKING	CONSUMO POR TIPO DE SERVICIO (Mbps)
Básico 1	7646	40%	2	10	611.68
Básico 2	5097		2		407.76
TOTAL					1019.44

- **SERVICIO “JOVEN”**

En la TABLA 4-3 se muestra el consumo total en Mbps para el servicio Joven en lo que respecta a los datos.

TABLA 4 - 3: Consumo de datos para el servicio joven
FUENTE: “ELABORACIÓN PROPIA”

TIPO DE SERVICIO	NUMERO DE CLIENTES	FACTOR DE SIMULTANEIDAD	VELOCIDAD (Mbps)	FACTOR DE OVERBOOKING	CONSUMO POR TIPO DE SERVICIO (Mbps)
Joven 1	3822	40%	3	10	458.64
Joven 2	3823		3		458.76
TOTAL					917.4

- **SERVICIO “EMPRESA”**

En la TABLA 4-4 se muestra el consumo total en Mbps para el servicio Empresa en lo que respecta a los datos.

TABLA 4 - 4: Consumo de datos para el servicio empresa
FUENTE: “ELABORACIÓN PROPIA”

TIPO DE SERVICIO	NUMERO DE CLIENTES	FACTOR DE SIMULTANEIDAD	VELOCIDAD (Mbps)	FACTOR DE OVERBOOKING	CONSUMO POR TIPO DE SERVICIO (Mbps)
Empresa 1	3568	40%	4	10	570.88
Empresa 2	1529		5		305.8
TOTAL					876.68

CONSUMO DE VOZ

Para el cálculo de consumo de voz, se tiene en cuenta que para los 3 servicios se cuenta con un Factor de Simultaneidad de 25% y un Factor de Overbooking de 1 [TEL2010]. Además, se considera que la llamada promedio por clientes es de 2 minutos, con lo que utilizando la Calculadora de Erlang B se tiene un consumo promedio por cliente de 33.34 mErl. Con ello, se realizará el cálculo teniendo presente la siguiente fórmula:

$$\text{Consumo (mErl)} = \frac{\text{N}^{\circ}\text{clientes} * \text{Fac.Simult.} * \text{Cons.Prom.Cliente (mErl)}}{\text{Fac.Overb.}}$$

Se analizará según el tipo de servicio.

- SERVICIO “BÁSICO”

En la TABLA 4-5 se muestra el consumo total en mErl para el servicio Básico en lo que respecta a voz.

TABLA 4 - 5: Consumo de voz para el servicio básico en mErl
FUENTE: “ELABORACIÓN PROPIA”

ALTERNATIVA DE CONSUMO	NUMERO DE CLIENTES	FACTOR DE SIMULTANEIDAD	FACTOR DE OVERBOOKING	CONSUMO PROMEDIO POR CLIENTE (mErl)	CONSUMO TOTAL (mErl)
Básico 1	7646	25%	1	33.34	63729.41
Básico 2	5097				42483.5
TOTAL					106212.91

Con ello, con la calculadora de Erlang B, se calcula el Número de Líneas como se observa en la FIGURA 4-1

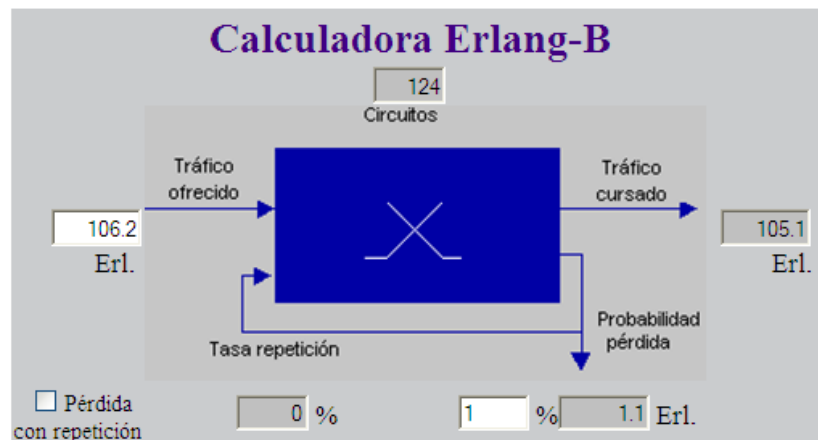


FIGURA 4 - 1: Cálculo del Número de Líneas para Servicio Básico
FUENTE: “ELABORACIÓN PROPIA”

Luego de ello, se procede a realizar el cálculo del Consumo Total de voz con la siguiente fórmula:

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

El resultado se observa en la TABLA 4-6.

TABLA 4 - 6: Consumo de voz para el servicio básico en Mbps
FUENTE: “ELABORACIÓN PROPIA”

CONSUMO TOTAL (mErl)	NUMERO DE LÍNEAS	VELOCIDAD (Mbps)	CONSUMO TOTAL (Mbps)
106212.91	124	0.064	7.936

- **SERVICIO “JOVEN”**

En la TABLA 4-7 se muestra el consumo total en mErl para el servicio Joven en lo que respecta a voz.

TABLA 4 - 7: Consumo de voz para el servicio joven en mErl

FUENTE: “ELABORACIÓN PROPIA”

ALTERNATIVA DE CONSUMO	NUMERO DE CLIENTES	FACTOR DE SIMULTANEIDAD	FACTOR DE OVERBOOKING	CONSUMO PROMEDIO POR CLIENTE (mErl)	CONSUMO TOTAL (mErl)
Joven 1	3822	25%	1	33.34	31856.37
Joven 2	3823				31864.71
TOTAL					63721.08

Con ello, con la calculadora de Erlang B, se calcula el Número de Líneas como se observa en la FIGURA 4-2.

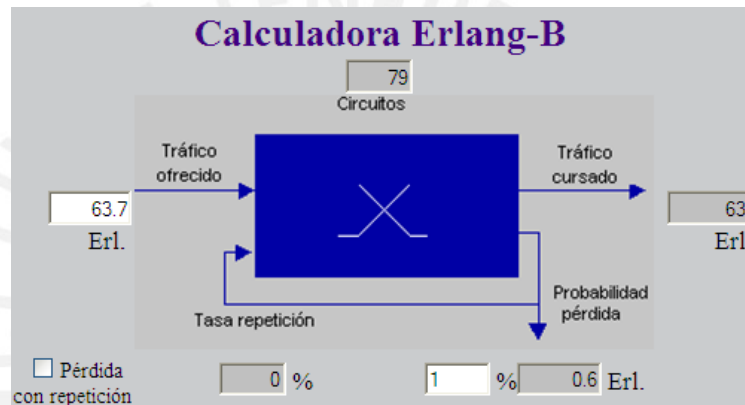


FIGURA 4 - 2: Cálculo del Número de Líneas para Servicio Joven

FUENTE: “ELABORACIÓN PROPIA”

Luego de ello, se procede a realizar el cálculo del Consumo Total de voz con la siguiente fórmula:

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

El resultado se observa en la TABLA 4-8.

TABLA 4 - 8: Consumo de voz para el servicio joven en Mbps

FUENTE: “ELABORACIÓN PROPIA”

CONSUMO TOTAL (mErl)	NUMERO DE LINEAS	VELOCIDAD (Mbps)	CONSUMO TOTAL (Mbps)
63721.08	79	0.064	5.056

- **SERVICIO “EMPRESA”**

En la TABLA 4-9 se muestra el consumo total en mErl para el servicio Empresa en lo que respecta a voz.

TABLA 4 - 9: Consumo de voz para el servicio empresa en mErl
FUENTE: “ELABORACIÓN PROPIA”

ALTERNATIVA DE CONSUMO	NUMERO DE CLIENTES	FACTOR DE SIMULTANEIDAD	FACTOR DE OVERBOOKING	CONSUMO PROMEDIO POR CLIENTE (mErl)	CONSUMO TOTAL (mErl)
Empresa 1	3568	25%	1	33.34	29739.28
Empresa 2	1529				12744.22
TOTAL					42483.5

Con ello, con la calculadora de Erlang B, se calcula el Número de Líneas como se observa en la FIGURA 4-3.

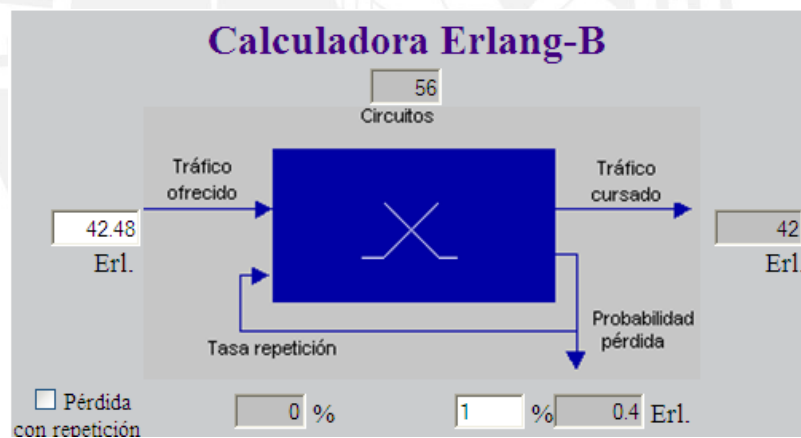


FIGURA 4 - 3: Cálculo del Número de Líneas para Servicio Empresa
FUENTE: “ELABORACIÓN PROPIA”

Luego de ello, se procede a realizar el cálculo del Consumo Total de voz con la siguiente fórmula:

$$Consumo\ Total\ (Mbps) = N^{\circ}líneas * Velocidad\ (Mbps)$$

El resultado se observa en la TABLA 4-10.

TABLA 4 - 10: Consumo de voz para el servicio empresa en Mbps
FUENTE: “ELABORACIÓN PROPIA”

CONSUMO TOTAL (mErl)	NUMERO DE LINEAS	VELOCIDAD (Mbps)	CONSUMO TOTAL (Mbps)
42483.5	56	0.064	3.584

CONSUMO TOTAL DE LA RED Y NUMEROS DE eNODOS B REQUERIDOS

Finalmente, se podrá realizar el cálculo de la cantidad de eNodos B, teniendo en cuenta que el consumo por eNodo B en el DL para el “Alcatel-Lucent eNode B Digital Module” (equipo que se piensa emplear) es de 172.8 Mbps [ALC2010]. Por lo que se emplea la siguiente fórmula para el cálculo del número total de eNodos B requeridos:

$$N^{\circ} \text{ eNodos B requeridos} = \frac{\text{Consumo Total (Mbps)}}{\text{Consumo por eNodo B (Mbps)}}$$

El resultado se observa en la TABLA 4-11. El cual debe ser el máximo entero del resultado obtenido.

TABLA 4 - 11: Número de eNodos B requeridos
FUENTE: “ELABORACIÓN PROPIA”

CONSUMO TOTAL (Mbps)	2830.096
CONSUMO POR ENODO B (Mbps)	172.8
NUMERO DE eNodos B REQUERIDOS	17

4.2 Topología de la Red

Se contarán con 17 eNodos B desplegados en todo el territorio del distrito del Callao. Los cuales se encuentran distribuidos de la siguiente manera como se muestra en la TABLA 4-12 y en la FIGURA 4-4.

TABLA 4 - 12: Distribución de los eNodos B y el Core

FUENTE: "ELABORACIÓN PROPIA"

EQUIPOS	LOCALIZACIÓN	LATITUD	LONGITUD
Core	Aeropuerto Internacional Jorge Chavez	12° 1'51.46"S	77° 6'18.29"O
eNodo B 1	Aeropuerto Internacional Jorge Chavez	12° 1'39.63"S	77° 6'14.95"O
eNodo B 2	Av. Saénz Peña	12° 3'37.90"S	77° 8'30.48"O
eNodo B 3	Av. Argentina - Chacaritas	12° 3'4.00"S	77° 8'9.74"O
eNodo B 4	Av. Nestor Gambetta	12° 2'38.05"S	77° 7'34.71"O
eNodo B 5	Av. Alfredo Palacios	12° 3'14.41"S	77° 7'23.83"O
eNodo B 6	Ex Fundo Oquendo	11°58'28.17"S	77° 7'24.28"O
eNodo B 7	Las Brisas	11°57'36.34"S	77° 7'28.57"O
eNodo B 8	Av. Dominicos	12° 0'51.62"S	77° 5'32.99"O
eNodo B 9	Av. Canta Callao	12° 0'3.89"S	77° 6'56.65"O
eNodo B 10	Acapulco	12° 1'12.11"S	77° 8'13.16"O
eNodo B 11	Base Naval del Callao	12° 1'58.50"S	77° 8'20.36"O
eNodo B 12	Av. Boca Negra	12° 0'52.62"S	77° 5'42.20"O
eNodo B 13	Av. Pacasmayo	12° 1'17.51"S	77° 5'39.99"O
eNodo B 14	La Taboada	12° 0'1.23"S	77° 7'55.10"O
eNodo B 15	Av. Colonial	12° 3'7.81"S	77° 5'32.82"O
eNodo B 16	Minka	12° 2'57.43"S	77° 6'39.18"O
eNodo B 17	Marquez	11°56'35.30"S	77° 7'59.92"O

En la FIGURA 4-4 se puede observar las 17 eNodos B representados por marcadores de color azul y el CORE que está representado por un marcador de color rojo.

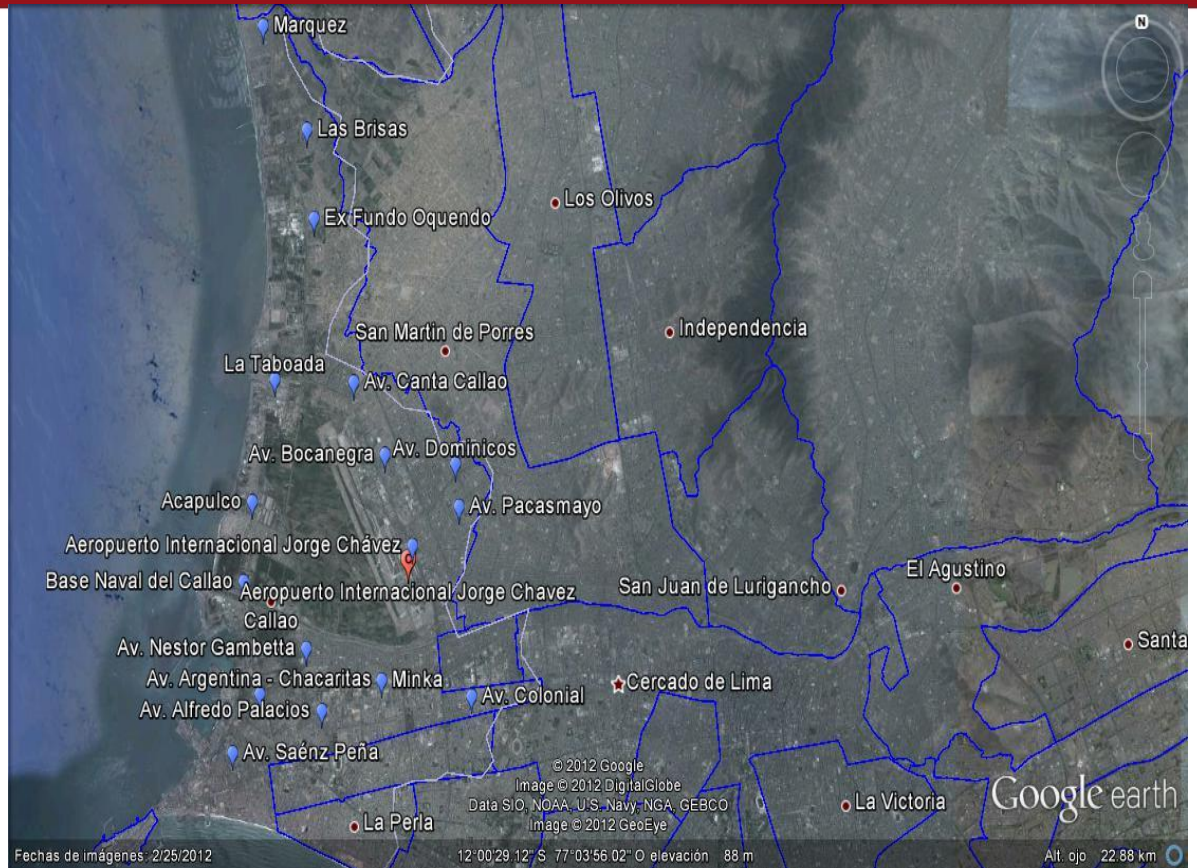


FIGURA 4 - 4: Ubicación de los eNodos B y el Core
FUENTE: “ELABORACIÓN PROPIA”

4.3 Diseño de la Red de Transporte

Para la red de transporte se contará con un modelo en escala y no uno en estrella. Es decir, no se utilizará el modelo en el que todos los eNodos B se encuentran comunicados con el Core. Esto debido a que, en muchos casos no podrá ser posible la comunicación entre el eNodo B y el Core, debido a la gran separación que puede llegar a existir entre ambos. Para solucionar este problema se requerirá el uso de repetidores o femtoceldas.

Es por ello que se empleará, como ya se dijo, el modelo de comunicación en escala. Donde cada eNodo B podrá comunicarse con el Core (de darse el caso) o con el eNodo más cercano. El siguiente eNodo lo hará de la misma forma, con lo cual se contará con un sistema escalonado que finalmente comunicará toda la red LTE.

En la FIGURA 4-5 se observa cómo se conectarán los eNodos B y el Core, empleando el modelo de escalas.

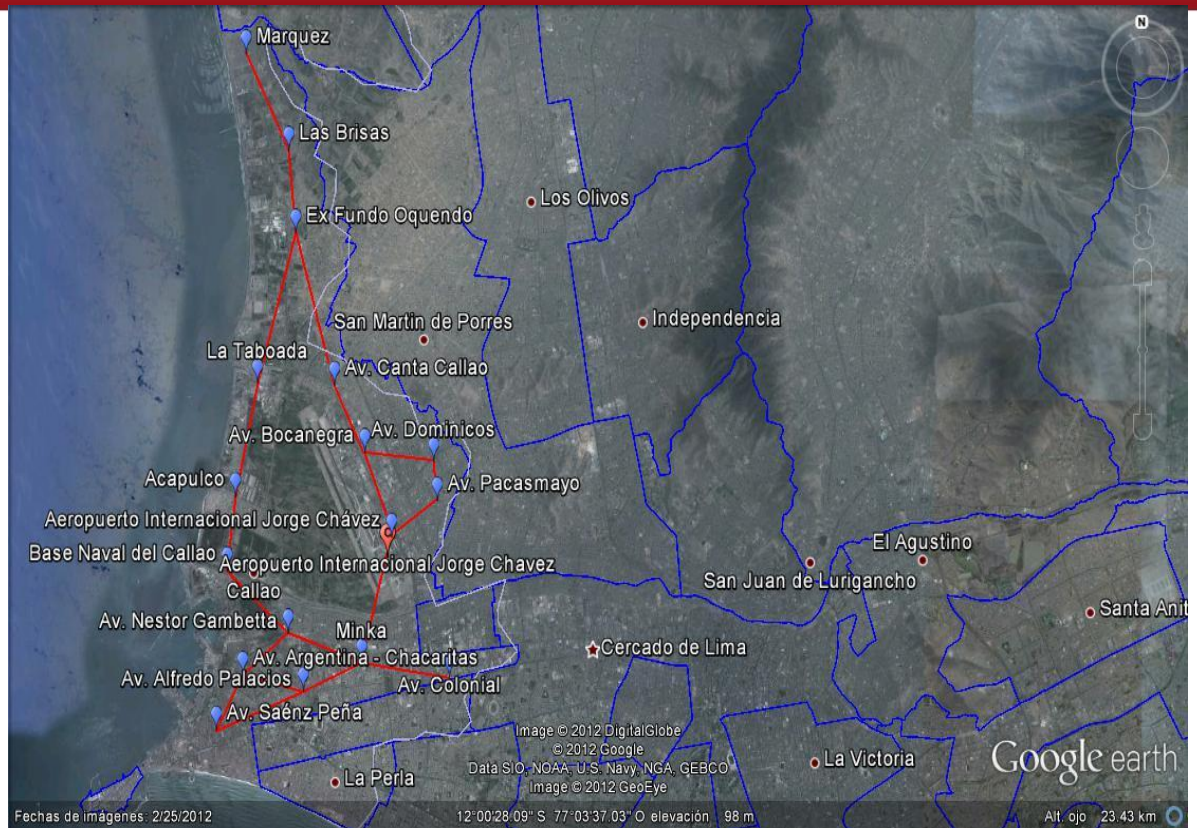


FIGURA 4 - 5: Modelo de conexión de eNodos B y Core a escala
FUENTE: “ELABORACIÓN PROPIA”

Una vez que se realiza los tramos de este modelo de comunicación, se pasa a analizar la viabilidad de los enlaces. El distrito del Callao es un territorio muy plano por lo que es muy poco probable que existan problemas de interferencia grave entre eNodos B y el Core. Sin embargo, es necesario realizar dicha viabilidad. Para ello, se analizará cada uno de ellos.

- Av. Saénz Peña – Av. Alfredo Palacios

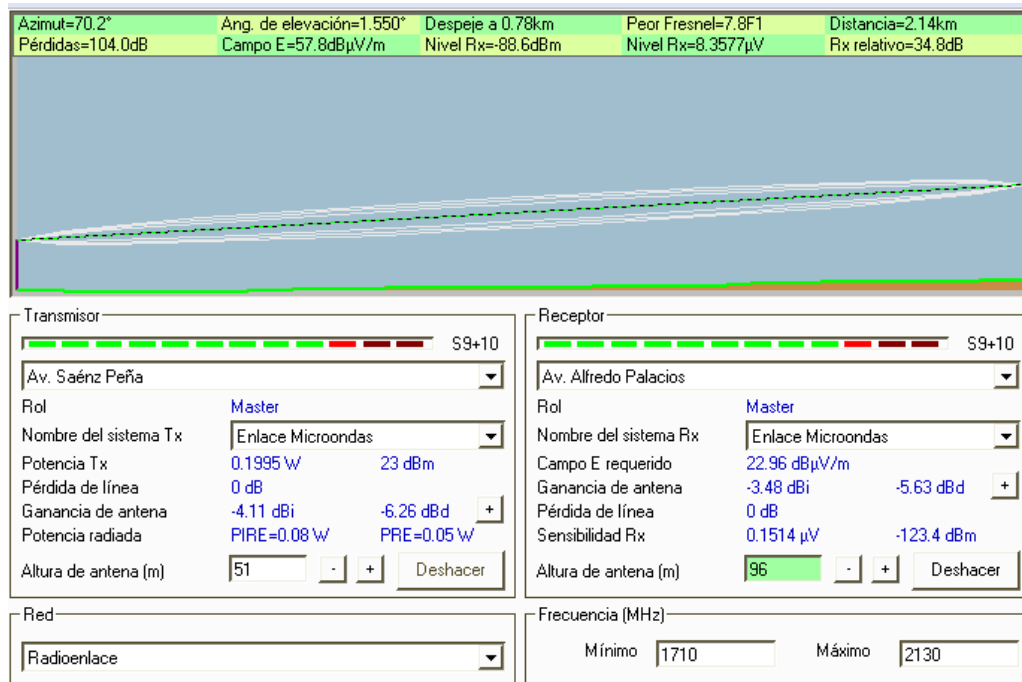


FIGURA 4 - 6: Enlace entre eNodos de Av. Saénz Peña y Av. Palacios
FUENTE: “ELABORACIÓN PROPIA”

En el ANEXO 3 se muestran los siguientes análisis de enlaces entre eNodos B y el Core. Se observa que no existen problemas para lograr una comunicación adecuada para la comunicación entre eNodos B y el Core según la ruta establecida en la FIGURA 4-6.

4.4 Diseño de la Red de Acceso

Para un adecuado análisis de la red de acceso, es importante hacer uso de modelos de propagación. Los modelos de propagación nos permiten conocer cuál es la atenuación de la onda de radios tras atravesar diversos obstáculos entre la antena transmisora y la antena receptora. Los factores que afectan de manera positiva a la cobertura podrían ser:

- La sensibilidad del receptor
- La ganancia de la antena
- La potencia de transmisión
- La altura de la torre, entre otros.

Mientras que los que afectan de manera negativa serían las atenuaciones de los cables, obstáculos como edificios o árboles, baja eficiencia de antenas, etc.

Para el presente proyecto se ha elegido el modelo Cost 231 Walfisch-Ikegami ya que nos brinda cálculos más precisos, los cuales serán importante para la implementación de la red.

MODELO COST 231 WALFISCH-IKEGAMI

Es posible aplicar este modelo en los siguientes escenarios:

- Celdas grandes y pequeñas: La antena de la estación base se encuentra por encima de los tejados de los edificios, de tal manera que las pérdidas de propagación están determinadas principalmente por la difracción y la dispersión en los tejados de los edificios cercanos al móvil.
- Micro Celda: La antena de la estación base se sitúa por debajo de los tejados de los edificios, estando entonces determinada la propagación por la difracción y la dispersión alrededor de los edificios, los rayos principales se propagan en las calles de manera similar a como lo harían en grandes guías de onda.

El modelo COST- WALFISCH-IKEGAMI está restringido a frecuencias de 800 a 2000 MHz, altura h_B de 4 – 50 m, alturas h_m de 1 – 3 m y distancias de 0.02 – 5 km. En cuanto la exactitud puede indicarse que es aceptable cuando $h_B > h_R$. En cambio cuando $h_B \ll h_R$ el error de predicción es mayor ya que aparecen modos de propagación no considerados en el modelo como son el efecto de guía de onda por las calles y la difracción en las esquinas. Así mismo debe utilizarse con precaución cuando $h_B < h_R$ ya que no se tienen las suficientes mediciones para validarlo.

La atenuación consta de tres términos:

$$L_b = L_o + L_{rst} + L_{msd}$$

Donde:

- L_o : Pérdida del espacio libre
- L_{rst} : Pérdida por difracción y dispersión del techo a la calle
- L_{msd} : Pérdida por difracción multi-pantalla

De aquí:

- **Para Pérdida del espacio libre (L_o)**

Formula obtenida del factor $20 \log (4 \pi d / \lambda)$ de la ecuación de Friis, que convertido a decibeles (dB) se obtiene:

$$L_o = 32.46 + 20 \log (f_c) + 20 \log (d)$$

Donde:

- f_c : Frecuencia de portadora en MHz.
- d : Distancia entre transmisor y receptor (1 a 20Km)

- **Para Pérdida por difracción y dispersión del techo a la calle (L_{rst})**

$$L_{rst} = -16.9 - 10 \log (W) + 10 \log (f_c) + 20 \log (\Delta h_R) + L_{ori}$$

Donde:

- W : Ancho de la calle, se puede considerar la mitad de la separación de edificios (b)
- $W = b/2$. También se puede considerar $b = (20 \text{ a } 50\text{m})$
- $h_R = 3\text{m} \times N^\circ$ de pisos, es la altura de los edificios
- h_m : altura del móvil, se asume 1.5m
- $\Delta h_R = h_R - h_m$

Los valores de L_{ori} dependen de los valores que tome el ángulo entre el rayo directo y el eje de la calle (φ) que se muestra en la TABLA 4-26

TABLA 4 - 13: Valores que toma el L_{ori}

FUENTE: [CAB2009]

Valores de L_{ori}	
$-10 + 0.357 \varphi$	$0^\circ < \varphi < 35^\circ$
$2.5 + 0.075 (\varphi - 35)$	$35^\circ < \varphi < 55^\circ$
$4 - 0.114 (\varphi - 55)$	$55^\circ < \varphi < 90^\circ$

Donde:

- φ es el ángulo entre el rayo directo y el eje de la calle

- **Pérdida por difracción multi-pantalla (Lmsd)**

Si este valor es menor a cero, se toma el Lmsd igual a cero

$$Lmsd = Lbsh + Ka + Kd \log(d) + Kf \log(fc) - 9 \log(b)$$

Donde:

$$Lbsh = -18 \log(1 + \Delta hB)$$

y $\Delta hB = hB - hR, si \Delta hB < 0; entonces: Lbsh = 0$

- hB: altura de la antena

- hR: altura de los edificios

TABLA 4 - 14: Valores que toma el Ka

FUENTE: [CAB2009]

Valores de K_a	
54	$\Delta h_B > 0$
$54 - 0.8 \Delta h_B$	$\Delta h_B < 0$ y $d > 0.5$
$54 - 1.6 \Delta h_B \cdot d$	$\Delta h_B < 0$ y $d < 0.5$

TABLA 4 - 15: Valores que toma el Kd

FUENTE: [CAB2009]

Valores de K_d	
18	$\Delta h_B > 0$
$18 - 15 \Delta h_B / h_R$	$\Delta h_B < 0$

TABLA 4 - 16: Valores que toma el Kf

FUENTE: [CAB2009]

Valores de K_f	
$-4 + 0.7 [(f_c / 925) - 1]$	Para ciudades medianas y centros suburbanos
$4 + 1.5 [(f_c / 925) - 1]$	Para ciudades metropolitanas

Donde:

- K_a representa el incremento de pérdidas de propagación en el caso en que las antenas de las estaciones base estén por debajo de los edificios adyacentes.
- K_d y K_f ajustan la dependencia de la difracción en función de la distancia y la frecuencia.

Por lo tanto, basándonos en este modelo se realizarán los cálculos para cada eNodo B. Para ello, hay que tomar en consideración los valores de la TABLA 4-17.

TABLA 4 - 17: Parámetros de los eNodos B
FUENTE: “ELABORACIÓN PROPIA”

eNodo	SECTOR	ALTURA DE LAS ANTENAS (m)	DISTANCIA MÁXIMA DE COBERTURA (m)	ALTURA DE LOS EDIFICIOS (m)
SAÉNZ PEÑA	1	51	0.65	6
	2		1	3
	3		0.8	3
ARGENTINA	1	66	0.5	9
	2		0.68	6
	3		0.7	6
GAMBETTA	1	69	0.7	6
	2		0.75	6
	3		0.52	9
BASE NAVAL	1	87	0.52	12
	2		0.83	6
	3		0.64	9
ACAPULCO	1	90	0.52	12
	2		0.65	9
	3		0.53	12
LA TABOADA	1	57	0.51	9
	2		0.5	9
	3		0.68	6
ALFREDO PALACIOS	1	96	0.55	12
	2		0.48	15
	3		0.53	12
MINKA	1	99	0.48	15
	2		0.48	15
	3		0.56	12
COLONIAL	1	75	0.48	12
	2		0.47	12
	3		0.58	9

eNodo	SECTOR	ALTURA DE LAS ANTENAS (m)	DISTANCIA MÁXIMA DE COBERTURA (m)	ALTURA DE LOS EDIFICIOS (m)
AEROPUERTO	1	96	0.55	12
	2		0.47	15
	3		0.48	15
PACASMAYO	1	99	0.48	15
	2		0.48	15
	3		0.56	12
DOMINICOS	1	72	0.77	6
	2		0.58	9
	3		0.57	9
BOCA NEGRA	1	112	0.46	18
	2		0.48	15
	3		0.46	18
CANTA CALLAO	1	99	0.48	15
	2		0.48	15
	3		0.56	12
EX FUNDO OQUENDO	1	96	0.55	12
	2		0.6	9
	3		0.55	12
LAS BRISAS	1	90	0.87	6
	2		0.52	12
	3		0.64	9
MARQUEZ	1	93	0.53	12
	2		0.88	6
	3		0.65	9

- eNodo B (Saéñz Peña)

Sector 1:

• **Para el Uplink ($f_c = 1720$ MHz)**

Para su análisis en el Uplink se toma en cuenta los valores de la TABLA 4-18.

TABLA 4 - 18: Parámetros para el enlace del Uplink

FUENTE: "LTE TECHNOLOGY" [TEC2010]

TRANSMISOR (UE)		RECEPTOR (eNodo B)	
Potencia de TX	23 dBm	Sensibilidad	-123.4 dBm
Ganancia de la antena	0 dBi	Ganancia de la antena	18 dBi
Pérdida del cuerpo	0 dB	Pérdida de cables	0 Db
PIRE	23 dBm	Pérdida de conectores	0 dB

Evaluando: $L_b = L_o + L_{rst} + L_{msd}$

Donde:

$$a) L_o = 32.46 + 20 \log(f_c) + 20 \log(d)$$

$$L_o = 32.46 + 20 \log(1720) + 20 \log(1.8) = 102.276$$

$$b) L_{rst} = -16.9 - 10 \log(W) + 10 \log(f_c) + 20 \log(\Delta h_R) + L_{ori}$$

Para:

- * $W = \frac{b}{2} = 10$
- * $\Delta h_R = 6 - 1.5 = 4.5$
- * $\Phi = 60^\circ$
- * $L_{ori} = 4 - 0.114(35) = 3.43$

Por lo que:

$$L_{rst} = -16.9 - 10 \log(10) + 10 \log(1720) + 20 \log(4.5) + 3.43$$

$$L_{rst} = 41.95$$

$$c) L_{msd} = L_{bsh} + K_a + K_d \log(d) + K_f \log(f_c) - 9 \log(b)$$

Para:

- * $b = 20$
- * $K_a = 54$
- * $K_d = 18$
- * $K_f = -4 + 1.5 [(f_c / 925) - 1]$
- $K_f = -4 + 1.5 [(1720 / 925) - 1] = -2.71$
- * $\Delta h_B = h_B - h_R$
- $\Delta h_B = 17 - 6 = 11$
- * $L_{bsh} = 18 \log(1 + \Delta h_B)$
- $L_{bsh} = 18 \log(1 + 11) = -19.425$

Por lo que:

$$L_{msd} = L_{bsh} + K_a + K_d \log(d) + K_f \log(f_c) - 9 \log(b)$$

$$L_{msd} = -19.425 + 54 + 18 \log(1.8) - 2.71 \log(1720) - 9 \log(20)$$

$$L_{msd} = 18.69$$

Con lo que finalmente se tiene que:

$$L_b = L_o + L_{rst} + L_{msd}$$

$$L_b = 102.276 + 41.95 + 18.69 = 162.916$$

$$P_{Rx} = P_{Tx} + G_{Tx} + G_{Rx} - L_b - L_{cables}$$

$$P_{Rx} = 23 + 0 + 18 - 162.916 - 0 = -121.916$$

Se observa que la potencia del receptor es mayor que la sensibilidad aceptada por receptor (-134.6 dBm). Por lo que la viabilidad del enlace está asegurada.

- **Para el Downlink ($f_c = 2120$ MHz)**

Para su análisis en el Uplink se toma en cuenta los valores de la TABLA 4-19.

**TABLA 4 - 19: Parámetros para el enlace del Downlink
FUENTE: “LTE TECHNOLOGY” [TEC2010]**

TRANSMISOR (eNodo B)		RECEPTOR (UE)	
Potencia de TX	46 dBm	Sensibilidad	-107.5 dBm
Ganancia de la antena	18 dBi	Ganancia de la antena	0 dBi
Pérdida de cables	0 dB	Pérdida del cuerpo	0 dB
PIRE	62 dBm		

Evaluando:

$$L_b = L_o + L_{rst} + L_{msd}$$

Donde:

$$a) L_o = 32.46 + 20\log(f_c) + 20\log(d)$$

$$L_o = 32.46 + 20\log(2120) + 20\log(1.8) = 104.092 \text{ dB}$$

$$b) L_{rst} = -16.9 - 10\log(W) + 10\log(f_c) + 20\log(\Delta h_R) + L_{ori}$$

Para: $* W = \frac{b}{2} = 10$

$* \Delta h_R = 6 - 1.5 = 4.5$

$* \phi = 60^\circ$

$* L_{ori} = 4 - 0.114(35) = 3.43$

Por lo que:

$$L_{rst} = -16.9 - 10\log(10) + 10\log(2120) + 20\log(4.5) + 3.43$$

$$L_{rst} = 22.86$$

$$c) L_{msd} = L_{bsh} + K_a + K_d \log(d) + K_f \log(f_c) - 9 \log(b)$$

Para: $* b = 20$

$* K_a = 54$

$* K_d = 18$

$$* K_f = -4 + 1.5 [(f_c / 925) - 1]$$

$$K_f = -4 + 1.5 [(2120 / 925) - 1] = -2.06$$

$$* \Delta h_B = h_B - h_R$$

$$\Delta h_B = 17 - 6 = 11$$

$$* L_{bsh} = 18 \log (1 + \Delta h_B)$$

$$L_{bsh} = -18 \log (1 + 11) = -19.425$$

Por lo que:

$$L_{msd} = L_{bsh} + K_a + K_d \log (d) + K_f \log (f_c) - 9 \log (b)$$

$$L_{msd} = -19.425 + 54 + 18 \log (1.8) - 2.06 \log (2120) - 9 \log (20)$$

$$L_{msd} = 20.6$$

Con lo que finalmente se tiene que:

$$L_b = L_o + L_{rst} + L_{msd}$$

$$L_b = 104.092 + 22.86 + 20.6 = 147.552$$

$$P_{Rx} = P_{Tx} + G_{Tx} + G_{Rx} - L_b - L_{cables}$$

$$P_{Rx} = 23 + 0 + 18 - 147.552 - 0 = -106.552$$

Al igual que en el caso del Uplink, se observa que la potencia del receptor es mayor que la sensibilidad aceptada por receptor (-126.4 dBm). Por lo que la viabilidad del enlace está asegurada.

Del mismo modo como se ha realizado el cálculo del SECTOR 1 del eNodo de Sáenz Peña, se realiza el cálculo para los otros 16 nodos con sus respectivos sectores tanto para el Uplink como para el Downlink. Los resultados para el Uplink se muestran en la TABLA 4-20 y para Downlink se muestran en la TABLA 4-21.

TABLA 4 - 20: Potencia de recepción para el índice del Uplink
FUENTE: “ELABORACIÓN PROPIA”

eNodo	Sector	Lo	Lrst	Lmsd	Lb	PRx
SAÉNZ PEÑA	1	93.429	52.320	0.225	145.974	-104.974
	2	97.171	42.777	3.099	143.047	-102.047
	3	95.232	42.777	1.355	139.364	-98.364
ARGENTINA	1	91.150	56.757	-3.638	144.269	-103.269
	2	93.821	52.320	-1.628	144.512	-103.512
	3	94.073	52.320	-1.402	144.990	-103.990
GAMBETTA	1	94.073	52.320	-1.777	144.615	-103.615
	2	94.672	52.320	-1.238	145.754	-104.754
	3	91.491	56.757	-3.725	144.522	-103.522
BASE NAVAL	1	91.491	59.679	-5.444	145.726	-104.726
	2	95.552	52.320	-2.383	145.489	-104.489
	3	93.294	56.757	-4.124	145.927	-104.927

eNodo	Sector	Lo	Lrst	Lmsd	Lb	PRx
ACAPULCO	1	91.491	59.679	-5.747	145.423	-104.423
	2	93.429	56.757	-4.294	145.892	-104.892
	3	91.656	59.679	-5.598	145.737	-104.737
LA TABOADA	1	91.322	56.757	-2.165	145.914	-104.914
	2	91.150	56.757	-2.320	145.587	-104.587
	3	93.821	52.320	-0.380	145.760	-104.760
ALFREDO PALACIOS	1	91.978	59.679	-5.881	145.776	-104.776
	2	90.795	61.862	-6.664	145.993	-104.993
	3	91.656	59.679	-6.170	145.165	-104.165
MINKA	1	90.795	61.862	-6.945	145.713	-104.713
	2	90.795	61.862	-6.945	145.713	-104.713
	3	92.134	59.679	-6.011	145.803	-104.803
COLONIAL	1	90.795	59.679	-4.726	145.748	-104.748
	2	90.613	59.679	-4.891	145.401	-104.401
	3	92.439	56.757	-3.605	145.590	-104.590
AEROPUERTO	1	91.978	59.679	-5.881	145.776	-104.776
	2	90.613	61.862	-6.828	145.646	-104.646
	3	90.795	61.862	-6.664	145.993	-104.993
PACASMAYO	1	90.795	61.862	-6.945	145.713	-104.713
	2	90.795	61.862	-6.945	145.713	-104.713
	3	92.134	59.679	-6.011	145.803	-104.803
DOMINICOS	1	94.900	52.320	-1.390	145.830	-104.830
	2	92.439	56.757	-3.247	145.949	-104.949
	3	92.288	56.757	-3.383	145.662	-104.662
BOCA NEGRA	1	90.426	63.605	-8.147	145.884	-104.884
	2	90.795	61.862	-8.057	144.600	-103.600
	3	90.426	63.605	-8.147	145.884	-104.884
CANTA CALLAO	1	90.795	61.862	-6.945	145.713	-104.713
	2	90.795	61.862	-6.945	145.713	-104.713
	3	92.134	59.679	-6.011	145.803	-104.803
EX FUNDO OQUENDO	1	91.978	59.679	-5.881	145.776	-104.776
	2	92.734	56.757	-5.472	144.019	-103.019
	3	91.978	59.679	-5.881	145.776	-104.776
LAS BRISAS	1	95.961	52.320	-2.296	145.985	-104.985
	2	91.491	59.679	-5.747	145.423	-104.423
	3	93.294	56.757	-4.415	145.636	-104.636
MARQUEZ	1	91.656	59.679	-5.889	145.446	-104.446
	2	96.060	52.320	-2.478	145.902	-104.902
	3	93.429	56.757	-4.575	145.611	-104.611

TABLA 4 - 21: Potencia de recepción para el índice del Downlink

FUENTE: “ELABORACIÓN PROPIA”

eNodo	Sector	Lo	Lrst	Lmsd	Lb	PRx
SAÉNZ PEÑA	1	95.245	53.228	-0.021	148.452	-107.452
	2	98.987	43.685	2.853	145.525	-104.525
	3	97.049	43.685	1.108	141.842	-100.842
ARGENTINA	1	92.966	57.665	-3.884	146.747	-105.747
	2	95.637	53.228	-1.874	146.990	-105.990
	3	95.889	53.228	-1.648	147.468	-106.468
GAMBETTA	1	95.889	53.228	-2.023	147.093	-106.093
	2	96.488	53.228	-1.484	148.232	-107.232
	3	93.307	57.665	-3.972	147.000	-106.000
BASE NAVAL	1	93.307	60.587	-5.690	148.204	-107.204
	2	97.368	53.228	-2.629	147.967	-106.967
	3	95.110	57.665	-4.370	148.405	-107.405
ACAPULCO	1	93.307	60.587	-5.993	147.901	-106.901
	2	95.245	57.665	-4.540	148.370	-107.370
	3	93.472	60.587	-5.844	148.215	-107.215
LA TABOADA	1	93.138	57.665	-2.411	148.392	-107.392
	2	92.966	57.665	-2.566	148.065	-107.065
	3	95.637	53.228	-0.627	148.238	-107.238
ALFREDO PALACIOS	1	93.794	60.587	-6.127	148.254	-107.254
	2	92.612	62.770	-6.910	148.472	-107.472
	3	93.472	60.587	-6.416	147.643	-106.643
MINKA	1	92.612	62.770	-7.191	148.191	-107.191
	2	92.612	62.770	-7.191	148.191	-107.191
	3	93.950	60.587	-6.257	148.281	-107.281
COLONIAL	1	92.612	60.587	-4.973	148.226	-107.226
	2	92.429	60.587	-5.137	147.879	-106.879
	3	94.255	57.665	-3.851	148.069	-107.069
AEROPUERTO	1	93.794	60.587	-6.127	148.254	-107.254
	2	92.429	62.770	-7.075	148.124	-107.124
	3	92.612	62.770	-6.910	148.472	-107.472
PACASMAYO	1	92.612	62.770	-7.191	148.191	-107.191
	2	92.612	62.770	-7.191	148.191	-107.191
	3	93.950	60.587	-6.257	148.281	-107.281
DOMINICOS	1	96.717	53.228	-1.636	148.308	-107.308
	2	94.255	57.665	-3.493	148.427	-107.427
	3	94.104	57.665	-3.629	148.140	-107.140
BOCA NEGRA	1	92.242	64.513	-8.393	148.362	-107.362
	2	92.612	62.770	-8.303	147.078	-106.078
	3	92.242	64.513	-8.393	148.362	-107.362
CANTA CALLAO	1	92.612	62.770	-7.191	148.191	-107.191
	2	92.612	62.770	-7.191	148.191	-107.191
	3	93.950	60.587	-6.257	148.281	-107.281

eNodo	Sector	Lo	Lrst	Lmsd	Lb	PRx
EX FUNDO OQUENDO	1	93.794	60.587	-6.127	148.254	-107.254
	2	94.550	57.665	-5.718	146.497	-105.497
	3	93.794	60.587	-6.127	148.254	-107.254
LAS BRISAS	1	97.777	53.228	-2.542	148.463	-107.463
	2	93.307	60.587	-5.993	147.901	-106.901
	3	95.110	57.665	-4.661	148.114	-107.114
MARQUEZ	1	93.472	60.587	-6.135	147.924	-106.924
	2	97.876	53.228	-2.724	148.380	-107.380
	3	95.245	57.665	-4.821	148.089	-107.089

Por lo que se observa que no hay problema con los enlaces.

4.5 Especificaciones técnicas del equipamiento

Para el diseño de la red se ha determinado utilizar el eNodo B 326 digital 2U de Alcatel-Lucent.

- 326 digital 2U NodeB de Alcatel-Lucent

Presenta las siguientes características:

- Soporta Self-Optimizing network (SON)
- Soporta anchos de espectro de 1.4 MHz, 3MHz, 5MHz, 10MHz y 20 MHz.
- Es ultra compacto y de alta capacidad, soporte total de MIMO
 - El throughput pico es de 172.8 Mbps en el downlink por sector (20MHz y 2x2 MIMO)
 - El throughput pico es de 115 Mbps en el uplink por sector (20MHz y 2x2 MIMO)



FIGURA 4 - 7: 326 Digital 2U NodeB
FUENTE: "ALCATEL-LUCENT" [ALC2010]

- USB Modem LTE VL600

LG ha lanzado su USB Módem LTE VL600 que cuenta con las siguientes características:

- Velocidades de descarga entre 5 Mbps a 12 Mbps
- Las velocidades de carga entre los 2 Mbps hasta 5 Mbps
- En el área de cobertura móvil LTE de banda ancha
- Compatible con Windows 7 (32 - o 64-bit), Windows Vista 32/64-bit (SP2) y Windows XP 32-bit
- Ideal para viajes de negocios profesional
- Diseño ligero, cuenta con tapa del puerto USB
- De alta velocidad de conexión a Internet LTE



FIGURA 4 - 8: USB Módem LTE VL600

FUENTE: "USB LG" [KIK2012]

En lo que se refiere a Terminales móviles celular, en la actualidad existe gran variedad en el mercado con la tecnología LTE.

- CÓDEC

En el ANEXO 4 se muestran los códec que pueden ser empleados para este diseño.

4.6 Infraestructura necesaria

Una vez realizado el diseño de la red de acceso, de la red de transporte e identificar los equipos a utilizar, se pasará a describir los subsistemas de protección y de energía a implementarse; así como, de definir el tipo de torre que se empleará.

4.6.1 Subsistema de Protección

El proceso de instalación del sistema de puesta a tierra, deberá ser realizado por un proveedor autorizado y deberá contar como mínimo con las siguientes características:

- Fleje de cobre (con dimensiones: 0,8mm*7cm*40m)
- Bentonita natural (saco 20 kg)
- Sal industrial (saco de 50 kg)
- Soldadura exotérmica (65 gr)



FIGURA 4 - 9: proceso de instalación del sistema de puesta a tierra

FUENTE: "INSTALACIÓN DE PUESTA A TIERRA" [MUN2011]

Debido a que en el distrito del Callao muy pocas veces se presentan lluvias y mucho menos rayos o relámpagos producto de ellas, se ha decidido desistir del uso de pararrayos.

4.6.2 Subsistema de Energía

Para que todo sistema de le Telecomunicaciones funcione adecuadamente, es primordial el uso de un buen subsistema de energía que proveerá de energía los diferentes equipos de la red LTE.

Se implementará un banco de baterías con el cual se brindará la autonomía suficiente para que los equipos trabajen normalmente en caso de que se presente un corte de la energía contratada.

Las estaciones base están conformadas por una unidad en banda base y las unidades de radio remota. Estos equipos al igual que los radios utilizados para los enlaces microondas trabajan a -48 V DC. Gracias a los rectificadores es que podemos convertir 220 V AC (energía comercial contratada) a - 48 V DC. En la FIGURA 4.10 se observa el esquema básico de un rectificador con resguardo de energía.

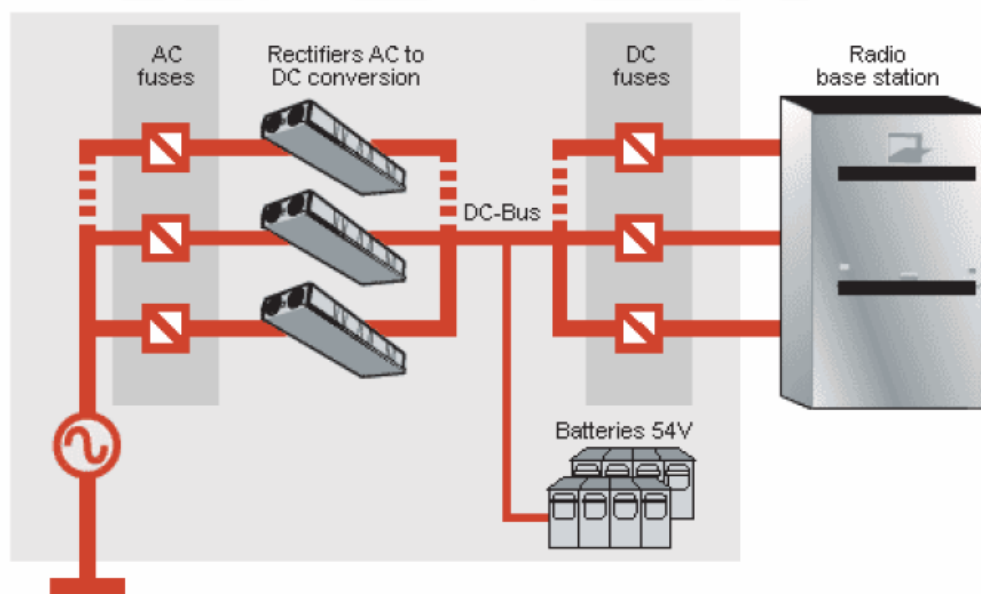


FIGURA 4 - 10: Subsistema típico de energía
FUENTE: “SUBSISTEMA DE ENERGÍA” [MROS2008]

4.6.3 Torres

El dimensionamiento de una torre de telecomunicaciones depende de varios factores:

- El sistema de comunicación a instalar
- El terreno disponible
- Tipo y cantidad de antenas a instalar
- Restricciones en el desplazamiento de dichas antenas debido a las características del sistema instalado.
- Condiciones medioambientales

Para el caso de los eNodos B se ha decidido trabajar con torres ventadas o arriostradas, las cuales son más económicas en comparación con las otras, prácticas, y están soportadas por vientos o arriostres como su nombre lo indica.



FIGURA 4 - 11: Torre Ventada

FUENTE: [MROS2008]

Otra alternativa es la de compartir infraestructura con torres que otros operadores como América Móvil, Movistar o Nextel estén empleando. Con esto se reduciría la inversión ya que los costos de adquisición y de instalación de las torres son elevados. [CAB2009]



Capítulo 5

COSTO DEL PROYECTO

Para ver la factibilidad de nuestro proyecto es necesario analizar tanto los gastos o inversiones de capital, también conocido como CAPEX (CAPital EXpenditures), así como los gastos de operación y mantenimiento, también conocido como OPEX (OPeration EXpenditures).

Por lo que, tanto para el CAPEX como para el OPEX, se detallarán los costos de los factores y variables antes mencionados. Para posteriormente, mediante el flujo de caja, comparar los ingresos con los egresos para ver la factibilidad del proyecto en base a criterios de inversión como el VAN (Valor Actual Neto) y el TIR (Tasa Interna de Rentabilidad).

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
PRECIO TOTAL (USD)				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
PRECIO TOTAL (USD)				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	CLIENTES POR PLAN DE CONSUMO	ALTERNATIVA DE CONSUMO	CLIENTES 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.



CONCLUSIONES

- 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, tal como se muestra en la FIGURA 4-5 y en el ANEXO 1. 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 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 trabaja en el país, la inversión sería menor y por consiguiente, las ganancias y la rentabilidad del proyecto serán mayores.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar análisis continuos para obtener datos estadísticos que ayudarán a determinar la cantidad de tráfico con la que se contará a partir del año 2 en adelante. Esto debido a que, el tráfico es fundamental para lo que respecta al despliegue de la red.
- Así mismo, apoyado en estudios a futuro de la prestación del servicio, se recomienda elaborar planes de servicio acorde con el comportamiento que muestre el cliente, tomando en cuenta las necesidades del mismo.



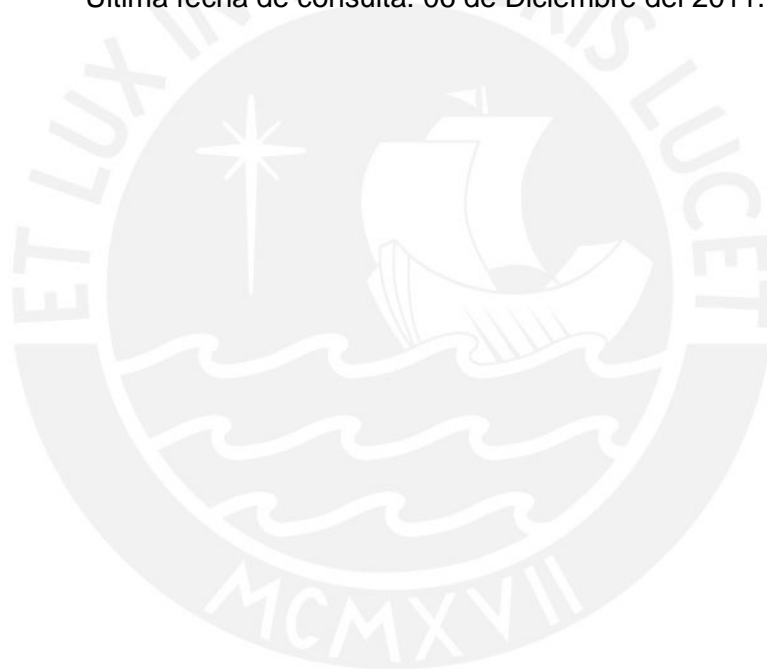
Bibliografía

- [ALC2010] ALCATEL-LUCENT. Documento: "Alcatel-lucent eNode B." 2010.
URL: http://www.google.com.pe/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=6&ved=0CGIQFjAF&url=http%3A%2F%2Fwww.alcatel-lucent.com%2Fwps%2FDocumentStreamerServlet%3FLMSG_CABINET%3DDocs_and_Resource_Ctr%26LMSG_CONTENT_FILE%3DData_Sheets%2F1Q09_CAR7526081207_LTEeNodeB_DS_FINAL.pdf&ei=QVTaT_LhBo-k8gShkuXkAw&usq=AFQjCNHUpieeo7ZhtAvH8xoFycgqppONHw
Última fecha de consulta: 06 de Junio de 2012.
- [AWS2011] VELARDE. Documento: "Bandas AWS para LTE." 2011.
URL: <http://blog.pucp.edu.pe/item/138022/se-licitara-la-banda-aws-para-lte>. Última fecha de consulta: 08 de Junio de 2012.
- [CAB2009] CABREJOS, CLAUDIA. Tesis para optar por el título de Ingeniero de las Telecomunicaciones. Diseño de una red IMS para la ciudad de Ica. Perú. 2009
- [DIO 2010] DIOGENES, Marcano. Documento: "Dimensionamiento de redes móviles." 2011.
- [GOB2011] GOBIERNO REGIONAL DEL CALLAO. Documento: "Unidad de Epidemiología y Salud Ambiental". 2009.
URL: http://www.hsj.gob.pe/web1/epidemiologia/ASIS2008/ANALISIS/entorno_geografico.htm
Última fecha de consulta: 02 de Diciembre del 2011.
- [GPP2010] 3GPP LTE. Documento: "3GPP LTE – Long Term Evolution". Junio. 2010.
URL: <http://3gpplte-longtermevolution.blogspot.com>
Última fecha de consulta: 26 de Noviembre del 2011.
- [GPP2011] 3GPP LTE. Documento: "3GPP LTE - Evolved UTRA - Radio Interface Concepts".
URL: <http://ecee.colorado.edu/~ecen4242/LTE/radio.htm>
Última fecha de consulta: 01 de Diciembre del 2011.

- [INE2007] INEI. Documento: "Perfil Sociodemográfico de la Provincia Constitucional del Callao." 2007.
URL: <http://www1.inei.gob.pe/biblioineipub/bancopub/Est/Lib0838/libro14/Libro.pdf>
Última fecha de consulta: 17 de Abril del 2012.
- [INE2010] INEI. Documento: "Resultados censales. Censos Nacionales 2007: XI de Población y de vivienda." 2007.
URL: <http://www.inei.gob.pe/>
Última fecha de consulta: 02 de Diciembre del 2011.
- [KIK2012] KIKA ENTERPRISES. Documento: "LG VERIZON 4G LTE USB Modem LG VL600" 2012.
URL: <http://www.kikaenterprises.com/verizon/116-verizon-4g-lte-usb-modem-lg-vl600.html>
Última fecha de consulta: 20 Junio del 2012.
- [MAR2010] MARCANO, DIÓGENES. "LTE – Long Term Evolution".
Lima. 2010.
- [MAR2011] MARCANO, DIÓGENES. "IMS – IP Multimedia Subsystem".
Lima. 2011.
- [MIN2012] MINCETUR. Documento: "Turismo Internacional – Aeropuerto Internacional Jorge Chávez." 2012.
URL: http://www.mincetur.gob.pe/turismo/estadistica/Diario/con_migracion.asp
Última fecha de consulta: 15 de Mayo del 2012.
- [MOB2010] MOBILE TECHNOLOGY. Documento: "3G Long Term Evolution: A Short History". Octubre. 2010.
URL: <http://antonis-hontzeas.suite101.com/3g-long-term-evolution-a-short-history-a293167>
Última fecha de consulta: 22 de Noviembre del 2011.
- [MPS2011] MPS. Documento: "Bandas LTE en el Perú." 2011.
URL: <http://www.mpdigest.com/issue/Articles/2011/apr/skyworks/Default.aspx>
Última fecha de consulta: 01 de Junio de 2012.
- [MROS2008] ROSAS, MIGUEL. Tesis para optar por el título de Ingeniero de las Telecomunicaciones. Diseño de una red WIMAX móvil para la ciudad de Trujillo. Perú. 2008.

- [MUN2011] MUNDOANUNCIO. Documento: “Instalaciones de Puesta a tierra.” 2011.
URL: <http://lima-lima.mundoanuncio.com.pe/instalaciones-electricas-sistemas-de-puesta-a-tierra-tableros-y-transformadores-alumbrado-iid-282920816>
Última fecha de consulta: 02 de Junio de 2012.
- [NET2007] F5 NETWORKS, INC. Documento: “Introduction to the IP Multimedia Subsystem (IMS): IMS Basic Concepts and Terminology”.
URL: <http://www.f5.com/pdf/white-papers/ims-introduction-wp.pdf>
Última fecha de consulta: 02 de Diciembre del 2011.
- [SCR2011] SCRIBD. Documento: “LTE: Nuevas Tendencias en Comunicaciones Móviles”. 2011.
URL: <http://es.scribd.com/doc/60165166/11/Arquitectura-del-sistema-LTE>
Última fecha de consulta: 17 de Noviembre del 2011.
- [TEC2010] LTE ENCYCLOPEDIA. Documento: “LTE Radio Link Budgeting and RF Planning”. 2011.
URL: <https://sites.google.com/site/lteencyclopedia/lte-radio-link-budgeting-and-rf-planning>
Última fecha de consulta: 28 de Mayo del 2012.
- [TEL2010] TELEFONICA DEL PERU. Documento: “Normas de Telefonía.” 2010.
URL:
http://www.google.com.pe/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=4&ved=0CFAQFjAD&url=http%3A%2F%2Fdocs.seace.gob.pe%2Fmon%2Fdocs%2Fprocesos%2F2007%2F002543%2F037454_CP-12-2007-ESSALUD_GCL-PLIEGO%2520DE%2520ABSOLUCION%2520DE%2520OBSERVACIONES.doc&ei=LVjaT42NLYb89QSq1uzrAw&usq=AFQjCNEPAeMHPGviozsZiufRs6Efcpt6Q
Última fecha de consulta: 02 de Junio de 2012.
- [TKS2007] Documento: “TKS: SB02: 03: Was ist das SIP Trapezoid?” 2007.
URL:
<http://www.rammelhof.at/techwiki/ow.asp?TKS%3A+SB02%3A+03%3A+Was+ist+das+SIP+Trapezoid%3F>
Última fecha de consulta: 01 de Diciembre del 2011.

- [TUT2010] Documento: "IMS IP Multimedia Subsystem Tutorial".
URL: <http://whytelecom.com/content/ims-ip-multimedia-subsystem-tutorial>
Última fecha de consulta: 04 de Diciembre del 2011.
- [VEL2011] VELARDE. Documento: "Bandas LTE en el Perú." 2011.
URL: <http://blog.pucp.edu.pe/item/129267/bandas-lte-en-peru>
Última fecha de consulta: 12 de Junio de 2012.
- [VOI2011] VOICEAGE. Documento: "Products - Codecs". 2011.
URL: <http://www.voiceage.com/codecs.php>
Última fecha de consulta: 20 de Junio de 2012.
- [WIK2010] WIKIPEDIA. Documento: "Distrito del Callao". 2011
URL: http://es.wikipedia.org/wiki/Distrito_del_Callao
Última fecha de consulta: 06 de Diciembre del 2011.



ANEXOS

ANEXO 1: Descripción de las Antenas MIMO para LTE

ANEXO 2: Descripción de la banda elegida y Cálculo de la cobertura teórica de un eNodo B

ANEXO 3: Empleo del software Radiomobile para el análisis de la red de Transporte

ANEXO 4: Descripción de los Códec a emplear en el diseño

