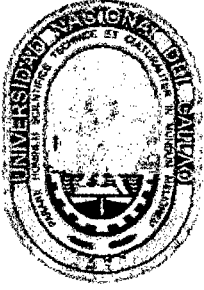


†
621.381
1179



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

“DISEÑO DE UNA RED CON TECNOLOGÍA 3GPP LTE PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”

PRESENTADO POR:

MORENO GUTIERREZ, JOSEPH CHRISTIAN

GUANILO CUBAS, HUGO FRANZ

VILLAGARAY ROMERO, CARLOS CHRISTOPHER

PARA OBTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRONICO

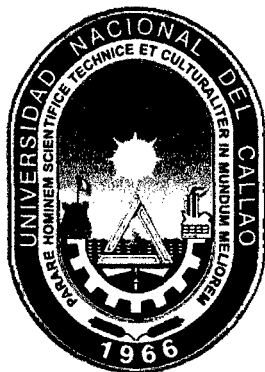
ASESOR:

A handwritten signature in black ink, appearing to be "J. V." or similar, located to the right of the advisor's name.

MG. WILBERT CHAVEZ IRAZABAL

CALLAO – PERÚ

MARZO – 2014



**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
ELECTRÓNICO**

**“DISEÑO DE UNA RED CON TECNOLOGÍA 3GPP LTE
PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”**

**PRESENTADO POR:
MORENO GUTIERREZ, JOSEPH CHRISTIAN
GUANILO CUBAS, HUGO FRANZ
VILLAGARAY ROMERO, CARLOS CHRISTOPHER**

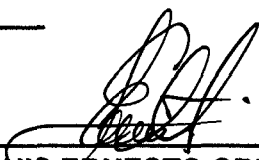
**ASESOR:
MSC. ING. WILBERT CHAVEZ IRAZABAL**

CALIFICACIÓN:

(17) DIECISIETE



**MSc. Ing. NICANOR RAÚL BENITES
SARAVIA**
Presidente de Jurado



**Ing. LUIS ERNESTO CRUZADO
MONTAÑEZ**
Secretario de Jurado



Mg. Ing. JORGE ALBERTO MONTAÑO PISFIL
Vocal de Jurado

**CALLAO – PERÚ
AGOSTO 2013**



**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
ELECTRÓNICO**

**“DISEÑO DE UNA RED CON TECNOLOGÍA 3GPP LTE
PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”**

**PRESENTADO POR:
MORENO GUTIERREZ, JOSEPH CHRISTIAN
GUANILO CUBAS, HUGO FRANZ
VILLAGARAY ROMERO, CARLOS CHRISTOPHER**


**ASESOR:
MSC. ING. WILBERT CHAVEZ IRAZABAL**

CALIFICACIÓN:

(17) DIECISIETE



**MSc. Ing. NICANOR RAÚL BENITES
SARAVIA**
Presidente de Jurado



**Ing. LUIS ERNESTO CRUZADO
MONTAÑEZ**
Secretario de Jurado



Mg. Ing. JORGE ALBERTO MONTAÑO PISFIL
Vocal de Jurado

**CALLAO – PERÚ
AGOSTO 2013**

DEDICATORIA

**A nuestras familias por su esfuerzo y
apoyo incondicional**

**A nuestro asesor por sus enseñanzas y
asesorías de excelente nivel**

**A nuestros amigos y compañeros
con quienes compartimos experiencias
importantes a lo largo del
desarrollo de nuestra tesis**

Agradecimientos

Quiero agradecer a mis padres por siempre estar a mi lado. Con todo su amor y apoyo incondicional he podido resolver los problemas que me han aparecido.

Un agradecimiento a todos los profesores que transmitieron su conocimiento y en especial al Ing Wilber Chavez por esa confianza que puso en esta tesis.

Un agradecimiento a todos mis amigos con los que he compartido gratos momentos y los que me han dado su compañía en la universidad

INDICE

Carátula	I	
Página de Respeto	li	
Hoja de Referencia del jurado y aprobación	lii	
Dedicatoria	iv	
Agradecimiento	v	
Indice	1	
Figuras de contenido	7	
Tabla de contenido	10	
Resumen	13	
Abstract	14	
I	PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	17
1.1	Identificación del problema	17
1.2	Objetivos de la Investigación	18
1.2.1	Objetivo general	18
1.2.2	Objetivos específicos	18
1.3	Justificación	18
1.4	Limitación y facilidades	19
II	MARCO TEÓRICO	20
2.1	3GPP (Third Generation Partnertship Project)	20
2.2	Evolución de la comunicación móvil celular	21
2.3	Primera generación (1G)	21
2.4	Generación de transición (2.5G)	22

2.5	Tercera generación (3G)	23
2.6	Tercera generación (3G)	24
2.7	Cuarta Generación (4G)	25
2.8	Arquitectura de Red LTE	25
2.9	Evolved NodeB (eNB)	26
2.10	Interfaz Radio del sistema LTE	29
2.10.1	División funcional y Pila de protocolos	30
2.10.2	Radio Resource Control (RRC)	33
2.10.3	Packet Dependence Convergence Protocol (PDCP)	33
2.10.4	Capa RLC-MAC	34
2.10.4.a	Funcionalidades relevantes de la sub-capa RLC	34
2.10.4.b	Funcionalidades relevantes de la sub-capa MAC	37
2.10.5	Capa Física	41
2.10.5.a	Concepto de bloque de recursos físicos	42
2.10.6	Orthogonal Frequency Division Multiplex OFDM	45
2.10.6.a	Ventajas de OFDM	48
2.10.6.b	Desventajas de OFDM	48
2.10.6.c	Tipos de Acceso	48
2.10.7	Orthogonal Frequency Division Multiple Access – OFDMA	50
2.10.7.a	Ventajas de OFDMA	51
2.10.7.b	Desventajas de OFDMA	52
2.10.8	Single Carrier Frequency Division Multiple Access	52
2.10.8.a	Ventajas SC-FDMA	53

2.10.8.b	Desventajas de SC-FDMA	53
2.10.9	Diversidad de Antenas - Multiple Input Multiple Output	54
2.10.9.a	Tipos de diversidad Espacial	54
2.10.9.b	Estructura MIMO	57
2.10.9.c	Codificación espacio y tiempo	59
2.10.9.d	Multiuser MIMO (MU-MIMO)	61
2.11	EPC (Evolved Packet Core)	63
2.11.1	MME (Mobility Management Entity)	66
2.11.1.a	MME Pooling	67
2.11.2	S-GW (System Architecture Evolution Gateway)	68
2.11.3	P-GW o PDN-GW (Packet Data Network Gateway)	69
2.11.4	HSS: Home Subscriber Server	71
2.11.5	PCRF: Policy and Charging Rules Function	72
2.11.6	ePDG: evolved Packet Data Gateway	74
2.11.7	Servidor AAA 3GPP	74
2.11.8	Protocolos	75
2.11.8.a	Interfaces basadas en GTP-U	76
2.11.8.b	Interfaces basadas en GTP-C	78
2.11.8.c	Interfaces basadas en Diameter	80
2.11.8.d	Protocolos NAS	81
2.11.9	Autenticación y Seguridad	83
2.11.10	Mecanismo de handover	85
III	VARIABLES E HIPÓTESIS	88

3.1	Variables de la investigación	88
3.1.1	Variable independiente	88
3.1.2	Variable dependiente	88
3.1.3	Relación entre las variables de investigación	89
3.2	Operacionalización de las variables	89
3.3	Hipótesis General	90
IV	METODOLOGÍA	91
4.1	Tipo de investigación	91
4.2	Diseño de la investigación- Red LTE	91
4.2.1	Introducción	91
4.2.2	Segmentación de la Banda APT	95
4.2.3	Frecuencias y canales a utilizar en nuestro diseño	96
4.2.4	Cuadro resumen de ventajas para la banda que utilizaremos	96
4.2.5	Bloques de Recursos en LTE	97
4.2.6	Cálculo de Cobertura del eNodoB	98
4.2.6.a	Análisis del Link Budget para el Uplink	98
4.2.6.b	Análisis del Link Budget para el Downlink	100
4.2.6.c	Modelo Cost 231 HATA	103
4.2.7	Despliegue de Estaciones Bases	105
4.2.8	Diseño del EPC	109
4.2.8.a	Tipos de Topología EPC	109
4.2.8.b	Consideraciones para el MME	112
4.2.8.c	Consideraciones para el SGW/PGW	112

4.2.8.d	Consideraciones para el HSS	113
4.2.9	Equipos del EPC	113
4.2.9.a	USN9810	113
4.2.9.b	UGW9811	119
4.2.9.c	HSS9860 – Home Subscriber Server	124
4.2.9.d	Despliegue de equipos del EPC	127
4.2.10	Red de Transporte IP	129
4.2.10.a	Acceso	130
4.2.10.b	Agregación	130
4.2.10.c	Core	131
4.2.10.d	Integración de eNodoB	131
4.2.11	Terminales 4G	133
4.3	Población y Muestra	134
4.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	135
4.5	Procedimiento de recolección de datos	139
4.5.1	Estudio económico del mercado	139
4.6	Procesamiento estadístico y análisis de datos	140
4.6.1	Análisis de la población en Arequipa	140
4.6.2	Distribución de la PEA ocupada por rango de ingresos 2011	142
4.6.3	Distribución de la PEA según el rango de edad 2011	143
4.6.4	Distribución de la PEA según actividad	143
4.6.5	Actividad económica	144
4.6.6	Situación Actual del Mercado Móvil	147

4.6.7	Competencia y oferta del mercado	148
4.6.8	Mercado Potencial	151
V	RESULTADOS	152
5.1	Introducción	152
5.2	Costo de Inversión – CAPEX	152
5.2.1	Costo red de acceso y Core	152
5.2.2	Costo de Sistema Radiante	153
5.2.3	Costo de infraestructura	154
5.2.4	Costo de instalación de equipos	154
5.2.5	Costo de terminales	155
5.2.6	Capex Total	156
5.3	Costo de Operación y Mantenimiento – OPEX	156
5.3.1	Costo de Operación	157
5.3.2	Costo de mantenimiento	157
5.3.3	Gastos generales	158
5.3.4	OPEX Total	159
5.4	Ingresos	159
5.5	Flujo de caja y evaluación financiera	161
VI	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	163
VII	CONCLUSIONES	165
VIII	RECOMENDACIONES	166
IX	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	167
X	ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA	171

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Evolución de las tecnologías móviles	20
Figura 2.2	Arquitectura de red LTE y sus respectivas interfaces	26
Figura 2.3	Sistema de eNodeB interconectados en una red 3GPP LTE	28
Figura 2.4	Torre de Protocolos de la interfaz aire del sistema LTE	32
Figura 2.5	Concepto de Radio Bloque (Physical Resource Block)	43
Figura 2.6	Modulación OFDM en frecuencia-tiempo	46
Figura 2.7	Ejemplo de señal temporal correspondiente a 6 subportadoras OFDM	47
Figura 2.8	Tecnologías FDMA, TDMA y CDMA	50
Figura 2.9	Multiplexación de usuarios en OFDMA	51
Figura 2.10	(a) De diversidad MISO/SIMO (b) de diversidad MIMO	56
Figura 2.11	Diversos usos de MIMO	57
Figura 2.12	Esquema de MIMO con antenas transmisoras y antenas receptoras	59
Figura 2.13	Esquema de Alamouti	60
Figura 2.14	Relación energía de bit a densidad espectral de ruido respecto a la probabilidad de error de bit	61
Figura 2.15	Sistema MU-MIMO	62
Figura 2.16	Arquitectura básica de la red troncal EPC	64
Figura 2.17	Funciones del MME	66
Figura 2.18	MME Pooling	68

Figura 2.19	Funciones del S-GW	69
Figura 2.20	Funciones del P-GW	71
Figura 2.21	Interfaces del PCRF	73
Figura 2.22	Interfaces del Servidor AAA 3GPP	75
Figura 2.23	Interfaces basadas en GTP-U	76
Figura 2.24	Funcionamiento de un túnel GTP-U	78
Figura 2.25	Interfaces basadas en GTP-C	79
Figura 2.26	Interfaces basadas en Diameter	80
Figura 2.27	Protocolos NAS entre UE y MME	82
Figura 4.1	Declaraciones del Viceministro de Comunicaciones	94
Figura 4.2	Segmentación de la Banda Clase 28 para LTE según la APT	95
Figura 4.3	Concepto de Radio Bloque (Physical Resource Block)	97
Figura 4.4	Estructura del frame en LTE	98
Figura 4.5	Formulas para el modelo COST 231 HATA	103
Figura 4.6	Área de cobertura deseada para nuestra red de 4ta generación	106
Figura 4.7	Despliegue existente de la red actual de Claro	107
Figura 4.8	Ubicación de los sites para el despliegue de nuestra red	108
Figura 4.9	Arquitectura de convivencia 2G, 3G y 4G	109
Figura 4.10	Consideraciones del diseño tipo "A"	110
Figura 4.11	Consideraciones del diseño tipo "B"	110
Figura 4.12	Consideraciones del diseño tipo "C"	111

Figura 4.13	Consideraciones del diseño tipo "D"	111
Figura 4.14	USN9810 vista frontal y vista trasera	117
Figura 4.15	UGW9811 vista frontal y vista trasera	122
Figura 4.16	Subrack OSTA 2.0 del HSS9860	126
Figura 4.17	Ubicación de equipos del EPC sobre el territorio peruano	128
Figura 4.18	Esquema de 3 niveles: Acceso, Agregación y Core	129
Figura 4.19	Integración de eNodoB a la Red IP/MPLS	133
Figura 4.20	Equipos: iphone5, galaxy s4, blackberry z10 y nokia lumia 920	135
Figura 2.21	PBI interno a precios constantes de 1994 de los departamentos del Perú	136
Figura 2.22	PBI interno por habitante a precios corrientes	137
Figura 2.23	Mapa Político Departamental de Arequipa	141
Figura 2.24	Participación en la actividad económica al 2011 del departamento de Arequipa	142
Figura 2.25	Establecimientos censados por actividad económica en Arequipa, 2008	145
Figura 2.26	Cantidad de Líneas a nivel Nacional	147
Figura 2.27	Líneas móviles del Arequipa en el 2012	148
Figura 2.28	Tecnologías de la información y comunicación (en %) en el departamento de Arequipa	150

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1	Tabla comparativa de estándares entre 3G y 4G	25
Tabla 2.2	Canalización en el sistema LTE	41
Tabla 2.3	Número de PRBs en función de la canalización	43
Tabla 2.4	Velocidades de pico posibles en función de la canalización	44
Tabla 2.5	Típos de diversidad de antenas	54
Tabla 2.6	Entidades de red e interfaces de EPC para el acceso desde E-UTRAN	65
Tabla 3.1	Operacionalización de las variables	89
Tabla 4.1	Descripción de la banda LTE APT para el bloque que utilizaremos en nuestro diseño	96
Tabla 4.2	Puntos importantes sobre la banda APT	96
Tabla 4.3	Número de PRBs en función de la canalización	97
Tabla 4.4	Link Budget para el Uplink	99
Tabla 4.5	Link Budget para el Downlink	101
Tabla 4.6	Parámetros para el Modelo COST 231 HATA para el Uplink	104
Tabla 4.7	Parámetros para el Modelo COST 231 HATA para el Downlink	104
Tabla 4.8	Especificaciones de rendimiento del USN9810 (E-UTRAN)	118
Tabla 4.9	Especificaciones de rendimiento del USN9810 (GERAN /	118

UTRAN)

Tabla 4.10	UGW9811 Especificaciones de rendimiento	123
Tabla 4.11	HSS9860 Especificaciones de rendimiento	126
Tabla 4.12	Terminales que soportan LTE	133
Tabla 4.13	PET y PEA de los departamentos de Arequipa y Moquegua	138
Tabla 4.14	PET y PEA en los últimos años en el departamento de Arequipa	141
Tabla 4.15	PEA ocupada por rango de ingresos	142
Tabla 4.16	PEA ocupada por rango de edad	143
Tabla 4.17	Población económicamente activa ocupada por rama de actividad (%)	144
Tabla 4.18	Establecimientos censados por actividad económica, según ámbito político administrativo, 2008	145
Tabla 4.19	Tecnologías de la información y comunicación (en %) en el departamento de Arequipa	149
Tabla 4.20	Estaciones Base en Arequipa	150
Tabla 5.1	Costos de red de acceso y Red	153
Tabla 5.2	Costos de elementos del Sistemas Radiantes	153
Tabla 5.3	Costos de Infraestructura	154
Tabla 5.4	Costos de Instalación	155
Tabla 5.5	Costos de terminales	155
Tabla 5.6	Resumen de costos de inversión CAPEX	156

Tabla 5.7	Costo de operación	157
Tabla 5.8	Costo de mantenimiento	157
Tabla 5.9	Costo de gastos generales	158
Tabla 5.10	Resumen de costos de operación y mantenimiento –	
	OPEX	159
Tabla 5.11	Ingreso por tipo de plan	160
Tabla 5.12	Ingreso de los terminales	160
Tabla 5.13	Ingreso total	161
Tabla 5.14	Flujo de caja	161
Tabla 5.15	VAN y TIR	162

RESUMEN

El presente proyecto de Tesis consiste en realizar el diseño de una Red de Cuarta generación utilizando la tecnología LTE, bajo los estándares del release 9 de la 3GPP (3rd Generation Partnership Project). Durante el desarrollo del proyecto se revisará los beneficios de utilizar LTE, la factibilidad de despliegue de la red en la ciudad de Arequipa y la propuesta de diseño de la red. El proyecto describe el planteamiento de la investigación, así como el marco teórico necesario, nuestras variables e hipótesis, la metodología del trabajo y los resultados; finalmente se darán conclusiones y recomendaciones de acuerdo a lo revisado a lo largo de la elaboración del proyecto

ABSTRACT

This Thesis project is to perform a design to 4th generation network using LTE technology, under the standards 3GPP (3rd Generation Partnership Project) release 9. In this project you will revise the benefits to use LTE, easiness for deployment to the network on Arequipa City and the proposed design about this network. The project describe the research approach,, the theory necessary, variables and hypotheses, methodology of work and the results. Finally you will see the conclusions and recommendations according to the project.

INTRODUCCION

En los últimos años el mercado de las telecomunicaciones móviles ah tenido un incremento sostenido y constante en el país de acuerdo a las estadísticas del INEI. Estas indican que cada vez existen más usuarios de servicios móviles. Los mismos que cada vez exigen mayores recursos de la red para sus diferentes aplicaciones.

Para poder atender la demanda de recursos de la red, LTE proporciona una alta tasa de transferencia de datos, baja latencia y optimización de paquetes, con una tecnología de acceso de radio con un ancho de banda flexible, permitiendo a los operadores migrar sus redes de HSPA a LTE, para lo cual se dispone de una nueva arquitectura de red, que permite soportar en movimiento un tráfico de conmutación de paquetes, con garantía de calidad de servicio a una mínima latencia. Esto se logra ya que LTE utiliza Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales de Acceso (OFDMA) para la descarga de datos (downlink) y Acceso múltiple por división de frecuencia con Portadora Simple (SC-FDMA) para la subida de datos (uplink). Además se incorpora el uso de múltiples antenas (MIMO).

El diseño de la arquitectura LTE integra todas las aplicaciones a través de una arquitectura simplificada. Siendo principales componentes: una red de acceso optimizada y un núcleo de red simplificado. Se dice que la

Arquitectura de LTE es completamente plana, ya que los protocolos utilizados están corriendo sobre la base del protocolo IP.

El desarrollo del proyecto inicia con el marco teórico de la arquitectura LTE, luego se realizará una evaluación socio económica de la ciudad de Arequipa, a continuación se detallará el diseño propuesto de acuerdo a la investigación realizada, posteriormente la evaluación económica de la inversión y operación que demandaría la implementación del proyecto, y finalmente conclusiones y recomendaciones obtenidas a lo largo del desarrollo del proyecto.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Identificación del Problema

En los últimos años el mercado de telecomunicaciones ha tenido un incremento de la demanda en forma sostenida y constante en la ciudad de Arequipa, en lo que se refiere a comunicación de voz y datos móviles.

En cuanto al número de usuarios, las estadísticas nos demuestran que anualmente el uso de los servicios de telecomunicaciones ha venido creciendo considerablemente frente a los demás departamentos de nuestro territorio nacional.

El uso de los aplicativos requieren un mayor ancho de banda, esto hace que sea necesario el uso de tecnologías que satisfagan los requerimientos de sistema de comunicación de banda ancha.

Arequipa es una ciudad donde el turismo ha crecido vertiginosamente y por consiguiente el servicio actual no satisface adecuadamente con brindar el ancho de banda que los usuarios demandan, puesto que el uso de las comunicaciones móviles de banda ancha es requerido mayormente por los turistas para realizar sus múltiples actividades diarias.

El sector industrial necesita recursos tecnológicos de una red de banda ancha para las aplicaciones que la actual tecnología no logra brindar.

El objetivo de nuestro trabajo de tesis se basa en el diseño de una red de banda ancha que pueda solucionar los requerimientos de ancho de banda que demandan las empresas en la ciudad de Arequipa.

1.2 Objetivos de la Investigación

1.2.1 Objetivo general

- **Diseñar una red con tecnología 3GPP LTE, que me puede garantizar el uso de los diferentes aplicativos para los usuarios, los turistas y las industrias en la ciudad de Arequipa.**

1.2.2 Objetivos específicos

- **Realizar la planificación de la Red.**
- **Diseñar una red 3GPP LTE.**
- **Evaluar los costos del proyecto**

1.3 Justificación

- **El despliegue de un red 3GPP LTE permitirá al usuario alcanzar grandes velocidades de transferencia de datos, con lo cual se abre un abanico de aplicaciones como son la capacidad de realizar videoconferencias, videollamadas, transferencia de archivos y todo tipo de servicio que requiera de una red de banda ancha.**
- **Se incrementará el número de turistas en la región de Arequipa, que utilizan diversos aplicativos, los cuales serán soportados por la red que proponemos, con un buen factor de calidad de servicio.**

- El entorno industrial podrá realizar rutinas remotas o accesos remotos, gracias al ancho de banda garantizado para sus aplicaciones, lo cual permitirá optimizar la supervisión de los procesos de forma remota y esta se traducirá en ahorro de costo de operación.

1.4 Limitación y facilidades

1.4.1 Limitaciones

- Costo inicial de implementación de una red en lugares en las cuales existen otras redes que poseen un ancho de banda aproximado al que puede brindar esta nueva tecnología.
- Conseguir financiamiento por parte de una empresa operadora para poder implementar la red 3GPP LTE.

1.4.2 Facilidades

- Disponibilidad de información estadística sobre la región de acceso público.
- Las redes de banda ancha móvil en Arequipa no tienen una gran cobertura.
- Puntos geográficos estratégicos para implementar nuestra red móvil de banda ancha.

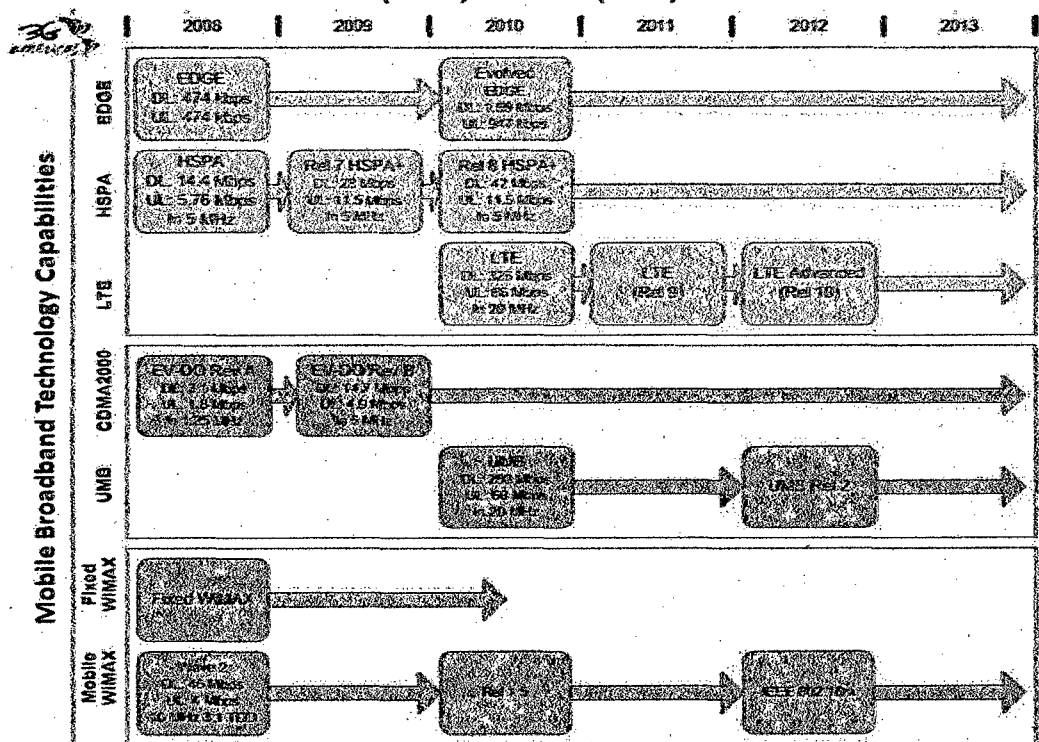
CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. 3GPP (Third Generation Partnership Project)

El Proyecto Asociación de Tercera Generación o más conocido por el acrónimo inglés 3GPP 3rd Generation Partnership Project es una colaboración de grupos de asociaciones de telecomunicaciones, conocidos como Miembros Organizativos.

FIGURA 2.1.
EVOLUCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS MÓVILES SEGÚN 3GPP (AMARILLO), 3GPP2 (ROJO) Y WIMAX (AZUL)



Fuente: 4G Américas

2.2. Evolución de la comunicación móvil celular

Los primeros sistemas de telefonía móvil civil empiezan a desarrollarse a partir de finales de los años 40 en los Estados Unidos. Eran sistemas de radio analógicos que utilizaban en el primer momento modulación en amplitud (AM) y posteriormente modulación en frecuencia (FM). Se popularizó el uso de sistemas FM gracias a su superior calidad de audio y resistencia a las interferencias. El servicio se daba en las bandas de HF y VHF.

2.3. Primera generación (1G)

En 1981 el fabricante Ericsson lanza el sistema NMT 450 (Nordic Mobile Telephony 450 MHz). Este sistema seguía utilizando canales de radio analógicos (frecuencias en torno a 450 MHz) con modulación en frecuencia (FM). Era el primer sistema del mundo de telefonía móvil tal como se entiende hasta hoy en día.

En 1986, Ericsson modernizó el sistema, llevándolo hasta el nivel NMT 900. Esta nueva versión funcionaba prácticamente igual que la anterior pero a frecuencias superiores (del orden de 900 MHz). Además del sistema NMT, en los 80 se desarrollaron otros sistemas de telefonía móvil tales como: AMPS (Advanced Mobile Phone System) en EE. UU. y TACS (Total Access Communication System).

2.4. Segunda generación (2G)

En la década de 1990 nace la segunda generación, que utiliza sistemas como GSM, IS-136, iDEN e IS-95. Las frecuencias utilizadas en Europa fueron de 900 y 1800 MHz.

El desarrollo de esta generación tiene como piedra angular la digitalización de las comunicaciones. Las comunicaciones digitales ofrecen una mejor calidad de voz que las analógicas, además se aumenta el nivel de seguridad y se simplifica la fabricación del Terminal (con la reducción de costos que ello conlleva). En esta época nacen varios estándares de comunicaciones móviles: D-AMPS (EE. UU.), Personal Digital Cellular (Japón), cdmaOne (EE. UU. Y Asia) y GSM.

Muchas operadoras telefónicas móviles implementaron Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) y Acceso múltiple por división de código (CDMA).

El estándar que ha universalizado la telefonía móvil ha sido el archiconocido GSM: Global System for Mobile communications o Groupe Spécial Mobile.

Se trata de un estándar europeo nacido de los siguientes principios:

- Buena calidad de voz (gracias al procesado digital).
- Itinerancia (Roaming).
- Deseo de implantación internacional.
- Terminales realmente portátiles (de reducido peso y tamaño) a un precio asequible.
- Compatibilidad con la RDSI (Red Digital de Servicios Integrados).

- **Instauración de un mercado competitivo con multitud de operadores y fabricantes.**

Realmente, GSM ha cumplido con todos sus objetivos, pero al cabo de un tiempo empezó a acercarse a la obsolescencia porque sólo ofrecía un servicio de voz o datos a baja velocidad (9.6 kbit/s) y el mercado demandaba servicios multimedia que hacían necesario un aumento de la capacidad de transferencia de datos del sistema. Es en este momento cuando se empieza a gestar la idea de 3G, pero como la tecnología CDMA no estaba lo suficientemente madura en aquel momento se optó por dar un paso intermedio: 2.5G.

En 1997, Philippe Kahn decidió crear una cámara de fotos y que se comportara de esta forma. Utilizó la óptica de una cámara Casio QV-10, y un teléfono Motorola Star Tac, desarrolló un software adecuado para compartir con sus amistades, mediante un mensaje de correo electrónico.

2.5 Generación de transición (2.5G)

Dado que la tecnología de 2G fue incrementada a 2.5G, en la cual se incluyen nuevos servicios como EMS y MMS:

- **EMS es el servicio de mensajería mejorado, permite la inclusión de melodías e iconos dentro del mensaje basándose en los sms; un EMS equivale a 3 o 4 sms.**
- **MMS (Sistema de Mensajería Multimedia) Este tipo de mensajes se envían mediante GPRS y permite la inserción de imágenes, sonidos, videos y texto.**

- Para poder prestar estos nuevos servicios se hizo necesaria una mayor velocidad de transferencia de datos, que se hizo realidad con las tecnologías GPRS y EDGE.
- GPRS (General Packet Radio Service) permite velocidades de datos desde 56 kbit/s hasta 114 kbit/s.
- EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution) permite velocidades de datos hasta 384 kbit/s.

2.6 Tercera generación (3G)

3G nace de la necesidad de aumentar la capacidad de transmisión de datos para poder ofrecer servicios como la conexión a Internet desde el móvil, la videoconferencia, la televisión y la descarga de archivos. En este momento el desarrollo tecnológico ya posibilita un sistema totalmente nuevo: UMTS (Universal Mobile Telecommunications System).

UMTS utiliza la tecnología CDMA, lo cual le hace alcanzar velocidades elevadas (de 144 kbit/s hasta 7.2 Mbit/s, según las condiciones del terreno).

UMTS ha sido un éxito total en el campo tecnológico pero no ha triunfado excesivamente en el aspecto comercial. Se esperaba que fuera un bombazo de ventas como GSM pero realmente no ha resultado ser así ya que, según parece, la mayoría de usuarios tiene bastante con la transmisión de voz y la transferencia de datos por GPRS y EDGE.

2.7. Cuarta Generación (4G)

La generación 4, o 4G es la evolución tecnológica que ofrece al usuario de telefonía móvil un mayor ancho de banda. Hoy en día existen varios sistemas de este nivel operando con efectividad con algunas compañías, llamado 3GPP LTE.

TABLA 2.1.
TABLA COMPARATIVA DE ESTÁNDARES ENTRE 3G Y 4G

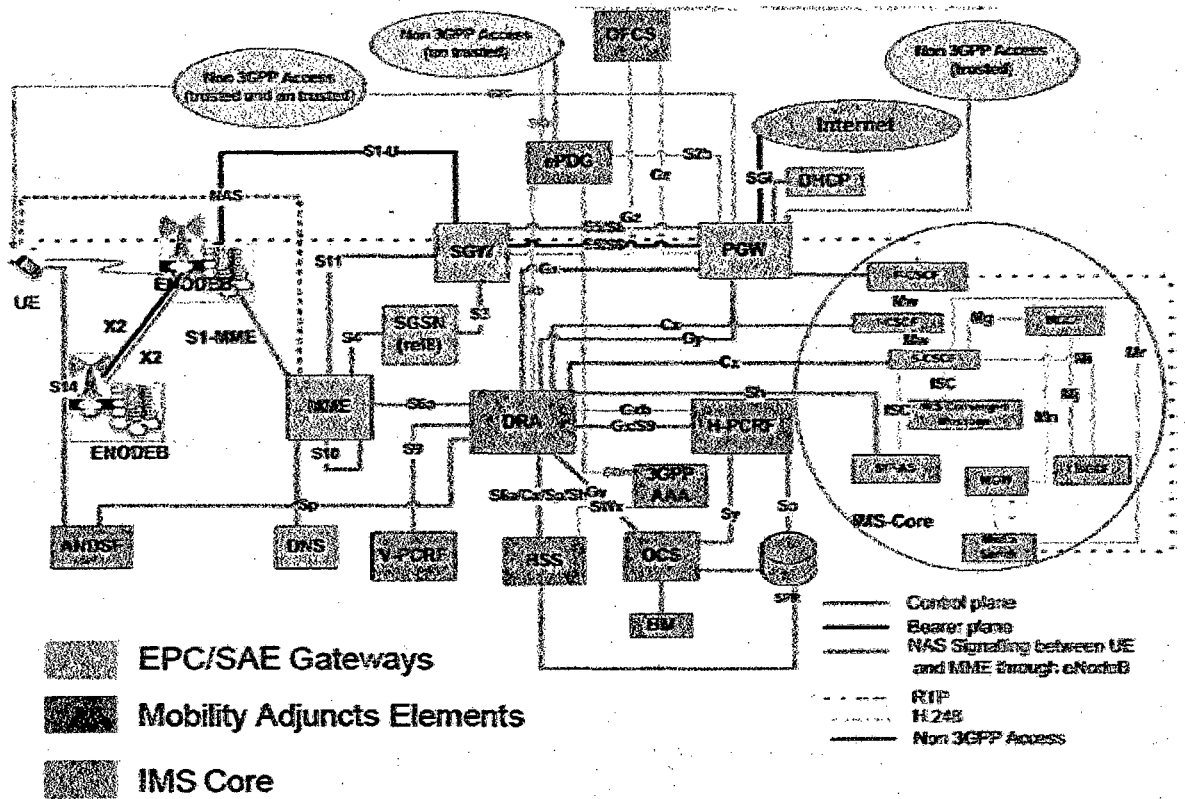
	3G	3.5G					4G
	3G	3.5G		3.75G	3.85G		4G
	UMTS	HSPA / HSDPA / HSUPA	HSPDA	HSUPA	HSPA	HSPA+	LTE
Máxima velocidad de descarga	384 kbps	14.4 Mbps	14.4 Mbps	14.4 Mbps	28 - 42 Mbps	28 Mbps	100-300 Mbps
Máxima velocidad de subida	128 kbps	5.7 Mbps	384 kbps	7.2 Mbps	11.5 Mbps	11 Mbps	50-75 Mbps
Latencia (aprox.)	150 ms	100 ms	100 ms	100 ms	100 ms	30 ms (HSPA+)	~10 ms
Modo de acceso	WCDMA	WCDMA	WCDMA	WCDMA	WCDMA	WCDMA	OFDMA / SC-FDMA
Tipos de modulación soportados	QPSK	QPSK / 16-QAM	QPSK / 16-QAM	QPSK / 16-QAM	QPSK / 16-QAM	QPSK / 16-QAM	QPSK / 16-QAM / 64-QAM
Bandwidth	5 MHz	6 MHz	5 MHz	5 MHz	5 MHz	5 MHz	1.4 - 20 MHz

Fuente: 4G Américas

2.8. Arquitectura de Red LTE

A continuación las Interfaces y elementos de la Red LTE.

FIGURA 2.2.
ARQUITECTURA DE RED LTE Y SUS RESPECTIVAS INTERFACES DE COMUNICACIÓN.



Fuente: "LTE Design and Deployment Strategies"

2.9. Evolved NodeB (eNB)

El eNB integra todas las funciones de la red de acceso. Por ello, en el eNB terminan todos los protocolos específicos de la interfaz radio. Mediante dichos protocolos, el eNB realiza la transmisión de los paquetes IP hacia/desde los equipos de usuario junto con los mensajes de señalización necesarios para controlar la operación de la interfaz radio. El servicio de transferencia de paquetes IP entre un eNB y un equipo de usuario se denomina formalmente como servicio portador radio (Radio Bearer, RB). El

eNB mantiene un contexto de cada uno de los equipos de usuario que tiene conectados. En dicho contexto se almacena la información necesaria para mantener los servicios de E-UTRAN activos (información sobre el estado del equipo de usuario, servicios portadores activos, información de seguridad, capacidades del terminal, etc.).

Sin duda, la funcionalidad clave de un eNB consiste en la gestión de los recursos radio. Así, el eNB alberga funciones de control de admisión de los servicios portadores radio, control de movilidad (por ejemplo, decisión de realizar un handover), asignación dinámica de los recursos radio tanto en el enlace ascendente como descendente (denominadas funciones de scheduling), control de interferencias entre estaciones base, control de la realización y del envío de medidas desde los equipos de usuario que puedan ser útiles en la gestión de recursos, etc.

Otra función importante introducida en la funcionalidad de un eNB es la selección dinámica de la entidad MME de la red troncal EPC cuando un terminal se registra en la red LTE, esta función otorga un grado de flexibilidad muy importante en la operatividad de la red. En E-UTRAN, a diferencia de arquitecturas más jerarquizadas como GERAN o las primeras versiones de UTRAN, un eNB puede estar conectado simultáneamente a múltiples MMEs de la red troncal. El conjunto de MMEs a los que tiene acceso un NB se denomina su pool área.

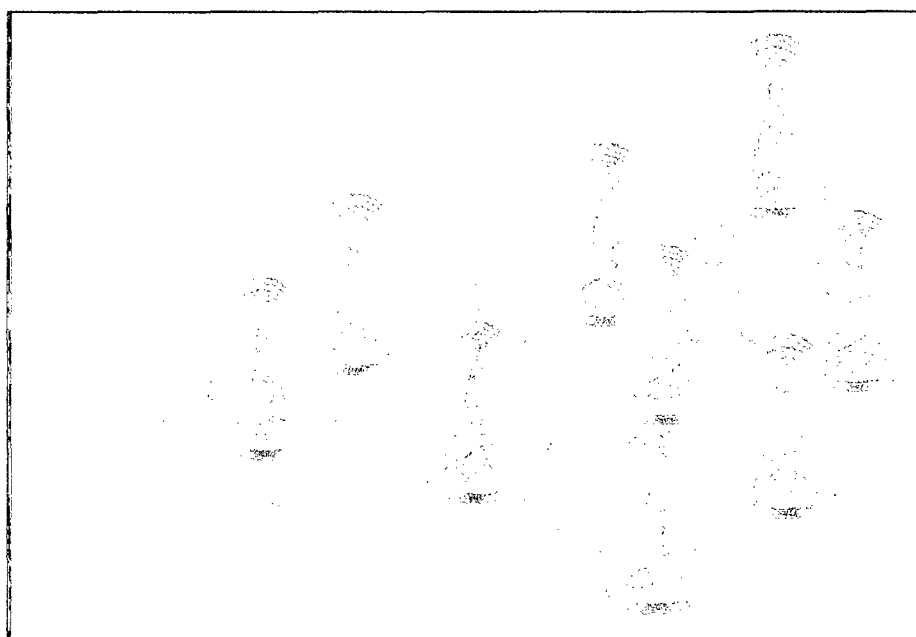
Así, mediante la selección de qué entidad MME va a controlar el acceso de cada usuario, es posible balancear la carga de señalización entre diferentes MMEs así como aumentar la robustez del sistema frente a puntos de fallo

críticos. Esta opción se soporta mediante lo que se denomina la interfaz S1 flexible (S1-flex).

Al igual que la posibilidad de interactuar con múltiples MMEs, un eNB puede enviar/recibir paquetes IP de los usuarios a los que sirve a través de diferentes pasarelas S-GW de la red troncal EPC. Ello conlleva que el eNB albergue funciones de encaminamiento del tráfico de los usuarios hacia la pasarela de red S-GW correspondiente. La elección de S-GW en este caso compete a la entidad MME y no al eNB.

Un eNB puede gestionar una o varias celdas. Un caso típico es el uso de sectorización de forma que, el eNB ubicado en un emplazamiento soporta tantas celdas como sectores.

FIGURA 2.3.
SISTEMA DE ENODEB INTERCONECTADOS EN UNA RED 3GPP LTE



Fuente: Samsung LTE

2.10 Interfaz Radio del sistema LTE

La interfaz aire permite la interconexión y el envío de tráfico y señalización entre el terminal móvil y las estaciones base denominadas *evolved NodeB* (eNB).

Los objetivos marcados por el organismo de estandarización 3GPP para el diseño de la interfaz aire del LTE son:

- **Altas velocidades de transmisión de pico: mayores de 100 Mb/s en el enlace descendente y 50 Mb/s en el ascendente. Para ello se utilizarán modulaciones de elevada eficiencia espectral (por ejemplo 64 QAM en el enlace descendente).**
- **Mejora de la eficiencia espectral entre 2 y 4 veces comparada con la eficiencia espectral del sistema UMTS versión (release) 6. En particular se espera una eficiencia espectral mayor que 5bits/s/Hz utilizando modulaciones de alta eficiencia espectral y un método de acceso basado en la técnica OFDM.**
- **Mejora de la latencia (retardo) del sistema:**
- **La latencia de la red de acceso radio en el plano de usuario debe ser menor de 10 ms.**
- **Reducción significativa de la latencia del plano de señalización, ello se consigue dotando de inteligencia al eNB, es decir ubicando en él la**

mayor parte de las funcionalidades relacionadas con la gestión del acceso radio.

- **Ancho de banda escalable:** Valores estandarizados de 1.4, 3, 5,10, 15 y 20 MHz.
- El sistema debe operar tanto en bandas pareadas (FDD) como en no pareadas (TDD).
- El sistema debe permitir/facilitar la interconexión con sistemas de comunicaciones móviles previos (UMTS, GPRS, etc.).
- El sistema LTE debe ser eficiente en costes,
- Reducción de los costes de inversión (CAPEX) y de operación (OPEX).
- Los costes también deben ser limitados en el caso de migración desde sistemas de comunicaciones móviles previos.

2.10.1. División funcional y Pila de protocolos

La red de acceso radio del sistema LTE está compuesta básicamente por eNBs (o estaciones base) a través de los cuales se conectan los terminales móviles a la red, utilizando para ello la denominada interfaz aire del sistema.

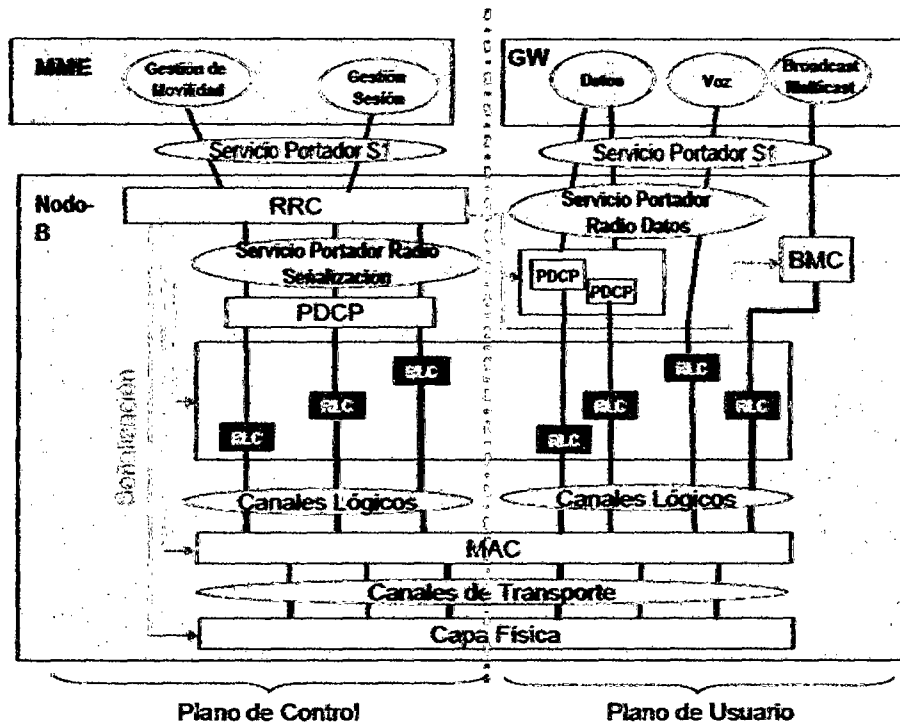
El eNB se conecta a la red troncal a través de la interfaz S1, que en realidad está desdoblada en dos interfaces diferentes: una para conectarse con el

nodo encargado de las funciones de control en la red troncal (denominado **Mobility Management Entity o MME**) y otro que se encarga de las funciones de transferencia de los paquetes de usuario entre el eNB y en la red troncal a través del denominado **Server Gateway (S-GW)**. Opcionalmente, los eNBs pueden conectarse entre sí mediante la denominada interfaz X2 que permite, entre otras funciones, realizar la transferencia de paquetes de usuario entre eNBs durante el proceso de transferencia de llamada (handover) para mejorar sus prestaciones.

En la figura 2.4 se resume la torre de protocolos de la interfaz aire del sistema LTE. Como es habitual en los equipos de telecomunicación, la estructura de esta torre de protocolos se articula en dos planos:

- El plano de usuario, destinado al envío de la información de usuario (paquetes IP generados por los terminales móviles o destinados a él).
- El plano de control o señalización, destinado a transportar los mensajes de control intercambiados entre la red y el terminal móvil, y que permiten un correcto funcionamiento del sistema.

FIGURA 2.4.
TORRE DE PROTOCOLOS DE LA INTERFAZ AIRE DEL SISTEMA LTE



Fuente: "Nuevas tendencias en comunicaciones móviles"

En tanto que gestionan el comportamiento y las prestaciones del enlace radio, los protocolos PDCP, RLC y MAC se denominan protocolos de capa 2 (Layer 2 protocols) o protocolos de la capa de gestión del enlace. Por su parte el protocolo RRC se entiende como un protocolo de capa 3 en tanto que gestiona funcionalidades a nivel de red. Obviamente el protocolo de la capa física es un protocolo de capa 1.

Por otra parte, la interrelación entre los diferentes protocolos se hace a partir de los denominados canales lógicos, de transporte y físicos. Los canales lógicos se establecen entre la capa RLC y la MAC y se utilizan para describir el tipo de información de usuario y/o señalización que se transmite a través

de la interfaz aire. Los canales de transporte se establecen entre la capa MAC y la capa física y básicamente aportan flexibilidad a la interfaz aire, ya que permiten multiplexar diferentes canales lógicos en un canal de transporte. Además, los canales de transporte también se utilizan para describir cómo y con qué características se transmite la información a través de la interfaz aire.

Finalmente los denominados canales físicos describen los mecanismos físicos de transmisión/recepción a través del enlace radio tanto de la información de usuario como de la propia señalización del sistema.

2.10.2. Radio Resource Control (RRC)

El protocolo de Control de Recursos radio (Radio Resource Control o RRC), es el encargado de controlar el comportamiento del móvil cuando éste está en el modo de operación "estado conectado", mientras que especifica la señalización de aviso (paging) y del Sistema de Información cuando el sistema todavía no tiene establecidos los servicios portadores radio (i.e., terminal en modo Idle).

2.10.3. Packet Dependence Convergence Protocol (PDCP):

Funcionalidades Principales

Este protocolo ubicado sobre la sub-capas RLC aplica a todos los flujos de datos transmitidos en el plano de usuario así como a la mayoría de mensajes emitidos por el Radio Resource Controller (RRC) y transmitidos a través del plano de control de la interfaz aire LTE.

El protocolo PDCP, tiene como funcionalidades más importantes:

- **Compresión/descompresión de las cabeceras de los paquetes IP que llegan al eNB. El protocolo utilizado para ello es el denominado Robust Header Compression (ROHC) definido por el IETF en su estándar RFC3095. Mediante ésta compresión el tamaño de la cabecera se reduce de los 40 octetos típicos de una cabecera UDP/TCP-IP a un tamaño medio de cabecera entre 1 y 3 octetos.**
- **Cifrado de los datos y la señalización, utilizando para ello una clave de 128 bits.**
- **Implementa mecanismos de protección de la integridad de los mensajes de señalizados generados tanto por la capa RRC como por los protocolos de la parte de Non-Access Stratum (NAS) ubicados en la entidad de gestión de la movilidad (MME).**
- **Funcionalidades adicionales de capa 2 tales como reordenación y/o detección de duplicidades de paquetes RLC cuando se implementan mecanismos de movilidad entre eNBs.**

2.10.4. Capa RLC-MAC

2.10.4.a. Funcionalidades relevantes de la sub-capa RLC

La subcapa RLC, es la responsable de una transmisión fiable de la información a través de la interfaz aire. En particular:

Implementa procedimientos de segmentación/concatenación de los paquetes IP recibidos de capas superiores (también denominados RLC_SDU) para

adaptar su tamaño a las capacidades de transmisión de la interfaz aire. A los paquetes creados se les denomina RLC_PDU.

Implementa mecanismos de retransmisión de los RLC-PDU recibidos erróneamente, así como evitar duplicidades y gestiona que los paquetes SDU_RLC recibidos se entreguen ordenados a las capas superiores.

- Canales Lógicos

Los canales lógicos se utilizan para describir el tipo de información que se transmite a través de la interfaz aire. Los canales lógicos se clasifican en canales lógicos de tráfico y canales lógicos de control.

- Canales Lógicos de Tráfico

DTCH (Dedicated Traffic Channel). Es un canal punto a punto destinado a transferir información entre la red (eNB) y un terminal móvil determinado. Puede ser utilizado para transferir información de usuario así como señalización a nivel de aplicación asociada a un flujo de datos de usuario. Este canal lógico existe tanto en el enlace descendente como ascendente.

MTCH (Multicast Traffic Channel). Es un canal punto-multipunto utilizado para transmitir desde la red (eNB) información a un grupo de usuarios. Típicamente este canal se utiliza para implementar el servicio MBMS (Multimedia Broadcast and Multicast Service). Este canal lógico sólo existe en el enlace descendente.

Canales Lógicos de Control

Broadcast Control Channel (BCCH). Este es un canal de control que utiliza el eNB para transmitir a los terminales móviles bajo su área de cobertura información sobre el sistema (e.g., la identificación del operador y la celda, configuración de los canales comunes de control o como acceder al sistema). Este es un canal lógico que sólo existe en el enlace descendente.

Paging Control Channel (PCCH). Este es un canal que utiliza la red (eNB) para llamar a terminales móviles de los que se conoce cuál es su área de localización pero no la celda o eNB en la que están ubicados. Como en el caso anterior, este canal lógico sólo existe en el enlace descendente.

Common Control Channel (CCCH). Este canal permite la comunicación entre el eNB y el terminal móvil cuando todavía no se ha establecido una conexión a nivel de RRC.

Se utiliza para enviar información de control fundamentalmente en las fases iniciales del establecimiento de la conexión. Este canal lógico existe tanto en el enlace descendente como ascendente.

Dedicated Control Channel (DCCH). Es un canal punto a punto destinado a transferir información de control entre la red (eNB) y un terminal móvil determinado, una vez que se dispone de una conexión a nivel de RRC. Es importante subrayar que este canal lógico sólo contiene información de control procedente del RRC y señalización a nivel de NAS, pero no señalización a nivel de aplicación asociada a un flujo de datos de usuario. Este canal lógico existe tanto en el enlace descendente como ascendente.

Multicast Control Channel (MCCH). Es un canal punto-multipunto utilizado para transmitir información de control desde la red (eNB) a un grupo de usuarios que reciben servicios MBMS. Este es un canal lógico que sólo existe en el enlace descendente.

2.10.4.b. Funcionalidades relevantes de la sub-capas MAC

La sub-capas MAC, proporciona el enlace entre los servicios proporcionados por la subcapas RLC y la capas física. La sub-capas MAC proporciona las siguientes funcionalidades:

- **Mecanismos de corrección de errores mediante procedimientos de retransmisión (Hybrid ARQ o HARQ)**. Este es un mecanismo de retransmisión, distinto del situado en la capas RLC, que se aplica ahora sobre los canales de transporte. El procedimiento HARQ utiliza técnicas de retransmisión basadas en el incremento de redundancia. Esto es, inicialmente se transmite la información contenida en canal de transporte con un mínimo de redundancia capaz de corregir los errores que introduce el canal radio, si éste no está fuertemente desvanecido. Si en recepción con esta redundancia no basta para corregir los errores, en lugar de volver a retransmitir todo el paquete, como en el caso de las técnicas de retransmisión convencional, ahora se solicita la transmisión sólo de información de redundancia adicional, no transmitida anteriormente. Una vez recibida esta información de redundancia adicional, se añade a la ya disponible en el receptor para volver a intentar detectar correctamente la información transmitida por el canal de transporte. Si nuevamente se

produce una detección errónea de la información transmitida se repite el proceso hasta que o bien se recibe correctamente dicho canal de transporte o bien se completa la transmisión de toda la información de redundancia asignada al código utilizado. Con este mecanismo de transmisión parcial de la redundancia de codificación se busca optimizar el uso del canal radio, transmitiendo la mínima información de redundancia posible para que en recepción se pueda detectar correctamente el canal de transporte transmitido.

- Gestión de prioridades entre canales lógicos de un mismo terminal móvil así como entre terminales móviles, utilizando técnicas de gestión dinámica de recursos (Dynamic Scheduling).

- Selección del formato de transmisión (tipo de modulación, tamaño del bloque de transporte, etc.) a utilizar por parte de la capa física.

- Multiplexado/demultiplexado de paquetes MAC (MAC_SDUs) pertenecientes a diferentes canales lógicos en los denominados bloques de transporte (Transport Blocks o TB) para ser entregados/recibidos a/de los canales físicos utilizando para ello los denominados canales de transporte. En el caso que existan diferentes posibilidades de mapeo entre los canales de transporte y los canales físicos, la sub-capa MAC selecciona la configuración más apropiada, tomando en consideración las posibles configuraciones definidas por el operador.

- Informar sobre la gestión de los recursos radio. De forma general, el sistema LTE gestiona los recursos de dos formas: gestión dinámica y gestión semi-estática o persistente.

- En el caso de gestión dinámica de recursos, utiliza el enlace descendente (eNB hacia Móvil) para enviar mensajes de asignación de recursos y el enlace ascendente (Móvil hacia eNB) para confirmar dicha asignación, subtrama a subtrama. En el caso de asignación semi-estática el procedimiento es similar, sólo que los recursos asignados en el enlace ascendente lo son por un periodo de tiempo mayor que una subtrama. En ambos casos el móvil envía al eNB los denominados Buffer Status Reports que informan del número de bytes almacenados en las colas (buffer) del móvil todavía pendientes de transmitir. A partir de esta información el eNB puede realizar la asignación de recursos más apropiada, tanto en el enlace ascendente como descendente, en función de los requisitos de calidad de servicio asociados a cada flujo de información (ó servicio establecido).

➤ **Canales de Transporte**

Los canales de transporte se utilizan para describir cómo y con qué características se transmite la información a través de la interfaz aire. Los canales de transporte se clasifican en función de que se utilicen en el enlace descendente o ascendente:

Enlace descendente:

Broadcast Channel (BCH). Este canal de transporte está unívocamente asociado con el canal lógico BCCH. Tiene un formato fijo, y se transmite en toda el área de cobertura del eNB.

Downlink Shared Channel (DL-SCH). Transporta tanto información de usuario como señalización. Soporta técnicas de retransmisión basadas en HARQ, y adaptación dinámica de enlace radio (i.e., dynamic link adaptation) variando modulación y códigos.

Permite que le sean asignados recursos radio tanto de forma dinámica como semi-estática, así como la posibilidad de implementar mecanismos de recepción discontinua en el terminal móvil (DRX) para aumentar la eficiencia en potencia. En el caso del servicio MBMS, éste canal se puede configurar para difusión en toda la celda o bien en parte de ella utilizando técnicas de conformación de haz (beamforming).

Paging Channel (PCH). Este canal se transmite en toda el área de cobertura de la celda. Permite llamar a los terminales móviles así como informarlos de actualizaciones realizadas en el denominado "Sistema de Información". Permite una asignación dinámica de recursos.

Multicast Channel (MCH). Transmitido en toda el área de cobertura de la celda. En el caso del servicio MBMS, facilita el uso de una red iso-frecuencia (i.e., Single Frequency Network) utilizando una trama temporal con prefijo cíclico largo y una gestión semiestática de los recursos radio.

Enlace ascendente

Uplink Shared Channel (UL-SCH): Transporta tanto información de usuario como señalización. Soporta técnicas de adaptación dinámica del enlace (modulación, codificación, potencia de transmisión.) así como mecanismos

de retransmisión basados en HARQ. Permite la asignación de recursos radio tanto de forma dinámica como semiestática.

Está preparado para permitir el uso de técnicas de conformación de haz (i.e., beamforming).

Random Access Channel (RACH): Se utiliza para enviar peticiones de acceso al sistema, así como para transmitir mensajes cortos de información de control. Al ser un canal compartido por los diferentes usuarios del sistema existe riesgo de colisiones.

2.10.5. Capa Física

La capa física de la interfaz aire del sistema LTE, se basa en la utilización de técnicas de acceso múltiple OFDMA en el enlace descendente (eNB a Móvil) y SC-FDMA en el enlace ascendente (Móvil a eNB). En ambos casos la separación entre subportadoras es fija e igual a 15 KHz. El número de subportadoras disponibles varía en función de la canalización del sistema, tal como se indica en la siguiente tabla.

TABLA 2.2.
CANALIZACIÓN EN EL SISTEMA LTE

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

Fuente: "LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles"

La capa física del sistema LTE está pensada para operar en bandas altas de UHF, por encima de los 450MHz y hasta los 3,5 GHz, De hecho el estándar define hasta 40 posibles bandas de operación trabajando bien en modo de duplexión por división de frecuencia (FDD) o bien en duplexión por división en el tiempo TDD. La mínima separación entre posibles frecuencias portadoras, denominada Channel Raster, es de 100 KHz.

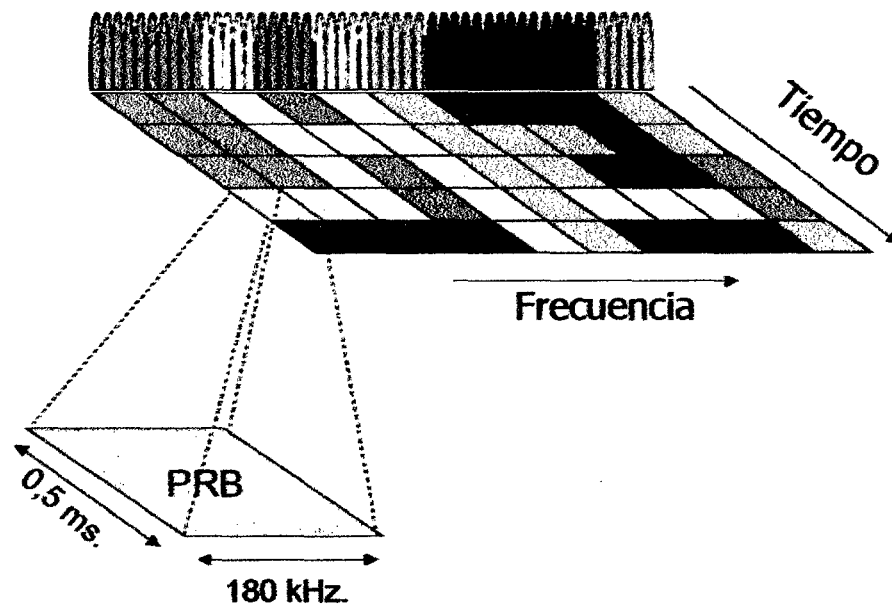
Los posibles esquemas de modulación son: QPSK, 16QAM y 64QAM para el enlace descendente (DL) y QPSK y 16 QAM para el enlace ascendente (UL). Opcionalmente se contempla la posibilidad de incluir 64 QAM en el enlace ascendente en función de las capacidades del terminal móvil.

Utilizando técnicas MIMO (2x2) y para una canalización de 20 MHz es posible alcanzar una velocidad de transmisión de pico a nivel de capa física de 150 Mb/s en el enlace descendente y 75 Mb/s en el ascendente.

2.10.5.a Concepto de bloque de recursos físicos (Physical Resource Block)

Se denomina PRB (Physical Resource Block), al mínimo elemento de información que puede ser asignado por el eNB a un terminal móvil. Un PRB ocupa 180 KHz de banda equivalente a doce sub-portadoras equiespaciadas 15KHz entre ellas, y en él se transmiten 6 ó 7 símbolos OFDMA, dependiendo de la longitud de prefijo cíclico utilizada. La duración de un PRB es igual a 0,5 ms, es decir la duración de un slot o ranura temporal.

FIGURA 2.5.
CONCEPTO DE RADIO BLOQUE (PHYSICAL RESOURCE BLOCK)



Fuente: "LTE: Nuevas tendencias en comunicación2es móviles"

El número de bloques de recursos físicos disponible en el sistema depende de la canalización tal como se indica en la siguiente tabla:

TABLA 2.3.
NÚMERO DE PRBS EN FUNCIÓN DE LA CANALIZACIÓN

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

Fuente: "LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles"

Hay que subrayar que el número de subportadoras disponibles (indicado en Tabla 2.2) y el número de PRB (indicado en la Tabla 2.3) están relacionados. En efecto el número de subportadoras es 12 veces el número de PRBs más una, ya que hay que considerar que la subportadora central (ó subportadora

DC) de la banda disponible no se utiliza para transmitir información. La subportadora DC se utiliza para facilitar los mecanismos de ajuste y sincronización en frecuencia del receptor.

En un bloque de recursos físicos (PRB) se dispone de 7 símbolos con 12 subportadoras asociadas a cada uno de ellos, tenemos en total 84 recursos disponibles en donde ubicar los símbolos QPSK, 16QAM o 64 QAM. Suponiendo que utilizamos la modulación de mayor eficiencia espectral, es decir 64 QAM que transmite 6 bits/símbolo, resulta que en un PRB podemos llegar a transmitir hasta 504 bits, incluyendo datos codificados de usuario, canales de control y señalización propia de la capa física del sistema, cada 0,5 ms, lo que proporciona una velocidad bruta de transmisión de pico de aproximadamente $R_{b,PRB} = 504 \text{ bits} / 0,5 \text{ ms}$; 1 Mb/s.

Por consiguiente, tomando en consideración el número de radiobloques indicados en la Tabla 2.3, las velocidades de pico globales en la interfaz aire para las distintas canalizaciones son:

TABLA 2.4.
VELOCIDADES DE PICO POSIBLES EN FUNCIÓN DE LA CANALIZACIÓN

Canalización	1.4 MHz	3 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz.
Velocidad de Pico Total (Mb s)	$\cong 6$	$\cong 15$	$\cong 25$	$\cong 50$	$\cong 75$	$\cong 100$
Velocidad de pico bruta de usuario (Mb s) (15% de los recursos destinados a control y señalización)	$\cong 5,1$	$\cong 12,8$	$\cong 21$	$\cong 42,5$	$\cong 63,7$	$\cong 85$

Fuente: "LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles"

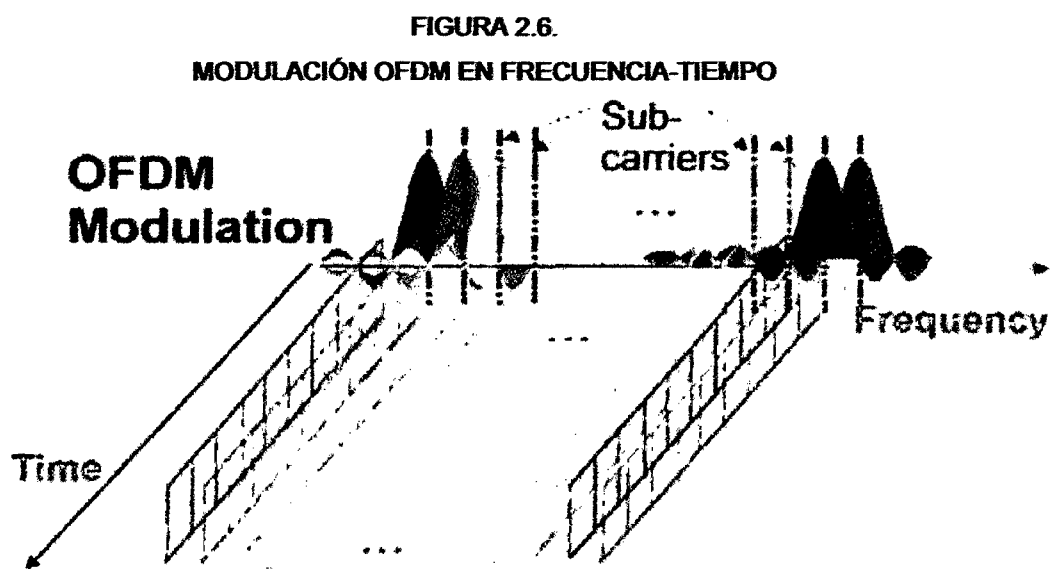
Como se ha comentado anteriormente, los valores de velocidad de pico indicados en la primera fila incluyen tanto los datos de usuario como los canales de señalización del sistema y las señales de referencia. Si estimamos que los recursos destinados a control y señalización en LTE oscilan alrededor de un 15% aproximadamente del total disponible, entonces en la segunda fila de la Tabla 2.4. se indica una cota a las velocidades de transmisión de pico brutas o a nivel de capa física por usuario del sistema. Estas velocidades se corresponden a un sistema sin multiplexado espacial (sin MIMO). En el caso de considerar una estructura MIMO 2x2 podemos estimar grosso modo que las velocidades de pico serán el doble, es decir, se confirma que la interfaz aire del sistema LTE puede alcanzar los 150Mb/s en el enlace descendente si dispone de una canalización 20 MHz , tal como se ha indicado anteriormente. Obviamente, el cálculo anterior es una primera estimación de las capacidades de transmisión del sistema.

Las velocidades de pico reales alcanzadas por un usuario dependen de muchos factores, por ejemplo la calidad del canal radio, el número de usuarios simultáneos en la celda, el tipo de despliegue realizado por el operador, el tipo de servicio considerado y la calidad (QoS) asociada, la capacidad del terminal móvil etc.

2.10.6. Ortogonal Frequency Division Multiplex OFDM

OFDM es una técnica de transmisión que se basa en un mecanismo de transmisión multi-portadora, cuyo proceso es multiplexar un conjunto de símbolos sobre subportadoras ortogonales entre sí. [15]

OFDM se origina para aplicaciones de uso militar, trabaja dividiendo el espectro disponible en múltiples subportadoras. En aquella transmisión en la que no existe "visión directa" entre el receptor y el transmisor, aparecen reflexiones o absorciones de la señal, que implica una degradación de la señal recibida, que se manifiesta mediante efectos como pueden ser la atenuación plana, la atenuación selectiva en frecuencia o la interferencia intersimbólica. [14]



Fuente: "LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles"

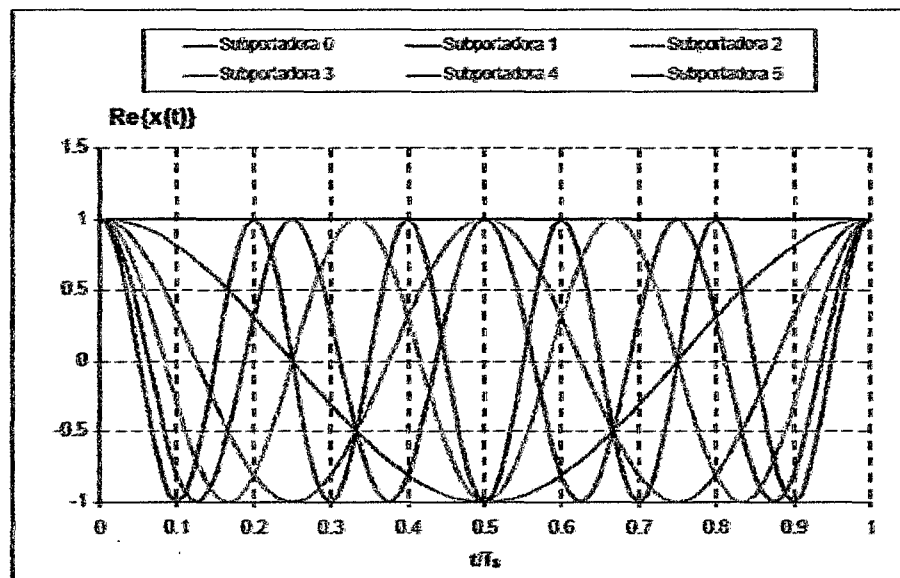
Si bien esta técnica es ampliamente conocida desde los años 60, su aplicación práctica en el ámbito de las comunicaciones inalámbricas es mucho más reciente, principalmente debido a la complejidad que involucraba en los equipos transmisores y receptores. Hoy en día es utilizada por sistemas tales como la Televisión Digital Terrestre según el estándar DVB-T o las redes inalámbricas de área local según los estándares IEEE 802.11a/g,

a la vez que constituye la base para la técnica de acceso múltiple OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) empleada por el sistema LTE [2].

Las señales serán ortogonales entre sí, siempre y cuando la frecuencia de todas las subportadoras sea un múltiplo entero una frecuencia fundamental. Gracias a las propiedades de ortogonalidad de dichas subportadoras, es posible efectuar la transmisión simultánea de todos los símbolos manteniendo la capacidad de separación de los mismos en recepción.

FIGURA 2.7.

EJEMPLO DE SEÑAL TEMPORAL CORRESPONDIENTE A 6 SUBPORTADORAS OFDM



Fuente: "LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles"

El usar frecuencias múltiples lleva al uso de antenas múltiples para la transmisión de los datos simultáneamente, en donde para recuperarla se usarían aquellos paquetes que llegan al receptor. [12]

2.10.6.a. Ventajas de OFDM

- **Diversidad frecuencial**
- **Robustez frente a la propagación multitrayecto**
- **Flexibilidad en la banda asignada**
- **Elevada granularidad en los recursos asignables**
- **Sencillez de implementación en el dominio digital:**

2.10.6.b. Desventajas de OFDM

- **Elevada relación entre la potencia instantánea y la potencia media.**
- **Alta sensibilidad a errores por pérdida de sincronización, en frecuencia o tiempo.**

2.10.6.c. Tipos de Acceso

A continuación un breve resumen de las tecnologías usadas anteriormente.

TDMA - *Time division multiple access*

Las llamadas son separadas en base a tiempos denominados "time slots". Múltiples usuarios utilizan la misma frecuencia pero en tiempos distintos. Los usuarios pueden reusar los canales mientras estos no estén siendo utilizados. Es necesario un método para que los canales adyacentes no generen interferencia.

CDMA - Code division multiple access

El ancho de banda total es compartido entre los usuarios, y estos son diferenciados mediante unos códigos únicos. Utilizan una frecuencia para todas las celdas y las llamadas son codificadas. Una desventaja radica en que la capacidad de un canal CDMA ante la presencia de ruido y de estaciones descoordinadas es típicamente menor de lo que se puede lograr con TDM.

FDMA - Frequency Division Multiple Access

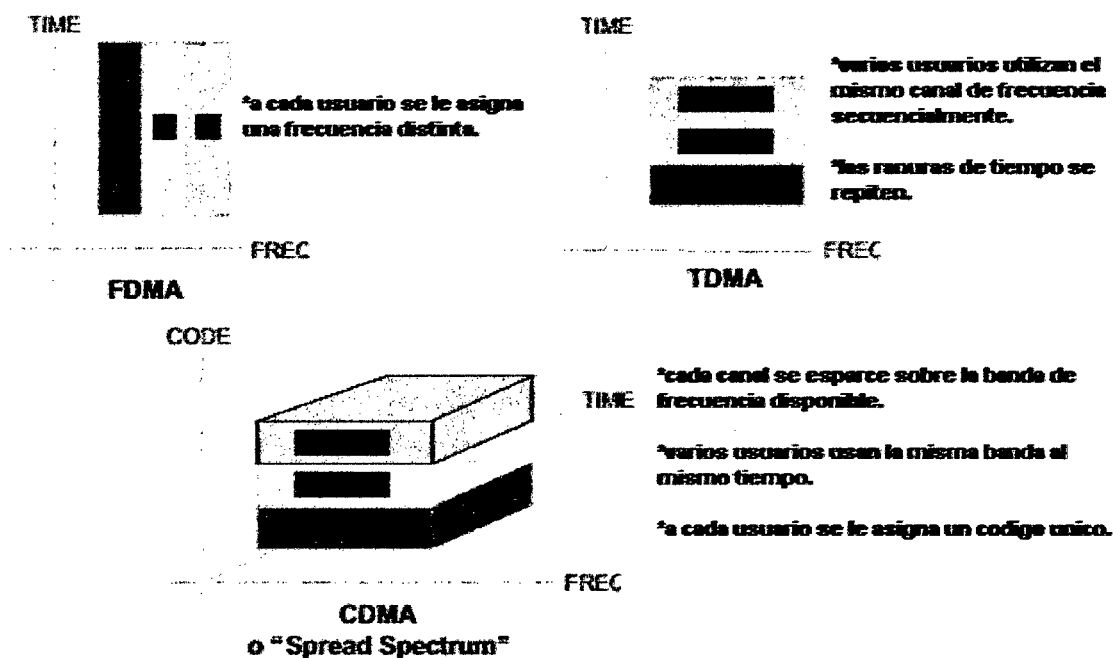
El ancho de banda total es dividido en múltiples frecuencias, ésta división de frecuencias se realiza mediante frecuencias no solapadas, separadas por un intervalo de guarda. Cada frecuencia es asignada a diferentes usuarios. Esta técnica hace un mal uso del ancho de banda proporcionado.

OFDMA - Orthogonal Frequency Division Multiple Access

Ésta técnica es una mejora de OFDM, el cual utiliza múltiples subfrecuencias, solapando a estas ortogonalmente, y utilizando mejor el espectro. Además las diversas subfrecuencias pueden ser agrupadas para diferentes servicios, proporcionando las subfrecuencias necesarias para los diferentes servicios.

FIGURA 2.8.

TECNOLOGÍAS FDMA, TDMA Y CDMA



Fuente: <http://www.taringa.net/posts/ciencia-educacion/14073460/Tdma-fdma-y-cdma.html>

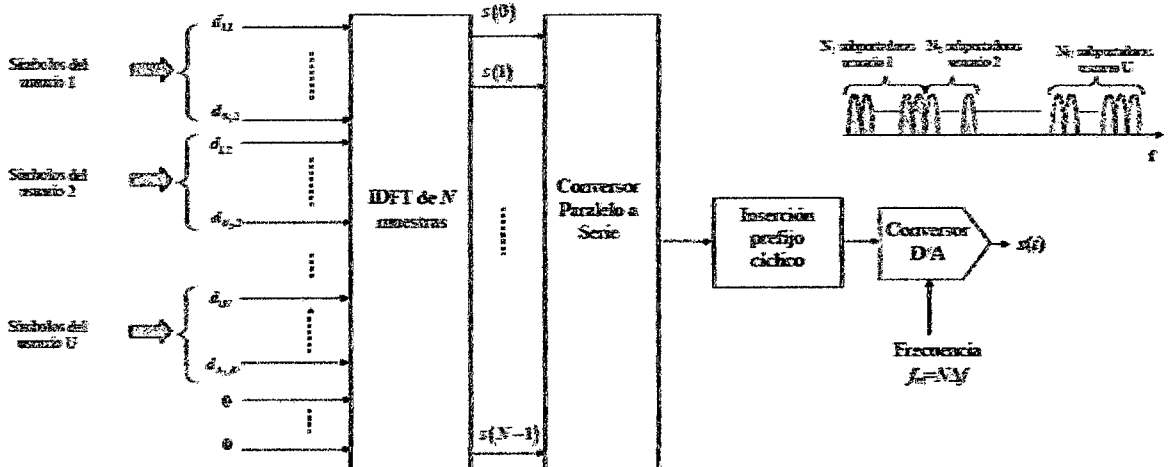
2.10.7. Orthogonal Frequency Division Multiple Access – OFDMA

LTE utiliza en su enlace descendente (Downlink) la técnica de acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal (OFDMA). Ésta modulación permite distribuir las diferentes subportadoras entre múltiples usuarios. (Figura 2.9). Esto quiere decir que a cada usuario se le asignará diferentes cantidades de subportadoras dependiendo de los recursos que llegue a utilizar.

Este tipo de uso mejora la eficiencia del espectro, puesto que la asignación de las subportadoras dependerá de la calidad de servicio (QoS) que utilice.

En el receptor, el equipo solo necesitará demodular las señales correspondientes a su usuario para recuperar la información transmitida.

FIGURA 2.9.
MULTIPLEXACIÓN DE USUARIOS EN OFDMA



Fuente: "LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles"

Las ventajas que obtiene esta modulación son iguales a las descritas en OFDM, con la diferencia que en ésta diferentes usuarios pueden usar grupos de subportadoras.

2.10.7.a. Ventajas de OFDMA [2]

- Asignación de Canales a distintos usuarios.
- Optimización de recursos
- Calidad de servicios
- Diversidad frecuencial
- Robustez frente a la propagación multicamino:
- Flexibilidad en la banda asignada:
- Elevada granularidad en los recursos asignables:

2.10.7.b. Desventajas de OFDMA [2]

- Elevada relación entre la potencia instantánea y la potencia media
- Susceptibilidad frente a errores de frecuencia

2G.10.8. Single Carrier Frequency Division Multiple Access FDMA-SC

LTE utiliza en su enlace ascendente la técnica de acceso múltiple por división de frecuencia de portadora simple (FDMA-SC). Esta modulación permite hacer un uso eficiente de los recursos del terminal.

Uno de los factores importantes para elegir esta modulación fue el factor de cresta o PAPR (Peak-to-Average-Power Ratio), éste mide la relación de la potencia instantánea transmitida respecto a la potencia media, y mientras el PAPR sea mayor, se necesitará un amplificador más complejo.

El PAPR aumenta mientras exista mayor cantidad de portadoras, y utilizar un PAPR elevado conlleva a tener una gran linealidad en los amplificadores de potencia para evitar la distorsión asociada a la intermodulación.

Para conseguir esta linealidad el amplificador debe operar muy por debajo de la potencia pico, lo que conlleva a tener una denominada eficiencia reducida.

Conseguir esta eficiencia es algo desventajoso para los terminales móviles, puesto que a más eficiencia consume mayor potencia en el terminal, y la fuente de alimentación de estos son las baterías. Sería desventajoso utilizar la técnica como OFDMA para el enlace ascendente por todo lo expuesto.

Es por esto que LTE utiliza la técnica de FDMA-SC en su enlace ascendente, puesto que ésta no tiene un elevado PAPR y nos permite controlar mejor la eficiencia en el móvil.

2.10.8.a. Ventajas SC-FDMA [2]

- Reducción de la Interferencia Intersimbólica.
- Robustez ante los multitrayectos.
- Alta eficiencia espectral.
- Implementación fácil a través del uso de FFT e IFFT.
- Peak to Average Power Ratio (PAPR) reducido.
- Amplificador de potencia en transmisión más sencillo que OFDMA.
- Reduce el consumo de potencia.

2.10.8.b. Desventajas de SC-FDMA [2]

- Receptor mucho más complejo.
- En LTE se usa SC-FDMA en el UL, dejando la complejidad a la BS, la cual tiene más recursos.
- En recepción se debe usar un ecualizador banda ancha.
- En el caso de LTE se usa SCFDMA sólo en el Uplink así estos ecualizadores se emplean sólo en la Base Station.

2.10.9. Diversidad de Antenas - Multiple Input Multiple Output (MIMO)

Cuando una señal viaja por el medio de transmisión, el canal de radio se ve afectado por múltiples fenómenos que producen degradación en nuestra señal, como el multitrayecto, desvanecimiento, etc.

La diversidad de antenas, transmite la señal con una frecuencia determinada por una o más antenas y lo receptiona por una o más antenas, reduciendo el impacto de estos fenómenos

La información que se enviará hacia un usuario en específico se divide en subconjuntos de información, y diferente información se envía por diferentes antenas. En el receptor se recibe todos los subconjuntos de información y se reagrupa el mensaje.

2.10.9.a. Tipos de diversidad Espacial

Existen 4 tipos de diversidad espacial: SISO, SIMO, MISO, MIMO:

TABLA 2.5.
TIPOS DE DIVERSIDAD DE ANTENAS

SISO.	SIMO	MISO	MIMO
"Single-Input and Single-Output (SISO)"	"Single-Input and Multiple-Output (SIMO)"	"Multiple-Output and Single-Output (MISO)"	"Multiple-Output and Multiple-Output (MIMO)"
Es aquel arreglo el cual tanto el transmisor y el receptor utilizan solo una antena.	Es aquel arreglo en el cual el transmisor utiliza una sola antena, y el receptor utiliza múltiples antenas	Es aquel arreglo en el cual el receptor utiliza una antena y el transmisor utiliza múltiples antenas.	Es aquel arreglo en el cual el receptor y el transmisor utilizan múltiples antenas, y este tipo de diversidad utiliza LTE release 9.

Fuente: Propia

En el caso de SIMO y MISO, dependen de la cantidad de antenas que tengan en el receptor o transmisor respectivamente.

Estos tipos de diversidad tienen una ganancia conocida como array-gain y una relación a señal a ruido similar (SNR). Debido a que el arreglo de antenas tiene similar señal a ruido, el array-gain es igual al número de antenas (MT – antenas transmisoras o MR – antenas receptoras) que existe en el sistema.

Se puede obtener una relación de la fórmula de Shannon para conocer la relación entre la máxima velocidad de transmisión y la relación de señal a ruido:

$$C = B \log_2(1 + SNR) \dots (1)$$

Además, conociendo la cantidad de antenas "M", Y la relación de energía de bit a densidad espectral de ruido "Eb/No", Y la velocidad de transmisión "R" podemos expresar la fórmula de la manera siguiente:

$$C < B \log_2 \left(1 + M \frac{E_b R}{N_0 B} \right) \dots (2)$$

De ésta podemos despejar la cota inferior de la Eb/No necesaria para una velocidad R [2]:

$$\frac{E_b}{N_0} \geq \frac{1}{M} \frac{2^{(C/B)} - 1}{R/B} \dots (3)$$

Del gráfico podemos observar que la relación $\frac{E_b}{N_0}$ será muy elevada mientras mayor sea la velocidad de transmisión, un punto importante para nuestra tecnología.

El concepto de MIMO aparece para tratar de solucionar este problema, utilizando múltiples antenas tanto en el transmisor y el receptor explotando la diversidad espacial.

MIMO utilizando esa diversidad espacial crea L caminos: $L = \min(M_T, M_R)$, describiendo esto último como multiplexado espacial [2]

Por tanto la velocidad máxima de transmisión utilizando L canales se puede expresar como:

$$C = L B \log_2(1 + SNR) \dots (4)$$

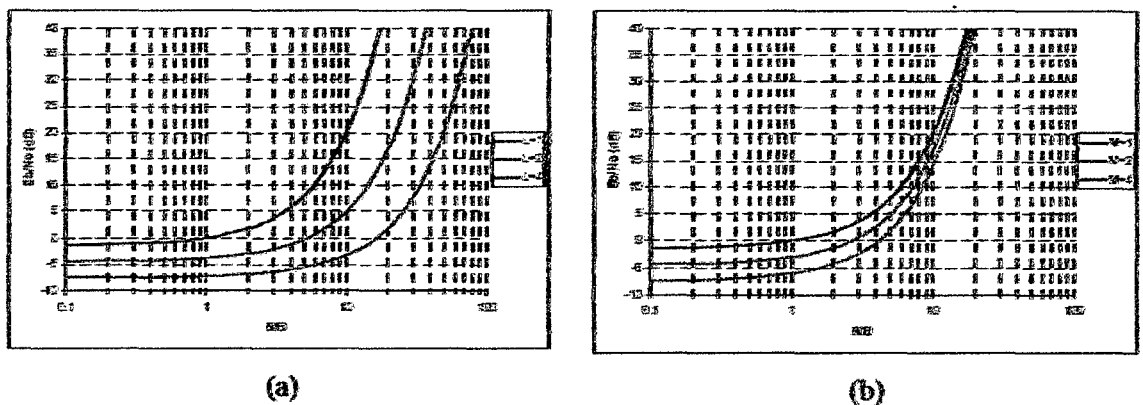
Y realizando el mismo procedimiento anterior se llega a la ecuación mimo 2×2 3×3

$$\frac{E_b}{N_0} \geq \frac{2^{\left(\frac{R/B}{L}\right)} - 1}{R/B} \dots (5)$$

Podemos obtener una relación gráfica de las ecuaciones (3) y (5)

FIGURA 2.10.

(A) $\frac{E_b}{N_0}$ DE DIVERSIDAD MISO/SIMO (B) $\frac{E_b}{N_0}$ DE DIVERSIDAD MIMO



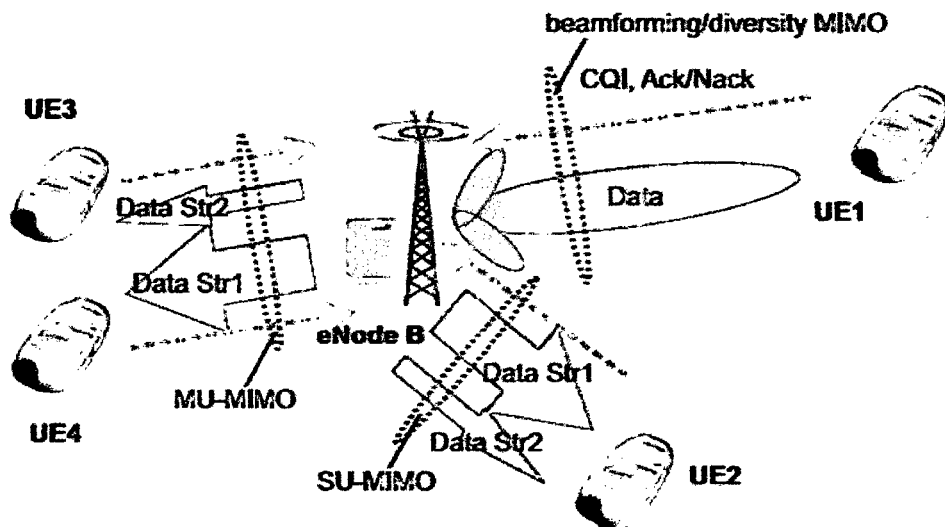
Fuente: "LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles"

Como se puede observar, la $\frac{E_b}{N_0}$ para obtener una mayor eficiencia es menor en los sistemas MIMO que en los MISO y SIMO.

De modo que MIMO tienen mayores ventajas que los anteriores sistemas en cuanto a eficiencia.

En LTE se utilizan diversas formas de MIMO, tales como SU-MIMO (Single user MIMO), MU-MIMO (Multi users MIMO), etc. A continuación procederemos a explicar cómo funciona la estructura MIMO.

FIGURA 2.11.
DIVERSOS USOS DE MIMO



Fuente: "LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles"

2.10.9.b. Estructura MIMO:

Se puede representar a la estructura MIMO con la siguiente ecuación:

$$y_i(t) = \sum_{j=1}^{M_T} h_{i,j}(\tau, t) * s_j(t) \dots (6)$$

Donde:

$i=1,2,\dots, M_R$ es la i -ésima antena receptora, y_i es la señal recibida en el extremo receptor a la salida de la antena i -ésima, $h_{ij}(\tau, t)$ respuesta impulsional del canal móvil en un determinado instante " t " entre las antenas transmisora y receptora correspondiente, $s_j(t)$ es la señal de entrada a la antena transmisora j -ésima.

$h_{ij}(\tau, t)$ es un sistema lineal de naturaleza indeterminada (que varía en el tiempo), además su forma matricial nos permite ver de forma más compacta la estructura MIMO.

$h_{ij}(\tau, t)$ es una matriz de dimensión $M_R \times M_T$

$$H(\tau, t) = \begin{bmatrix} h_{11}(\tau, t) & h_{12}(\tau, t) & \dots & h_{1M_T}(\tau, t) \\ h_{21}(\tau, t) & h_{22}(\tau, t) & \dots & h_{2M_T}(\tau, t) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ h_{M_R 1}(\tau, t) & h_{M_R 2}(\tau, t) & \dots & h_{M_R M_T}(\tau, t) \end{bmatrix} \dots (7)$$

Podemos ver la matriz en el proceso de transmisión

Expresando (6) en modo matricial:

$$y(t) = H(\tau, t) * S(t) \dots (8)$$

Donde:

$S(t) = [S_1(t) \ S_2(t) \ S_3(t) \ \dots \ S_{M_T}(t)]^T \dots (9)$ Contiene cada señal de cada antena transmisora.

$y(t) = [y_1(t) \ y_2(t) \ y_3(t) \ \dots \ y_{M_R}(t)]^T \dots (10)$ Contiene las señales que llegan a las antenas receptoras.

Podemos representar la ecuación de una manera sencilla si asignamos:

$$y = y(t), H = H(t, t), S = S(t) \dots(11)$$

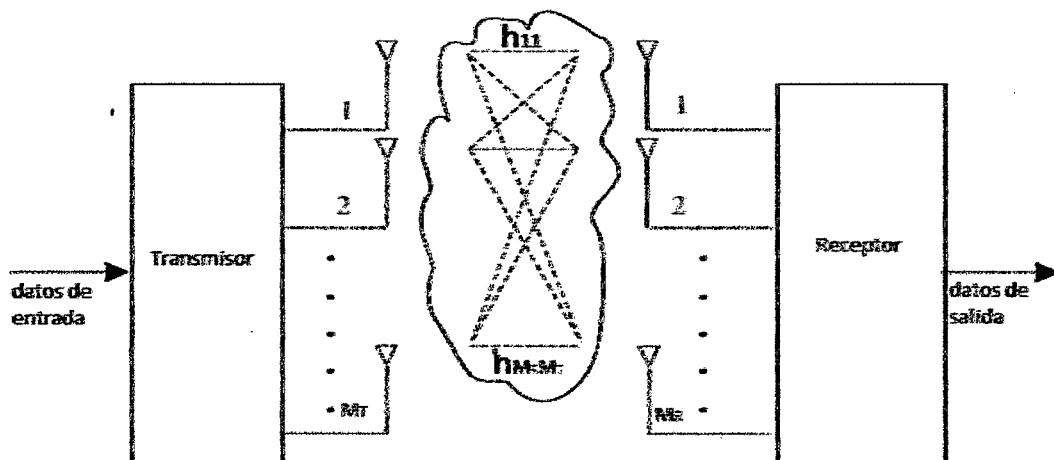
Además, un sistema siempre está propuesto a ruido, en este caso

añadiremos el ruido gaussiano a nuestra fórmula $n = n(t)$ resultando:

$$y = HS + n \dots(12)$$

FIGURA 2.12.

ESQUEMA DE MIMO CON M_T ANTENAS TRANSMISORAS Y M_R ANTENAS RECEPTORAS



Fuente: Elaboración Propia

Siendo esta la representación de lo expuesto anteriormente.

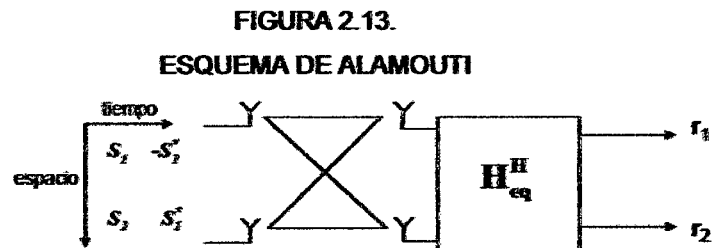
2.10.9.c. Codificación espacio y tiempo

En el tipo de codificación espacio y tiempo, se utilizan diversos caminos de propagación en las antenas de transmisión para introducir la redundancia necesaria en la codificación, que implicaría un aumento en el ancho de banda, además de buscar un error mínimo en la transmisión. Una de las primeras estructuras en cuanto a este tema es la de Alamouti. Con

este esquema no necesitamos conocer el canal y está indicada para explotar los distintos caminos de propagación habilitados en los sistemas MISO.

A continuación mostraremos la fórmula de Alamouti (MIMO 2x2). La señal transmitida a las dos antenas transmisoras en un intervalo temporal (slot) dado es s_1 y s_2 .

De acuerdo con la codificación de Alamouti, en el slot sucesivo de señalización se entregan a las dos antenas transmisoras s_2^* y s_1^*



"LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles"

De acuerdo a la fórmula (9) se puede expresar de la siguiente manera:

$$y_1 = \begin{bmatrix} y_{1,1} \\ y_{1,2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{1,1} & h_{1,2} \\ h_{2,1} & h_{2,2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \end{bmatrix}$$

$$y_2 = \begin{bmatrix} y_{2,1} \\ y_{2,2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{1,1} & h_{1,2} \\ h_{2,1} & h_{2,2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -s_2^* \\ s_1^* \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_3 \\ n_4 \end{bmatrix}$$

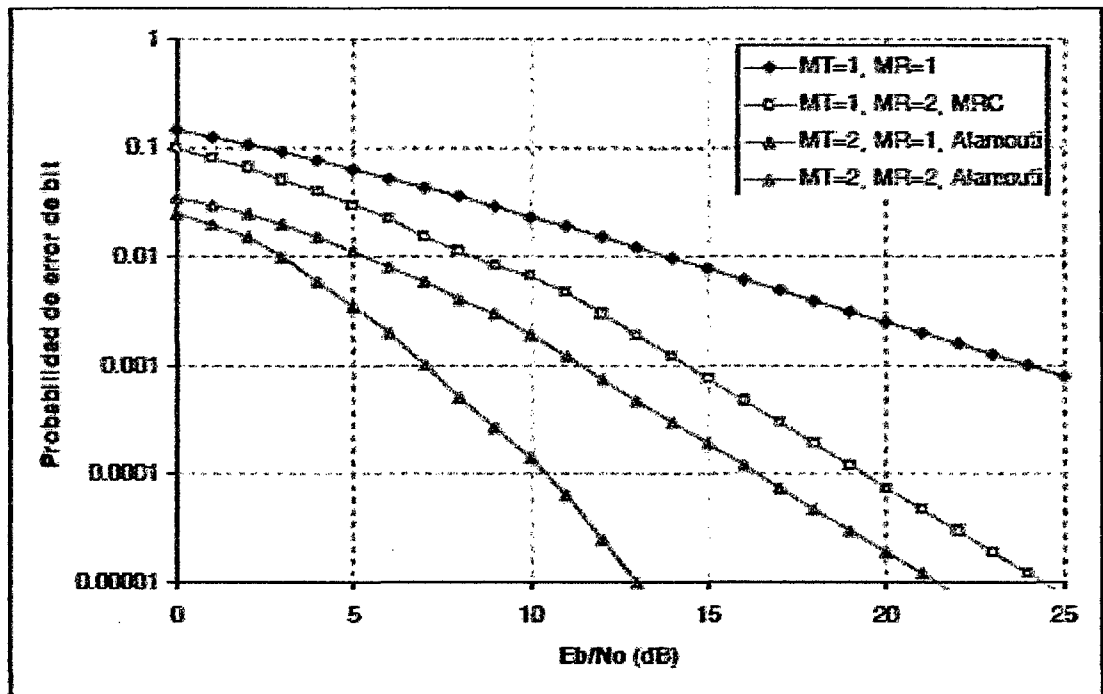
Donde $y_{1,1}$ e $y_{1,2}$ son las señales que reciben las antenas receptoras en el slot 1 y lo mismo para $y_{2,1}$ e $y_{2,2}$ durante el slot 2. Determinamos la fórmula

de alamouti:

$$\begin{bmatrix} y_{1,1} \\ y_{1,2} \\ y_{2,1}^* \\ y_{2,2}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{1,1} & h_{1,2} \\ h_{2,1} & h_{2,2} \\ h_{1,2}^* & -h_{1,1}^* \\ h_{2,1}^* & -h_{2,2}^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \\ n_4 \end{bmatrix}$$

A continuación mostraremos un gráfica para los distintos arreglos de antenas.

FIGURA 2.14.
RELACIÓN ENERGÍA DE BIT A DENSIDAD ESPECTRAL DE RUIDO RESPECTO A LA
PROBABILIDAD DE ERROR DE BIT



Fuente: "LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles"

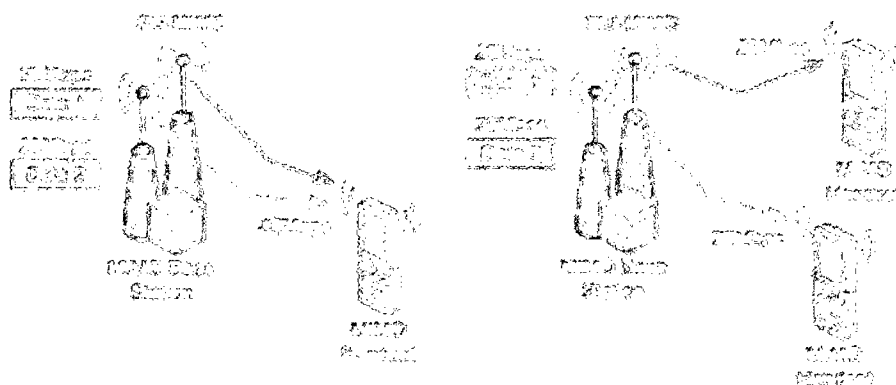
2.10.9.d. Multiuser MIMO (MU-MIMO)

El mejor uso de los recursos se logra mediante la técnica MU-MIMO. Con MU-MIMO una determinada cantidad de usuarios pueden compartir la misma banda de frecuencias [2].

Esta técnica permite que los celulares puedan utilizar una sola antena, permitiendo que la estación transmita a MT antenas transmisoras a MR antenas receptoras (MR celulares). Esta cualidad no se lograba con el MIMO

convencional explicado anteriormente (Denominado a partir de ahora Single-User MIMO: SU-MIMO).

FIGURA 2.15.
SISTEMA MU-MIMO



Fuente: http://technopits.blogspot.com/2012/05/diferencia-mu-mimo-is-it-same-or-is-it-not_03.html

En SU-MIMO, se buscaba mejorar la velocidad de transmisión del enlace sumando en el receptor todas las señales entrantes de un usuario.

En MU-MIMO, se consigue una mejor eficiencia con la suma de las velocidades de toda la celda.

MU-MIMO proporciona una metodología mediante el cual se puede lograr intercambio espacial de los canales. Esto puede lograrse a costa de hardware adicional, filtros y antenas, pero la incorporación no se logra a costa de ancho de banda adicional como es el caso cuando se utilizan tecnologías tales como FDMA, TDMA o CDMA. [13]

Ventajas de MU-MIMO [2]

- Proporcionan diversidad multiusuario, permitiendo usar scheduling.

- El desacoplo de las firmas espaciales de los usuarios espacialmente separados asegura el desacoplo entre antenas.
- Permite multiplexado de usuarios en una misma banda de frecuencias.
- Permite tener a los móviles una sola antena.

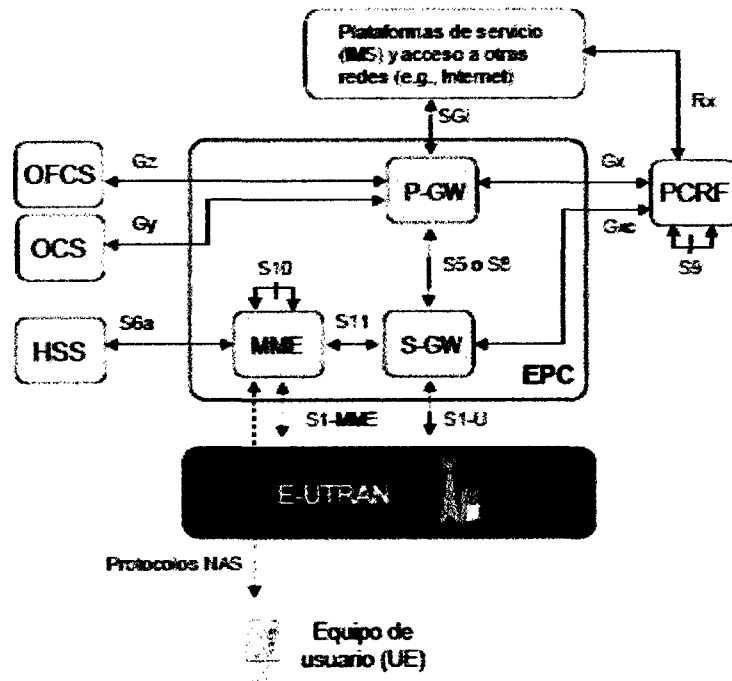
Desventajas de MU-MIMO [2]

- Efecto Far-end pérdidas de propagación entre cada usuario y la base, no compensándose debido a la máxima potencia transmitida por un móvil.
- La cooperación entre usuarios con distintas antenas es más complicado que varias antenas de una misma estructura

2.11. EPC (Evolved Packet Core)

Es aquí donde se encuentran los elementos del núcleo de red. El núcleo de red de UMTS y LTE respectivamente, se basa desde un principio en la evolución del núcleo de red utilizado en GSM/GPRS. Aunque el núcleo de red utilizado por UMTS está muy cerca del original de GSM/GPRS, LTE es una evolución radical de este núcleo de red. En el núcleo de la red LTE se decidió separar los datos de usuario (también conocido como el plano de usuario) y la señalización (también conocido como el plano de control) para hacer que el dimensionamiento y la integración con las anteriores tecnologías sea menos complicada.

FIGURA 2.16.
ARQUITECTURA BÁSICA DE LA RED TRONCAL EPC



Fuente: "LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles"

Tal como se ilustra en la Figura 2.15., el núcleo del sistema EPC está formado por tres entidades de red: MME (*Mobility Management Entity*), Serving Gateway (S-GW) y *Packet Data Network Gateway* (P-GW). Estas tres entidades, junto con la base de datos principal del sistema 3GPP denominada HSS (*Home Subscriber Server*), constituyen los elementos básicos para la provisión del servicio de conectividad IP entre los equipos de usuario conectados a través de E-UTRAN y redes externas a las que se conecta la red troncal EPC. Las funciones asociadas con el plano de usuario se concentran en los dos gateways (S-GW y P-GW) mientras que la entidad MME se encarga de las funciones y señalización del plano de control.

En la Tabla 2.6 se resumen las entidades de red e interfaces propias de EPC junto con las otras entidades comunes de los sistemas 3GPP que han sido mencionadas anteriormente.

En la tabla 2.6 también se indican las especificaciones del 3GPP más relevantes relacionadas con cada una de ellas. En el siguiente apartado se proporcionan más detalles de las entidades de red e interfaces de la red troncal EPC.

Tabla 2.6.
Entidades de red e interfaces de EPC para el acceso desde E-UTRAN

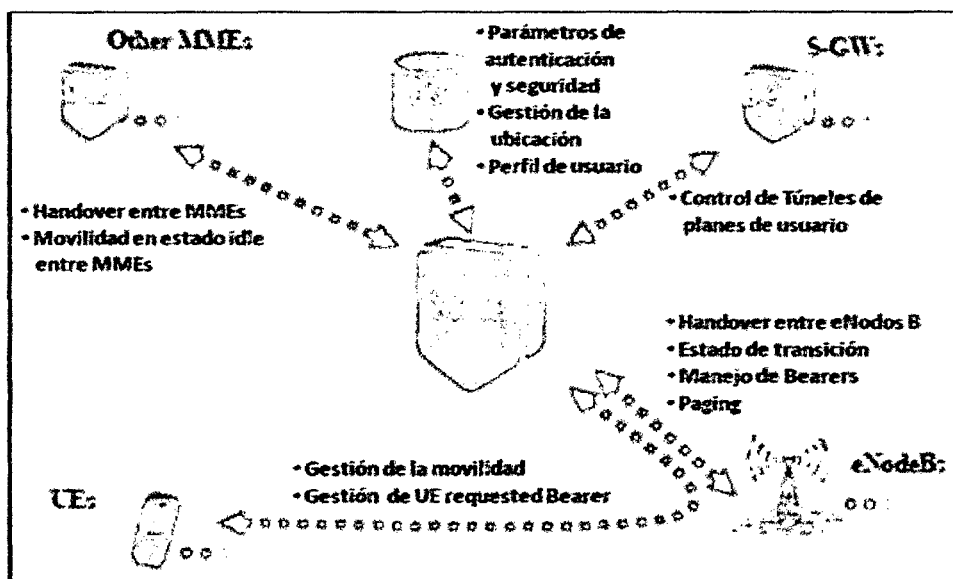
	Denominación	Descripción	Referencias 3GPP
Entidades de red EPC	MME	Nodo que canaliza el plano de control de la red LTE	TS 23.401 [5]
	S-GW	Punto de anclaje del plano de usuario en la red troncal	TS 23.401 [14]
	P-GW	Pasarela para la interconexión con redes externas	TS 23.401 [14]
Entidades comunes a las redes 3GPP	Denominación	Descripción	
	HSS	Base de datos global del sistema (contiene, entre otros, los datos de suscripción de los usuarios).	TS 23.002 [1] TS 23.008 [16]
	PCRF	Elemento central del sistema de control de uso de la red (policy control) y control de tarificación	TS 23.203 [27]
	OCS	Nodo de control para la provisión de servicios que requieren tarificación online	TS 23.203 [27] TS 32.240 [28]
	OFCS	Nodo de recogida de la información de tarificación para su posterior transferencia al sistema de facturación.	TS 23.203 [27] TS 32.240 [28]
Interfaces	Denominación	Entidades de red asociadas	
	S1-MME	MME E-UTRAN (eNB)	Documentos TS 36.41x
	S1-U	S-GW E-UTRAN (eNB)	TS 29.281 [26]
	SGi	P-GW Redes externas	TS 29.061 [17]
	S6a	MME HSS	TS 29.272 [25]
	SS/S8	P-GW S-GW	TS 29.274 [21] (opción GTP) TS 23.275 [24] (opción PMIPv6)
	S11	MME S-GW	TS 29.274 [21]
	S10	MME MME	TS 29.274 [21]
	Señalización NAS	UE MME	TS 24.301 [37]
	Rx	PCRF Plataformas servicios	TS 29.214 [29]
	S9	PCRF PCRF	TS 29.215 [30]
Gx/Gxx	P-GW/S-GW PCRF	TS 29.212 [31]	
Gz/Gy	P-GW OFCS/OCS	Documentos TS 32.2xx	

Fuente: "LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles"

2.11.1. MME (Mobility Management Entity)

El MME es el principal elemento de manejo del plano de control en el EPC. Este elemento realiza funciones similares al SGSN (Serving GPRS Support Node) en anteriores versiones del estándar 3GPP. El MME maneja funciones de seguridad del acceso E-UTRAN; autentica y autoriza al UE, basado en la información que obtiene del Home Subscriber Server (HSS) a través de la interfaz S6a. Los protocolos para la gestión de movilidad y la administración de sesiones se realizan en el MME a través del Nonaccess Stratum (NAS) que son llevados a cabo entre el UE y el MME sobre el Stream Control Transmission Protocol (SCTP). Para realizar estas funciones existen interfaces que se definen para la MME, la cual se conecta a los eNBs mediante la interfaz S1-MME y al S-GW mediante la interfaz S11.

FIGURA 2.17.
FUNCIONES DEL MME



Fuente: "Long Term Evolution (LTE) – Day 1"

En el caso de movilidad entre LTE y otras redes 3GPP, se realiza mediante la interfaz S4, entre el SGSN hasta el MME. La señalización para el soporte de movilidad entre EPS y redes 3GPP es otra de las funciones del MME. La entidad MME de la EPC y la entidad SGSN pueden intercambiarse información relativa a los equipos de usuario conectados bien a través de E-UTRAN o de UTRAN/GERAN para poder gestionar, por ejemplo, mecanismos de gestión de movilidad conjunta (la red troncal GPRS así como la red troncal EPC pueden intercambiar información relativa a las áreas de seguimiento). Dicha señalización se realiza a través de la interfaz S3 entre MME y SGSNs. También, a través de esta interfaz, se gestionan los procedimientos de reubicación del plano de usuario en las entidades de la red troncal (el plano de usuario de un terminal conectado inicialmente a UTRAN y que fluye a través de un determinado SGSN, se reubica hacia el S-GW cuando el terminal cambia de UTRAN a E-UTRAN).

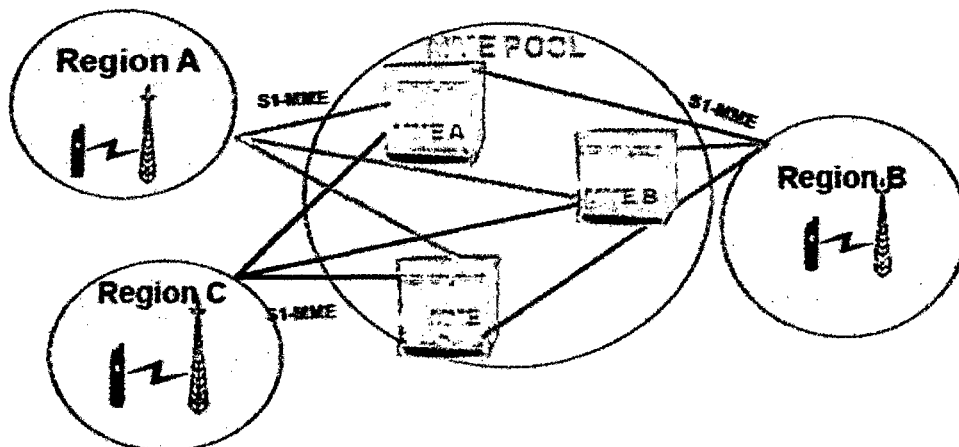
2.11.1.1. MME Pooling

Es la agrupación de MMEs dentro en un pool en una determinada área geográfica.

Cada MME dentro de un pool se identifica con un código y un identificador de grupo.

Todos los MMEs de un pool tienen el mismo identificador de grupo.

FIGURA 2.18.
MME POOLING



Fuente: "LTE Design and Deployment Strategies"

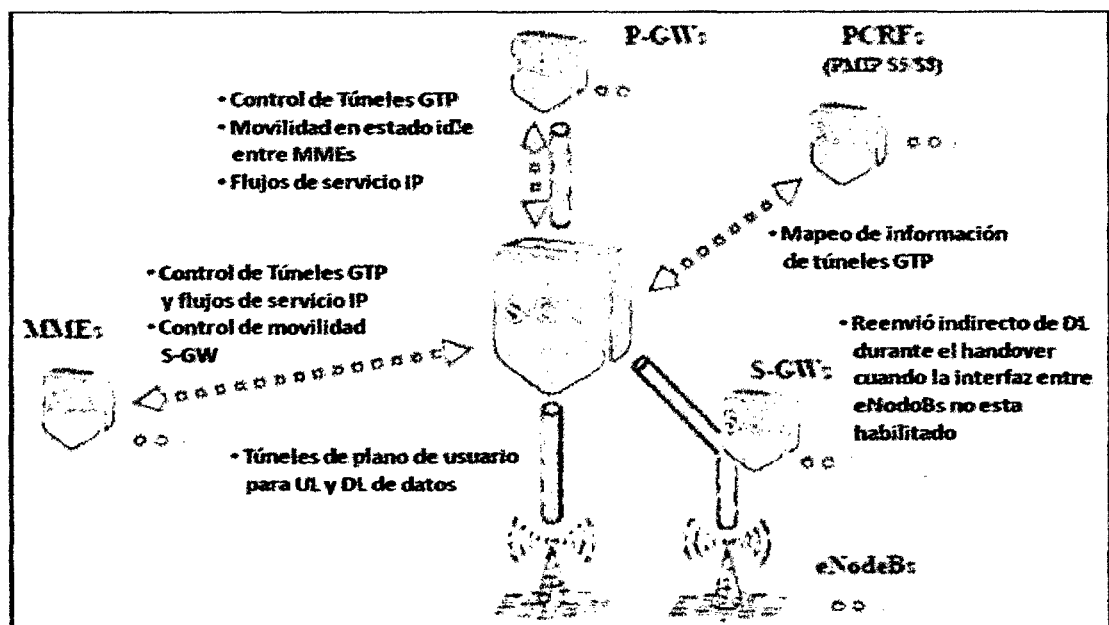
2.11.2. S-GW (System Architecture Evolution Gateway)

El S-GW es la puerta de enlace (Serving GW y PDN GW), se ocupa del plano de usuario. Se encarga de transportar el tráfico de datos IP entre el equipo de usuario (UE) usando la interface S1-U y las redes externas. El Serving Gateway es el punto de interconexión entre la parte radio y el EPC. El SGW proporciona un punto de anclaje en la red troncal EPC con respecto a la movilidad del terminal entre eNBs. De esta forma, en un proceso de *handover* entre dos eNBs, el cambio del plano de usuario puede únicamente derivar en un cambio del servicio portador S1 entre los eNBs implicados y el S-GW, manteniéndose sin cambios el resto del plano de usuario (camino entre S-GW y P-GW). Actúa como asegurador de movilidad entre LTE y otras tecnologías 3GPP mediante la interfaz S4.

Se conecta al P-GW con la interfaz S5 si el usuario no está en roaming y con la interfaz S8 si el usuario esta en roaming (si el P-GW se encuentra fuera del proveedor de servicios). Recibe instrucciones de la MME a través de la interface S11.

Realiza el almacenamiento temporal de los paquetes IP de los usuarios en caso de que los terminales se encuentren en modo *idle*.

FIGURA 2.19.
FUNCIONES DEL S-GW



Fuente: "Long Term Evolution (LTE) - Day 1"

2.11.3. P-GW o PDN-GW (Packet Data Network Gateway)

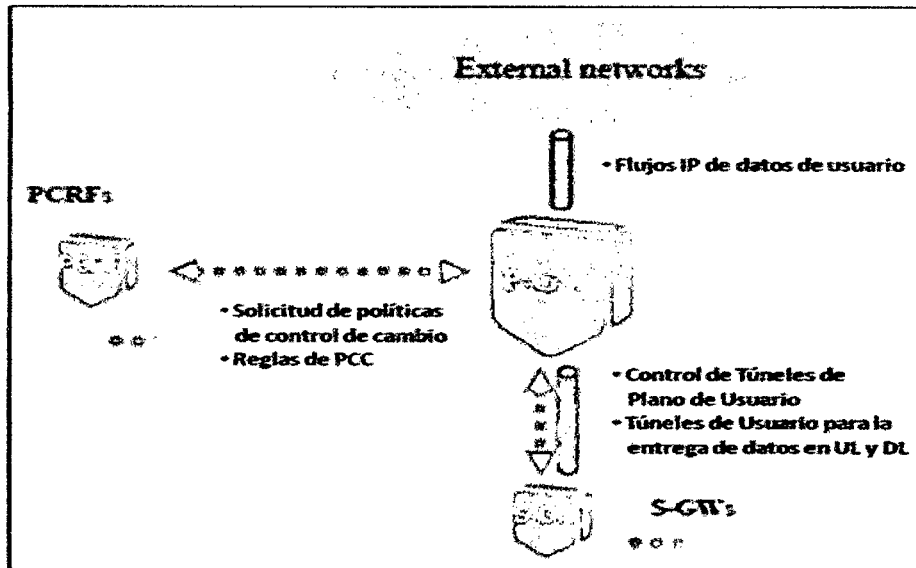
El PDN GW es el responsable de la interconexión entre las redes IP externas usando la interfaz SGI y el EPC. Estas redes se denominan PDN (Packet Data Network), de ahí el nombre de PDN Gateway. El PDN GW

enruta los paquetes hacia y desde las PDN. Tiene funciones similares al Gateway GPRS Support Node (GGSN) en anteriores versiones del sistema 3GPP, con la diferencia que el P-GW funciona como el principal punto de movilidad.

El PGW también realiza soporte de carga, filtrado de paquetes para cada usuario, Lawful Interception, detección de paquetes y soporte de QoS para los usuarios finales de servicios IP.

P-GW utiliza varias interfaces que sirven para la conexión con las redes Trusted (Confiables) y Untrusted (No Confiables). El P-GW se conecta a las redes trusted mediante la interfaz S2a, mientras que la interfaz que conecta a las redes Untrusted es la interfaz S2b, esta interfaz no está directamente conectada a la red, sino a un nodo lógico llamado evolved Packet Data Gateway (ePDG), este es una evolución del Packet Data Gateway (PDG) que se especifica en versiones anteriores de los estándares 3GPP. Para asegurar la comunicación entre el UE y el ePDG se establecen túneles encriptados, creando una asociación lógica entre el UE y el ePDG. La interfaz SWn es la encargada de la conexión del ePDG a la red no 3GPP Untrusted.

FIGURA 2.20.
FUNCIONES DEL P-GW



Fuente: "Long Term Evolution (LTE) - Day 1"

2.11.4. HSS: Home Subscriber Server

El HSS es una base de datos que contiene información relacionada con el usuario y el abonado relacionado. También proporciona funciones de apoyo en la gestión de la movilidad, la llamada y configuración de sesión, autenticación de usuario y autorización de acceso.

El HSS está basado en la pre-3GPP Release 4 - Home Location Register (HLR) y Authentication Center (AuC).

La función de HLR hace que se encargue de almacenar y actualizar cuando sea necesario, la base de datos que contiene toda la información de suscripción de usuario (la identificación, direccionamiento y la información de perfil de usuario).

La función AuC hace que se encargue de generar la seguridad de la información, la cual es dada al HLR y a su vez es comunicada a las otras entidades de la red. Esta información es usada principalmente para la autenticación entre los terminales y la red y para el cifrado y protección de la integridad de la ruta de radio, asegurando la señalización y los datos transmitidos entre la red y el terminal.

Realiza funciones de soporte asociadas a las funciones de control del subsistema IMS como la gestión de información relativa a la suscripción de servicios IMS y el almacenamiento de perfiles de usuario asociados a servicios IMS.

La entidad de red que accede a la base de datos HSS para gestionar el acceso al servicio de conectividad de la red troncal EPC, cuando el acceso se realiza a través de E-UTRAN, la entidad MME es la que interactúa con la base de datos a través de la interfaz S6a. Cuando el acceso es a través de UTRAN o GERAN, el acceso a HSS se realiza desde el Server GPRS Support Node (SGSN) mediante la interfaz S6d. Cuando el acceso es a través de redes no 3GPP, el acceso se canaliza a través del servidor AAA mediante la interfaz SWz.

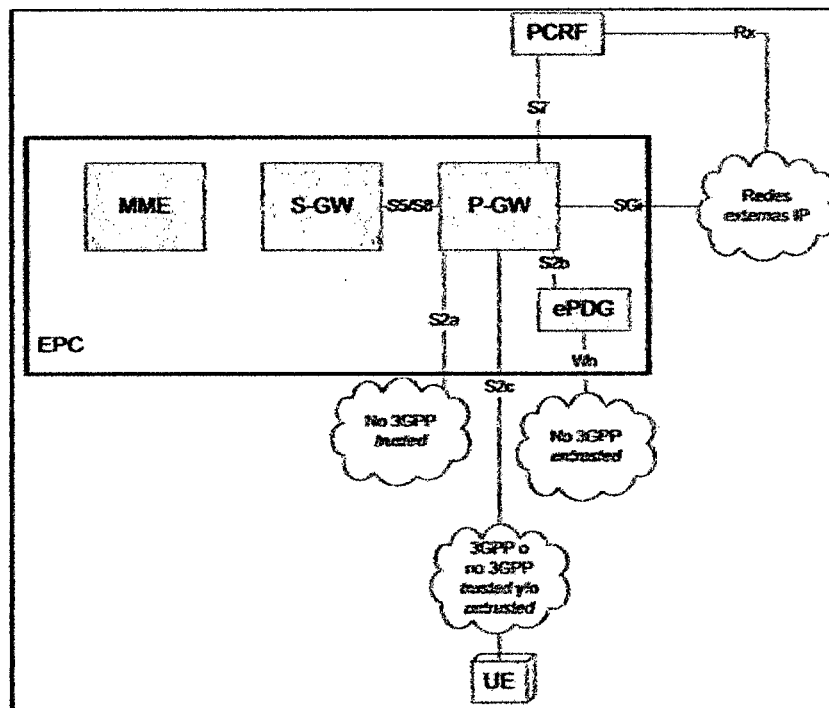
2.11.5. PCRF: Policy and Charging Rules Function

El PCRF es el elemento de la Red encargado de formar políticas que determinan cómo y bajo qué condiciones los abonados y las aplicaciones utilizan los recursos de red. Se encarga gestionar las reglas de política entre las aplicaciones y los puntos de aplicación de políticas como dispositivos de

acceso. Puede agregar políticas para la gestión y control de calidad de servicio (QoS) de carga, de cuotas, optimización y control de admisión. También puede almacenar la información del suscriptor, como planes de tarifas y con un agente de enrutamiento "Diameter" (protocolo de red para la autenticación de los usuarios) para equilibrar las cargas a través de múltiples servidores de políticas, a través de la interfaz Rx.

El PCRF no es un elemento exclusivo de esta nueva arquitectura, fue definido en el Release 7 del 3GPP.

FIGURA 2.21.
INTERFACES DEL PCRF



Fuente: "LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles"

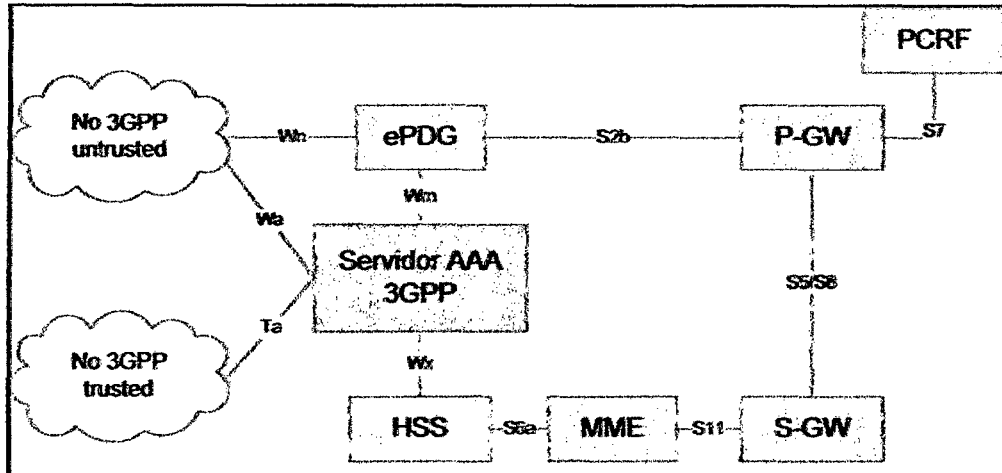
2.11.6. ePDG: evolved Packet Data Gateway

ePDG es la evolución del PDG que se especifica en versiones anteriores del 3GPP. Su función principal es la de asegurar la transmisión de datos desde el terminal conectado al EPC para un acceso non-3GPP untrusted estableciendo un túnel seguro usando IPsec y un filtro para el tráfico no autorizado. Se introduce la interfaz SWn, con el propósito de intercambiar la información del usuario desde el 3GPP AAA Server al ePDG.

2.11.7. Servidor AAA 3GPP (Authentication, Authorization and Accounting)

El servidor AAA de 3GPP lleva a cabo las funciones AAA y también puede actuar como un servidor proxy AAA, ofrece mecanismos de autenticación y control de acceso basado en los protocolos IETF. Para las WLAN de acceso IP el 3GPP AAA proporciona la autorización, aplicación de políticas y la información de enrutamiento al PDG, WAG y WLAN AN. Realiza el cambio de protocolo RADIUS a Diameter o de Diameter a RADIUS cuando es necesario. Este elemento puede ser un componente dentro del HSS o puede ser un equipo independiente que se conecta al HSS mediante la interfaz SWx.

FIGURA 2.22.
INTERFACES DEL SERVIDOR AAA 3GPP



Fuente: "LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles"

2.11.8. Protocolos

Dado que muchas de las interfaces están basadas en una misma pila de protocolos, la descripción se realiza en base a los diferentes protocolos utilizados.

Los protocolos NAS (*Non Access Stratum*) entre el equipo de usuario y la entidad de red MME también se detallan en este apartado.

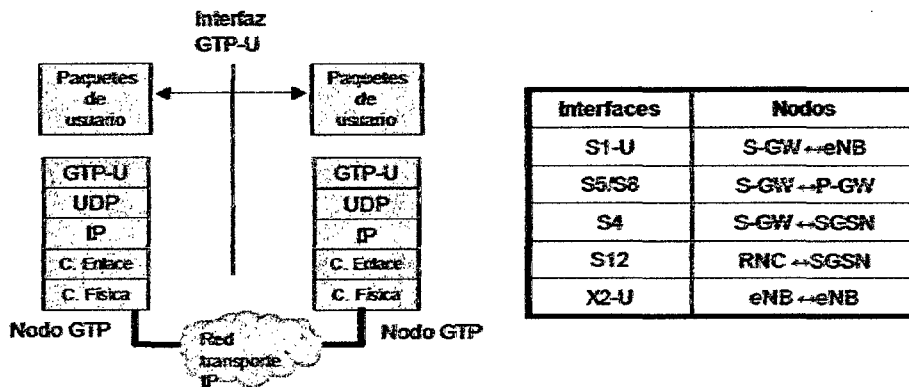
Es importante destacar que en la red troncal EPC todas las interfaces se soportan sobre una torre de protocolos que utiliza IP como capa de red, a diferencia de lo que ocurría con las familias anteriores de sistemas 3GPP donde algunas interfaces estaban soportadas sobre los protocolos ATM o SS7 [20].

2.11.8.a. Interfaces basadas en GTP-U

Todas las interfaces para el transporte de información de plano de usuario entre los diferentes elementos de la red troncal EPC se soportan a través del protocolo GTP-U, excepto la variante de la interfaz S5/S8 basada en PMIPv6. Además se utiliza GTP-U también sobre las interfaces S4 y S12 que forman parte de la solución de *interworking* entre EPC y el resto de redes 3GPP. Además, el protocolo GTP-U también se utiliza en el plano de usuario de las interfaces internas de E-UTRAN, S1-U y X2-U.

FIGURA 2.23.

INTERFACES BASADAS EN GTP-U



Fuente: "LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles"

El protocolo GTP-U fue desarrollado por 3GPP para dar respuesta a la implementación del servicio GPRS. En este sentido, el plano de usuario entre los nodos de red del dominio GPRS así como el plano de usuario de la interfaz lu-PS de UTRAN se soportan también sobre dicho protocolo.

GTP-U proporciona un mecanismo de encapsulado para el envío de paquetes de usuario (paquetes IP del usuario) entre nodos de una red IP. Los paquetes que corresponden a un mismo servicio portador EPS se transportan con un identificador de túnel único denominado TEID (Tunnel Endpoint Identifier). Los paquetes IP del usuario llegan a la pasarela S-GW provenientes desde el equipo de usuario a través de los servicios portadores radio y S1.

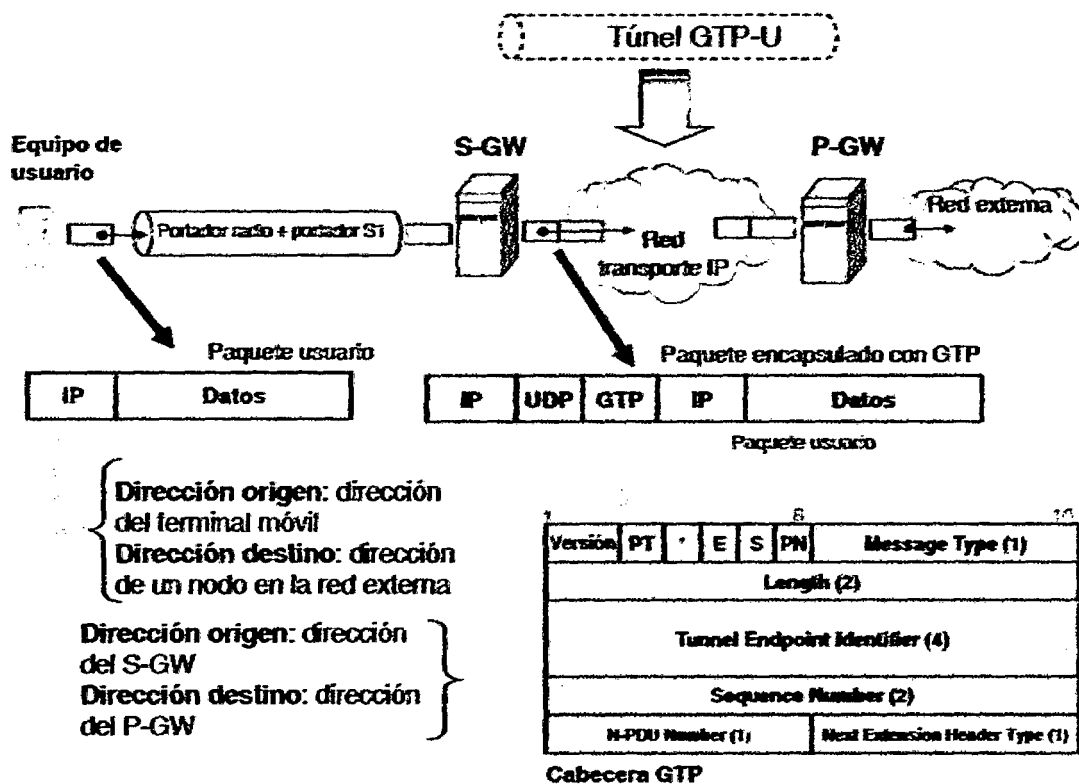
Las direcciones IP origen y destino de los paquetes de usuario recibidos en el S-GW contienen, respectivamente, la dirección asignada al terminal móvil y la dirección del equipo de la red externa al que vaya dirigido el paquete. Estas direcciones no tienen porque pertenecer al espacio de direcciones IP utilizado en la red de transporte que une al S-GW y P-SW, de ahí la necesidad de establecer el túnel. Así, para proceder al envío de estos paquetes IP de usuario hacia la pasarela P-GW, el nodo S-GW los encapsula mediante el protocolo GTP-U. La cabecera del protocolo GTP-U ocupa un mínimo de 6 bytes y contiene el identificador de túnel TEID, junto con otros parámetros tales como identificadores de secuencia y longitud del paquete.

El paquete GTP resultante tiene como dirección IP origen la dirección de la pasarela S-GW y como dirección destino la dirección IP de la pasarela P-GW. De esta forma, el paquete GTP puede ser encaminado en la red de transporte IP que une a ambas pasarelas. Una vez el paquete GTP llega a la

pasarela P-GW, ésta extrae el paquete IP del usuario y lo inyecta en la red externa.

FIGURA 2.24.

FUNCIONAMIENTO DE UN TÚNEL GTP-U



Fuente: "LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles"

1.11.8.b. Interfaces basadas en GTP-C

El protocolo GTP-C soporta un conjunto de funciones que pueden clasificarse en torno a los siguientes aspectos:

- Gestión de sesiones. A través de los mensajes y procedimientos de señalización especificados para GTP-C, la red gestiona la creación de túneles GTP-U entre las entidades de la red por donde transcurre el plano

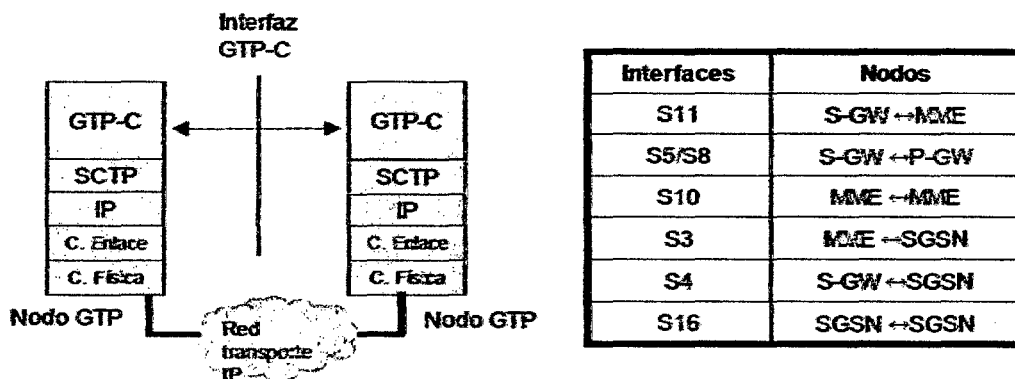
de usuario. Dichos túneles forman parte de la propia gestión de sesiones en la red, mediante el establecimiento, mantenimiento/actualización y liberación de conexiones PDN y servicios portadores EPS.

- **Gestión de movilidad.** Mediante el protocolo GTP-C se llevan a cabo algunos de los procedimientos asociados con la gestión de movilidad tales como la transferencia de los contextos de información de los usuarios entre las entidades de red en casos de reubicación de las mismas.

El protocolo GTP-C se utiliza en las interfaces S3, S4, S5/S8, S10, S11 y S16. Cabe mencionar que no hay una correspondencia directa entre los interfaces que utilizan GTP-U en el plano de usuario y GTP-C en el plano de control, ya que, el protocolo GTP-C abarca otras funciones además de la gestión de túneles GTP-U.

FIGURA 2.25.

INTERFACES BASADAS EN GTP-C



Fuente: "LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles"

La versión del protocolo GTP-C utilizada en las interfaces de LTE, denominada como GTPv2-C, se especifica en TS 29.274 [21]. En cambio, la

versión del protocolo GTP utilizada en interfaces propias del sistema UMTS (interfaces entre los elementos de la red troncal GPRS) se cubre en el documento TS 29.060 [22].

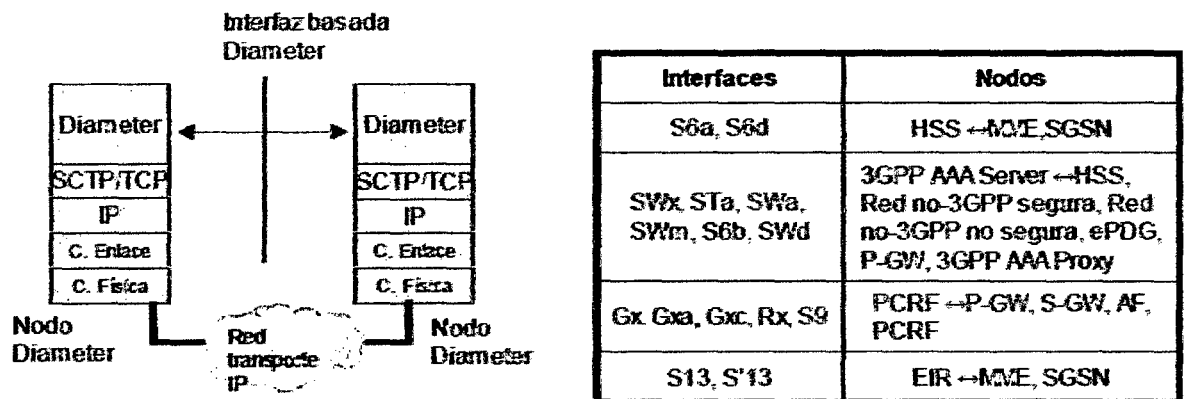
2.11.8.c. Interfaces basadas en Diameter

El protocolo Diameter es una evolución del protocolo RADIUS, inicialmente concebido para sustentar funciones de *Autenticación, Autorización y Accounting (AAA)*. Diameter mejora las prestaciones de su antecesor RADIUS en aspectos tales como seguridad, robustez a pérdidas de mensajes, así como en su extensibilidad que permite el uso del protocolo para aplicaciones fuera del ámbito de AAA.

El protocolo Diameter se utiliza en un elevado número de interfaces del nuevo sistema LTE. La transferencia de los mensajes Diameter entre nodos se realiza a través de un protocolo de transporte orientado a conexión como TCP o SCTP.

FIGURA 2.26.

INTERFACES BASADAS EN DIAMETER



Fuente: "LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles"

El protocolo Diameter se estructura en torno a una protocolo de base (*Diameter base standard* definido en RFC 3588 [26]) y un número de extensiones denominadas aplicaciones.

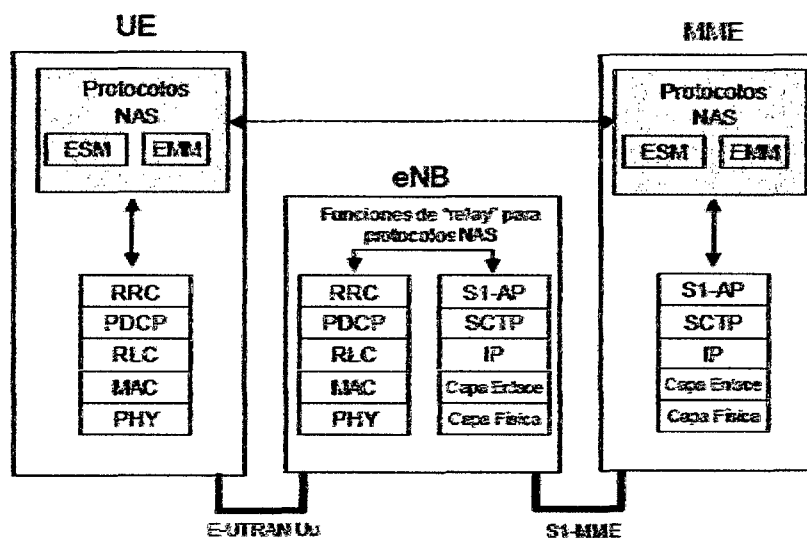
El protocolo de base aporta las funcionalidades comunes del protocolo: formatos de los mensajes y elementos de información genéricos (e.g., *Attribute Value Pairs, AVPs*), mecanismos de transferencia de mensajes, descubrimiento de capacidades de las entidades Diameter, aspectos de seguridad, etc. Las "aplicaciones" definen los mensajes adicionales y los procedimientos necesarios para adaptar el uso de Diameter al soporte de una determinada funcionalidad. Entre las aplicaciones de Diameter más relevantes estandarizadas por IETF se encuentran: *Network Access Server Application* (aplicación de Diameter para servicios AAA en el marco de control de acceso a redes, definido en la RFC 4005 [27]) y *Credit Control Application* (aplicación de Diameter para la implementación de sistemas de tarificación on-line, como sistemas de pre-pago, definido en la RFC 4006 [28]).

2.11.8.d. Protocolos NAS

Los protocolos NAS son los protocolos desarrollados por el 3GPP para llevar a cabo la gestión de movilidad de los equipos de usuario (*EPS Mobility Management, EPM*) y la gestión de las sesiones para el establecimiento de la conectividad entre el equipo de usuario y el P-GW (*EPS Session Management, ESM*). Los protocolos NAS se soportan entre el equipo de usuario y un nodo MME y se han desarrollado específicamente

para E-UTRAN, aunque se mantienen muchas similitudes con los protocolos NAS utilizados en UMTS [20] (Session Management, SM, y GPRS Mobility Management, GMM, del dominio GPRS).

FIGURA 2.27.
PROTOCOLOS NAS ENTRE UE Y MME



Fuente: "LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles"

➤ Protocolo NAS para la gestión de movilidad (EMM)

El protocolo EMM proporciona los procedimientos necesarios para el control de la movilidad de un equipo de usuario que utiliza E-UTRAN para el acceso a la red troncal EPC.

En particular, entre los procedimientos soportados por el protocolo EMM se encuentran los mecanismos de "registro" y "cancelación de registro" del usuario en la red LTE (procedimientos denominados como *Network Attach* y *Detach* en las especificaciones) y la actualización del área de seguimiento (procedimiento denominado como *Tracking Area Update*). Mediante estos

procedimientos se gestiona la accesibilidad a los servicios de la red LTE de los usuarios (la realización del registro en la red LTE es necesaria para que el usuario pueda iniciar o ser contactado para proceder a la activación de un servicio).

➤ **Protocolo NAS para la gestión de las sesiones (ESM)**

El protocolo ESM sustenta los procedimientos necesarios entre el equipo de usuario y la red LTE para la gestión de los servicios portadores EPS cuando el equipo de usuario utiliza E-UTRAN. Entre los procedimientos soportados por el protocolo ESM se encuentran los procedimientos de gestión (activación/desactivación/modificación) de los servicios portadores EPS. Además del servicio portador por defecto, pueden establecerse múltiples servicios portadores EPS dedicados que permiten aplicar un trato de QoS específico a un determinado flujo de paquetes. Estos procedimientos pueden realizarse en cualquier instante de tiempo, una vez el terminal se encuentra registrado y tiene establecido el servicio portador por defecto. En cuanto a la activación del servicio portador por defecto, una característica importante de LTE que no se contempla en UMTS y GPRS, es que su activación puede realizarse de forma conjunta con el procedimiento de registro, reduciéndose por tanto la señalización necesaria. Durante la activación del servicio portador por defecto, mediante el protocolo ESM se puede llevar a cabo la asignación de la dirección IP al equipo de usuario, aunque es importante señalar que LTE también soporta la asignación de la

dirección a través de protocolos IETF en lugar de utilizar la señalización NAS.

2.11.9. Autenticación y Seguridad

Mediante el procedimiento EPS AKA (*Authentication and Key Agreement*) el usuario (la aplicación USIM) y la red LTE se autentican mutuamente. Además, como resultado del procedimiento queda establecida la clave intermedia K_{ASME} a partir de la cual se derivan todas las claves utilizadas en los servicios de confidencialidad e integridad.

El mecanismo EPS AKA asegura que las claves de cifrado e integridad no se han utilizado anteriormente. El mecanismo es compatible con otros sistemas 3G debido a que los principales organismos de estandarización (3GPP, 3GPP2) han adoptado el mismo protocolo de autenticación. El mecanismo EPS AKA puede soportarse con una tarjeta USIM *Release 99* o posterior.

Las claves de cifrado y los diferentes parámetros (*checksums* de seguridad) utilizados en los mecanismos y servicios de seguridad tienen un origen común: una clave secreta K asociada a un usuario que se almacena en la tarjeta USIM, y en la entidad funcional denominada *Authentication Center* (AuC) que forma parte del HSS. A partir de la clave K se derivan todas las claves y parámetros utilizados en las funciones de seguridad.

En la infraestructura de red, la clave K nunca sale del HSS. En su lugar, el HSS genera los denominados vectores de autenticación. Los vectores de autenticación son la información de seguridad que reciben las entidades MME de cara a sustentar los diferentes procedimientos de seguridad (EPA

AKA). El vector de autenticación utilizado en el sistema LTE se compone de cuatro parámetros:

- **RAND:** Número aleatorio que se utiliza en la generación del resto de parámetros del vector.
- **XRES:** Resultado esperado utilizado en la autenticación del usuario por parte de la red en el mecanismo EPS AKA.
- **AUTN:** Parámetro utilizado para que la USIM del usuario pueda autenticar a la red en el mecanismo EPS AKA.
- **K_{ASME} :** Clave de seguridad intermedia utilizada en el sistema LTE para la obtención del conjunto de claves utilizadas en los diferentes servicios de confidencialidad e integridad.

Esta clave se deriva de unas claves denominadas CK (*Ciphering Key*) e IK (*Integrity Key*) que son las utilizadas en UMTS. Por este motivo, a partir de un vector de autenticación válido en LTE puede derivarse un vector para UMTS (cinco parámetros en lugar de cuatro) y viceversa.

Una descripción más detallada de los algoritmos de cifrado e integridad utilizados en los diferentes servicios de seguridad puede encontrarse en TS 33.401 [11].

2.11.10. Mecanismo de handover

Conceptualmente, el *handover* es un mecanismo que permite que las conexiones que tengan establecidas los equipos de usuario "sobrevivan" al cambio de estación base que proporciona el acceso a la red.

Desde la perspectiva del servicio ofrecido al usuario, los requisitos de diseño de un mecanismo de preparación y ejecución del *handover* se plantean en términos del tiempo de interrupción o tasa de pérdida de datos que puede aparecer durante la ejecución del cambio.

En este sentido, en los requerimientos de diseño del sistema LTE, se establece que la degradación de prestaciones en la que puede incurrirse durante la realización de un *handover* debe ser menor o igual a la existente en redes de circuitos GSM. Asimismo, entre los requerimientos de velocidades físicas de los terminales, se apuntan velocidades de hasta 350 km/h, aunque se indica que la red esté realmente optimizada para trabajar en el rango 0-15 km/h.

La realización de un *handover* intra-LTE puede dar respuesta a diferentes escenarios de movilidad tales como:

- *Handover* entre eNBs conectados mediante una interfaz X2. La existencia de esta interfaz, permite establecer un plano de usuario entre eNBs para el envío de datos durante el proceso de *handover*. Además, a través de X2, la señalización del procedimiento así como la transferencia del contexto de datos asociado al equipo terminal puede llevarse a cabo directamente entre eNBs, sin pasar por el nodo MME de la red troncal.
- *Handover* entre eNBs que no disponen de la interfaz X2. En este caso, no es posible el envío de paquetes de usuario entre eNBs y la señalización de *handover* debe articularse necesariamente a través de la entidad MME.
- *Handover* entre eNBs, soporten o no soporten la interfaz X2, que requiera la reubicación de alguno de los nodos de la troncal EPC. En este caso, el

cambio de eNB podría conllevar el cambio de S-GW a través de la cual está establecido el plano de usuario o bien del nodo MME que termina el plano de control con el equipo de usuario. El caso más complejo sería el de un *handover* donde se cambiaran ambos, S-GW y MME.

CAPÍTULO III

VARIABLES E HIPÓTESIS

3.1. Variables de la investigación

3.1.1. Variable Independiente

Ancho de banda.- Se expresa como la tasa de datos que se pueden enviar a través de una red en un determinado periodo de tiempo. Podemos realizar su medición con instrumentos como Test de ancho de banda.

Indicadores:

- Tasa de velocidad de datos
- Tiempo de descarga de datos
- Cantidad de datos enviados/ recibidos

3.1.2. Variables Dependiente

Congestión del tráfico.- Ocurre cuando en una red el tráfico de datos excede en la capacidad planificada para el transporte.

Indicadores:

- Tasa de paquetes recibidos/enviados satisfactoriamente
- Tasa de paquetes descartados
- Retardo promedio de envío de paquetes

3.1.3 Relación entre las variables de investigación

En los niveles de investigación, existen diversos tipos de relación de las variables, ya sea exploratorio, descriptivo, relacional, explicativo, predictivo, aplicativo.

En nuestro proyecto de tesis hemos elegido utilizar el nivel **explicativo**, pues las variables que estudiaremos tienen una relación causa-efecto.

3.2. Operacionalización de las variables

A continuación mostraremos la operacionalización de nuestras variables:

Tabla 3.1

Operacionalización de las variables

Variable	Tipo de variable	Operacionalización	Indicadores
Ancho de banda	Variable independiente	Se expresa como la tasa de datos que se pueden enviar a través de una red en un determinado periodo de tiempo. Podemos realizar su medición con instrumentos como Test de ancho de banda.	Tasa de velocidad de datos Tiempo de descarga de datos Cantidad de datos enviados/recibidos
Congestión de tráfico	Variable dependiente	Ocurre cuando en una red el tráfico de datos excede en la capacidad planificada para el transporte.	Tasa de paquetes recibidos/enviados satisfactoriamente Tasa de paquetes descartados Retardo promedio de envío de paquetes

Elaboración propia

3.3. Hipótesis General

“El diseño de una red con Tecnología 3GPP LTE para la ciudad de Arequipa satisface la falta de ancho de banda que se requiere para soportar las diversas aplicaciones en tiempo real”.

CAPITULO IV

METODOLOGÍA

4.1. Tipos de investigación

Temporal.- La investigación se realizó a cabo entre los meses de Junio y Julio del año 2013. Contando con un total de 9 semanas de trabajo.

Espacial.- La investigación se realizará el diseño tomando como lugar de estudio la provincia de Arequipa, específicamente en la ciudad de Arequipa.

4.2. Diseño de la investigación- Red LTE

4.2.1. Introducción

En este capítulo explicaremos los pasos a seguir para diseñar una red LTE, para lo cual seguiremos el siguiente orden:

- Descripción de la banda APT (Asia-Pacific Telecommunity), aquí explicaremos el concepto general sobre esta banda, cual es la situación actual de dicha banda en nuestro país, como está segmentado en todo su espectro, que frecuencias utilizaremos para nuestro diseño, etc.
- Explicaremos el concepto de un Resource Block (RB), y cuál es su función principal cuando queremos realizar el diseño de una red LTE.

En cuanto al sistema EPC:

- Realizaremos el cálculo de cobertura del eNode B utilizando el modelo COST 231 HATA, una vez calculado ello podremos realizar el despliegue de las estaciones bases que tendremos que instalar para dar una señal óptima y con buena calidad a toda la ciudad de Arequipa.
- Para el EPC se iniciará con los tipos de topología, lo cual refiere a la combinación de equipos (MME, SGW y PGW) y la distribución que estos tendrán. Se brindarán recomendaciones ah tomar en cuenta para la distribución de los equipos.
- Describiremos los equipos que se utilizaran para el diseño del EPC, tomando en cuenta las hojas técnicas para mencionar la información de capacidad y rendimiento de los equipos.
- Desarrollaremos brevemente lo correspondiente a la red de transporte IP, ya que esta sera quien soporte el trafico de la Red LTE (El desarrollo integro de los temas de "Mobile BackHaul" se encuentran fuera del alcance de este proyecto).

Asia-Pacific Telecommunity (APT)

La Telecomunidad Asia-Pacífico (APT) se fundó en las iniciativas conjuntas de la Comisión Económica de las Naciones Unidas y la Comisión Económica y Social para Asia y el Pacífico (CESPAP) y la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT).

La APT fue establecida por un tratado, el tratado se celebró en Bangkok en marzo de 1976 y entró en vigor en febrero de 1979. Después de que el tratado entró en vigor, APT se organizó formalmente el 1 de julio de 1979. La

APT es una organización intergubernamental y opera en conjunción con los proveedores de servicios de telecomunicaciones, fabricantes de equipos de comunicación y organizaciones de investigación y desarrollo que trabajan en el campo de las tecnologías de la comunicación, la información y la innovación.

APT es la organización central para las TIC en la región. La APT cubre 38 países miembros, con 4 miembros asociados y 130 miembros afiliados.

A través de sus diversos programas y actividades, la APT ha hecho una contribución significativa al crecimiento de desarrollo en sectores de las TIC.

A lo largo de los últimos años, la APT ha sido capaz de ayudar a los miembros en la preparación de las conferencias mundiales como la Conferencia de Plenipotenciarios de la UIT (PP), la Conferencia Mundial de Desarrollo de las Telecomunicaciones (CMDT), la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones (CMR), Cumbre Mundial sobre la Sociedad de la Información (CMSI), la Asamblea Mundial de Normalización de las Telecomunicaciones (AMNT) y las reuniones de la UIT. APT también está involucrado en la promoción de la armonización regional de sus programas y actividades en la región.

APT continúa para apoyar y facilitar a sus miembros en el logro de un crecimiento cualitativo y sostenible, y servicios de TIC. APT tiene un papel activo en la superación de la brecha digital que separa a la región.

APT propone una forma de segmentación de la banda para LTE.

Situación de la Banda APT en Perú

De acuerdo a las declaraciones del Viceministro de Comunicaciones, Raúl Pérez Reyes, dadas a la revista "Semana Económica", la banda de 700 MHz se estaría licitando en Junio del 2014 siguiendo el estándar APAC (Asia-Pacífico) con tres bloques de 15 MHz.

FIGURA 4.1.

DECLARACIONES DEL VICEMINISTRO DE COMUNICACIONES

CON FECHA. La adjudicación de la banda 700 MHz, que permitirá la tecnología 4G en zonas rurales, se adjudicará en junio del 2014.

Se utilizará el estándar Asia-Pacific Telecommunity (APT) y se dividirá el espectro en tres bloques de 15 MHz, detalló el viceministro de Comunicaciones, Raúl Pérez-Reyes, a SE. Señaló que aunque se pierde en velocidad –pues un bloque de 20 MHz, tal como sucedió con la banda de 1,700 MHz/2,100 MHz (SE 1382), permite mayor velocidad que uno de 15 MHz–, se gana en competencia. Sin embargo indicó que también en esta concesión está prevista la figura de los operadores móviles virtuales, a fin de garantizar la competencia.

A diferencia de la banda 1,700 MHz/2,100 MHz, la banda 700 MHz tiene mayor rango de cobertura, incluso en interiores,

por lo que es adecuada para zonas urbanas altamente densas.

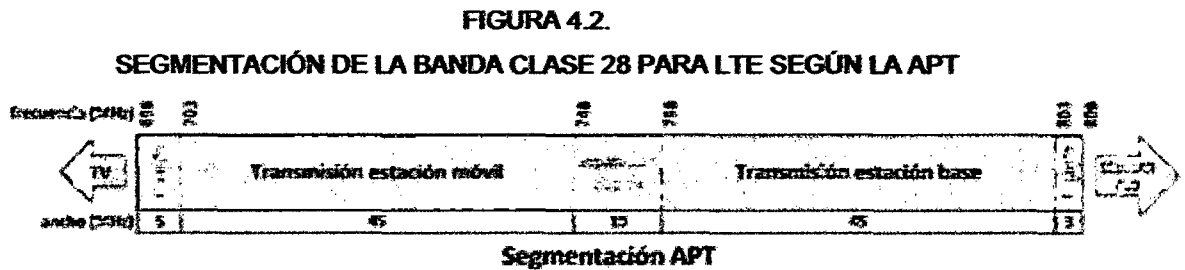
La cobertura de las zonas rurales es esencial para que el servicio de alta velocidad de Internet sea exitoso –a fin de que la velocidad se mantenga y no se tenga que reiniciar el proceso de *download* o *upload*–. Sin embargo, Pérez-Reyes explicó que las zonas rurales no tendrán cobertura de 4G en el corto plazo, pues para estas zonas es adecuada la banda 450 MHz, cuya fecha de adjudicación aún no está prevista.

En Chile está programado que la Subsecretaría de Telecomunicaciones tenga las bases de licitación de la banda 700 MHz este mes. A agosto Bolivia, Antigua y Barbuda, y Puerto Rico ya habían licitado esta banda.

Fuente: revista "Semana Económica"

4.2.2. Segmentación de la Banda APT (Asia-Pacific Telecommunity)

La segmentación de la banda APT, la cual licitará Perú a mediados del 2014, está dividido de la siguiente manera:



Fuente: "Asia-Pacific Telecommunity"

En la parte inicial y final de la segmentación podemos apreciar que tendremos una banda de guarda con un ancho de banda de 5 y 3 MHz. respectivamente, utilizando las siguientes frecuencias:

Banda de guarda inicial: (698 – 703) MHz

Banda de guarda final: (803 – 806) MHz

Dicha banda se dividirá en 3 bloques de 15 MHz. para cada operador, resultando de la siguiente manera:

Para el UPLINK:

1er. Bloque: (703 – 718) Mhz

2do. Bloque: (718 – 733) Mhz

3er. Bloque: (733 – 748) Mhz

Para el DOWNLINK:

1er. Bloque: (758 – 773) Mhz

2do. Bloque: (773 – 788) Mhz

3er. Bloque: (788 – 803) Mhz

4.2.3. Frecuencias y canales a utilizar en nuestro diseño

**TABLA 4.1.
DESCRIPCIÓN DE LA BANDA LTE APT PARA EL BLOQUE QUE UTILIZAREMOS EN
NUESTRO DISEÑO**

Band	Name	Mode	Earfcn DL	Downlink (MHz)	Earfcn UL	Uplink (MHz)
28	700 MHz APAC	FDD	9285	765.5	27285	710.5

Fuente: Propia

4.2.4. Cuadro resumen de ventajas para la banda que utilizaremos

A continuación se muestra los puntos importantes sobre la banda APT

**TABLA 4.2.
PUNTOS IMPORTANTES SOBRE LA BANDA APT**

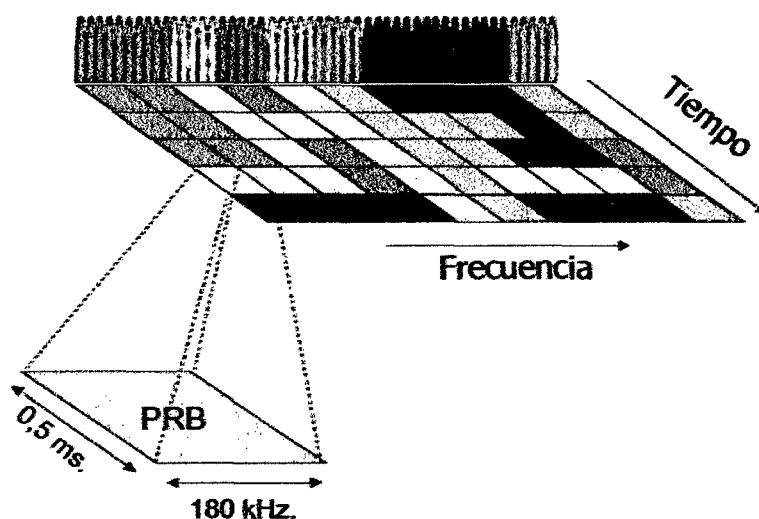
Punto de interés	Plan Asia Pacifico
Economías de escala mundiales	4000 millones de usuarios
Numero de redes con 2x10MHz que se pueden albergar	4
Numero de redes con 2x15MHz que se pueden albergar	3
Numero de redes con 2x20MHz que se pueden albergar	2
Portabilidad de una red a otra dentro de la misma banda	SI

Fuente: "Asia-Pacific Telecommunity"

4.2.5. Bloques de Recursos en LTE

Se denomina PRB (Physical Resource Block), al mínimo elemento de información que puede ser asignado por el eNB a un terminal móvil. Un PRB ocupa 180 KHz de banda equivalente a doce sub-portadoras equiespaciadas 15KHz entre ellas, y en él se transmiten 6 ó 7 símbolos OFDMA, dependiendo de la longitud de prefijo cíclico utilizada. La duración de un PRB es igual a 0,5 ms, es decir la duración de un slot o ranura temporal.

FIGURA 4.3.
CONCEPTO DE RADIO BLOQUE (PHYSICAL RESOURCE BLOCK)



Fuente: "LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles"

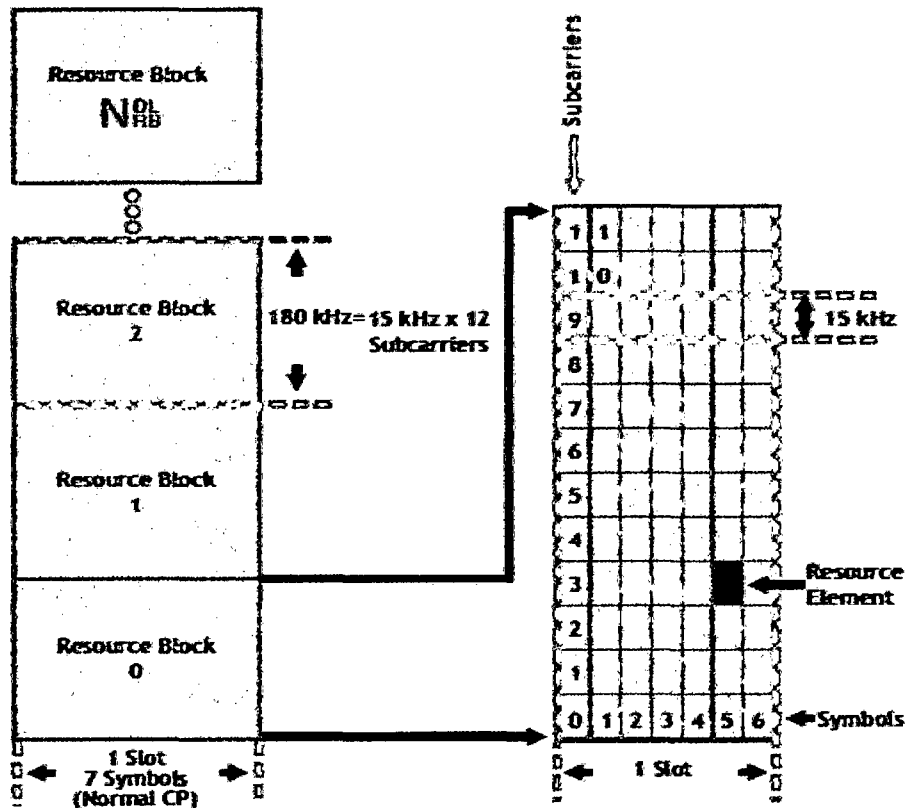
El número de bloques de recursos físicos disponible en el sistema depende de la canalización tal como se indica en la siguiente tabla.

TABLA 4.3.
NÚMERO DE PRBS EN FUNCIÓN DE LA CANALIZACIÓN

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

Fuente: "LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles"

FIGURA 4.4.
ESTRUCTURA DEL FRAME EN LTE



Fuente: "LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles"

4.2.6. Cálculo de Cobertura del eNodeB

Para el cálculo de la cobertura del eNode B, lo primero que se tiene que hacer es analizar el Link Budget tanto para el Uplink como para el Downlink.

4.2.6.a. Análisis del Link Budget para el Uplink

Link Budget Del Uplink

TABLA 4.4.
LINK BUDGET PARA EL UPLINK

Características de TX del Móvil LTE	Unid.	Valor
Potencia de transmisión PTX	dBm	+ 18
Ganancia elemento radiante	dBi	0.00
Elementos del arreglo de antenas	NA	+ 1
Ganancia por elementos del arreglo	dB	0.00
Ganancia por Beam Forming	dB	0.00
Ganancia por sistema MIMO	dB	0.00
EIRP: Potencia Efectiva Radiada Isotropica	dBm	+ 19
Características de RX de la BS		
Ganancia de cada Elemento Radiante de la Antena e Reception	dBi	+ 16.00
Cantidad de Elementos del Arreglo	NA	+ 2.00
Ganancia debida al Arreglo (Diversidad de Antenas)	dB	+ 3.01
Figura de Ruido en el Receptor	dB	+ 5.00
Márgenes		
Margen de Fading Log Normal		- 6.0
Fast Fading Margin		- 2.00
Interference Margin		- 2.00
Pérdidas debido a Penetración		- 2.00
Margen Total		+ 12.00

Sensibilidad en la Mobile Station		
Densidad Espectral de Ruido Térmico No	dBm/Hz	- 174.00
Ancho de Banda BW	MHz	+ 1.80
Modulación y Codificación	QPSK 1/8	
Relación señal a Interferencia-Ruido SINR Requerida		
VALOR INFERIOR		- 5.10
Pérdidas de Implementación		0.00
Sensibilidad en la BS	dBm	- 114.55
Ganancia del Sistema	dB	+ 152.56
Maximun Allowable Path Loss (MAPL)	dB	+ 140.56
Modulación y Codificación	QPSK 1/8	
Relación señal a Interferencia-Ruido SINR Requerida		
VALOR SUPERIOR	dB	+ 15.30
Pérdidas de Implementación	dB	0.00
Sensibilidad en la BS	dBm	- 94.15
Ganancia del Sistema	dB	+ 132.16
Maximun Allowable Path Loss (MAPL)	dB	+ 120.16

Fuente: Propia

4.2.6.b. Análisis del Link Budget para el Downlink

Para el análisis del Link Budget para el Downlink, se siguen los mismos pasos.

Link Budget Del Downlink

TABLA 4.5.

LINK BUDGET PARA EL DOWNLINK

Características de TX del Móvil LTE	Unidad	Valor
Potencia de transmisión PTX	dBm	18
Ganancia elemento radiante	dBi	0
Elementos del arreglo de antenas	NA	1
Ganancia por elementos del arreglo	dB	0
Ganancia por Beam Forming	dB	0
Ganancia por sistema MIMO	dB	0
EIRP: Potencia Efectiva Radiada Isotropica	dBm	19
Características de RX de la BS		
Ganancia de cada Elemento Radiante de la Antena e Reception	dBi	16
Cantidad de Elementos del Arreglo	NA	2
Ganancia debida al Arreglo (Diversidad de Antenas)	dB	3.01
Figura de Ruido en el Receptor	dB	5
Márgenes		
Margen de Fading Log Normal		-6
Fast Fading Margin		-2
Interference Margin		-2
Pérdidas debido a Penetración		-2

Margen Total		12
Sensibilidad en la Mobile Station		
Densidad Espectral de Ruido Térmico No	dBm/Hz	-174
Ancho de Banda BW	MHz	1.8
Modulación y Codificación	QPSK 1/8	
Relación señal a Interferencia-Ruido SINR Requerida. VALOR INFERIOR		-5.1
Pérdidas de Implementación		0
Sensibilidad en la BS	dBm	-114.55
Ganancia del Sistema	dB	152.56
Maximun Allowable Path Loss (MAPL)	dB	140.56
Modulación y Codificación	QPSK 1/8	
Relación señal a Interferencia-Ruido SINR Requerida. VALOR SUPERIOR	dB	15.3
Pérdidas de Implementación	dB	0
Sensibilidad en la BS	dBm	-94.15
Ganancia del Sistema	dB	132.16
Maximun Allowable Path Loss (MAPL)	dB	120.16

Fuente: Propia

4.2.6.c. MODELO COST 231 HATA [4], [5]

El modelo COST 231 [1001-1002] es un modelo semi-empírico de predicción de las pérdidas en un trayecto, resultado de la combinación de los modelos Walfisch-Bertoni [1003] e Ikegami [1004]. Es recomendado para escenarios urbanos y suburbanos, con buenos resultados de las pérdidas en el trayecto.

Respecto a modelos precedentes como Okumura-Hata, el modelo COST 231 incluye una serie de parámetros adicionales al proceso de cálculo, además de ampliar el rango de frecuencias en el cual puede usarse (800 - 2000 MHz). El modelo realiza un cálculo más detallado de la atenuación.

La pérdida básica de propagación, L_b , es calculada como la suma de tres componentes: la pérdida de propagación en condiciones de espacio libre, L_0 ; la pérdida por difracción del tejado a la calle, L_{rts} , producida en el interior de la calle en la que se encuentra el receptor, como resultado de la difracción en el tejado adyacente a éste; y la pérdida por difracción multipantalla L_{msd} , producida por múltiples difracciones en los tejados de los edificios situados a lo largo del trayecto. El modelo distingue además casos LOS y NLOS:

FIGURA 4.5.

FÓRMULAS PARA EL MODELO COST 231 HATA

$$L_p = 46.3 + 33.9 \log(f_p) - 13.82 \log(h_{BS}) - a(h_{MS}) \\ + (44.9 - 6.55 \log(h_{BS})) \log_{10}(d) + C$$
$$C = \begin{cases} 0 \\ 3 \end{cases}$$
$$a(h_{MS}) = (1.1 \log f - 0.7) h_{MS} - (1.56 \log f_p - 0.5)$$

Fuente: "LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles"

A continuación se mostrará los parámetros del modelo COST 231 HATA

TABLA 4.6.

PARÁMETROS PARA EL MODELO COST 231 HATA PARA EL UPLINK

PARÁMETROS	VALOR	UNIDADES
Frecuencia de la Portadora (fp)	710.5	MHz
Altura de la Antena de la Estación Base (hBS)	30	m
Altura de la Antena de la Estación Móvil (hMS)	1.7	m
Constante C=0 Suburbano, C=3 Urbano	3	dB
a(hMS)	0.194	dB
Máximas Pérdidas Permitidas Cerca de la BS	120.16	dB
Máximas Pérdidas Permitidas Borde de la Celda	140.56	
log(d) Cerca de la BS	-0.15	dB
log(d) en el Borde de la celda	0.432	
Radio de cobertura Inicio del Anillo	0.712	Km
Radio de cobertura fin del Anillo	2.703	Km
Área Cubierta por la celda Hexagonal	17.66	Km2

Tabla 4.7. Parámetros para el Modelo COST 231 HATA para el Downlink

Fuente: "Propia"

PARÁMETROS	VALOR	UNIDADES
Frecuencia de la Portadora (fp)	765.5	MHz
Altura de la Antena de la Estación Base (hBS)	30	m
Altura de la Antena de la Estación Móvil (hMS)	1.7	m
Constante C=0 Suburbano, C=3 Urbano	3	dB

a(hMS)	0.204023	dB
Máximas Pérdidas Permitidas Cerca de la BS	133.35	dB
Máximas Pérdidas Permitidas Borde de la Celda	146.35	
log(d) Cerca de la BS	0.196345	dB
log(d) en el Borde de la celda	0.565403	
Radio de cobertura Inicio del Anillo	1.571613	Km
Radio de cobertura fin del Anillo	3.676236	Km
Área Cubierta por la celda Hexagonal	28.69424	Km2

De este análisis se deduce que:

Para el UPLINK:	Para el DOWNLINK:
Radio de Cobertura mínima: 700 m.	Radio de Cobertura mínima: 1.6 Km.
Radio de Cobertura máxima: 2.7 Km.	Radio de Cobertura máxima: 3.6 Km.

Fuente: "Propia"

4.2.7. Despliegue de Estaciones Bases

En el análisis de la cobertura, se considera que los distritos que han sido elegidos para nuestro proyecto son: Arequipa (cercado), Cerro Colorado, Yanahuara, Cayma, Mariano Melgar, Miraflores, Alto Selva Alegre, Paucarpata, José Luis Bustamante y Rivero, Sachaca, Jacobo Hunter y Socabaya. Una cierta proyección del área que se quiere dar cobertura es la siguiente.

FIGURA 4.6

ÁREA DE COBERTURA DESEADA PARA NUESTRA RED DE 4TA GENERACIÓN



Fuente: Propia

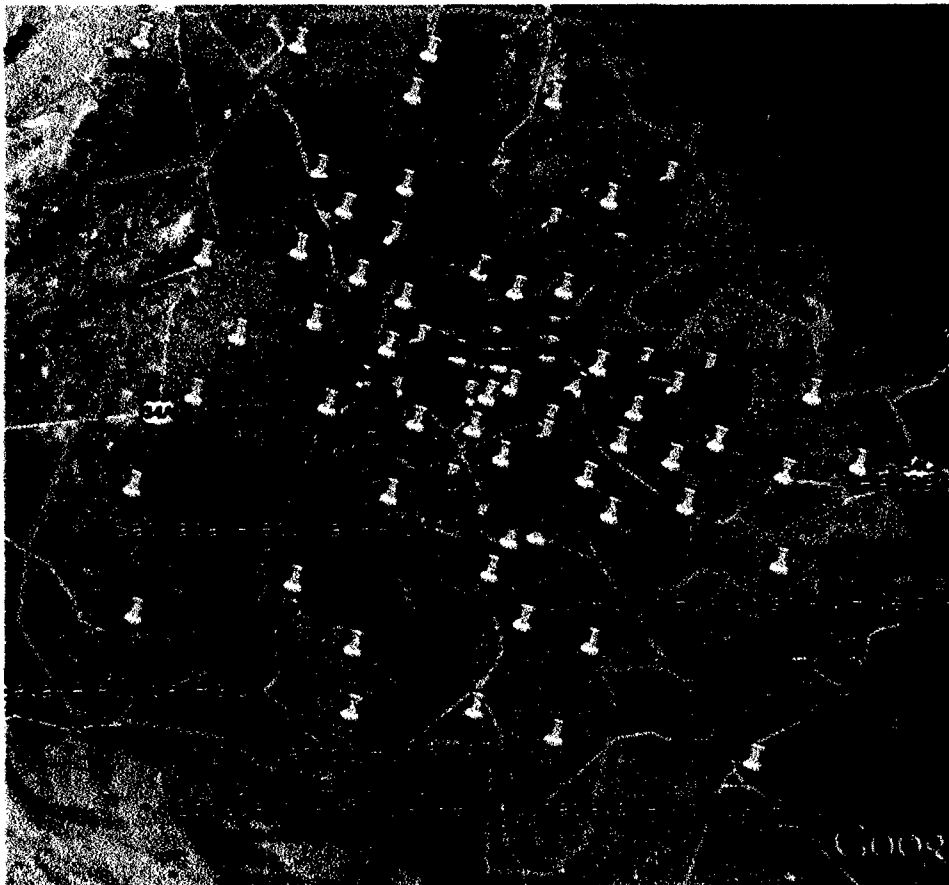
Para el despliegue de nuestra red, se ha optado por utilizar las estaciones base pertenecientes a la red de America Móvil S.A.C (Claro) por su posición estratégica de sus estaciones base. Debido a la utilización de la red de Claro, los gastos en cuanto a infraestructura se verán reducidos, y solo se optará por centrarse en el sistema radiante de cada site y en ubicar ciertos sites necesarios para tener toda la cobertura deseada.

A continuación se mostrará el despliegue de la red ya existente de America Movil S.A.C. en el departamento de Arequipa. De estos puntos se

procederá a elegir aquellos sites estratégicamente ubicados para la instalación del sistema radiante que brindará el servicio de LTE.

FIGURA 4.7.

DESPLIEGUE EXISTENTE DE LA RED ACTUAL DE CLARO



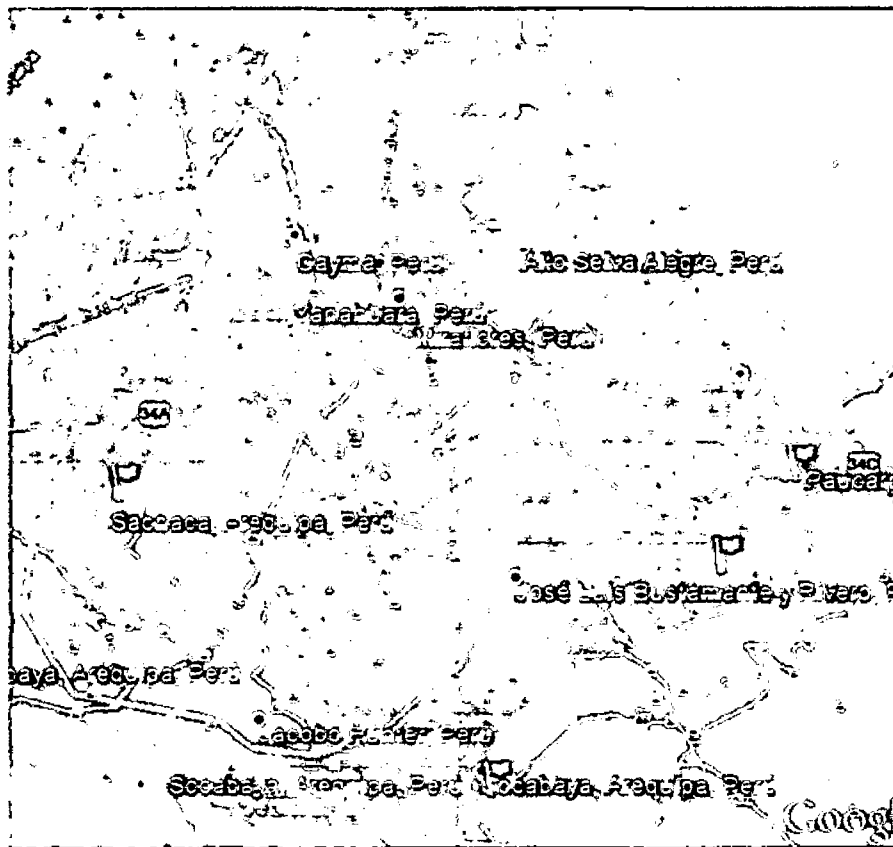
Fuente: America Móvil S.A.C

Para ubicar los puntos, se debe recordar que del análisis de red ya visto, el radio de cobertura de cada estación es alrededor de 1.6 km. Esto nos indica que es necesario ubicar nuestros sites deseados considerando un radio de cada uno de 1.6 km, cubriendo un área mayor de cobertura. Se

decide optar por elegir puntos estratégicos para reducir el coste de instalación de equipos en todos los sites existentes en la red de claro. Por tanto los puntos deseados se mostrarán en la figura 4.8.

FIGURA 4.8.

UBICACIÓN DE LOS SITES PARA EL DESPLIEGUE DE NUESTRA RED



Fuente: Propia

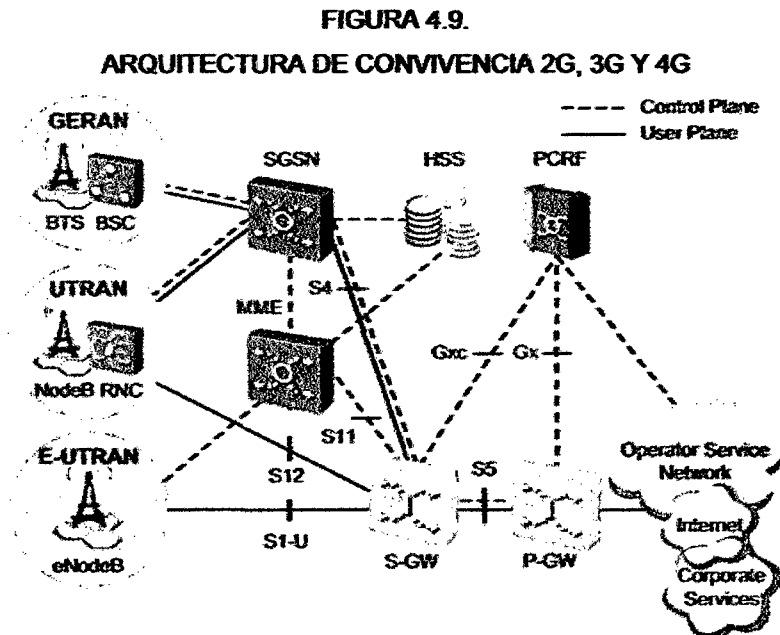
Se escogió 27 estaciones existentes en total para el despliegue de nuestra red, y se optó por ubicar 4 nuevas estaciones. Con esto se logra cubrir toda el área deseada.

4.2.8. Diseño del EPC

4.2.8.a. Tipos de Topología EPC

Para el despliegue de los equipos de EPC se debe definir previamente la combinación de equipos que se utilizará, tomando en cuenta que los proveedores de servicios no solo darán el servicio de 4G con LTE si no que actualmente se tiene Redes Móviles 2G y 3G desplegadas sobre el territorio peruano.

La red 4G debe convivir con las actuales 2G/3G para lo cual aparecen nuevas interfaces ya explicadas durante el Capítulo 1, en la figura 3.9 se aprecia cómo se integra el SGSN con el MME a través de la interfaz S3 y el RNC con el S-GW a través de la interfaz S12.

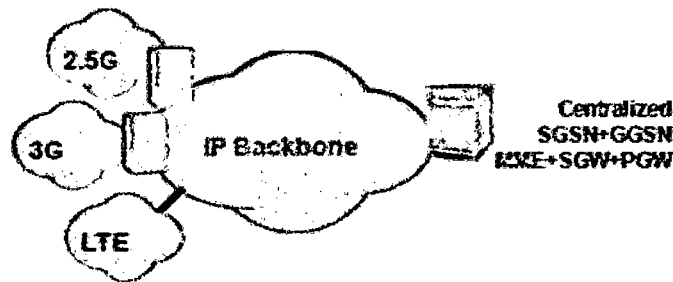


Fuente: "USN9810 Product Documentation - Product Version: V900R008C00"

Es por ello que se debe evaluar la combinación de equipos del EPC que se utilizara para el despliegue. A continuación se muestran los tipos de combinación para equipos del EPC:

A. En la siguiente figura podemos observar una configuración centralizada de los equipos de EPC y los cuales vendrían hacer hardware especializado para este servicio o upgrade del actual Paquet Core, muchos fabricantes soportan este tipo de configuración.

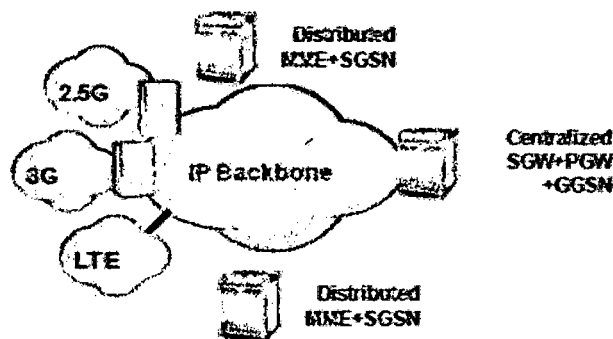
FIGURA 4.10.
CONSIDERACIONES DEL DISEÑO TIPO "A"



Fuente: " LTE Design and Deployment Strategies "

B. En la siguiente figura podemos observar una configuración distribuida para el Plano de Control y de manera centralizada para el Plano de Usuario.

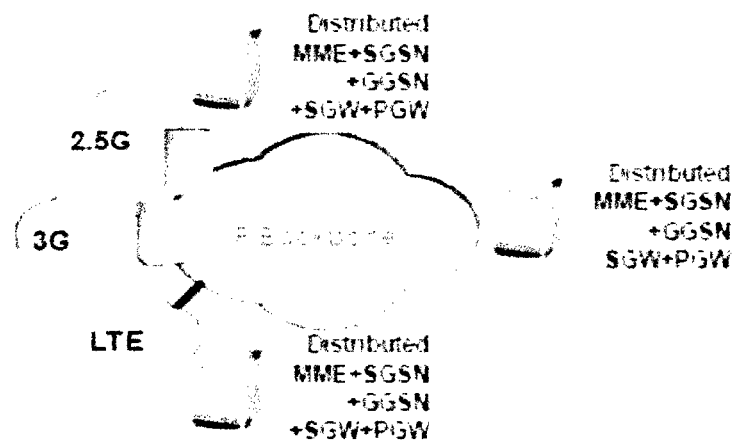
FIGURA 4.11.
CONSIDERACIONES DEL DISEÑO TIPO "B"



Fuente: " LTE Design and Deployment Strategies "

C. En la siguiente figura podemos observar una configuración distribuida en cuanto a Nodos de la red, pero a su vez centralizada ya que cada uno de ellos cumplen las mismas funciones. Plano de usuario y de Plano de control pasa por el mismo equipo.

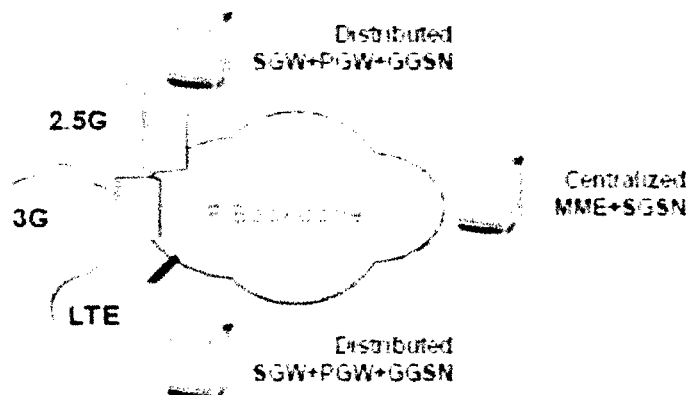
FIGURA 4.12.
CONSIDERACIONES DEL DISEÑO TIPO "C"



Fuente: " LTE Design and Deployment Strategies "

D. En la siguiente figura podemos observar una configuración distribuida para el Plano de Usuario y de manera centralizada para el Plano de Control.

FIGURA 4.13.
CONSIDERACIONES DEL DISEÑO TIPO "D"



Fuente: " LTE Design and Deployment Strategies "

Los operadores deberán elegir la mejor opción que se ajuste a la situación actual de su red, que pueda convivir con los actuales servicios 2G/3G que se tienen desplegados.

La elección de la combinación de equipos del EPC dependerá mucho del tiempo de retardo mínimo considerado para cada interface de la arquitectura LTE.

A continuación presentamos algunas consideraciones a tomar en cuenta para la ubicación y configuración de los equipos del EPC:

4.2.8.b. Consideraciones para el MME

Los nodos de tipo MME deben estar distribuidos de manera moderada, ya que la latencia para la interface S1-MME (entre eNodo y MME) debe ser menor a 50ms.

El menor tiempo en la señalización para interfaz S1-MME representa el correcto establecimiento de la llamada.

El uso de MME pooling ayuda a la escalabilidad y la redundancia geográfica.

4.2.8.c. Consideraciones para el SGW/PGW

Se recomienda que tanto el SGW como el PGW estén ubicados en el mismo lugar si el diseño del operador lo permite, para poder reducir el tiempo de latencia entre ellos.

Para poder maximizar la experiencia del usuario el tiempo de latencia para la interfaz S1-U debe ser menor del 50 ms, por lo que distribución de estos elementos debe ser cercana al borde de la red (eNodoB).

4.2.8.4. Consideraciones para el HSS

La distribución de este elemento puede ser centralizado, el tiempo de latencia debe ser menor a 100 ms para la interfaz S6a, el cual impacta en el establecimiento del "default bearer".

4.2.9. Equipos del EPC

Tomando en cuenta lo explicado anteriormente, para los equipos del EPC se ha optado por una solución con equipos Huawei. Los mismos que están compuestos por 2 equipos: USN9810 y UGW9811. [10][11]

4.2.9.a USN9810

El USN9810 es el nodo servidor unificado desarrollado por Huawei. Puede ser utilizado en el Servicio General de Radio por Paquetes (GPRS) de 2,5G, el Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles 3G (UMTS) y en el Sistema de Red Evolucionada de Conmutación de Paquetes (EPC). El USN9810 integra el Nodo de Soporte GPRS Servidor (SGSN) y la entidad de gestión de movilidad (MME). Puede brindar funciones de SGSN, MME o ambos, y su mantenimiento se realiza mediante el mismo sistema de operación y mantenimiento (OMS), independientemente de las funciones que ofrece.

Características del USN9810:

- **Gran capacidad y Alta integración:**

El USN9810 utiliza un procesador de alta velocidad de reenvío de datos en el plano de usuario, lo que mejora la eficiencia de procesamiento y la integración del sistema.

- **Plataforma ATCA:**

Desarrollado sobre la base del pacto de interconexión de componentes periféricos (CPCI) estándar, ATCA cumple los nuevos requisitos de la industria de las telecomunicaciones. En comparación con CPCI, ATCA posee las siguientes características:

Proporciona la capacidad de procesamiento de gran alcance para satisfacer las necesidades actuales y futuras. Eso es, ATCA proporciona suficiente ancho de banda y velocidad de carga del procesador, y la mejora de la eficiencia de funcionamiento.

Mejora la fiabilidad del sistema mediante la separación de la plataforma de gestión, el plano de control, y el plano de servicio, todo ello con una estructura de punto-a-punto.

Proporciona gran espacio de tablas. El hot-swappable tarjeta intermedia avanzada (AMC) será soportado en el futuro. Por lo tanto, la aplicación embebida, aplicación de servidor, y el procesamiento de matriz de señal digital (DSP) se pueden combinar de forma flexible para satisfacer los requisitos de la aplicación para diferentes capacidades.

Soporta una red flexible. El ATCA permite a los USN9810, otros elementos de red en la red principal, e IMS para compartir la misma plataforma. Además, ATCA soporta interfaces de banda estrecha, que simplifican la conexión en red y reducen la inversión del operador.

Plataforma de hardware. El USN9810 utiliza la arquitectura de estándares abiertos de telecomunicaciones interna (OSTA 2.0) de la plataforma de Huawei. Basado en la tecnología ATCA, OSTA 2.0 proporciona una alta tasa, alta fiabilidad y alta capacidad de expansión.

Plataforma de software. El USN9810 utiliza la plataforma de software embebido, es decir, la plataforma de grado portador (CGP), que se utiliza universalmente por los productos de la red de núcleo de Huawei. El CGP tiene las características como la plataforma de cross-hardware, múltiples sistemas operativos, y fácil mantenimiento.

- **Fácil operación y mantenimiento:**

El sistema de operación y mantenimiento (OM) del USN9810 tiene las siguientes características:

El sistema de O&M puede ser flexible construido de acuerdo con la estructura de la red y los requisitos del cliente.

Interfaz de mantenimiento combinando MML y GUI. La interfaz es característica de las operaciones fáciles y rápidas proporcionadas por lenguaje hombre-máquina (MML) además de la pantalla de colores intensos y fácil de memoria proporcionada por la interfaz de usuario gráfica (GUI).

Potente rastro de señalización. El USN9810 proporciona funciones para rastrear los mensajes de los suscriptores designados y las señales en las interfaces de protocolo, como la lu, Gb, S1-MME, S6a, GS, SG, y Gr. El USN9810 también proporciona mensaje de explicación y filtrado.

- **Alta Confiabilidad:**

Diseño de la redundancia de hardware. Todas las placas críticas están configuradas en 1+1 o N+1 copia de seguridad para garantizar una alta fiabilidad del sistema.

Sistema de control de sobrecarga. En el caso de la unidad de procesamiento central (CPU) de sobrecarga o recurso congestión, la USN9810 ajusta el tráfico sin problemas para evitar la inactividad del sistema.

Evitar fallos. El USN9810 proporciona mecanismos de protección para evitar los siguientes errores del sistema:

- ✓ **Apagado del sistema**
- ✓ **Errores de maniobra en el interruptor de alimentación del sistema**
- ✓ **Oleada de relámpagos en la energía del sistema de alta tensión y baja tensión**
- ✓ **Corto circuito de la fuente de alimentación**
- ✓ **Oleada de relámpagos sobre enlaces E1/T1**
- ✓ **Corriente de sobretensión y de alta tensión en la fuente de alimentación y las interfaces**

Copia de seguridad de datos importantes. El USN9810 automáticamente copia de seguridad de datos importantes, como los datos de configuración, datos de rendimiento y los registros de operaciones.

- Redirección de CG y buffering de factura:

Cuando el charging gateway activo (CG) o el enlace al CG activo falla, el USN9810 envía las facturas a la CG espera. Si el CG de espera también está fallando, el USN9810 almacena las cuentas de cobro en su memoria.

- Flexibilidad:

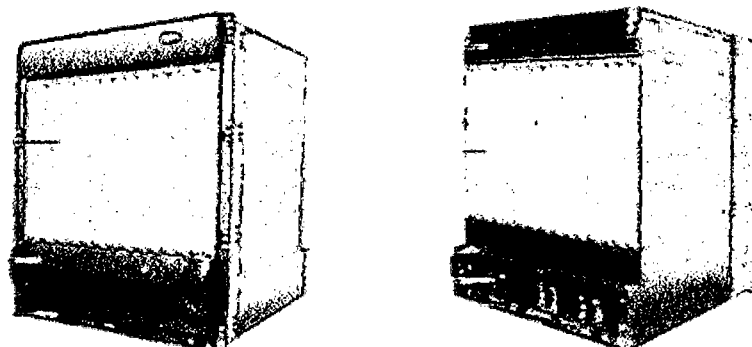
El USN9810 puede funcionar como SGSN y la entidad de gestión de movilidad (MME). El SGSN y el MME se pueden implementar por separado o ser desplegados juntos.

Estructura del Hardware del USN9810

Los subracks del USN9810 se clasifican en el subrack de base y el subrack de servicio.

FIGURA 4.14.

USN9810 VISTA FRONTAL Y VISTA TRASERA.



Fuente: "USN9810 Product Documentation - Product Version: V900R008C00"

Especificaciones de rendimiento

Las especificaciones de rendimiento de la USN9810 incluye: número máximo de abonados conectados al mismo, el número máximo de contexto PDP puede ser activado al mismo tiempo, el número de suscriptores son soportados por el sistema, el número de portadores soportados por el sistema y así sucesivamente.

TABLA 4.8.
ESPECIFICACIONES DE RENDIMIENTO DEL USN9810 (E-UTRAN)

Parámetro	Valor(E-UTRAN)
Número de abonados soportados por el sistema	12 millón
Número de portadoras (bearers) soportados por el sistema	24 millón
Número de portadoras activadas por un UE al mismo tiempo	11
Número de eNodosB soportados por el sistema	50,000
Número de S-GWs y P-GWs soportados por el sistema al mismo tiempo	4,096

Fuente: "USN9810 Product Documentation - Product Version: V900R008C00"

TABLA 4.9.
ESPECIFICACIONES DE RENDIMIENTO DEL USN9810 (GERAN / UTRAN)

Parámetro	Valor(GERAN)	Valor(UTRAN)
El número máximo de usuarios conectados	12 millón	12 millón
El número máximo de contextos PDP que pueden ser activados al mismo tiempo	24 millón	24 millón
Máxima Capacidad de transferencia de paquetes de datos (PPS)	0.96 millón	12 millón
Máximo Flujo de transferencia de paquetes de datos	3.84Gbit/s	48Gbit/s

Fuente: "USN9810 Product Documentation - Product Version: V900R008C00"

4.2.9.b. UGW9811

El UGW9811 es el gateway unificado de paquetes. Ha sido diseñado para utilizarse en las redes 3G mejoradas (E3G) de Evolución a Largo Plazo/Evolución de la Arquitectura del Sistema (LTE/EPC).

Cuando se implementa en una red EPC, el UGW9811 puede funcionar como un nodo de soporte GPRS gateway (GGSN), un gateway servidor (S-GW) o un gateway PDN (P-GW). Combina las funciones de GGSN, S-GW y PDN, pero puede ser convenientemente gestionado como un solo UGW.

Características del UGW9811

- **Plataforma Carrier-Class:**

La plataforma de hardware del UGW9811 es Huawei universal Switching Router (USR). La USR es un dispositivo de conmutación de red de clase portadora que es compatible con los estándares de la industria. Desarrollado sobre la base de Huawei versátil plataforma de enrutamiento (VRP), el software de la UGW9811 hereda la tecnología integrada de enrutamiento, la calidad de servicio IP (QoS), la red privada virtual (VPN), y la tecnología de seguridad de la VRP y perfecciona las funciones específicas para aplicaciones en las telecomunicaciones inalámbricas.

Por medio de la plataforma de hardware USR que cuenta con la plataforma de software que se integra perfectamente tecnologías de telecomunicaciones inalámbricas y las tecnologías de comunicación de datos de alta fiabilidad y gran rendimiento de datos y, la UGW9811 presenta

una solución ideal y flexible para la comunicación inalámbrica de datos a los operadores de red.

- **Alta Confiabilidad**

Confiabilidad de Hardware

El UGW9811 soporta la conexión en caliente y copias de seguridad en caliente de los teclados, posee un sistema de alimentación de dos canales, y está protegida contra la sobretensión y sobrecorriente.

Los subcards DMPU pueden trabajar en modo de carga compartida. Por lo tanto, cuando un DMPU subcard esta defectuoso, el otro DMPU subcard se hace cargo de todos los servicios, y el sistema dispara una alarma de fallo.

Confiabilidad de Software

El UGW9811 es capaz de control de sobrecarga, control de tráfico, control de recursos, copia de seguridad del software del sistema, archivos de configuración de verificación y detección automática de errores. Esto asegura funcionamiento fiable. La carga record función de caché única de datos (CDR), garantiza un sistema de facturación confiable. La tecnología de parches caliente ayuda para asegurar el funcionamiento normal de software.

Confiabilidad de Networking

La copia de seguridad de la ruta y funciones de reparto de carga del router pueden evitar el fracaso de un solo punto en las redes, ayudando a construir redes altamente confiables. La función "Eth-trunk" puede evitar el fallo de un solo puerto de afectar a los servicios.

Confiabilidad de Operación y Mantenimiento

SSL: La UGW9811 garantizar confidencialidad de los datos de operación y mantenimiento.

Cuando la actualización del UGW9811 falló, puede automáticamente realizar "rollback" versión anterior. De este modo, la actualización remota sin tiempo de servicio de restauración se puede reducir.

UGW9811 proporciona la función de retirada de parches para garantizar la fiabilidad de funcionamiento de parche.

Seguridad

Al igual que la confiabilidad, la seguridad se refiere a los operadores y usuarios finales. Los requisitos para la seguridad está plenamente en cuenta para el diseño de la UGW9811 y se toman las siguientes medidas:

Estricta verificación de la identidad del operador

Point-to-Point Protocol (PPP) la comprobación de seguridad por el Protocolo de autenticación de contraseña (PAP) y el Protocolo de autenticación por desafío mutuo (CHAP).

Filtrado de paquetes y lista de control (ACL) del mecanismo de acceso a los paquetes de filtro según las condiciones preestablecidas.

Gi / SGi función de redirección de interfaz, que puede ofrecer defensa contra los ataques que se basan en paquetes de protocolo entre los usuarios móviles en una UGW9811.

(IPSec) de protocolo de seguridad IP, que proporciona los paquetes IP con la seguridad de alta calidad, interoperables y de criptografía basada en seguridad.

El UGW9811 proporciona la función de firma digital. El UGW9811 comprueba la integridad del paquete de actualización de software o parches comprobando los archivos de firma digital.

- **Gran Capacidad**

Huawei universal Switching Router (USR), un router de núcleo de quinta generación, es la plataforma de hardware de la UGW9811. En Huawei USR, el plano de señalización/control está separado del plano de datos. Es decir, el plano de señalización/control consta de varios procesadores de alto rendimiento general. El plano de datos consta de procesadores de red de alto rendimiento y de alta capacidad de transmisión-múltiples (PN).

- **Operación y mantenimiento del sistema personalizable**

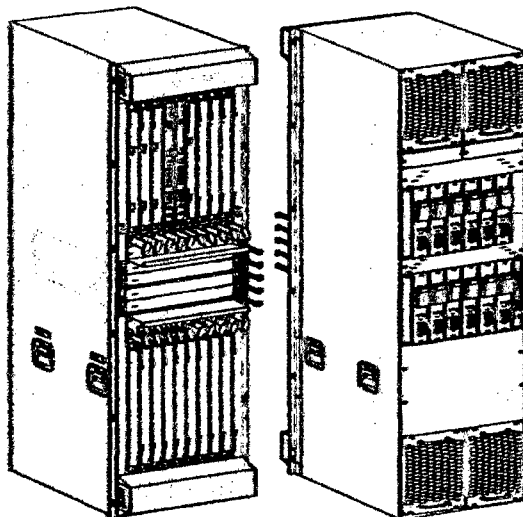
- **Interfaz gráfica de usuario fácil de usar.**
- **Medición del Desempeño Personalizable.**
- **Gestión remota.**
- **Gestión de fallos en tiempo real.**

Estructura de Hardware del UGW9811 Modelo PGP-X16

Se tienen 4 modelos de configuración para el UGW9811 (PGP-X16, PGP-X8, PGP-16 y PGP-8), se ha elegido el modelo PGP-X16 por ser el que tiene mejores cifras en cuanto a sus especificaciones de rendimiento. La diferencia entre estos modelos es la cantidad de contextos PDP, el

throughput, cantidad de APN, cantidad de eNodosB, etc que pueden soportar.

FIGURA 4.15.
UGW9811 VISTA FRONTAL Y VISTA TRASERA



Fuente: "UGW9811 Product Documentation, Product Version: V900R009C01"

Especificaciones de rendimiento

A continuación una tabla de especificaciones para el UGW9811

Modelo PGP-X16.

Tabla 4.10.
UGW9811 Especificaciones de rendimiento

Ítem	Especificación	
El número máximo de contextos PDP activados/contextos de sesión (la relación entre el número de contextos PDP para el número de sesiones es 1:1)	SPUs en modo active/standby	5,000,000
	SPUs en modo de carga compartida	10,000,000
	SPUs en N+1 en modo backup	9,000,000
Máximo data throughput	Modo Activo/standby	120G bit/s
	Modo de carga compartida	240G bit/s
	SPUs en N+1 en modo backup	200G bit/s

Número máximo de eNodeB	10,000
Máximo IPSec throughput	3G bit/s
Número máximo de APNs	3,000
Número máximo de túneles GRE	4,000
Número máximo de túneles L2TP	40,000
Número máximo de túneles IPSec	4,000

Fuente: "UGW9811 Product Documentation, Product Version: V900R009C01"

MPU: Main Processing Unit

SFU: Switching Fabric Unit

SPU: Service Processing Unit

LPU: Line Processing Unit

4.2.9.c HSS9860 – Home Subscriber Server

El HSS9860 incorpora la funcionalidad del suscriptor Home Server (HSS) y la función de localizador de suscripción (SLF) en el Subsistema Multimedia IP (IMS). Cuenta con una estructura distribuida y el diseño modular y compatible con los datos en la memoria de gestión, copia de seguridad de varios niveles y solución de redundancia geográfica perfecta. Además, de cara a la convergencia de datos, que proporciona dos interfaces de acceso a datos estándar y abiertos.

Características del HSS9860

- **Despliegue flexible de la BE y la FE.**
- **Lógicamente, la HSS9860 consta de un Back End (BE) y un Front End (FE), que separa de almacenamiento de datos de procesamiento de servicio.**

- **Estructura Distribuido.**

Una estructura distribuida permite que múltiples entidades funcionales idénticas a trabajar en el modo de equilibrio de carga.

- **Plataforma de hardware avanzada.**

El HSS9860 utiliza la plataforma de hardware OSTA 2.0. Esta plataforma es compatible con el Advanced Telecom Computing Architecture (ATCA).

- **Mecanismo de seguridad de datos de niveles múltiples.**

El HSS9860 utiliza un mecanismo de copia de seguridad de varios niveles. Este mecanismo permite que el sistema pueda almacenar datos de abonado en diferentes dispositivos de almacenamiento, asegurando así la seguridad de los datos.

- **Función de HSS Virtual.**

La función HSS virtual permite que un HSS físico se divida en varios HSS lógicos. Cada HSS lógico es equivalente al HSS en la red local.

Interfaces de datos de acceso estándar y abierto

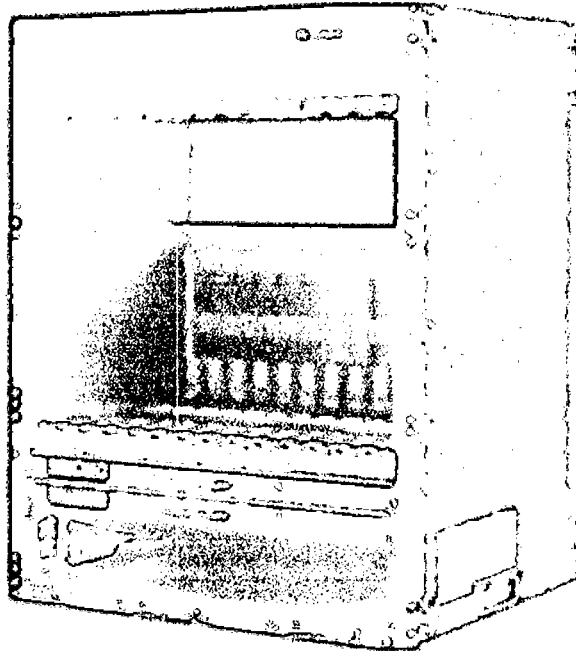
- El HSS9860 proporciona interfaces de acceso de datos estándar y abierto a través del cual las aplicaciones de terceros pueden obtener los datos de abonado. Esta característica reduce considerablemente el costo de despliegue de servicios y simplifica la configuración del servicio de datos.

Estructura de Hardware de HSS9860

El HSS9860 utiliza bastidores OSTA 2.0, que son compatibles con ATCA.

FIGURA 4.16.

SUBRACK OSTA 2.0 DEL HSS9860



Fuente: "HSS9860 Product Documentation - Product Version: V900R008C00"

Especificaciones de rendimiento

A continuación una tabla de especificaciones para el HSS9860.

Tabla 4.11.

HSS9860 Especificaciones de rendimiento

Item	Specifications
El número máximo de abonados soportados	Redes GSM y UMTS: 100 millones de abonados dinámicos o 200 millones de suscriptores estáticos. Redes EPS: 30 millones de suscriptores. Redes GSM, UMTS y EPS: 30

	millones de suscriptores
Bearer networking modes soportados	Redes IP Redes TDM Redes híbridas TDM/IP
Número máximo de enlaces TDM de 64 kbit/s soportados	11,776
Número máximo de enlaces TDM de 2 Mbit/s soportados	736
Número máximo de enlaces SCCP soportados	11,776
Número máximo de enlaces Diameter soportados	128
Velocidad de procesamiento máxima de los comandos del sistema de aprovisionamiento (en configuración completa)	10,000 comandos/segundo

Fuente: "HSS9860 Product Documentation - Product Version: V900R008C00"

4.2.9.d. Despliegue de equipos del EPC

Para nuestro diseño del Core de la Red LTE nos basaremos en el modelo actual de Perú en el que las operadoras concentran el núcleo de su red móvil en las principales ciudades del país como por ejemplo Arequipa, Trujillo y Lima.

Se plantea colocar los equipos del EPC en el actual Core de los operadores móviles ya que en estos puntos se encuentran las interconexiones de FO dorsal, con lo cual facilitaría la conectividad hacia los demás nodos de la red.

Para este diseño nos estaremos basando en la solución de Huawei para equipos del EPC ya que tanto Movistar como América Móvil Perú han venido desarrollando pruebas con esta solución.

En la figura siguiente se muestra la ubicación que tendrían los equipos del EPC en el territorio peruano.

FIGURA 4.17.
UBICACIÓN DE EQUIPOS DEL EPC SOBRE EL TERRITORIO PERUANO



Fuente: "Creación Propia"

La ubicación de los equipos del EPC se ha determinado de la cantidad de habitantes que se tiene por departamento (capítulo 2), en tal sentido los departamentos con mayor población y que por consiguiente tendrán gran concentración de eNodos B, deben tener cerca un equipo del EPC.

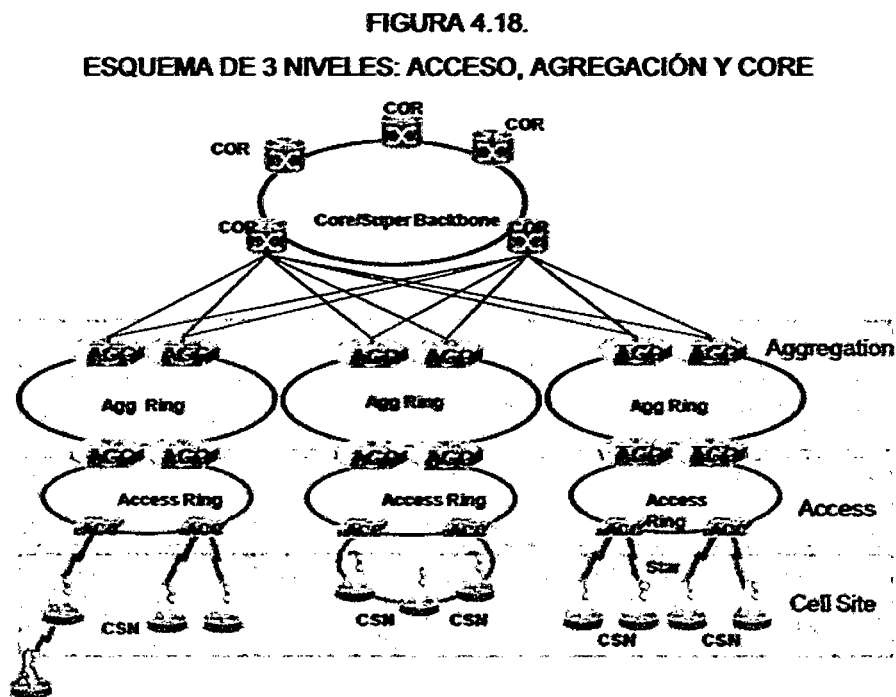
También se debe tomar en cuenta para la ubicación de los equipos del EPC, donde se tiene FO dorsal para poder transportar el tráfico entre departamentos.

4.2.10. Red de Transporte IP

Como se ha venido mencionando en el capítulo 1. Una Red LTE está basado en protocolo IP por lo que todos los Elementos de la Red LTE hablan IP los unos con los otros.

Para lo cual se necesita una red de datos completamente construida desde el acceso hasta el Core.

Se plantea un esquema de 3 Niveles: Acceso, Agregación y Core.



Fuente: "LTE Design and Deployment Strategies"

4.2.10.a. Acceso

Las características para este nivel serian las siguientes:

- Capacidad de soportar el ancho de banda máximo del eNodoB.
- Capacidad de recuperación, recuperación de fallos, dual homing (BGP hasta el acceso).
- Enrutamiento L2/L3 dependiendo del requerimiento (L3 recomendado).
- Se propone la utilización de los siguientes equipos:
- Cisco ASR 901, Alcatel 7705 SAR.

3.10.b. Agregación

Las características para este nivel serian las siguientes:

- Capacidad de soportar el ancho de banda promedio de los equipos de acceso con sobreescripción.
- Se puede ubicar en la agregación del acceso o en la pre agregación de anillos dependiendo del tamaño de la red.
- De ágil y resistente arquitectura para el ancho de banda entre la agregación y el acceso.
- Ruteo L2/L3 VPN (MPLS + BGP).
- Se propone la utilización de los siguientes equipos:
- Cisco ASR 903, Cisco ASR9001, Alcatel 7750 SR7, Alcatel 7750 SRc12.

4.2.10.c. Core

Las características para este nivel serían las siguientes:

- **Capacidad de soportar el ancho de banda promedio de los equipos de agregación con sobresuscripción.**
- **Conexión con los equipos de Core de las demás regiones.**
- **Conexión regional y nacional de los equipos que conforman esta capa.**
- **Brinda servicios de internet, conexión con socios de roaming y aplicaciones.**
- **Enrutamiento MPLS VPN, enrutamiento global (IGP).**
- **Se propone la utilización de los siguientes equipos: Cisco ASR 9010, Cisco CRS-3, Alcatel 7750 SR12.**

4.2.10.d. Integración de eNodoB

Para la Integración de un eNodoB a la red IP se parte de la premisa que se debe ubicar un router del nivel de acceso el cual está conectado hacia la agregación con FO para alcanzar velocidades de 1Gbps , se identifican las siguientes 5 interfaces lógicas ah integrar por la función que desempeñarían cada una de estas:

- **Gestión: Interfaz para gestión del eNodo.**
- **S1-U, X2: Interfaz para tráfico de usuario (User Plane).**
- **S1-MME: Interfaz para tráfico de señalización (Control Plane).**

- **Sincronismo: Interfaz para tráfico de sincronismo hacia los equipos que manejan el estandar IEEE 1588 Precision Time Protocol (PTP).**

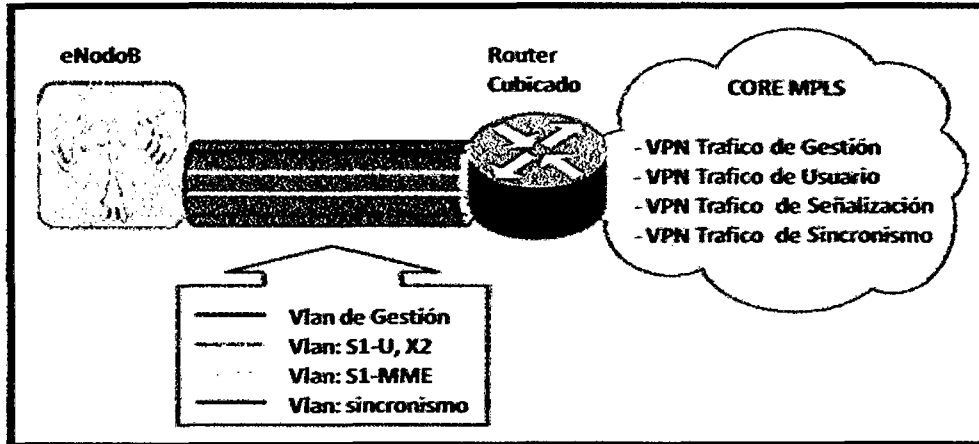
La integración de un eNodoB podría realizarse utilizando 1, 2 o más interfaces lógicas ya que 1 misma interfaz podría cumplir más de una función.

Para poder realizar esta configuración al integrar el eNodoB se debe considerar que se está hablando de interfaces lógicas lo que no significa que el hardware del eNodoB deba tener esa misma cantidad de interfaces físicas, por lo que se debe buscar el hardware que tenga la capacidad de dividir el trafico en "vlans" usando 1 o 2 interfaces físicas con los cual se puede utilizar una IP diferente para cada tipo de tráfico.

Como ejemplo podemos mencionar que la Estación Base "Flexi Multiradio with RL20" de Nokia Siemens Network puede separar el trafico en hasta 6 vlans.

Si bien es cierto, la utilización de 4 interfaz lógicas (4 IPs) para la integración de los eNodosB podrían dificultar la labor de despliegue, esto permitirá analizar el tráfico de manera individual ante cualquier evento que demande una labor de "troubleshooting".

FIGURA 4.19.
INTEGRACIÓN DE ENODOB A LA RED IP/MPLS



Fuente: "Creación Propia"

4.2.11. Terminales 4G

Con respecto a los terminales, actualmente se tienen en el mercado peruano equipos que soportan esta tecnología.

Como se ha indicado anteriormente, para este proyecto hemos elegido trabajar en la banda de los 700 Mhz, a continuación presentamos algunos equipos que ya se encuentran en el mercado y que operan en esta banda.

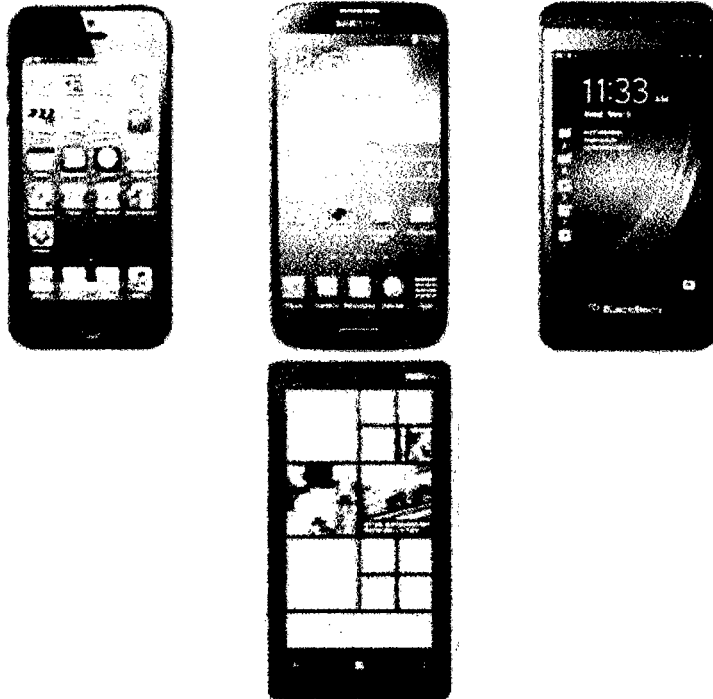
Tabla 4.12. Terminales que soportan LTE

Terminal	Modelo	Fabricante	Sist. operativo	Banda 700 Mhz
iPhone 5	A1428	Apple	iOS	Compatible
Galaxy S4	GT-i9500	Samsung	Android	Compatible
BlackBerry Z10	STL-100-1	BlackBerry	BB 10	Compatible
Nokia Lumia 920	RM - 820	Nokia	Windows Phone 8	Compatible
LG Optimus G	E977	LG	Android	Compatible
HTC One		HTC	Android	Compatible
Xperia ZL	C6502	Sony Mobile	Android	Compatible
Razr HD	XT925	Motorola	Android	Compatible

Fuente: "<http://www.gsmarena.com/>"

FIGURA 4.20.

EQUIPOS: IPHONE5, GALAXY S4, BLACKBERRY Z10 Y NOKIA LUMIA 920



Fuente: "<http://www.gsmarena.com/>"

Los equipos que soporten LTE pero que no trabajen en la banda de 700 Mhz, podrán traer versiones que operen en esta banda a solicitud de la empresa operadora de servicios.

4.3. Población y Muestra

La población que se ha decidido analizar tiene como características que son ciudades emergentes que no están saturadas en cuanto al despliegue de tecnologías de banda ancha.

La muestra que tomaremos, será de telefonía e internet del departamento de Arequipa.

4.4. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

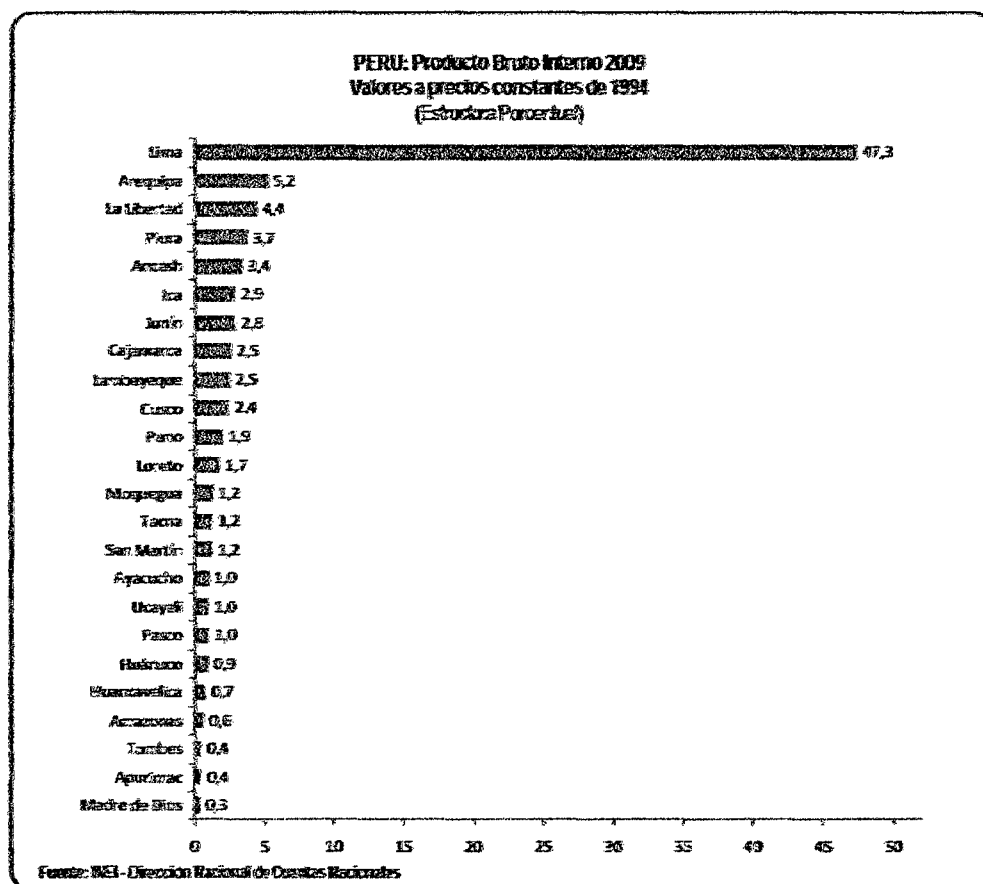
Para realizar la recolección de los datos mostrado se ha optado por usar la técnica de muestreo discreto.

4.5. Procedimiento de recolección de datos

4.5.1 Estudio económico del mercado

La participación porcentual de los departamentos en el Producto Bruto Interno de la economía a precios constantes de 1994 fue la siguiente: Lima que representó el 47,3%, continúan, Arequipa con 5,2%, La Libertad (4,4%), Piura (3,7%), Ancash (3,4%), Ica (2,9%) Junín (2,8%), Cajamarca y Lambayeque con 2,5% y Cusco con 2,4%. Mientras que los departamentos que menos aportaron en la formación del PBI fueron: Ayacucho, Ucayali y Pasco con 1,0%, Huánuco (0,9%), Huancavelica (0,9%), Amazonas (0,6%), Tumbes y Apurímac con 0,4% cada uno y Madre de Dios (0,3%) [04]. A continuación se presenta la relación del PBI a precios constantes de 1994 obtenida del estudio del INEI.

FIGURA 4.21.
PBI INTERNO A PRECIOS CONSTANTES DE 1994 DE LOS DEPARTAMENTOS DEL PERÚ [4]



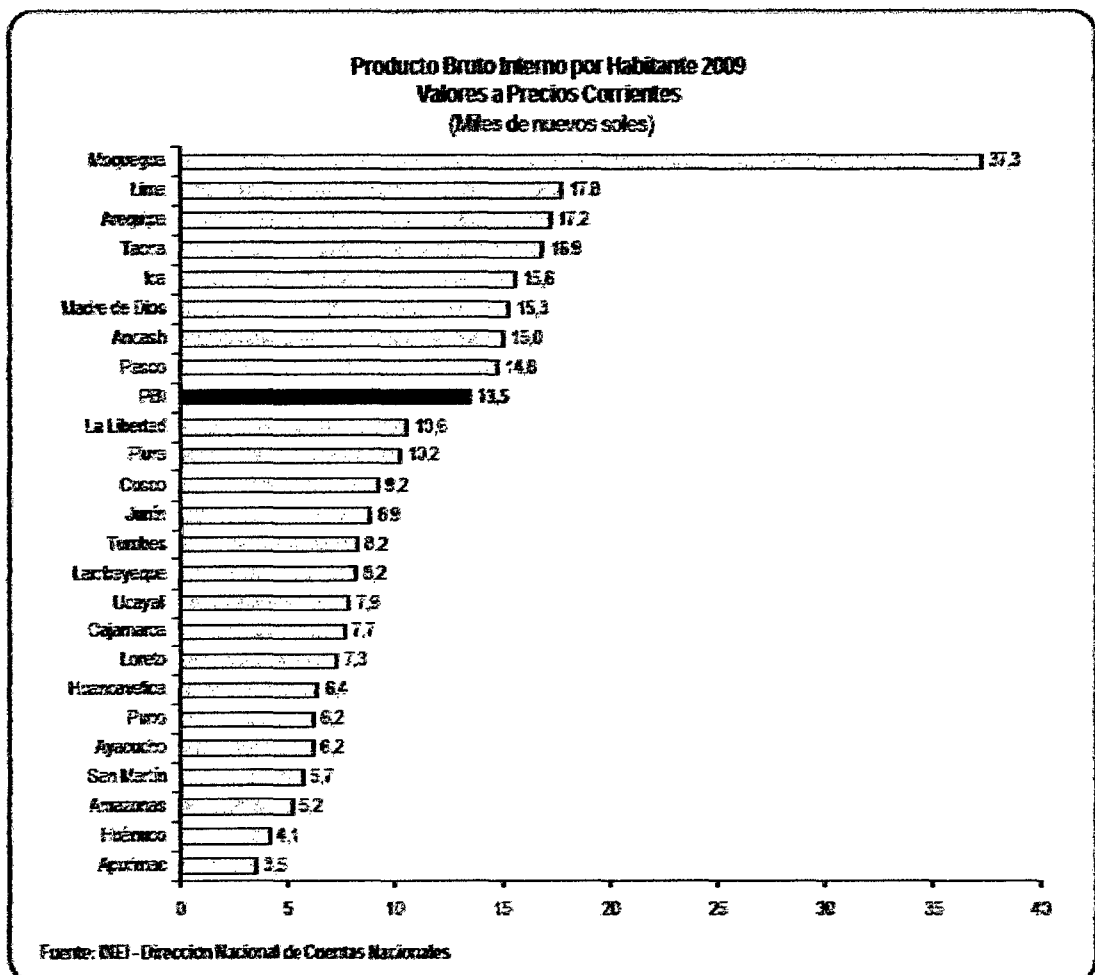
Fuente: "INEI - Producto Bruto Interno por Departamentos 2001-2009"

En este punto podemos observar que el PBI del departamento de Arequipa presentó en el 2009 uno de los más altos incrementos del PBI en porcentaje de la economía a precios constantes de 1994.

Por otro lado, a precios corrientes, el Producto Bruto Interno por habitante de la economía ascendió a 13 mil 475 nuevos soles para el 2009. En el contexto departamental, el departamento que alcanzó el mayor nivel fue Moquegua con 37 mil 272 nuevos soles, seguido de Lima, Arequipa, Tacna,

Ica, Madre de Dios y Ancash con 17 mil 753, 17 mil 218, 16 mil 858, 15 mil 627, 15 mil 307, 15 mil 049 nuevos soles respectivamente; mientras el departamento que alcanzó el más bajo nivel en el PBI per cápita fue Apurímac con 3 mil 544 nuevos soles. [01]. Presentamos la relación de PBI interno por habitantes obtenido del estudio del INEI.

FIGURA 4.22.
PBI INTERNO POR HABITANTE A PRECIOS CORRIENTES [4]



Fuente: Fuente: "INEI - Producto Bruto Interno por Departamentos 2001-2009"

Para nuestro análisis no se tomará en cuenta el departamento de LIMA debido a que presenta un mercado saturado en cuanto a tecnología móvil. Como podemos observar los departamentos que alcanzaron un mayor nivel de PBI medido en soles fueron Moquegua y Arequipa.

No obstante para el despliegue de nuestra red es necesario tener una buena demanda de habitantes que puedan utilizar y mantener el proyecto. El proyecto debe de ser auto sostenible pero también necesario para una determinada población, a continuación mostraremos la población en edad de trabajar y la población económicamente activa de los departamentos de Arequipa y Moquegua:

TABLA 4.13.
PET Y PEA DE LOS DEPARTAMENTOS DE AREQUIPA Y MOQUEGUA [02]

	Departamento	2007	2008	2009	2010	2011
Población en edad de trabajar (Miles de personas)	Arequipa	882.3	895.5	908.8	922.4	936.5
	Moquegua	126.1	128	130	132	134
Población económicamente activa	Arequipa	641.1	618.6	636	648.7	669.7
	Moquegua	98.2	93.1	96.6	99.1	100.1

Fuente: INEI – "Principales indicadores departamentales 2007-2011"

Como se observa en la tabla 4.13, la cantidad de población en Moquegua esta muy por debajo de la cantidad de población en Arequipa, según los datos obtenidos, realizar una red en Arequipa sería mucho más

aprovechable que en Moquegua debido a la cantidad de personas que la utilizarían.

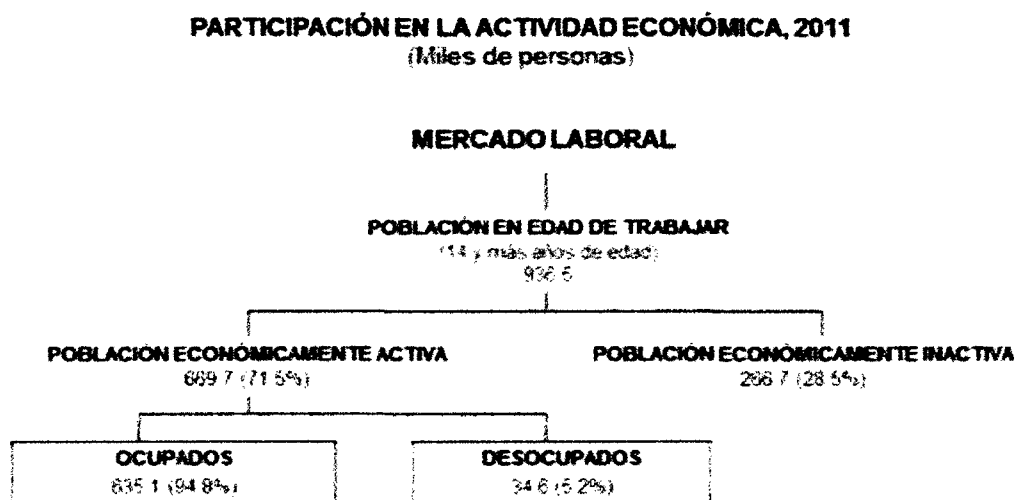
➤ **Ubicación Geográfica.**

La ciudad se encuentra localizada a una altitud 2328 msnm, la parte más baja de la ciudad se encuentra a una altitud de 2041 msnm en el sector denominado el Huayco en el distrito de Uchumayo y la más alta se localiza a los 2810 msnm. La parte central de la ciudad es atravesada por el río Chili de norte a suroeste que a su paso forma un valle, denominado el valle de Arequipa o valle de Chili, que es protegido al norte y al este por la faja cordillerana andina y hacia el sur y oeste por las cadenas bajas de cerros. El valle juega un papel determinante, el valle de Arequipa abierto a la costa y a la sierra conforma a junto con su condición de oasis entre el desierto arenoso y la puna serrana una opción intermedia y razonable de articulación de los sistemas de comunicación y desarrollo propio, la ubicación actual misma que permite articular de manera estratégica la costa y la sierra siendo una ciudad en medio de ambas regiones. [01]

El departamento de Arequipa está ubicado en la zona Occidental de territorio peruano, encontrándose sus puntos extremos entre las coordenadas geográficas: 14°36'06" y 17°17'54" latitud Sur, y 70°50'24" y 75°05'52" latitud Oeste. Sus límites son: por el Este con Puno y Moquegua; por el Norte con los departamentos de Ica, Ayacucho, Apurímac y Cusco; por el Sur y Oeste con el Océano Pacífico o Mar de Grau.

hombres y 300,400 son mujeres. Y una tasa de población económicamente inactiva del de 266,700 habitantes.

FIGURA 4.24.
PARTICIPACIÓN EN LA ACTIVIDAD ECONÓMICA AL 2011 DEL DEPARTAMENTO DE AREQUIPA



Fuente: "INEI – Encuesta Nacional de Hogares (ENAHO), 2011"

La población económicamente activa ha ido aumentando y con ello la tasa de ocupación. A continuación mostraremos una tabla acerca de la población económicamente activa y su tasa de ocupación entre los años 2007-2011 gracias al estudio realizado por la INEI [3]. En la tabla 4.14 se puede observar que el porcentaje de ocupación en la PEA ha estado aumentando y en los últimos años se ha estado estabilizado.

TABLA 4.14
PET Y PEA EN LOS ÚLTIMOS AÑOS EN EL DEPARTAMENTO DE AREQUIPA [02]

	2007	2008	2009	2010	2011
Población en edad de trabajar (Miles de	882.3	895.50	908.8	922.4	936.5

personas)					
Población económicamente activa	641.1	618.60	636	648.7	669.7
Tasa de ocupación (%)	93.6	95.2	93.9	94.9	94.8

Fuente: INEI – "Principales indicadores departamentales 2007-2011"

4.6.2. Distribución de la PEA ocupada por rango de ingresos 2011

De acuerdo a los estudios realizados por el ministerio de trabajo y promoción del empleo la población económicamente activa (PEA) ocupada, está conformada por 635,097 habitantes. Al 2011. A continuación mostramos el rango de ingresos anual de la población de Arequipa. [05]

TABLA 4.15.
PEA OCUPADA POR RANGO DE INGRESOS

<i>Rango de ingresos</i>	PEA Ocupada al 2011	
	% de habitantes	Total habitantes
Total	100,0%	635,097
Sin ingreso	8.30%	52,71
Menos de S/. 500	22.30%	141,63
De S/. 500 - S/.999	29.50%	187,35
De S/. 1000 - S/. 1499	18.30%	116,22
De S/. 1500 a más	21.60%	137,18

Fuente: INEI – "Principales indicadores departamentales 2007-2011"

Como podemos observar, en la PEA hay una mayor concentración en los usuarios que ganan entre S/.500, 00 a S/.999, 00.

4.6.3. Distribución de la PEA según el rango de edad 2011

De acuerdo a los estudios realizados por el ministerio de trabajo y promoción del empleo, obtenemos los rangos de edad de la PEA ocupada al año 2011. Como podemos observar, la mayor cantidad de PEA ocupada al 2011 presenta edades de 30 a 44 años. [06]

TABLA 4.16.
PEA OCUPADA POR RANGO DE EDAD [2]

Rango de edad	PEA Ocupada al 2011	
	% habitantes	total habitantes
total	100	635,097
14 años	0.6	3,81
15 a 29 años	29	184,17
30 a 44 años	36.7	233,08
45 a 64 años	28.5	181,00
65 a más años	5.2	33,03

Fuente: INEI – "Principales indicadores departamentales 2007-2011"

4.6.4. Distribución de la PEA según actividad

De acuerdo a los estudios realizados por el INEI, tenemos las actividades resaltantes que ocupa la PEA (en porcentaje) en los tres últimos años, tales como la agricultura, pesca, minería, manufactura, construcción, comercio, transportes y comunicaciones, etc. [05]

TABLA 4.17.

POBLACIÓN ECONÓMICAMENTE ACTIVA OCUPADA POR RAMA DE ACTIVIDAD (%)

Actividad	2009	2010	2011
Agricultura / Pesca / Minería	17.7	17.8	20.5
Manufactura	10.1	12.5	11.8
Construcción	7	6	7.6
Comercio	20.7	18.6	18.1
Transportes y comunicaciones	10.2	7.9	10
Otros servicios	34.3	37.2	32

Fuente: INEI – "Principales indicadores departamentales 2007-2011"

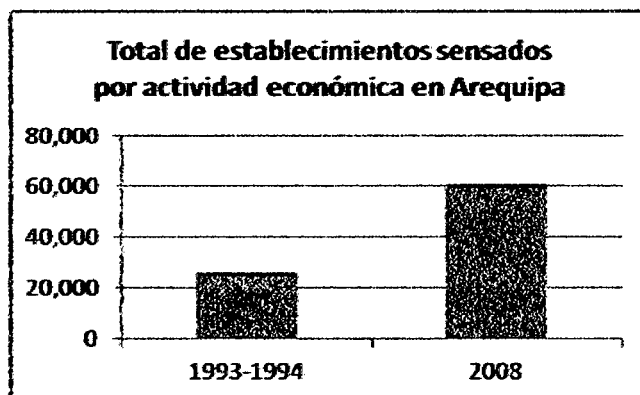
Como podemos observar de la Tabla 2.5, tabla La mayor cantidad de PEA radica en el comercio, agricultura, pesca y minería.

4.6.5. Actividad económica

A continuación mostraremos los establecimientos censados por actividad económica, según ámbito político administrativo, 2008 [03]. En la figura 2.5 se observa el crecimiento notable entre 1993 al 2008. Se crearon más de 300,000 establecimientos destinados a la actividad económica. Esta contribución es una de las causas a que el PBI de Arequipa haya aumentado notablemente en los últimos años.

FIGURA 4.25.

ESTABLECIMIENTOS CENSADOS POR ACTIVIDAD ECONÓMICA EN AREQUIPA, 2008



Fuente: Propia

Una visión más detallada se puede dar con la siguiente tabla, la cual muestra los la cantidad de establecimientos censados en porcentaje de las diversas actividades realizadas en el departamento de Arequipa.

Tabla 4.18.

Establecimientos censados por actividad económica, según ámbito político administrativo, 2008 [02]

	Arequipa 1993-1994	%	Arequipa 2008	%
Total	25,988	100,0	60,900	100,0
Pesca y acuicultura	-	-	509	0,8
Explotación de minas y carteras	34	0,1	48	0,1
Industrias manufactureras	2058	8,0	4521	7,4
Suministro de electricidad	5	0,0	20	0,0
Suministro de agua y	3	0,0	43	0,1

alcantarillado				
Construcción	62	0,2	171	0,3
Comercio al por mayor al por menor	17001	65,4	35670	58,6
Transporte y almacenamiento	283	1,1	1440	2,4
Alojamiento y servicios de comida	2303	8,9	5556	9,1
Información y comunicación	179	0,7	2893	4,8
Actividades financieras y de seguros	56	0,2	118	0,2
Actividades inmobiliarias	48	0,2	92	0,2
Actividades profesionales, científicas y técnicas	942	3,6	1997	3,3
Actividades administrativas y servicios de apoyo	332	1,3	1387	2,3
Enseñanza privada	453	1,7	1188	2,0
Servicios sociales y relacionados con la salud humana	715	2,8	1308	2,1
Artes, entretenimiento y recreación	157	0,6	370	0,6
Otras actividades de servicios	1357	5,2	3569	5,7

Fuente: INEI – "Principales indicadores departamentales 2007-2011"

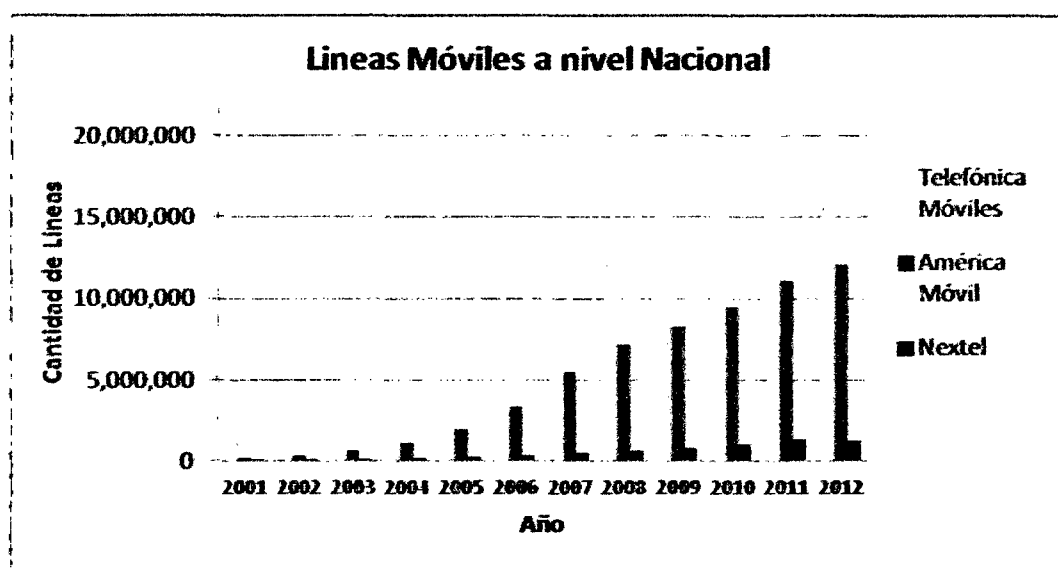
4.6.6. Situación Actual del Mercado Móvil

En el mercado nacional existen tres operadores competitivos: Telefónica (Telefónica Móviles), Claro (América Móvil) y Nextel. Como se

puede observar en la figura 2.6, Telefónica es el líder en cuanto a líneas en servicio, seguido activamente por Claro. Nextel tiene un mercado reducido exclusivo para un grupo selecto de personas.

FIGURA 4.26.

CANTIDAD DE LÍNEAS A NIVEL NACIONAL [07]

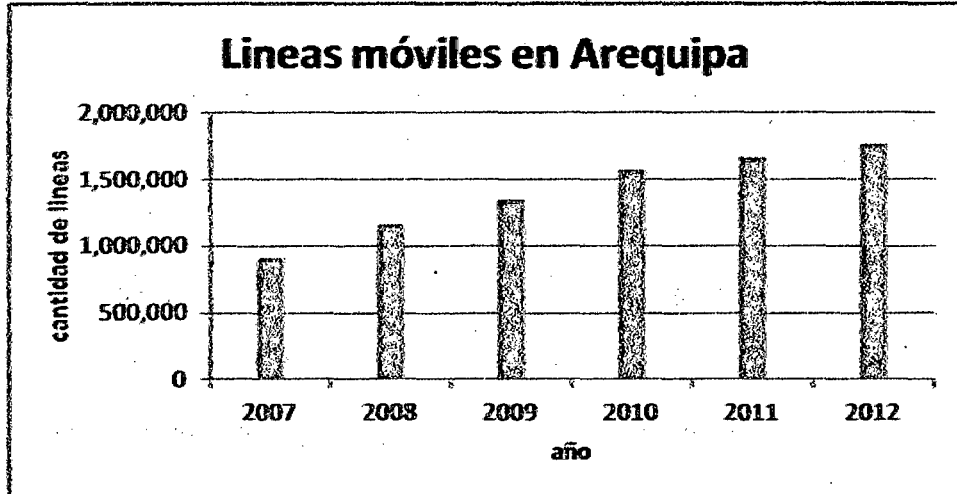


Fuente: OSIPTEL Estadísticas- "Líneas en servicio por empresa"

El mercado de telefonía móvil en Arequipa ha tenido un crecimiento constante y elevado en los últimos años, no solo en lo que se refiere a voz, sino también en lo que es datos.

Arequipa es uno de los departamentos con mayor cantidad de líneas móviles de todo el Perú. En el 2012 llegó a tener un total de 1,762,605 líneas móviles y como se ve en la figura 2.7, su crecimiento es constante en los últimos años.

FIGURA 4.27.
LÍNEAS MÓVILES DEL AREQUIPA EN EL 2012 [07]



Fuente: OSIPTEL Estadísticas- "Líneas en servicio por empresa"

4.6.7. Competencia y oferta del mercado

Como habíamos mencionado anteriormente, la competencia se da entre Movistar y Claro. Ambos dominan el mercado en Arequipa. Como pudimos observar en la tabla 8, ambas operadoras tienen una cantidad similar de líneas postpago en los últimos años.

Además, de un estudio realizado por el INEI, se llegó a conocer que del porcentaje total de hogares, en la tabla 9 podemos notar que el 27% del total de hogares tenían telefonía fija, 81.6% accedía a telefonía móvil, 22.5% tenía Tv por cable y el 21.3% accedía a internet.

CAPITULO V

RESULTADOS

5.1. Introducción

Para conocer la rentabilidad de nuestro proyecto evaluaremos las inversiones o gastos de capital (CAPEX) y los gastos de operación y mantenimiento (OPEX).

Para nuestro proyecto debemos recalcar que nuestra red se integrará a las redes de segunda y de tercera generación ya existentes en nuestro punto de estudio, y debido a esto se obviarán comprar algunos equipos, por lo que los costos totales se verán reducidos.

5.2. Costo de Inversión – CAPEX

En el CAPEX se evaluará los gastos en la compra de equipos, los gastos en el sistema radiante, gastos en la inversión de la infraestructura, en la instalación de los equipos y por los equipos terminales.

5.2.1. Costo red de acceso y Core

Para nuestro proyecto, se decidió trabajar con los equipos desarrollados por la compañía Huawei, debido a su experiencia en el mercado de telefonía y al precio razonable de sus equipos. Cabe detallar que los precios que se mostrarán son estimados, debido a que actualmente los fabricantes se encuentran desarrollando sus propuestas para la implementación de redes LTE; por lo que, los precios de los mismos son

confidenciales. En la Tabla 5.1 se muestra los precios de los equipos de la red de acceso y el Core expresados en dólares Americanos.

TABLA 5.1.
COSTOS DE RED DE ACCESO Y RED

Concepto	Cantidad	Precio unitario(\$)	Precio total(\$)
Estación Base e-nodeB	4	40,000.00	160,000.00
S-GW	1	60,000.00	60,000.00
P-GW	1	60,000.00	60,000.00
Equipos de Radio Enlace	4	30,000.00	120,000.00
		Costo Total	400,000.00

Fuente: Propia

5.2.2. Costo de Sistema Radiante

En la siguiente tabla se muestra los costos en lo que se refiere a sistema radiante.

TABLA 5.2.
COSTOS DE ELEMENTOS DEL SISTEMAS RADIANTES

Concepto	Cantidad	Precio unitario (\$)	Precio total(\$)
Antena	62	1,300.00	80,600.00
Amplificador de bajo ruido	31	800.00	24,800.00
Patch Cords (Fibra Óptica), Feeders (50 ohm/m), conectores por Site	31	340.00	10,540.00
		Costo Total	115,940.00

Fuente: Propia

En cuanto a la antena, se utilizarán para operar usando una configuración MIMO 2X2, utilizando 2 antenas en cada uno de los 3 sectores.

5.2.3. Costo de infraestructura

En la siguiente tabla se presentan los costos de los elementos a tomar en cuenta para los costos de infraestructura de red para los nuevos sites que se van a instalar.

**TABLA 5.3.
COSTOS DE INFRAESTRUCTURA**

Concepto	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Sección de torre (Cuerpos 3m)	36	160.00	5,760.00
Banco de baterías	4	750.00	3,000.00
UPS	4	2,500.00	10,000.00
Pozo a tierra	4	700.00	2,800.00
Aire acondicionado	4	500.00	2,000.00
Luz de balizaje	4	20.00	80.00
		Costo Total	4,880.00

Fuente: Propia

5.2.4. Costo de instalación de equipos

Se procederá a mostrar los costos de instalación de los equipos. Esta instalación es una única vez, por lo que estos costos solo se toman en cuenta en el Capex.

TABLA 5.4.
COSTOS DE INSTALACIÓN

Equipos	Cantidad	Precio unitario (\$)	Total (\$)
Instalación de eNode-B	4	2,000.00	8,000.00
Instalación de sistema Radiante	31	750.00	23,250.00
Instalación de infraestructura	4	3,200.00	12,800.00
Costo Total			44,050.00

Fuente: Propia

5.2.5. Costo de terminales

En la siguiente tabla se presenta el costo de los equipos terminales, ya sean equipos móviles como USB Dongles LTE. Se estima que la venta de los equipos móviles será mayor a la de los USB LTE en el primer año. Por lo que se adquirirá una mayor cantidad de los primeros.

TABLA 5.5.
COSTOS DE TERMINALES

Terminales	Cantidad	Precio unitario (\$)	Total (\$)
Equipos Móviles LTE	1800	100.00	180,000.00
USB - LTE	1200	150.00	180,000.00
Costo Total			360000

Fuente: Propia

5.2.6. Capex Total

El Capex será igual a la suma de los costos red de acceso y Core, costos de sistema radiante, costos de infraestructura, costos de instalación de equipos y Costos de terminales.

TABLA 5.6.

RESUMEN DE COSTOS DE INVERSIÓN CAPEX

Gasto	Total (\$)
Costos red de acceso y Core	400,000.00
Costos de sistema radiante	115,940.00
Costos de infraestructura	4,880.00
Costos de instalación de equipos	44,050.00
Costos de terminales	360,000.00
Capex Total	924,870.00

Fuente: Propia

5.3. Costo de Operación y Mantenimiento - OPEX

En los gastos relacionados al OPEX, se encuentran los costos de operación de la red, costos por interconexión, canon radioeléctrico, mantenimiento, alquiler de la estación, gastos de ventas y marketing, así como gastos administrativos.

Además debido a que nuestra red se integrará a una red de 3ra generación ya existente, se reducirá los gastos en cuanto a la infraestructura, los equipos, el alquiler de la estación, la transmisión y la electricidad.

5.3.1. Costo de Operación

Entre los costos de operación, se mostrará el saldo que se le dará a cada personal. En este cuadro se mostrarán promedios anuales de acuerdo al valor del mercado.

TABLA 5.7.
COSTO DE OPERACIÓN

Puesto	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total(\$)
Jefe de estación	1	3800	3,800.00
Supervisor	1	2500	2,500.00
Ingenieros de RF	3	1300	3,900.00
Ingenieros de red	3	1300	3,900.00
Personal de limpieza	3	420	1,260.00
Personal de vigilancia	2	420	840.00
Costo total a 1 año			16,200.00

Fuente: Propia

El costo mensual es alrededor de 16,200.00. Por tanto el valor anual es 194,400.00.

5.3.2. Costo de mantenimiento

En la siguiente tabla mostraremos el promedio de costos generados por el mantenimiento de la red en un plazo de un año.

TABLA 5.8.
COSTO DE MANTENIMIENTO

Concepto	Cantidad	Precio/Unidad (\$) (\$) unitario	Total (\$)
Mantenimiento de enodeB	31	1500	46,500.00
Mantenimiento de Core	1	3200	3,200.00

Network			
Mantenimiento del Sistema Radiante	31	500	15,500.00
Mantenimiento de la infraestructura	31	800	24,800.00
		Costo Total	90,000.00

Fuente: Propia

5.3.3. Gastos generales

En estos gastos generales se tomará en cuenta el alquiler del local, el costo de interconexión, entre otros

TABLA 5.9.
COSTO DE GASTOS GENERALES

Concepto	Cantidad
Alquiler del local (31)	235,600.00
Gastos de venta, marketing	250,000.00
Gastos administrativos	120,000.00
Costo de interconexión	80,000.00
Canon Radioeléctrico	40,000.00
Costo Total	725,600.00

Fuente: Creación Propia

5.3.4. OPEX Total

El OPEX total es igual a los costos de operación, costos de mantenimiento y los gastos extras.

TABLA 5.10.
RESUMEN DE COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO – OPEX

Gasto	Total (\$)
Costos de operación	194,400.00
Costo de mantenimiento	90,000.00
Gastos Extra	725,600.00
Opex Total	1'010,000.00

Fuente: Propia

5.4. Ingresos

En la tabla 5.11 se muestra los ingresos que se producirían en el primer año de producción. Se considera que para el primer año se tenga el 10% de los habitantes de los distritos elegidos (alrededor de 76,5 mil personas) utilizando nuestra red. Es decir que para el primer año se cuenta con 76 mil clientes.

A continuación mostramos los planes que ofreceremos a los clientes para el uso del servicio.

TABLA 5.11.
INGRESO POR TIPO DE PLAN

Tipo de plan	Cantidad de personas (en mil)	datos mensuales	velocidad de Uplink (Mbps)	velocidad de Downlink (Mbps)	Minutos para llamar	Tarifa (\$)	Total
Plan 1	25,000.00	2 GB	2	3	70	10	250,000.00
Plan 2	40,000.00	10 GB	3	4	120	15	600,000.00
plan 3	11,000.00	25 GB	4	5	150	25	275,000.00
Costo total							1,125,000.00

Fuente: Propia

En el primer año nuestro ingreso para nuestro plan será de 1,125,000.00 dólares.

A continuación mostraremos los ingresos que se generarán por la venta de los equipos terminales en el primer año. Cabe resaltar que una misma persona puede contar con los dos equipos terminales (celulares y USB-LTE).

TABLA 5.12.
INGRESO DE LOS TERMINALES

Terminales	Cantidad	Precio unitario (\$)	Total (\$)
Equipos Móviles LTE	1800	120	216,000.00
USB - LTE	1200	180	216,000.00
Costo Total			432,000.00

Fuente: Propia

Procederemos a dar la tabla de ingreso total.

TABLA 5.13.
INGRESO TOTAL

Gasto	Total (\$)
Ingreso por plan	1,125,000.00
Ingreso por terminales	432,000.00
Ingreso total	1,557,000.00

Fuente: Propia

5.5. Flujo de caja y evaluación financiera

Procederemos a mostrar nuestro flujo de caja. Hemos considerado que tanto los ingresos como el Opex irán aumentando según el 25% del monto del año anterior debido al incremento en la cantidad de usuarios.

TABLA 5.14.
FLUJO DE CAJA

Año	0	1	2	3	4
Ingreso		1,557,000.00	1,946,250.00	2,432,812.50	3,041,015.63
Egreso					
Capex	-924,870.00				
Opex		-1,010,000.00	-1,262,500.00	-1,578,125.00	-1,972,656.25
Flujo de Caja	-924,870.00	547,000.00	683,750.00	854,687.50	1,068,359.38

Fuente: Propia

Procederemos a obtener el VAN (Valor Actual Neto) y TIR (Tasa Interna de Retorno) para nuestro flujo de caja, tomando como tasa de referencia de 10%.

TABLA 5.15.

VAN Y TIR

VAN	1,509,328.57
TIR	64%

Fuente: Propia

El VAN decide si la rentabilidad del proyecto es aceptable, mientras más elevado sea el VAN y positivo, el proyecto es más rentable y menos riesgoso.

El TIR es aquel descuento que se haría al VAN para que se haga cero. Esto quiere decir, que a mayor porcentaje que tenga el TIR, el proyecto se vuelve más rentable.

Como podemos observar el VAN y TIR de nuestro proyecto son positivos, y sus valores dan a conocer que el proyecto es rentable debido a que tiene un crecimiento constante y no presenta variaciones abruptas en sus valores.

Por lo tanto, nuestro proyecto es altamente rentable, considerando un análisis con una proyección de 5 años.

CAPITULO VI

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Esta tesis tuvo como objetivo implementar en la ciudad de Arequipa una red de telefonía móvil capaz de soportar grandes cantidades de datos como lo es la red de cuarta generación LTE.

A continuación se procederá a mostrar y discutir los datos obtenidos.

6.1 Resultados y Discusión

- Se pudo reducir el presupuesto de nuestra tesis. Esto se debió a que al integrar nuestra red con una red ya existente, se reducirían los costos de equipo, como es el caso de las estaciones base, los equipos de enrutamiento, etc**
- Uno de los factores importantes a considerar fue el hecho que los precios de los equipos que se utilizarán en esta tesis no están a disposición del público, por lo que fue complicado conocer estos precios. Los precios fueron comparados con otras tesis, y en base a eso fueron sacados estos precios.**
- Un obstáculo que enfrentamos fue que si deseábamos hacer una integración de nuestra red a una red de 3ra generación ya existente, era el hecho de que no se tenía conocimiento de la estructura de la red de algún operador. Esto dificultaría nuestro planeamiento. La solución que tomamos, era que**

gracias al apoyo de un trabajador de la empresa America Movil, pudimos obtener las estaciones que presentaban en el departamento de Arequipa.

- **Para la elección de la banda a utilizar (Asia-Pacific Telecommunity) de 700 Mhz, nos hemos basado en la licitación que se estará adquiriendo el próximo año (2014) por el MTC, de esta forma proyectamos nuestro trabajo hacia las empresas operadoras que se adjudiquen en esta banda.**
- **Se pudo dar cobertura a toda el área deseada. Teóricamente se calculó el radio de cobertura, con las estaciones base ya ubicadas, se eligieron estratégicamente aquellas necesarias para dar cobertura y se eligieron lugares en los cuales sería necesario la implementación de nuevas estaciones base para cubrir toda el área deseada.**
- **Se logró demostrar con datos teóricos que nuestro proyecto es rentable, puesto que en los datos obtenidos, se recupera lo invertido y generan ganancias a partir del segundo año de operación. Esto da a conocer que la instalación de una red de 4ta generación puede ser rentable.**

CAPITULO VII

CONCLUSIONES

Al término de este trabajo podemos concluir lo siguiente:

- La red de transporte podría considerarse como uno de los principales limitantes para el despliegue de la red LTE, ya que para poder alcanzar las velocidades de las bondades que ofrece LTE, debemos contar con una red de Fibra Óptica capaz de soportar el tráfico que generen los usuarios. Esto no será un problema inicialmente ya que se estima que el primer año de lanzamiento comercial no se tengan muchos usuarios que agreguen tráfico a la red del operador.**
- El costo de inversión que se debe realizar para el despliegue de la red LTE es muy alto, pero este sería menor para un operador que ya cuente con una red móvil en servicio. Este operador podría reutilizar su red de transporte actual y ampliar la capacidad de este dependiendo del tráfico que le agregue los nuevos usuarios de la red LTE.**
- Las soluciones tecnológicas para hacer relativamente fácil la labor de despliegue de la red LTE tienen que convivir con las actuales redes 2G y 3G. LTE ofrece mejoras sobre el actual hardware 3G o soluciones integrales que permiten reducir los costos al operador.**
- LTE es una gran opción para las operadoras que ofrece una amplia gama de servicios a los usuarios, mas aun considerando la tendencia de crecimiento en el despliegue de las redes de cuarta generación en la Región y otras partes del mundo.**

CAPITULO VIII

RECOMENDACIONES

Al término de este trabajo podemos realizar las siguientes recomendaciones:

- **Se recomienda realizar el despliegue de una red transporte urbano utilizando Fibra Óptica, ya que si bien es cierto el tráfico no será intenso durante el primer año de operación de la Red 4G, este podría incrementarse tomando en cuenta las velocidades que podrán alcanzar los usuarios.**
- **Se recomienda realizar el "redimensionamiento" de la salida a internet del operador, ya que la Interface SGi (P-GW hacia Internet) va a cargar de tráfico a la actual capacidad contratada del operador con los "carriers Internacionales" (IRU). [01]**
- **Se recomienda realizar el Upgrade de Hardware sobre los actuales equipos del 3G, ya que muchos vendedores permiten realizar las funciones del EPC sobre dicho hardware lo cual reduce los costos de implementación.**
- **Se recomienda realizar un análisis minucioso sobre la red transporte IP, ya que las empresas que actualmente se encuentran operando deberán adaptar la topología de Red LTE y evaluar los cambios o adiciones que deban realizar a su red.**

CAPITULO VIII

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Capítulo 1

- [01] "LTE for UMTS-OFDMA and SC-FDMA based radio access"; Harri Holma,
Antti Toskala

This edition first published 2009, United Kingdom

- [02] "LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles"; Ramon Agusti,
Francisco Bernardo, Fernando Casadevall, Ramon Ferrús, Jordi Perez, Oriol
Sallent.

This edition first published 2010; Fundación Vodafone España

- [03] "The Evolved Packet Core"

<http://www.3gpp.org/The-Evolved-Packet-Core>

Última visita: 22/06/2013

- [04] "POLICY SERVER (PCRF)"

<http://www.tekelec.com/policy-server-pcrf.aspx>

Última visita: 22/09/2013

- [05] "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA): Radio Link Control
(RLC) Protocol specification"

3GPP TS 36.322

2009

- [06] "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA): Media Access Control (MAC) Protocol specification"**
3GPP TS 36.321

2009

- [07] "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA): Media Physical Layer Procedures"**
3GPP TS 36.321

2009

- [08] "Requirements for evolved UTRA and evolved UTRAN"**
3GPP TR 25.913

2009

- [09] "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA): Base Station (BS) radio transmission and reception"**
3GPP TS 36.104

2009

- [10] "Robust Header Compression (ROHC): Framework and four Profiles: RTP, UDP; ESP; uncompressed"**
(<http://tools.ietf.org/html/rfc3095>) - RFC3095

2009

- [11] "3GPP System Architecture Evolution (SAE), Security architecture", 3GPP
TS 33.401

2009

- [12] "Modelado de canal inalámbrico OFDM, hacia las comunicaciones 4G"; Del
Valle, Enriquez Caldera, Ramirez Cortez

2009; México

- [13] "Multi User MIMO"

http://technopits.blogspot.com/2012/05/dido-mu-mimo-is-it-same-or-is-it-not_03.html

Ultima visita: 18/03/2013

- [14] "Sistemas OFDM de alta eficiencia espectral", Olaia Nehme Rivas

2012, Madrid

- [15] "Acceso Múltiple OFDMA"

http://departamento.pucp.edu.pe/ingenieria/images/documentos/seccion_telecomunicaciones/Capitulo%203%20Acceso%20Multiple%20OFDMA.pdf

Ultima visita: 12/05/2013

- [16] **"Requeriments for E-UTRA and E-UTRAN"**
3GPP TR 25.913
2009
- [17] **"Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA): Radio Resource Control (RRC) Protocol specification"**
3GPP TS 36.311
2009
- [18] **"Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA): Packet Data Convegence Protocol (PDCP) specification"**
3GPP TS 36.323
2009
- [19] **"EPS Confidentiality and Integrity mechanisms Algorithmic Approach",**
Ghizlane ORHANOU
July 2010
- [20] **"UMTS Networks: Architecture, Mobility and Services", H. Kaaranen**
Editorial John Wiley & Son
segunda edición 2005.
- [21] **"3GPP Evolved Packet System (EPS); Evolved General Packet Radio Service (GPRS) Tunnelling Protocol for Control plane (GTPv2-C); Stage 3"**

3GPP TS 29.274

2009

[22] "GPRS Tunnelling Protocol (GTP) across the Gn and Gp interface",

3GPP TS 29.060

2009

**[23] "Long Term Evolution (LTE) – Day 1", Harri Holma, Antti Toskala, Nokia
Siemens Networks**

February 12th, 2010

**[24] "Long Term Evolution (LTE) & High Speed Packet Access (HSPA) –
Day 2", Harri Holma, Antti Toskala, Nokia Siemens Networks**

February 13th, 2010

[25] "Evolved Packet System (EPS); Mobility Management Entity (MME)

and

**Serving GPRS Support Node (SGSN) related interfaces based on Diameter
protocol"**

3GPP TS 29.272

2009

[26] "Diameter Base Protocol"

IETF RFC 3588

2010

[27] "Diameter Network Access Server Application"

IETF RFC 4005

2010

[28] "Diameter Credit-Control Application"

IETF RFC 4006

2010

[29] "Non-Access-Stratum (NAS) protocol for Evolved Packet System

(EPS); Stage 3"

3GPP TS 24.301

2010

Capítulo 2

[1] "Población Según Departamentos "

<http://www.inei.gob.pe/web/poblacion/>

Ultima visita: 03/08/2013

[2] "Indicadores departamentales 2011"

www.inei.gob.pe/biblioineipub/bancopub/Est/Lib1044/libro.pdf

Última visita: 03/08/2013

[3] "IV CENSO NACIONAL ECONÓMICO 2008"

<http://censos.inei.gob.pe/Cenec2008/cuadros/?id=ResultadosCensales>

s#

Última visita: 14/09/2013

[4] "Producto Bruto Interno por Departamentos"

Instituto Nacional de Estadística e informática -INEI

2010

[5] "Distribución De La Pesa Ocupada Por Rango De Ingresos"

http://www.mintra.gob.pe/archivos/file/estadisticas/peel/estadisticas/oferta_laboral/region/peru_total_region_010.pdf

Última visita: 17/08/2013

[6] "Distribución De La Pesa Ocupada Por Rango De Edad"

http://www.mintra.gob.pe/archivos/file/estadisticas/peel/estadisticas/oferta_laboral/region/peru_total_region_007.pdf

Última visita: 18/08/2013

[7] "Lineas en servicio por empresa"

http://www.osiptel.gob.pe/WebsiteAjax/WebFormgeneral/sector/wfrm_Consulta_Informacion_Estadisticas.aspx?CodInfo=13478&CodSubCat=864&Titulo

nformacion=2.%20Indicadores%20del%20Servicio%20M%C3%B3vil&DescripcionInformacion=

Última visita: 20/08/2013

- [8] "Estaciones Base De Los Servicios Móviles Por Empresa Según Ámbito Regional: 2011 "

<http://www.mtc.gob.pe/estadisticas/index.html>

Última visita: 23/08/2013

Capítulo 3

- [1] "Asia-Pacific Telecommunity"

<http://www.apl.int/become-members>

Última visita: 28/10/2013

- [2] "Blog de la Pontificia Universidad Católica del Perú"

<http://blog.pucp.edu.pe/item/179054/pr-xima-banda-de-700-mhz-para-lte-seg-n-apac>

Última visita: 18/09/2013

- [3] "LG Space"

http://niviuk.free.fr/lte_band.php

Última visita: 28/10/2013

- [4] **"Digital Mobile Radio: Towards Future Generation Systems"**
, Final Report of the COST 231 Project. Chapter 4
E. Damosso, European Commission
1998
- [5] **"A View of the COST 231-Bertoni-Ikegami Model"**
L. M. Correia
3rd European Conference on Antennas and Propagation- EuCAP
March 2009; Berlin
- [6] **"Atel Asesores C.A."**
<http://www.atelasesores.com.ve/>
Última visita: 28/10/2013
- [7] **"HSS9860 Product Documentation"**
Product Version: V900R008C00
http://support.huawei.com/hedex/hdx.do?docid=SE0000638533&id=cn_22_02_000000&lang=en&id=cn_22_02_000000
Library Version: 03, Date 15/12/2012
- [8] **"EDGE, HSPA and LTE – The Mobile Broadband Advantage"**
http://www.4gamericas.org/documents/2007_Rysavy_091007.pdf
September 2007

[9] "Información sobre terminales móviles"

<http://www.gsmarena.com/>

Última visita: 28/09/13

[10] "USN9810 Product Documentation"

Product Version: V900R011C01

http://support.huawei.com/hedex/hdx.do?lib=SE000060542331185560&v=07&toLib=SE000060542331185560&toV=07&id=cn_10_23_1400668&toURL=resources%252fen%252fnode%252fcn%255f10%255f23%255f1400668%252html

Library Version: 07, Date 24/07/2012

[11] "UGW9811 Product Documentation"

Product Version: V900R009C01

http://support.huawei.com/hedex/hdx.do?lib=SE000060981031185319&v=06&toLib=SE000060981031185319&toV=06&id=cn_20_0_000000&toURL=resources/en/desc/cn_20_0_000000.html

Library Version: 06, Date 05/08/2012

[12] "LTE Design and Deployment Strategies"

http://www.cisco.com/web/ME/expo2011/saudiarabia/pdfs/LTE_Design_and_Deployment_Strategies-Zeljko_Savic.pdf

Última visita: 29/08/13

[13] "Mobile Broadband Explosion – The 3GPP Wireless Evolution"

<http://www.4gamericas.org/documents/4G%20Americas%20Mobile%20Broadband%20Explosion%20August%2020121.pdf>

2012

[14] "White Paper by the NGMN Alliance - Guidelines for LTE Backhaul Traffic Estimation"

http://www.ngmn.org/uploads/media/NGMN_Whitepaper_Guideline_for_LTE_Backhaul_Traffic_Estimation.pdf

3rd July 2011

Anexo 1: Matriz de Consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	TIPO DE INVESTIGACIÓN
<p>Problema General</p> <p>La falta de ancho de banda que se requiere para soportar aplicaciones en tiempo real en la ciudad de Arequipa. 111</p>	<p>Objetivo General</p> <p>Diseñar una red con tecnología 3GPP LTE, que me puede garantizar el uso de los diferentes aplicativos para los usuarios, los turistas y las Industrias en la ciudad de Arequipa.</p> <p>Objetivos Específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Realizar la planificación de la Red. - Diseñar una red 3GPP LTE. - Evaluar los costos del proyecto 	<p>Hipótesis General</p> <p>"El diseño de una red con Tecnología 3GPP LTE para la ciudad de Arequipa satisface la falta de ancho de banda que se requiere para soportar las diversas aplicaciones en tiempo real"</p>	<p>Variable Independiente:</p> <p>X: Ancho de Banda.</p> <p>Indicadores:</p> <p>x_1 = Tasa de velocidad de datos</p> <p>x_2 = Tiempo de descarga de datos</p> <p>x_3 = Cantidad de datos enviados/recibidos</p> <p>Variable Dependiente:</p> <p>Y: Congestión del tráfico.</p> <p>Indicadores:</p> <p>y_1 = Tasa de paquetes recibidos/enviados</p> <p>y_2 = Tasa de paquetes descartados</p> <p>y_3 = Retardo promedio de envío de paquetes</p>	<p>Temporal:</p> <p>La investigación se llevó a cabo entre los meses de Junio y Julio del año 2013. Contando con un total de 9 semanas de trabajo</p> <p>Espacial:</p> <p>La investigación se realizará el diseño tomando como lugar de estudio la provincia de Arequipa, específicamente en la ciudad de Arequipa.</p>