

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales

Programa Profesional de Ingeniería Electrónica



Determinación de principales parámetros para la formulación de un Proyecto de Implementación de una Red 4G LTE para la ciudad de Arequipa.

Tesis presentada por el Bachiller:
Renato Eddison Cuadros Postigo

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Electrónico

AREQUIPA - PERÚ

2014

DEDICATORIA

A mis adorados y queridos padres, Nilda Feliciano Postigo de Cuadros y Eliseo Alberto Cuadros Velásquez que han sido el motor que me impulsa a superarme cada día más; que me han apoyado incondicionalmente para que pueda terminar esta etapa de mi vida y toda mi formación académica, con el mayor de los éxitos; y que me han enseñado valores y virtudes para enfrentar diversas situaciones de la vida.

Renato Eddison Cuadros Postigo

AGRADECIMIENTOS

Un Agradecimiento enorme a Dios, por haberme brindado el don de la vida y porque a lo largo de mi camino por este mundo siempre me ha dado la fortaleza y dedicación para seguir adelante y alcanzar mis metas.

A mis Padres, por brindarme la oportunidad de crecer cada día como ser humano.

A mis Maestros, que con nobleza y entusiasmo vertieron todos sus conocimientos en mí; y por haberme transmitido enseñanzas de vida a lo largo de mi paso por esta prestigiosa Institución.

A mi Universidad, porque en sus aulas recibí valiosas lecciones e inolvidables recuerdos.

A mi asesor y jurados, el Dr. Augusto Arce Medina y el Ing. Juan Quispe Yauyo, por permitirme y brindarme su ayuda en la elaboración de esta tesis, por el tiempo que se dedicaron a compartir sus conocimientos y su paciencia.

A todos mis amigos y compañeros de trabajo que me alentaron y me apoyaron para culminar esta meta.

Renato Eddison Cuadros Postigo

RESUMEN

El presente trabajo de tesis iniciará con un Estado del Arte del estado actual de las arquitecturas y demás temas que tiene que utilizarse en el desarrollo de la Tesis, de las actuales redes utilizadas en la telefonía celular, sobre todo en su avance emergente. Luego se analizan las arquitecturas y protocolos para la implementación de una red 4G LTE, cuyos características y parámetros permiten afrontar las múltiples necesidades de las redes de este tipo, en su implementación. Se toman recomendaciones de la ITU-T.

Este proyecto desarrollará, analizará una red 4G, primero para diferentes escenarios de transmisión de las diferentes redes de acceso; se evaluarán los parámetros de QoS, de MPLS en comparación con redes IPv. Esto comprobará la mejor alternativa tecnológica para proporcionar operatividad, Calidad de Servicio (QoS), Ingeniería de Tráfico (TE), transmisión rápida de data, uso de recursos de red, entre otras características que con llevan a la optimización del rendimiento de red.

ABSTRACT

This thesis starts with a state of the art current state of architecture and other topics that must be used in the development of the thesis, the current networks used in cellular telephony, especially its pop breakthrough. Architectures and protocols for deploying a 4G LTE network, whose characteristics and parameters possible to address multiple needs of such networks, in their implementation are analyzed. Recommendations of the ITU-T are taken.

This project will develop, analyze one first 4G network, for different transmission scenarios of different access networks; QoS parameters, compared MPLS networks are evaluated IPv. This will check the best alternative technology to provide operational, Quality of Service (QoS), Traffic Engineering (TE), rapid transmission of data, use of network resources, among other features that lead to optimization of network performance.

INDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTOS	III
RESUMEN	IV
ABSTRACT	V
INDICE GENERAL.....	VI
INDICE DE FIGURAS	XI
INDICE DE TABLAS	XIV
CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN	1
1.1. CONTENIDO DEL PROBLEMA	2
1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	3
1.3. JUSTIFICACIÓN, PROPÓSITO Y VIABILIDAD DE LA PRESENTE TESIS	4
1.3.1. CONVENIENCIA DE LA PRESENTE TESIS. UTILIDAD	8
1.3.2. RELEVANCIA SOCIAL.....	9
1.3.3. UTILIDAD PRÁCTICA.....	9
1.3.4. VALOR TEÓRICO.....	9
1.3.5. VIABILIDAD DEL TRABAJO.....	10
1.4. DELIMITACIÓN PLANTEADA.....	10
1.5. OBJETIVOS DEL TRABAJO DE TESIS.....	11
1.5.1. OBJETIVO GENERAL	11
1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
1.6. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	12

1.7.	VARIABLES.....	13
1.7.1.	VARIABLES DEPENDIENTES	13
1.7.2.	VARIABLES INDEPENDIENTES	13
1.8.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	14
1.8.1.	TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN.....	14
1.8.2.	INSTRUMENTOS DE VERIFICACIÓN.....	14
CAPITULO 2 ESTADO DE ARTE O MARCO CONCEPTUAL		16
2.1.	CONCEPTOS GENERALES SOBRE LA TECNOLOGÍA 4G (LONG TERM EVOLUTION (LTE), LLAMADA COMERCIALMENTE 4G)	17
2.2.	USO, FUNCIÓN Y SIGNIFICADO DE LAS BANDAS DE FRECUENCIA	19
2.2.1.	BANDA 700 MHZ (LTE BAND 12 O BC12)	20
2.2.2.	BANDA 800 MHZ (LTE BAND 20 O BC20)	21
2.2.3.	BANDA 900 MHZ (LTE BAND 8 O BC8)	22
2.2.4.	BANDA AWS (LTE BAND 4 O BC4).....	22
2.2.5.	BANDA 1800 MHZ (LTE BAND 3 O BC3)	23
2.2.6.	BANDA 2100 MHZ (LTE BAND 1 O BC1)	23
2.2.7.	BANDA 2300 MHZ (LTE BAND 40 O BC40)	23
2.2.8.	BANDA 2600 MHZ (LTE BAND 7 O BC7)	23
2.3.	ASPECTOS RELEVANTES SOBRE LA TECNOLOGÍA 4G LTE QUE SE IMPLEMENTA EN NUESTRO PAÍS	26
2.3.1.	LA TECNOLOGÍA.....	26
2.3.2.	LA BANDA	26
2.3.3.	EQUIPOS COMPATIBLES:	27
2.3.4.	EL COMPROMISO DE LOS FABRICANTES:	27

2.3.5.	LAS OPERADORAS.....	28
2.3.6.	EL CONTRATO DE LICITACIÓN:	28
2.3.7.	EL TIEMPO DE IMPLEMENTACIÓN:	29
2.3.8.	¿QUIÉN LA IMPLEMENTARÁ?.....	30
2.3.9.	MERCADOS RECIENTES:.....	31
2.4.	¿ES CONVENIENTE LA BANDA AWS?	35
2.4.1.	UNA CUESTIÓN SOBRE LA MESA. INCOMPATIBILIDADES?	37
2.4.2.	INCOMPATIBILIDAD. LA TECNOLOGÍA HSPA+ ES O NO 4G?	39
2.5.	LA RED MÓVIL 4G.....	43
2.6.	¿LA TECNOLOGÍA HSPA+, ES 4G (LTE)?	44
2.7.	¿Y EN OTROS PAÍSES?	45
2.8.	LOS EQUIPOS	46
2.9.	TECNOLOGIAS Y NORMATIVA ASOCIADA.....	48
2.9.1.	Avance tecnológico.....	50
2.10.	IMT-2000.	53
2.10.1.	3GPP.....	56
2.10.2.	EDGE.....	61
2.10.3.	WCDMA.....	63
2.10.4.	EVOLUCIÓN DE LA UMTS.	65
2.10.5.	HSDPA (HIGHT SPEED DOWLINK PACKET ACCESS O ACCESO DESCENDENTE DE PAQUETES A ALTA VELOCIDAD).....	66

2.10.6. HSUPA (HIGH-SPEED UPLINK PACKET ACCESS O ACCESO ASCENDENTE DE PAQUETES A ALTA VELOCIDAD).....	68
2.10.7. HIGH-SPEED PACKET ACCESS (HSPA)	69
2.10.8. LTE (LONG TERM EVOLUTION). LTE (4G)	70
2.10.9. LTE-ADVANCED	71
2.10.10. NUEVOS MÉTODOS DE TRANSMISIÓN PARA LTE.	72
2.11. CONCLUSIONES PREVIAS DE TECNOLOGIA 4G (LTE)	74
CAPÍTULO 3 INGENIERÍA DEL PROYECTO	83
3.1. CARACTERÍSTICAS.....	90
3.2. ARQUITECTURA DE 4G.....	92
3.3. ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS Y HERRAMIENTAS USADAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA PROPUESTO	93
3.3.1. PLANIFICACIÓN DE LA RED	99
3.3.2. ESTADO ACTUAL DE LA IMPLEMENTACION DE LAS REDES IP-RAN EN AREQUIPA.....	102
3.3.3. PROCESO DE PLANIFICACIÓN PARA LA RED DE RADIO	103
3.3.4. PLANIFICACIÓN Y ORGANIZACIÓN DE INSTALACIÓN DE LA RED DE RADIO.....	105
3.3.5. Criterios De Planificación Y Objetivos De La Red.	108
3.3.6. REQUISITOS BÁSICOS PARA LA RED	109
3.3.7. PLANIFICACIÓN DE 4G BASADA EN OFDMA PARA LA RAN	113
3.4. ARQUITECTURA DISTRIBUIDA.....	117

3.5.	TECNOLOGÍAS EMPLEADAS.....	119
3.6.	EL LTE O LONG TERM EVOLUTION.....	120
3.6.1.	PRINCIPALES VENTAJAS DE LA 4G	121
3.6.2.	PARÁMETROS INTERVINIENTES EN UNA RED 4G	124
3.7.	QOS EN REDES 4G LTE.....	129
3.8.	OTROS PARAMETROS FUNDAMENTALES EN LA IMPLEMENTACION DE UNA RED 4G LTE.....	132
3.9.	LTE VS WIMAX	145
3.9.1.	CARACTERÍSTICAS DE REDES 4G	147
3.9.2.	TECNOLOGÍAS PARA IMPLEMENTAR REDES 4G	149
3.9.3.	RETOS EN LA IMPLANTACIÓN DE REDES 4G	151
3.9.4.	NECESIDAD DE IMPLANTAR REDES 4G	158
3.9.5.	REQUISITOS PARA 4G	161
3.9.6.	Modelo de Propagación para 4G LTE	166
	CONCLUSIONES	176
	RECOMENDACIONES	179
	BIBLIOGRAFIA	181
	TRABAJOS CITADOS	183
	ANEXOS	188
	ANEXO I: MÉTODOS DE PROPAGACIÓN.....	189
	ANEXO II: EQUIPOS Y ANTENAS QUE IMPLEMENTAN EN LA RED 4G LTE EN AREQUIPA.....	224
	ANEXO III: TECNOLOGÍA MIMO Y SUS ASPECTOS FUNDAMENTALES..	242
	ANEXO IV: GLOSARIO DE TERMINOS.....	248

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 1.1 Tecnología 4G.....	2
Fig. 1.2 Bandas licitas de movistar y Americatel.....	5
Fig. 1.3 Bandas asignadas para la empresa América Móvil (Claro)	5
Fig. 1.4 Comparación de prestaciones de 3G y 4G	7
Fig. 1.5 Velocidades de transferencia de 3G y 4G.....	8
Fig. 1.6 Velocidades de transferencia de 4G (Download y upload)	8
Fig. 1.7 Evolución de tecnologías de las comunicaciones móviles	10
Fig. 1.8 4G en Arequipa	11
Fig. 2.1 Estructura de la red 4G	17
Fig. 2.2 Velocidades prácticas de la evolución de telefónica móvil.....	19
Fig. 2.3 Velocidades teóricas de la evolución de telefónica móvil.....	19
Fig. 2.4 Tecnología 4G y sus aplicaciones.....	25
Fig. 2.5 Las dos operadoras que implementan 4G en Perú.....	29
Fig. 2.6 Los nuevos equipos de la marca Samsung	31
Fig. 2.7 Dispositivos móviles y las condiciones para usar 4GLTE	33
Fig. 2.8 Sobre las mismas torres 3G se instalan las 4G	39
Fig. 2.9 Hacia la red movil 4G	43
Fig. 2.10 Test de velocidad entre 3G y 4G.....	45
Fig. 2.11 Evolucion y normativa Asociada	49
Fig. 2.12 Avance tecnologico	51
Fig. 2.13 Multiplicidad de servicios que presta la telefonía móvil actual.....	52
Fig. 2.14 Interfaces de radio para la familia de estándares de IMT-2000	55
Fig. 2.15 Red típica de acceso 3G.....	56

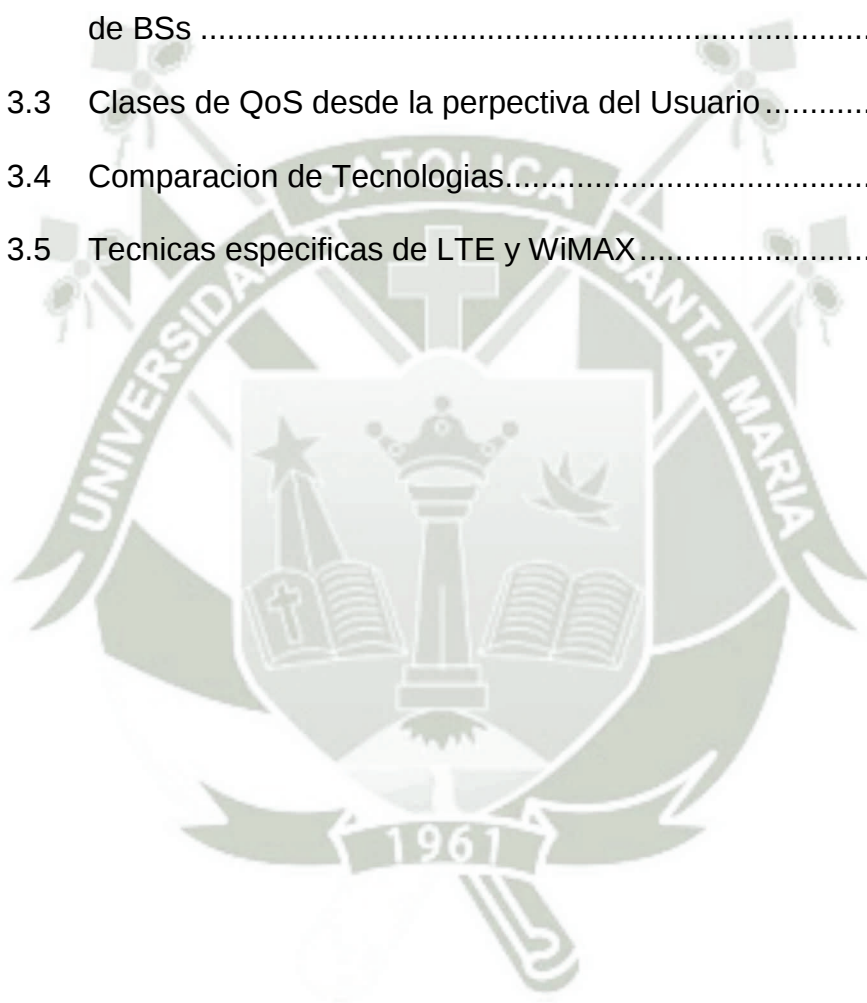
Fig. 2.16	Arquitectura todo-IP	59
Fig. 2.17	Diagrama en el tiempo de los avances tecnológicos.	60
Fig. 2.18	Tipos de celdas	61
Fig. 2.19	Equipos 4G LTE.....	71
Fig. 2.20	Evolución de tecnologías	75
Fig. 2.21	Bandas licitadas por la operadora movistar	80
Fig. 3.1	Puntos de clave de LTE	85
Fig. 3.2	Sistema MIMO en antenas.....	88
Fig. 3.3	Topología de las redes ipran actuales	102
Fig. 3.4	OFDMA para la RAN 4G LTE / 4G LTE-A	113
Fig. 3.5	Arquitectura Distribuida.....	119
Fig. 3.6	Torres con Antenas 4G LTE.....	120
Fig. 3.7	Estación base modular para trafico y cobertura.....	121
Fig. 3.8	Ventajas de la nueva tecnologia	122
Fig. 3.9	Impacto de 4G en el servicio.....	123
Fig. 3.10	Homologacion	123
Fig. 3.11	Esquema SAE.....	136
Fig. 3.12	OFDMA y SC-FDMA.....	138
Fig. 3.13	Carrier Agregation.....	141
Fig. 3.14	Escenario 1	143
Fig. 3.15	Escenario 2	143
Fig. 3.16	Escenario 3	144
Fig. 3.17	Escenario 4	145
Fig. 3.18	Evolucion y desarrollo de las normas LTE y WiMAX	163
Fig. 3.19	Esquema de acceso para LTE.....	166

Fig. 3.20	Difraccion	173
Fig. 3.21	Scattering	174
Fig. 3.22	Mecanismos de reflexión, difracción y scattering	175



INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1 Operadoras y sus Bandas.....	28
Tabla 2.2 Compracion de tecnologia	52
Tabla 3.1 Principales parámetros y categorías de los equipos LTE	92
Tabla 3.2 Principales parámetros y obtención para calcular la cantidad de BSs	101
Tabla 3.3 Clases de QoS desde la perspectiva del Usuario.....	131
Tabla 3.4 Comparacion de Tecnologías.....	163
Tabla 3.5 Tecnicas especificas de LTE y WiMAX.....	164





1. CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. CONTENIDO DEL PROBLEMA

El presente trabajo tiene por objeto la formulación de un Proyecto de aplicación tecnológico, que comprenda el análisis de los aspectos relacionados con las tecnologías de las redes de cuarta generación, incluyendo aquellas arquitecturas para llegar a 4G (LTE), calidad de servicios, así como la transición entre redes 3G a 4G (LTE).

Lo que se busca es examinar las tecnologías que se han implementado para llegar al 4G, analizando así el espectro radioeléctrico como recurso básico y los entornos ya sean empresariales, personales, institucionales o tecnológicos, donde se desenvuelve ¹.



Fig. 1.1 Tecnología 4G

Determinado de tal manera los diferentes parámetros y factores específicos para la implementación de una red de este tipo en la Ciudad de Arequipa

Esto denota contrastar los diferentes enfoques de diseño de las redes

¹ Redes de Tecnologías 4G “Raul Guevara Ascan” (<http://es.scribd.com/doc/201855549/Guia-Methodologica-del-Curso-de-Redes-de-Tecnologias-4G>)

celulares y su interoperabilidad entre las mismas.

Analizar las diferentes mediciones de calidad y enfoques en redes de banda ancha móvil.

Analizar los diferentes parámetros para lograr una infraestructura una red 4G para la ciudad de Arequipa.

1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Este trabajo de tesis, es una investigación aplicada, sobre las tecnologías inalámbricas involucradas en el actual desarrollo de las comunicaciones móviles.

Se analizan los distintos caminos evolutivos y se entrega información de los desarrollos a una cuarta generación 4G LTE.

La evolución permanente y emergente de las distintas tecnologías que se han proyectado a la 4G ocupa un conglomerado de trabajos similares en su evolución, lo que ha permitido cada vez más un mayor rendimiento en la red y mejora de la eficiencia espectral.

Lo que define una red 4G es su conexión a Internet, la integración de sistemas y la movilidad, esto se ha logrado gracias a la justificación de los recursos invertidos de la actual 3G.

Los principales objetivos de este trabajo son proporcionar una información de los desarrollos y evolución de las redes, en donde se podrá conocer las capacidades de los sistemas, las técnicas involucradas, las ventajas y desventajas de estos. Y por otro lado

determinar los parámetros fundamentales a tomarse en cuenta para la implementación de la Red 4G LTE

1.3. JUSTIFICACIÓN, PROPÓSITO Y VIABILIDAD DE LA PRESENTE TESIS

En el camino de la implementación de la red de telefonía móvil 4G (o LTE), en nuestro país, ya se entregó la buena pro en licitación a las empresas Movistar y Americatel el 22 Julio del 2013. Lo Cual se firmo con el Estado el contrato de concesión del espectro radioeléctrico en el bloque A (1710-1730 MHz y 2110-2130 MHz) de la banda AWS por 20 años renovables para el operador movistar, posteriormente en nuestra capital se puso a prueba la cobertura 4G LTE en 5 distritos (san isidro, san Borja, Miraflores, surco, la molina).

El 2 de enero del 2014 se puso en funcionamiento formalmente activando los 5 distritos anteriormente y 2 distritos más (cercado de Lima, San Miguel) en la actualidad son 36 distritos de la capital y 50 playas de lima y ancón. A principios de junio de este año se pusieron a prueba las ciudades de Trujillo, Chiclayo, Piura y en especial Arequipa, activándose formalmente el 17 de junio en Trujillo, Chiclayo, Piura en el centro de la ciudad. En Arequipa 4 distritos (Cayma, José Luis Bustamante y Rivero, Arequipa y Yanahuara), ampliándose en estos meses en Chimbote e Ica.^{[2] [3]}

Por otra parte Americatel (propiedad de Entel Chile también propietaria

² PAPER: MTC (Ministerio de transportes y comunicaciones)

³ PAPER: “Movistar – Telefónica del Perú”

de Nextel Perú) posee la licitación del bloque B de la banda AWS (1730-1750 MHz y 2130-2150 MHz) iniciándose este mes, claro inicia con la tecnología el 15 de mayo de este año y está disponible inicialmente en Lima mas de 13 distritos con su banda de 1900 MHz, en la actualidad esta también en Arequipa, cusco, Tacna, Trujillo, Cajamarca, Chiclayo, Huancayo e Ica.



Fig. 1.2 Bandas licitas de movistar y Americatel

Banda	Rango de Frecuencias (MHz)		Empresa	Área de Asignación
	Ida	Retorno		
A	1 850 -1 865	1 930 -1 945	América Móvil Perú S.A.C.	A Nivel Nacional
D	1 865 - 1 870	1 945 -1 950	Nextel del Perú S.A.	A Nivel Nacional
B	1 870 - 1 882,5	1 950 -1 962,5	Telefónica Móviles S.A.	A Nivel Nacional
E	1 882,5 - 1 895	1 962,5 -1 975	Nextel del Perú S.A.	A Nivel Nacional
F	1 895 - 1897,5	1 975 -1 977,5	América Móvil Perú S.A.C.	A Nivel Nacional
C	1897,5 - 1 910	1 977,5 -1 990	Viettel Perú S.A.C.	A Nivel Nacional

Fig. 1.3 Bandas asignadas para la empresa América Móvil (Claro)

La implementación de la telefonía móvil 4G LTE, representa un gran avance tecnológico en las telecomunicaciones en nuestro país, porque tendremos un servicio de telefonía móvil con una mayor velocidad de acceso a Internet, y porque tendremos los terminales en un nivel de conexión muy superior al actual⁴.

⁴ PAPER: "Movistar – Telefónica del Perú"

Ello significa ver películas, novelas, los noticieros, los 64 partidos de la Copa Mundial FIFA Brasil 2014, sin tener en cuenta ubicación geográfica, y sin depender de una red inalámbrica Wi-Fi ⁵.

También supone tener acceso continuado a la información en tiempo real y hacer llamadas de voz de manera gratuita, sin necesidad de entrar a la red de telefonía fija.

Todo ello, provocara indudablemente un cambio en nuestra manera de vivir, pues habrá otros servicios como los de salud, finanzas, educación, sobre todo que evolucionarán a partir de esta nueva tecnología.

De allí que se justifica ampliamente el estudio especializado e investigación de la evolución y parámetros necesarios para la implementación de esta maravilla.

Según ingenieros del MTC, en los próximos cinco años más de 200 distritos del país tendrán cobertura 4G. Arequipa está incluido en el servicio ⁶.

⁵ Ídem

⁶ PAPER: MTC (Ministerio de transportes y comunicaciones)

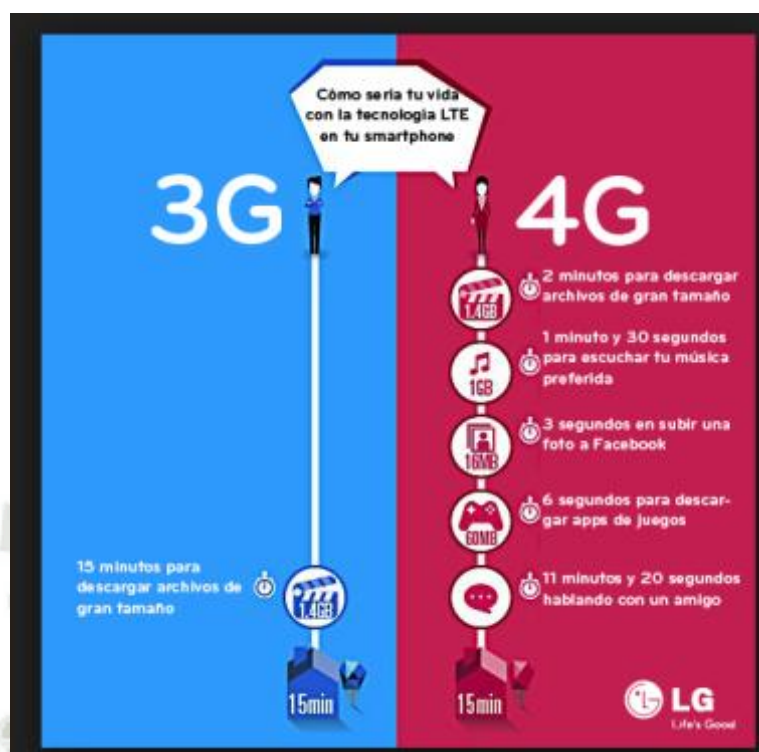


Fig. 1.4 Comparación de prestaciones de 3G y 4G

Con ese propósito, Movistar y Americatel, empresas concesionarias, invertirán alrededor de US\$ 500 millones cada una en los próximos diez años para implementar la tecnología 4G y también para ampliar la actual infraestructura instalada ⁷.

En la tecnología 4G su ancho de banda teórico puede alcanzar los 100 Mbps, pero estos valores solo se dan en una cobertura plena ni en condiciones especiales ⁸.

En la realidad, las empresas ganadoras de la licitación, han asegurado una velocidad real de 10-12 a 20 Mbps. Estos aspectos serán tocados en el transcurso del trabajo ⁹.

⁷ PAPER: "Movistar – Telefónica del Perú". Op. Cit.

⁸ Ídem.

⁹ Ídem.

Los resultados de nuestro trabajo, servirán para:

Los segmentos personal, y organizacional, Quienes conocerán de nuevas alternativas de última generación en tecnologías de telecomunicación: 4G LTE es la tecnología máxima de todas en el mundo y sus servicios provocaran en todas las disciplinas una gran revolución en todos los aspectos de la vida misma ¹⁰.



Fig. 1.6 Velocidades de transferencia de 4G (Download y upload)

1.3.1. CONVENIENCIA DE LA PRESENTE TESIS. UTILIDAD

El presente trabajo, sirve para establecer un estudio y análisis de cómo poder implementar una red 4G (LTE) en la ciudad de

¹⁰ PAPER: "Movistar – Telefónica del Perú". Op. Cit.

Arequipa a través de la definición de los parámetros necesarios.
Y en este propósito estudiar la evolución desde otras redes desde la 3G.hacia la 4G (LTE).

1.3.2. RELEVANCIA SOCIAL.

¿Quienes se benefician y de qué modo? Se benefician las empresas, empresarios, técnicos, usuarios, funcionarios, trabajadores en general, interesados en el tema.

Todos los involucrados tendrán la posibilidad de tener mejores servicios de control y telecomunicaciones integrados ¹¹.

1.3.3. UTILIDAD PRÁCTICA.

¿Ayudara a resolver problemas prácticos? Si, pues el trabajo pretende brindar la oportunidad de obtener gran información sobre las redes de comunicación avanzados, para lograr la 4G en cuanto a su planeación y gestión, normativa y regulación de dichos servicios ¹².

1.3.4. VALOR TEÓRICO.

El presente trabajo de tesis si tendrá un aporte teórico. A las teorías en el estudio de las redes existentes y su evolución a la 4G,

Tecnologías emergentes que han venido de investigaciones

¹¹ PAPER: MTC (Ministerio de transportes y comunicaciones). Op. Cit.

¹² Ídem.

recientes de físicos, matemáticos, ingenieros y profesionales de la gestión.

Las teorías de las telecomunicaciones inalámbricas, móviles e IP son analizadas y evolucionadas en el tiempo ¹³.



Fig. 1.7 Evolución de tecnologías de las comunicaciones móviles

1.3.5. VIABILIDAD DEL TRABAJO.

Se disponen de recursos financieros suficientes, para llevar a cabo esta propuesta ¹⁴.

Recursos humanos: se cuenta con el apoyo de personal técnico, profesional y asesoramiento de profesores y profesionales en el tema¹⁵. Recursos Materiales: Será necesario disponer de material bibliográfico, como libros, revistas especializadas, Internet, de los cuales se dispone.

1.4. DELIMITACIÓN PLANTEADA

El proyecto se circunscribe geográficamente a la Ciudad de Arequipa (Perú)

¹³ PAPER: "Movistar – Telefónica del Perú"

¹⁴ PAPER: "Movistar – Telefónica del Perú"

¹⁵ Ídem.



Fig. 1.8 4G en Arequipa

1.5. OBJETIVOS DEL TRABAJO DE TESIS

1.5.1. OBJETIVO GENERAL

Estudiar y analizar la evolución y el desarrollo de las redes de telefonía móvil desde la 3G y determinación y formulación de los parámetros para la implementación de una red 4G (LTE), en la ciudad de Arequipa.

1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Sintetizar los planteamientos teóricos relacionados con la telefonía móvil, resumiendo todo lo relacionado con sistemas de Telecomunicación IP Inalámbrica¹⁶.
- Establecer un marco conceptual de lo que debe hacerse

¹⁶ PAPER: MTC (Ministerio de transportes y comunicaciones)

óptimamente para implementar un sistema integrado de tecnología 4G y sus parámetros necesarios, recurriendo además a la tecnología IP inalámbrica¹⁷. Los principales requisitos para 4G, es tener un acceso de banda ancha móvil y eficiencia de ancho de banda, requiriendo alta capacidad de red e infraestructura, para lograr una buena cobertura y tráfico¹⁸.

- Definir la capacidad del sistema, sus medios de transmisión, protocolos, enlaces, antenas, nodos, topologías físicas y/o virtuales de la red y otras características, en sus necesidades de comunicación y gestión por el usuario¹⁹. Seleccionar e implementar aplicaciones de calidad, que demuestren la factibilidad técnico-económica del uso de estos sistemas²⁰.
- Transferir conocimientos al sector productivo privado y público y académico a través de una buena memoria descriptiva y manuales, así como a la configuración, administración y mantenimiento de protocolos para la selección y aceptación de estas configuraciones y equipos²¹.

1.6. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

“Es posible realizar un estudio, análisis y evaluación, que nos permitan

¹⁷ PAPER: MTC (Ministerio de transportes y comunicaciones) Op. Cit.

¹⁸ Ídem.

¹⁹ Ídem.

²⁰ Ídem.

²¹ Idem.

determinar la evolución de las redes móviles de telefonía, desde la 2G-3G a la red 4G (LTE), tendientes a la determinación de los parámetros necesarios para implementar una red de tipo en la ciudad de Arequipa”.

1.7. VARIABLES

1.7.1. VARIABLES DEPENDIENTES

Aquellas sobre las que se pueden ejercer una acción directa, relativamente a corto plazo.

Estas son: Tecnologías de Telefonía Móvil, Redes, Herramientas de diseño IP inalámbricas

1.7.2. VARIABLES INDEPENDIENTES

Variables No Manejables a Corto Plazo: Las variables independientes difícilmente podemos controlar a corto plazo estas tienen más relación con el entorno en el que nos desenvolvemos.

Factores Políticos, Factores Legales, Factores Culturales, Factores Económicos, Factores Demográficos, Recursos Naturales, Estructura Socio-Económica²².

²² PAPER: “Movistar – Telefónica del Perú”. Op. Cit.

1.8. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

- Involucra **análisis cualitativo**.

El **análisis cualitativo**: será el resultado de un cuidadoso proceso de Investigación Aplicada. Luego del análisis de los sistemas, los resultados se someten a una metodología estadística que permita descubrir la consistencia entre las respuestas y las afirmaciones

1.8.1. TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN.

Fundamentalmente Investigación Descriptiva, Exploratoria, Causal

- Es **descriptiva**, porque es una investigación tecnológica, que describe y evalúa modernas tecnologías emergentes en telecomunicaciones ²³.
- Es **Exploratoria**, por que analiza y sintetiza ubicación, tecnologías y herramientas de diseño.
- Es **causal**, por que analiza y sintetiza causa / efecto de la aplicación de herramientas de implementación de nuevas tecnologías ²⁴.

1.8.2. INSTRUMENTOS DE VERIFICACIÓN.

Test de Estado de la Configuración de los sistemas.

Indicadores de funcionamiento de los sistemas.

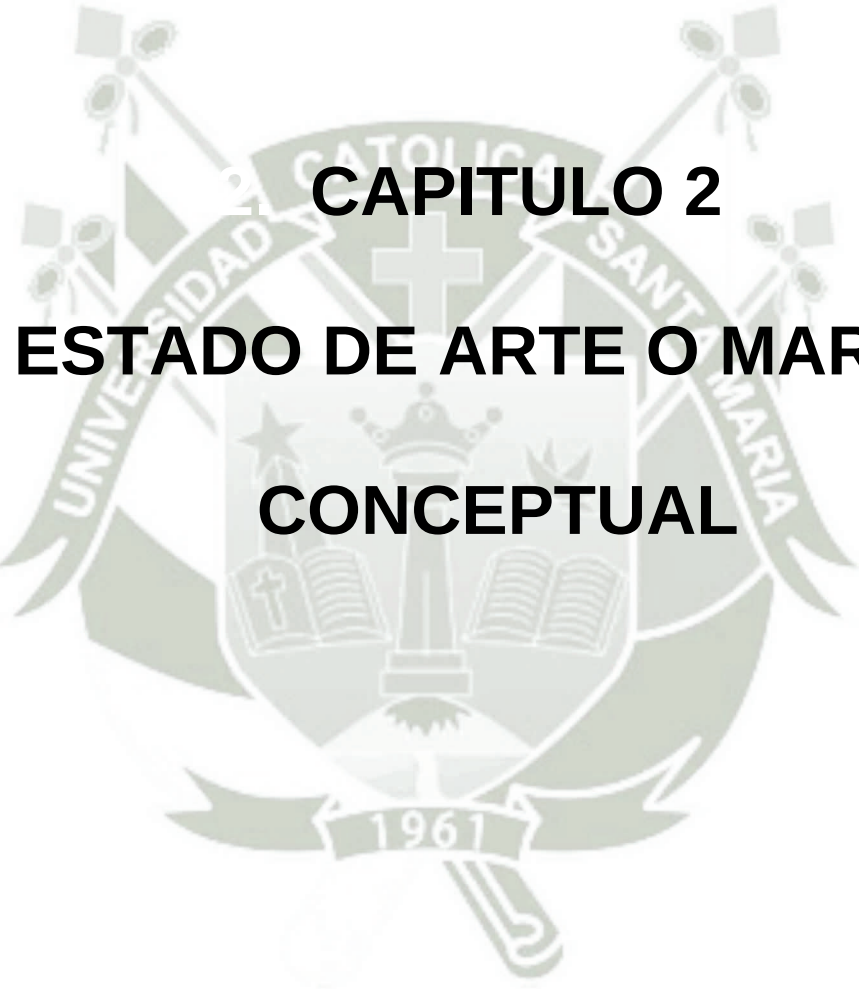
²³ PAPER: "Movistar – Telefónica del Perú". Op. Cit.

²⁴ Idem.

Se utilizarán estrategias descriptivas, de donde se obtendrá información de cómo están conformadas las redes de telefonía celular, para obtener información de todos sus servicios, especialmente móviles, logrando el conocimiento detallado del sistema actual y sus tendencias ²⁵.



²⁵ PAPER: MTC (Ministerio de transportes y comunicaciones). Op. Cit.



CAPITULO 2

ESTADO DE ARTE O MARCO CONCEPTUAL

El presente capítulo tiene por objetivo conocer, analizar y sintetizar, los diferentes conceptos sobre la telefonía móvil y su evolución; y que servirán para el desarrollo del presente trabajo.

En esta etapa, no se pretende una síntesis del conocimiento completo de los sistemas móviles y celulares de telefonía.

Más bien resume un panorama general de los conceptos generales sobre lo que se necesitara para dar cumplimiento a los objetivos del trabajo y demostrar la hipótesis planteada.

2.1. CONCEPTOS GENERALES SOBRE LA TECNOLOGÍA 4G (LONG TERM EVOLUTION (LTE), LLAMADA COMERCIALMENTE 4G)

4G (LTE) son las siglas de la cuarta generación de tecnologías de telefonía móvil.

Es establecida, totalmente en IP, siendo una red de redes y un sistema de sistemas ²⁶.

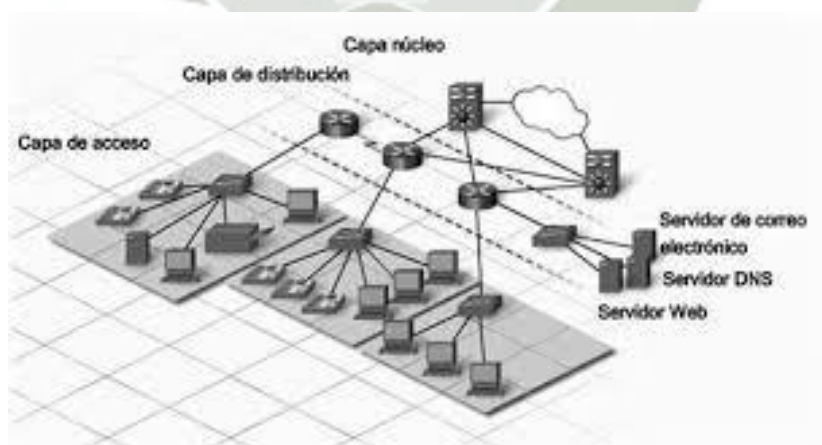


Fig. 2.1 Estructura de la red 4G

²⁶ Redes Móviles Terrestre 4G: "F. Pérez". Op. Cit.

No es un estándar o tecnología definida, es una serie de protocolos para permitir el máximo rendimiento de procesamiento y una colección de tecnologías, alcanzando posteriormente la convergencia entre las redes de cables e inalámbricas así como en dispositivos eléctricos, ordenadores y en tecnologías de la información así como con otras convergencias para brindar velocidades

De acceso entre 1 Gbps en reposo y 100 Mbps en movimiento, manteniendo un servicio de punto a punto con alta seguridad y permitiendo ofrecer servicios de cualquier clase en cualquier momento, con un mínimo coste ²⁷.

Por ejemplo, cuando se adquiere un Smartphone Android, Windows Phone, iOS, blackberry 10 nuevo, hay que fijarse en las bandas de frecuencia que este utiliza [²⁸]. Cuando se compra un móvil chino este problema tiene una importancia aún mayor. Vamos a hacer un repaso de las distintas bandas de frecuencia para que se vea si dicho móvil es compatible con las redes 3G, 4G y LTE ²⁹.

Como sabemos, las bandas de frecuencia son básicamente el rango del espectro electromagnético que utilizan las operadoras para proporcionarnos nuestra conexión de datos. A lo largo de los años se ha mejorado el estándar de comunicación hasta llegar a lo que tenemos

²⁷ Redes Móviles Terrestre 4G: "F. Pérez". Op. Cit.

²⁸ *El Androide Libre*, Perez, E. (2014). <http://www.elandroidelibre.com/2014/04/como-saber-si-un-movil-chino-android-sera-compatible-con-la-red-de-mi-pais.html>

²⁹ Ídem.

ahora ³⁰. Por un lado HSPA+ que nos permite descargarnos datos con una velocidad de hasta 42Mbps y por otra el LTE Advanced que será capaz de alcanzar hasta 1Gbps y que comparte las mismas frecuencias que el LTE actual ³¹.



Fig. 2.2 Velocidades prácticas de la evolución de telefonía móvil



Fig. 2.3 Velocidades teóricas de la evolución de telefonía móvil

2.2. USO, FUNCIÓN Y SIGNIFICADO DE LAS BANDAS DE FRECUENCIA

Interesa especialmente, conocer las diferentes bandas de frecuencia utilizadas en la actualidad en la telefonía celular y en diferentes países .

Existe a través de la UIT un esfuerzo de la unificación y normalización de

³⁰ El Androide Libre, Perez, E. (2014). <http://www.elandroidelibre.com/2014/04/como-saber-si-un-movil-chino-android-sera-compatible-con-la-red-de-mi-pais.html>

³¹ El Androide Libre, Perez, E. (2014). Op. Cit.

estas; pero aun esto no se ha logrado ³².

Es que, la conectividad no siempre viene por el mismo canal. Lo diferentes operadores ofrecen sus servicios en una frecuencia y otros en otra, esto unido a que no todos los Smartphone disponen de compatibilidad con todas las frecuencias, genera bastantes dudas ³³.

¿Para qué sirve cada una de las frecuencias utilizadas y dónde se utilizan? Tenemos desde los 700MHz hasta los 3500MHz, todos ellos utilizados en países distintos, unos para 3G, otros para LTE, unos ampliamente utilizados y otros de países muy concretos ³⁴.

Afortunadamente, la mayoría de los móviles Android, Windows phone, iOS, blackberry 10 actuales soportan las bandas de frecuencia más usadas, aunque se ha de puntualizar que el hecho de ser compatible con una banda no significa que se tenga acceso LTE a esta .

2.2.1. BANDA 700 MHZ (LTE BAND 12 O BC12)

Es la banda de frecuencia más baja y es de las que menos nos interesa. T-Mobile compró a Verizon por 3000 millones de dólares una franja de este espectro para poder utilizar LTE. Como vemos, se trata de la franja utilizada por la mayoría de operadoras norteamericanas para ofrecer LTE [³⁵].

³² El Androide Libre, Perez, E. (2014). Op. Cit.

³³ Idem.

³⁴ Ídem.

³⁵ ¿Qué bandas utilizamos en 4G LTE? (<http://noticiasvilcitano.blogspot.com.es/2014/04/que-bandas-utilizamos-en-4g-lte.html>)

Tanto AT&T, como T-Mobile y Verizon ofrecen sus servicios en 700MHz. También es una banda utilizada por algunos países de Sudamérica como Ecuador y México, Perú aún no tiene licitado esta banda ³⁶.

2.2.2. BANDA 800 MHZ (LTE BAND 20 O BC20)

La banda de 800MHz se ha utilizado hasta hace poco para emitir el TDT y demás programas de televisión. Sin embargo este 2014 ha empezado a utilizarse para el LTE 4G en España, de la mano de Movistar y Vodafone ³⁷.

Las dos grandes operadoras españolas tienen contratado hasta el 2030 esta franja del espectro, y es idónea para conseguir tener una buena cobertura. La franja LTE Band 20 también se utiliza habitualmente en otros países de Europa, aunque como veremos la banda 2600 es la preferida ³⁸.

Unas bandas alternativas de rango similar son LTE Band 5 a 850MHz, utilizada para LTE en Corea e Israel (pero no en España) y LTE Band 6 de 800MHz también, para el LTE en Japón . En Norteamérica, la operadora Sprint es la encargada de utilizar esta frecuencia en contrapartida de su competencia que utiliza la banda de 700MHz .

³⁶ ¿Qué bandas utilizamos en 4G LTE? (<http://noticiasvillicitano.blogspot.com.es/2014/04 /que-bandas-utilizamos-en-4g-lte.html>)

³⁷ Ídem.

³⁸ ¿Qué bandas utilizamos en 4G LTE?. Op. Cit.

2.2.3. BANDA 900 MHZ (LTE BAND 8 O BC8)

Esta frecuencia ha sido utilizada históricamente para ofrecer servicios GSM. Gracias a su buena propagación se utilizó para 3G, pero debido a los cambios provocados por el aumento del LTE, actualmente se utiliza mayoritariamente para ofrecer 2G en España. Por lo que los teléfonos chinos únicamente compatibles con esta frecuencia no podrán acceder a LTE y únicamente tendrán 3G en aquellas zonas donde no se haya eliminado todavía, por lo tanto no se recomienda utilizar este canal para usar 3G. En Perú se utilizaba esta banda para telefonía fija inalámbrica en el operador de movistar, ahora traspasado al operador Viettel (Bitel)

2.2.4. BANDA AWS (LTE BAND 4 O BC4)

Tenemos una de las bandas más complejas. LTE Band 4, también conocida como AWS, actúa tanto en 1700MHz como en 2100MHz, una para subida y otra para bajada³⁹.

Esta banda no se utiliza en Europa. Quedando relegada para Norteamérica, donde se utiliza sobretudo en el LTE de Canadá, T-Mobile y Telcel México. Otros países que también la utilizan son Colombia a través de los operadores Avantel, Tigo y Ecuador y Perú a través de Movistar⁴⁰.

³⁹ ¿Qué bandas utilizamos en 4G LTE?. Op. Cit.

⁴⁰ Ídem.

2.2.5. BANDA 1800 MHZ (LTE BAND 3 O BC3)

Es otra de las grandes bandas LTE 4G en España. Esta banda es la tercera en popularidad en Europa (detrás de las 800MHz y 2600MHz). Principalmente se utilizaba para conectividad 2G, pero muchos operadores están aprovechándola para ofrecer LTE, entre ellos Orange y Yoigo. En concreto estos últimos son la única banda que utilizan para ofrecer LTE en España.

2.2.6. BANDA 2100 MHZ (LTE BAND 1 O BC1)

La mayoría de operadores españolas utilizan LTE Band 1, pero actualmente se destina únicamente para redes 3G, en otros países como Japón (NTT DoCoMo), Corea del Sur e Israel sí se utiliza para ofrecer LTE.

2.2.7. BANDA 2300 MHZ (LTE BAND 40 O BC40)

Se trata de una banda muy poco común en Europa, tampoco se utiliza en Latinoamérica, es la frecuencia utilizada por China Mobile, también se utiliza en Nigeria o Australia ⁴¹.

2.2.8. BANDA 2600 MHZ (LTE BAND 7 O BC7)

Finalmente llegamos a una de las más importantes. LTE Band 7 a 2,6GHz se utiliza principalmente para ofrecer conectividad móvil de cuarta generación 4G en la mayoría de países de Europa. Movistar, Orange y Vodafone, Sudamérica movistar en

⁴¹ ¿Qué bandas utilizamos en 4G LTE?. Op. Cit.

Brasil y Chile ofrecen parte de su importante conexión LTE en esta frecuencia, usada principalmente en aquellos lugares de alta densidad y demanda de tráfico.

Jazztel, ONO, Telecable, R o Euskaltel también cuentan con la posibilidad de ofrecer 4G en esta frecuencia.

Como se dijo, en un futuro deberá lograrse la convergencia necesaria en estos aspectos de las bandas de frecuencia.

Esta convergencia de tecnologías surge de la necesidad de agrupar los diferentes estándares en uso con el fin de delimitar el ámbito de funcionamiento de cada uno de ellos y con el fin también de integrar todas las posibilidades de comunicación en un único dispositivo de forma transparente al usuario ⁴².

El objetivo de las nuevas tecnologías 4G, es el de garantizar una calidad de servicio y el cumplimiento de los requisitos mínimos para la transmisión de servicios de mensajería multimedia, video chat, TV móvil o servicios de voz y datos en cualquier momento y en cualquier lugar utilizando siempre el sistema que mejor servicio proporcione ⁴³.

En resumen, el sistema 4G debe ser capaz de compartir dinámicamente y utilizar los recursos de red economizando los requerimientos del usuario.

Según fuentes de información web, NTT Descomo de Japón fue

⁴² ¿Qué bandas utilizamos en 4G LTE?. Op. Cit.

⁴³ Ídem.

el primero en experimentar con este tipo de tecnologías, esta empresa realizó las primeras pruebas alcanzando 100 Mbps a 200 km/h ⁴⁴.



Fig. 2.4 Tecnología 4G y sus aplicaciones

Según el MTC, que ya adjudicó las bandas 4G a Telefónica del Perú (Movistar) y a Americatel, esta decisión es muy importante para todo nuestro país, pues permitirá masificar el acceso a Internet y cumplir con los objetivos de lograr que cuatro millones de familias accedan a este servicio ⁴⁵.

Indicó que el Gobierno se ha trazado una agenda de desarrollo para el despliegue de antenas base, que permitan el fácil acceso, ya que el 4G requiere mayor cantidad de estas. Por ello, sostuvo, habrá que convencer a los alcaldes distritales y provinciales para que otorguen los permisos correspondientes para poder instalarlas. Esto es una dificultad añadida, los pobladores de zonas populosas, especialmente, se oponen tenazmente a la instalación de antenas base. El MTC ha dictado normas de apoyo a lo ya planteado por la Organización Mundial

⁴⁴ ¿Qué bandas utilizamos en 4G LTE?. Op. Cit.

⁴⁵ PAPER: MTC (Ministerio de transportes y comunicaciones). Op. Cit.

de la Salud, en el sentido de que las emisiones no ionizantes emitidas están dentro de los márgenes permisibles y que no causan daños a la salud humana ⁴⁶.

El ministro de TTCC: “Está comprobado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) que no hay un impacto en la salud y voy a convocar a los alcaldes a un diálogo permanente sobre este tema”, señaló ⁴⁷.

2.3. ASPECTOS RELEVANTES SOBRE LA TECNOLOGÍA 4G LTE QUE SE IMPLEMENTA EN NUESTRO PAÍS

2.3.1. LA TECNOLOGÍA

El sistema de conexión a Internet Long Term Evolución (LTE) se denomina 4G a secas. Es la sucesora de la tecnología HSPA, conocida también como 3G, y su principal característica es que ofrece una velocidad de conexión a Internet superior a su antecesora, es decir, provee de una velocidad teórica de transferencia de datos de 100 MBits/s (dowlink) frente a los 10 MBits/s teóricos del 3G y a los 21 MBits/s también teóricos del 3.5G ⁴⁸.

2.3.2. LA BANDA

En el Perú la banda de frecuencia Advanced Wireless Services (AWS) para implementar la tecnología 4G LTE, habilitada entre

⁴⁶ PAPER: MTC (Ministerio de transportes y comunicaciones). Op. Cit.

⁴⁷ Idem.

⁴⁸ 4G LTE: “Grupo EQUICOM SAC” (<http://equicom.pe/tag/sony/>)

los 1.700 MHz y 2.100 Mhz . La banda 4 como también se le conoce, no es de las más usadas para esta tecnología a nivel internacional, donde se ha optado más bien por la banda de los 700 Mhz o la de 2,5 Ghz. Sin embargo, esta banda está preparada para soportar esta tecnología, tal como lo reconoce la organización 4G Américas ⁴⁹.

2.3.3. EQUIPOS COMPATIBLES:

Algunos de los teléfonos inteligentes que se encuentran en el mercado peruano no son compatibles con la banda 4G LTE, es decir, que no podrán aprovechar la veloz conexión a Internet que ofrece esta tecnología debido a sus dispositivos móviles no podrán conectarse a la nueva red ⁵⁰.

2.3.4. EL COMPROMISO DE LOS FABRICANTES:

Los fabricantes de teléfonos inteligentes, como Samsung, BlackBerry, Nokia Lumia, Sony, etc. cuyos equipos de alta gama no son compatibles con la banda AWS, han garantizado que la elección de dicho espectro para habilitar la tecnología 4G LTE en el Perú no será un problema. Según indicaron, cuando la red esté lista traerán junto a las operadoras ganadoras de la buena pro, versiones de sus actuales modelos compatibles con el espectro AWS, lo cual se está cumpliendo ya que en el mercado ya hay modelos de equipos con software y hardware que

⁴⁹ 4G LTE: "Grupo EQUICOM SAC". Op. Cit.

⁵⁰ Ídem.

permiten esta nueva tecnología.

2.3.5. LAS OPERADORAS

Telefónica del Perú (Movistar) , Americatel Perú (Entel/Nextel), son las empresas habilitadas, que ganaron la licitación en julio pasado del 2013, para proveer servicios 4G LTE en el Perú. América móviles (Claro), utiliza su banda 1900 MHz (que el Estado Peruano le otorgó para su red 2G), Entel/Nextel empezó en este mes y posiblemente viettel (bitel) al próximo año, no solo DIRECT TV, como se rumorea en el sector, entrara a competir con servicios de 4G LTE, también tendrán entre los rivales de esta categoría a Olo (marca ofrecida por un grupo de origen ruso) actual proveedor de internet inalámbrico vía redes WiMax 2.4GHZ y 3.5GHz.



Banda/Oper	Claro	Movistar	Viettel	Nextel
2G	1900	1900 y 850	1900	---
3G	850	850	1900 900	1900
4G	1900	1700/2100*	900	1700/2100*

Tabla 2.1 Operadoras y sus Bandas

2.3.6. EL CONTRATO DE LICITACIÓN:

Pro Inversión asigno dos bloques de la banda AWS: 1,710 – 1,770 MHz y 2,110 – 2 170 MHz para que las empresas ganadoras de la buena pro ofrezcan servicios de conexión móvil

a Internet 4G a nivel nacional ⁵¹. Las operadoras están obligadas a realizar una inversión de US\$ 400 millones por cada bloque durante los primeros 10 años, según el contrato aprobado por el Gobierno. Este monto deberá ampliarse a 500 millones de dólares, si la situación lo requiriera. La concesión de las bandas se entrega por 20 años renovables ⁵².



Fig. 2.5 Las dos operadoras que implementan 4G en Perú

2.3.7. EL TIEMPO DE IMPLEMENTACIÓN:

Según el Gobierno, confía en que luego de que se superen los trámites necesarios tras la concesión de la buena pro ⁵³.

Las operadoras podrían haber comenzado a ofrecer tecnología móvil 4G a los usuarios a finales de diciembre del año pasado, pero eso solo en el papel ⁵⁴.

⁵¹ 4G LTE: "Grupo EQUICOM SAC". *Op. Cit.*

⁵² Idem.

⁵³ Idem.

⁵⁴ Idem.

Las empresas deberán encargar a compañías especializadas a la implementación de la infraestructura y mantenimiento que haga posible montar las redes 4G, es decir, colocar las antenas en diversos puntos del país y probar la calidad de la señal. Todo esto requiere tiempo y no demoraría menos de un año. Es decir que el servicio podría comenzar a comercializarse de manera oficial ⁵⁵, lo cual se inició, el día 2 de enero del 2014 como primera etapa en ciertos distritos de medio y alto valor en la ciudad de Lima-Perú. Esta situación se está dando, en la actualidad se comercializa ya abiertamente en varias provincias.

2.3.8. ¿QUIÉN LA IMPLEMENTARÁ?

Nokia Siemens Networks ha llevado a cabo la infraestructura de la red 4G LTE en Chile, pero tiene competencia. Huawei, empresa china con presencia en nuestro país, también está capacitado para hacerlo y cuenta con experiencia en el rubro, no quedando atrás la empresa Alcatel Lucent ⁵⁶.

Ericsson es una compañía multinacional de Suecia dedicada a ofrecer equipos y soluciones de telecomunicaciones. Las compañías que se han adjudicado la buena pro están empleando la capacidad de estas tres empresas. La empresa Ericsson esta licitada para la implementación de la red 4G LTE en Arequipa por parte de movistar.

⁵⁵ 4G LTE: "Grupo EQUICOM SAC". Op. Cit.

⁵⁶ Ídem.

2.3.9. MERCADOS RECIENTES:

En Chile y Brasil ya se está comercializando el servicio 4G LTE (en la banda 2,6 GHz) y en Colombia hace unos meses se adjudicó la buena pro a cinco empresas (en las bandas AWS y la de 2.5 GHz). Un aspecto relevante, es si todos los Smartphone son compatibles con la tecnología 4G LTE en el Perú. Es decir, comprobar si los teléfonos móviles 3G podrá conectarse a la nueva banda ancha móvil que ya está habilitada en nuestro país.



Fig. 2.6 Los nuevos equipos de la marca Samsung

La habilitación de la red 4G LTE en el Perú, es decir, la que permitirá conectarse a Internet desde dispositivos móviles a gran velocidad, es inminente luego de que se diera la buena pro a Americatel y Telefónica la concesión de las bandas, por lo que los usuarios personales y organizacionales se preguntan si el Smartphone que tienen a la mano o su organización podrá hacer uso de esa red.

Como lo explicamos anteriormente, eso depende del tipo de

teléfono y modelo con el que se cuente, ya que el 4G LTE que ya está activo en el Perú se habilitará en la banda 1.7-2.1 GHz, conocida también como AWS (Advanced Wireless Service, por sus siglas en inglés), en la cual no funcionan todos los equipos capaces de conectarse con esta tecnología ⁵⁷.

Los fabricantes han indicado que ese no será un problema y que cuando la red esté habilitada en el Perú traerán versiones de sus actuales modelos compatibles con el espectro AWS ⁵⁸.

A partir de julio, teóricamente, y noviembre, realmente del 2013, Movistar y Americatel las empresas ganadoras han venido iniciando la implementación de la infraestructura necesaria para comercializar este servicio, tal como está ocurriendo en otros países de América Latina (aunque con mayor celeridad).

Pero enfrentarán una situación sobre la que se viene advirtiendo tiempo atrás: no todos los equipos que actualmente se venden en el Perú con capacidad de conexión 4G son compatibles con la banda AWS, la que se usará en nuestro país.

¿Cómo afrontarán esa situación? Samsung, Nokia Lumia, BlackBerry, Sony y Apple estos principales fabricantes de Smartphone que se venden en el país, adelantaron que si sus equipos soportan la nueva banda, implementaran actualizar el software y el medio de descarga. En la actualidad ya se están

⁵⁷ PAPER: "Movistar – Telefónica del Perú". Op. Cit.

⁵⁸ Ídem.

comercializando dispositivos 4G LTE compatibles con dicho espectro en su totalidad⁵⁹.



Fig. 2.7 Dispositivos móviles y las condiciones para usar 4GLTE

¿Qué necesito para contar con Movistar 4G LTE?

Para poder disfrutar del servicio 4G LTE nuestros clientes necesitan reunir 4 condiciones:

- Contar con un terminal compatible con LTE en la banda AWS Y/O SW con LTE
- Un Usim Movistar (Nueva tarjeta Sim LTE)
- Un plan Movistar LTE
- Ubicarse dentro de una zona de cobertura 4G LTE.

¿Qué equipo cuentan ya con tecnología 4G LTE de Movistar?

APPLE IPHONE 5 32GB, APPLE IPHONE 5S 16GB, APPLE IPHONE

⁵⁹ PAPER: "Movistar – Telefónica del Perú". Op. Cit.

5C 16GB, BLACKBERRY Q10, HUAWEI G526, LG F3 P659, LG G2 D805, LG OPTIMUS G E976, MOTOROLA MOTO X XT1058, MOTOROLA RAZR XT925, NOKIA LUMIA 625, NOKIA LUMIA 820, SAMSUNG GALAXY ACE3, SAMSUNG GALAXY NOTE3 N900W8, SAMSUNG GALAXY NOTE3 N900W8 + GALAXYGEAR, SAMSUNG GALAXY S4 MINI I9195, SAMSUNG GALAXY S4 I337, SAMSUNG S5 G900, SONY XPERIA M2 D2306, SONY XPERIA SP C5306, SONY XPERIA Z1 C6906 ⁶⁰.

¿Qué necesito para contar con claro 4G LTE?

Los requisitos para disfrutar del 4G LTE de Claro son: tener un equipo compatible, un plan conexión Plus, un chip 4G LTE de Claro (sí, necesitas cambiar de chip), y obviamente estar en la zona de cobertura de Claro ⁶¹.

¿Con qué celular debo contar para tener 4G LTE de Claro?

Son 12 los equipos los que puedes adquirir con Claro para conectarte a su red 4G: Es muy importante que tengas en cuenta no solo el nombre y la versión del equipo, sino también el modelo que aparece entre paréntesis: BLACKBERRY Q5 (SQR100-1), SAMSUNG GALAXY S4 MINI (GT-I9195L), NOKIA LUMIA 925, NOKIA LUMIA 1020, MOTOROLA MOTO X (XT-1058), LG G FLEX, SAMSUNG GALAXY NOTE 3 (M-N7505L – NOTE 3 NEO), SAMSUNG GALAXY S5 (GT-G900M),

⁶⁰ PAPER: "Movistar – Telefónica del Perú"

⁶¹ PAPER: "Claro – América Móviles"

SAMSUNG GALAXY S4 (SGH-I337M), NOKIA LUMIA 820, BLACKBERRY Q10 (SQN100-1) Y LA TABLET SAMSUNG GALAXY NOTE PRO 12.2 (SM-P905M) ⁶².

“El ecosistema va a cambiar”, aseguran representantes de Samsung.

“Cuando el LTE esté habilitado los operadores invitarán a sus clientes de alto valor a migrar a planes 4G LTE.

Eso implica además el cambio de teléfonos y la instalación de un nuevo chip”, aseguró.

Probablemente dichos planes no estén al alcance de todos los bolsillos es un inicio, como suele ocurrir con las tecnologías nuevas.

2.4. ¿ES CONVENIENTE LA BANDA AWS?

Algunos expertos en telecomunicaciones han estimado que la implementación de la infraestructura LTE tomaría un año, pero advirtieron sobre la conveniencia de la banda de frecuencia en la que se habilitará el servicio⁶³. Expresan “No vemos LTE en la banda AWS”, expresan, Según detallan, son pocas las compañías que han utilizado el espectro de 1,710 MHz y 2,110 MHz para implementar la tecnología LTE, a pesar de que sí está habilitada para soportarla ⁶⁴.

⁶² PAPER: “Claro – América Móviles”. Op. Cit.

⁶³ 4G en Perú: “El Comercio”(http://elcomercio.pe/economia/negocios/4g-lte-peru-cuando-se-habilitara-internet-movil-alta-velocidad-noticia-1582123)

⁶⁴ Ídem.

El problema, si se quiere llamar así, es que muchos de los nuevos teléfonos de alta gama que están preparados para conectarse a redes móviles 4G LTE no están habilitados para hacerlo desde la banda AWS, sino desde la de 700 MHz y la de 2,5 GHz . Dos de estos equipos no se podían los cuales son el popular Samsung Galaxy S3 (en los 2,5 GHz) y el iPhone 5 (en los 700 MHz), por citar solo un par de casos⁶⁵.

Luis Pacheco, sub-gerente de análisis regulatorio del Organismo Supervisor de la Inversión Privada en Telecomunicaciones (Osiptel), consideró que esta situación no debe causar preocupación debido al comportamiento del mercado.

“Es probable que los fabricantes hagan equipos nuevos o lancen nuevas versiones de sus teléfonos actuales considerando las bandas en las que funcionan los países donde residen sus clientes”, afirmó.

¿Perú y América Latina podrán gozar de la tecnología LTE del iPhone 5, iPhone5S y 5C?

En Nuestro país ya cuenta con redes móviles 4G, podrán desde el mes de marzo de este año. Apple Inc libero la versión de software actualizada y homologada 7.1. Los nuevos lotes ya vienen con la versión actualizada, a continuación se indica que modelo si soporta esta tecnología.

Modelo GSM IPHONE 5 A1428* **SI** UMTS/HSPA+/DC-HSDPA (850,

⁶⁵ 4G LTE “Claro” (<http://elcomercio.pe/paginas/smartphones-tablets/4g-lte-claro-lo-que-tienes-que-saber-sobre-este-servicio-noticia-1730681>)

900, 1700/2100, 1.900 y 2.100 MHz) y GSM/EDGE (850, 900, 1.800 y 1.900 MHz); LTE** (**bandas 4 y 17**)

Modelo CDMA IPHONE 5 A1429* **NO (NO ESTA EN LA BANDA AWS)**

Modelo GSM IPHONE 5 A1429* **NO (NO ESTA EN LA BANDA AWS)**

¿El Samsung Galaxy S4 y S4 mini podrán gozar de la tecnología LTE en el Perú?

Si, teniendo en cuenta el modelo, por ejemplo el Samsung Galaxy S4 i337 y el Samsung S4 mini 9195, los nuevos lotes ya vienen listos para la el uso de la tecnología 4G, para los antiguos lotes hace unos meses se homologo un nuevo software para actualizar la versión y disfrutar de dicha tecnología.

En cambio los modelos Samsung S4 9500 y el Samsung S4 mini 9190, no soportan la tecnología 4G.

La llegada al país de Smartphone y tabletas con capacidad para conectarse a Internet utilizando las redes de telefonía móvil 4G plantea un enorme desafío para nuestra infraestructura de telecomunicaciones.

2.4.1. UNA CUESTIÓN SOBRE LA MESA. INCOMPATIBILIDADES?

Especialistas señalan que en el Perú no existe la verdadera tecnología 4G, es decir, la LTE (Long Term Evolution), la misma que hace meses anunció Apple para su nuevo iPhone 5, iPhone5s y 5C, ***Y es que en nuestro país lo que hay es tecnología HSPA+, conocida también como la red 3.5G***

evolucionada⁶⁶.

Esto quiere decir que si el iPhone 5 se comenzó a vender meses atrás en Arequipa.

Los usuarios no podían aprovechar la máxima velocidad a Internet que ofrece este equipo porque no existía la red adecuada para recibir y enviar datos a gran velocidad ⁶⁷, hasta hace tres meses aproximadamente que se inició 4G LTE en Arequipa.

Esta no es una traba solo para el Perú, sino también para varios países de América Latina que no cuentan con tecnología 4G LTE o que recién comienzan a implementarla.

Incluso en Chile existe un problema que probablemente se extienda a las otras naciones de la región: la incompatibilidad de las bandas en las que funciona el iPhone 5 con relación a las que se están licitando y se utilizarán en América Latina para la red 4G .

⁶⁶ 4G en Perú: “El Comercio” (<http://elcomercio.pe/tecnologia/actualidad/que-peru-america-latina-no-podran-gozar-tecnologia-lte-iphone-noticia-1471776>)

⁶⁷ Ídem.



Fig. 2.8 Sobre las mismas torres 3G se instalan las 4G

2.4.2. INCOMPATIBILIDAD. LA TECNOLOGÍA HSPA+ ES O NO 4G?

La gerencia de soluciones al cliente de Nokia Siemens Networks Latinoamérica, explica el tema de la siguiente manera: “El iPhone 5 tienen soporte para LTE en determinadas bandas de frecuencia que no son las mismas en las cuales funcionará esta tecnología en el Perú” ⁶⁸.

“La perspectiva de espectro que tienen algunas operadoras de telefonía de Latinoamérica se centran principalmente en el uso de la banda de 2.6 GHz. Sin embargo, esa frecuencia no está incluida en las especificaciones de conectividad del iPhone 5 (que funciona en las bandas AWS, 700 MHz, 850 MHz, 1800 MHz, 1900 MHz, 2100 MHz y PCS 1900)” .

⁶⁸ 4G en Perú: “El Comercio”. Op. Cit.

“El gran problema del LTE es que vamos a montar una tecnología nueva y no podemos apagar las existentes. Entonces, requerimos usar el espectro que tengan disponible cada uno de los países para montar esta red. Para América Latina se pensaba usar la banda de 2.6 GHz pero no todos los países las tienen disponibles”... “No hay homologación de espectro” ⁶⁹.

“Se debe tener en cuenta que lo que se ha licitado es la banda de frecuencia, no la red móvil como tal. En ese sentido, después de ganar la licitación, recién los operadores podrían invertir en infraestructura de red y comenzar sus proyectos de implementación de red LTE (4G)”, Entonces, ¿cuál es el mensaje para el consumidor que espera contar con un iPhone 5 para usarlo en Perú?. Tener en cuenta el modelo que está adquiriendo (IPHONE 5 A1428), a pesar de esto sí funcionará con las redes 3G y 2G porque las bandas en las que opera si están homologadas con las de las operadoras locales.

El iPhone 5 tampoco no es compatible con los servicios 4G en las frecuencias de 800MHz y 2,6GHz usadas en gran parte de Europa occidental, incluyendo a España, Italia y Francia. El dispositivo de Apple funciona en la frecuencia 1,8GHz, que la mayoría de las operadoras en Europa todavía asignan a

⁶⁹ 4G en Perú: “El Comercio”. Op. Cit.

llamadas telefónicas de voz ⁷⁰.

Según informa la agencia Reuters, solo las operadoras Deutsche Telekom en Alemania y Everything Everywhere en Gran Bretaña podrán ofrecer la máxima velocidad de acceso a Internet para usuarios del iPhone 5 en sus mercados, porque son las operadoras que poseen las frecuencias requeridas ⁷¹.

El iPhone 6 y el iPhone 6 plus, UMTS/HSPA+/GSM/EDGE/FDD-LTE (bandas 1,2,3,4,5,7,8,13,17,18,19,20,25,26,28 y 29)/TDD-LTE (bandas 38,39,40 y 41) con su lanzamiento el 26 de septiembre con información actualizada que podrá utilizarse en 18 países, como Estados Unidos, Alemania, Australia, Francia, Japón, Puerto rico, según informó el diario “The Wall Street Journal”. En el Perú llegara aproximadamente la primera quincena de noviembre.⁷²

Los próximos modelos el iPhone 6 y el iPhone 6 plus contarán con el sistema de transmisión de datos LTE (Long Term Evolution), que podrá utilizarse en Estados Unidos, Europa y Asia aunque no con todos los operadores, según informó hoy el diario “The Wall Street Journal” ⁷³.

La tecnología LTE ofrece una mayor velocidad de transmisión de datos que el actual sistema UMTS, **pero cuenta con la**

⁷⁰ 4G en Perú: “El Comercio”. Op. Cit.

⁷¹ Ídem.

⁷² Ídem.

⁷³ Software y tecnología Actual “El Comercio” (<http://swteca.blogspot.com/>)

desventaja de que utiliza distintas frecuencias dependiendo del país ⁷⁴.

El número de frecuencias accesibles para el LTE depende del chip que se utilice y se espera que los próximos modelos de iPhone pueda utilizarse en varias regiones. No ocurrió lo mismo con el último modelo de tableta iPad, que solo puede utilizar las frecuencias de LTE de 700 y 2.100 MHz, empleadas sobre todo en Estados Unidos. El LTE es considerado como el verdadero 4G ⁷⁵.

En el Perú, analistas afirman que la línea considerada 4G en realidad es una **3,5G evolucionada**, porque son redes HSPA+ y no las de cuarta generación de redes móviles LTE ⁷⁶.

Cuando Apple lanzó a la venta estos dispositivos no especificó que la tecnología LTE no podría emplearse en todo el mundo. Apple fue demandada por ello en Australia y se vio obligada a pagar una multa de 2,25 millones de dólares australianos (1,8 millones de euros/2,33 millones de dólares estadounidenses) ⁷⁷.

El sistema LTE ofrece una velocidad superior a 70 megabits por segundo, muy por encima de los 42 que ofrece el UMTS. Se espera que Apple presente el nuevo modelo de iPhone

⁷⁴ Software y tecnología Actual "El Comercio". Op. Cit.

⁷⁵ Ídem.

⁷⁶ Ídem.

⁷⁷ Ídem.

próximamente ⁷⁸.

2.5. LA RED MÓVIL 4G

A finales del 2011, Claro y Movistar lanzaron la red móvil 4G y poco después comenzaron a comercializar equipos con capacidad para soportar esta tecnología⁷⁹. Las operadoras aclararon que se trata de la tecnología **HSPA+**, la cual es conocida también como la **red 3.5G evolucionada**. Se trata de una tecnología que provee velocidades teóricas de hasta 21 Mbps, pero esto es importante, no se garantiza ese máximo, sino solo 5 Mbps en promedio .



Fig. 2.9 Hacia la red móvil 4G

“Las velocidades que brindan las redes están directamente relacionadas con una serie de factores, como tu ubicación, la cantidad de usuarios simultáneos en esa celda, etc.”⁸⁰

Osiptel, el ente que regula las telecomunicaciones en el Perú, reconoce que existe un debate sobre si la tecnología HSPA+ es o no 4G.

⁷⁸ Software y tecnología Actual “El Comercio”. Op. Cit.

⁷⁹ 4G en el Peru: “el comercio” (<http://elcomercio.pe/tecnologia/actualidad/se-pueden-aprovechar-todas-capacidades-dispositivo-4g-peru-noticia-1426825>)

⁸⁰ 4G en el Peru: “el comercio”. Op. Cit.

Esta polémica se ha trasladado a foros de Internet donde los usuarios suelen quejarse por las velocidades con las que funcionan sus equipos móviles. Aquí se asegura que la HSPA+ no es 4G y que la verdadera cuarta generación de las redes móviles es la LTE (Long Term Evolution), aquella que Estados Unidos y países del Asia están implementando .

2.6. ¿LA TECNOLOGÍA HSPA+, ES 4G (LTE)?

Claro ha precisado que la “HSPA+ no debe ser confundida con LTE que utiliza una interfaz aérea distinta”. No obstante sostiene que el servicio que brinda sigue siendo 4G⁸¹.

El gerente de telecomunicaciones de DN Consultores, indica que eso no es cierto. “Las operadoras dicen que la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) ha dejado abierta la posibilidad de referirse a la HSPA+ como tecnología 4G pero eso no es así⁸².

La HSPA+ es 3G desde su concepción”, indicó el especialista, quien asegura que la verdadera tecnología de cuarta generación es la LTE⁸³.

Sobre las cualidades de una y otra tecnología, se precisa que **la diferencia entre la red HSPA+ y la LTE es que la primera utiliza un espectro de 5 MHz y la segunda es de 20 MHz. “Estamos hablando de cuatro veces más.** Cuando tienes más espectro, puedes tener mayores velocidades”, se agregó. Cabe agregar que la tecnología LTE provee de una velocidad teórica de 100 Mbps, frente a los 21 Mbps

⁸¹ 4G en el Perú: “el comercio”. Op. Cit.

⁸² Ídem.

⁸³ Ídem.

teóricos de la HSPA+ ⁸⁴.



Fig. 2.10 Test de velocidad entre 3G y 4G

2.7. ¿Y EN OTROS PAÍSES?

En Chile, la operadora local Claro fue obligada a retirar de su campaña publicitaria la palabra “4G” en vista de que, según la empresa competidora Entel, la tecnología que brinda, la HSPA+, no es de cuarta generación ⁸⁵.

En un informe de trabajo publicado por Osiptel en su página web se informa que en “Brasil, Chile (caso de la compañía Entel) y España algunos operadores por iniciativa propia y/o estrategia comercial no han empleado por el momento el término 4G en la publicidad de sus redes HSPA+, considerándolo como 3.5G o simplemente 3G” ⁸⁶.

“Diversos analistas han indicado que en el caso de los operadores que

⁸⁴ 4G en el Perú: “el comercio”. Op. Cit.

⁸⁵ Ídem.

⁸⁶ Ídem.

hayan desplegado tecnologías LTE es más justificable el uso del término 4G, pues la tecnología LTE marca una fuerte distancia de la tecnología HSPA+ (...) De todas formas, dado que la UIT no ha definido claramente el término, estos operadores se amparan en dicho “*vacío*”, y con fines de publicidad han venido denominando a sus redes HSPA+ y LTE como redes 4G”, señala Osiptel ⁸⁷.

2.8. LOS EQUIPOS

Para resolver nuestra interrogante inicial, debe quedar claro que una red móvil de cuarta generación es indispensable hoy en día en que los dispositivos que aparecen en el mercado están preparados para conectarse con tecnología 4G ⁸⁸.

En el caso del Perú, hablamos de Smartphone como el Galaxy Note3, el Galaxy S4, BlackBerry Q10, la Tablet Samsung Galaxy note pro 12.2, el HTC inspire 3D. Y la Nueva iPad de Apple. Otros, como el Galaxy S5, llegarán más ⁸⁹.

Tanto Claro como Movistar ofrecen planes de datos con velocidades 4G. Voceros de ambas empresas fueron interrogados por diversos especialistas y aseguraron e indicaron: Movistar cuenta con el nuevo “plan vuela” indicando que su velocidad máxima será 20 Mbps y la mínima garantizada es del 10%(2Mbps). Claro cuenta con su nuevo plan “conexión plus”, Claro promete como velocidad máxima de 12 Mbps y

⁸⁷ 4G en el Perú: “el comercio”. Op. Cit.

⁸⁸ Ídem.

⁸⁹ Ídem.

cómo mínimo navegarás a 1.2 Mbps ⁹⁰.

Osipitel envió preguntas a ejecutivos de ambas compañías para que resuelvan las dudas sobre el rendimiento de la red HSPA+ y su cuestionamiento al ser denominada como tecnología 4G, pero según la web de Osipitel no publica sus respuestas; es decir aclararon que no tuvieron respuestas.

en el Perú aún que ya se ha implementado la red móvil LTE, que provee en promedio velocidades de entre 10 a 20Mbps, la tecnología HSPA+ sigue siendo superior frente a las prestaciones que ofrecen las redes móviles 3G o 3.5 G. La conveniencia de utilizar un equipo 4G en el Perú hoy por hoy es una decisión que le compete íntegramente al usuario previo conocimiento de todo este contexto ⁹¹.

La gerencia general de Nokia Siemens Networks, sostiene que la decisión de una persona interesada en estos equipos debe estar basada en su necesidad actual, pero recalca que **“la tecnología HSPA+ que están ofreciendo los operadores es superior a la que se comercializan como 3G o 3.5G tradicional”** ⁹².

Osipitel es más escéptico y aunque comparte que el usuario es libre de comprar el equipo que desee, “no puede esperar que le rinda con una velocidad de cuarta generación (4G) porque en el Perú no la tenemos, estamos con la tercera generación (3G)”.”Tendrán una buena velocidad,

⁹⁰ 4G en el Perú: “el comercio”. Op. Cit.

⁹¹ Ídem.

⁹² Ídem.

pero no la 4G”, indico meses atrás ⁹³.

Hay 187 operadores a nivel mundial que utilizan la red móvil HSPA+ en 96 países. Dos de esas 187 compañías son Claro y Movistar del Perú quienes ofrecen este servicio en determinadas zonas geográficas del país (Isuiza, Dispositivos 4G en el Peru, 2012).

La LTE es una tecnología a la que tienen acceso 17 millones de personas. En Estados Unidos, el 64% de suscriptores de redes móviles usa la red LTE.

33% en Asia Pacífico y un 3% en Europa, según The Global Mobile Suppliers Association (GSA) ⁹⁴.

Ecuador, Argentina y Chile también cuentan desde el 2011 con una red de telefonía móvil 4G con HSPA+. Uruguay lanzó el año pasado su servicio 4G basado en la tecnología LTE, la primera en América Latina. Colombia y Perú comenzaron a implementar el LTE este año ⁹⁵.

2.9. TECNOLOGIAS Y NORMATIVA ASOCIADA

Telecomunicaciones Móviles Internacionales 2000 (IMT-2000 por sus siglas en inglés) es el estándar global para la tercera generación de redes de comunicaciones inalámbricas 3G, definidas por un sistema de estándares de la Unión Internacional de Telecomunicaciones. IMT-2000 proporciona un marco para el acceso inalámbrico mundial uniendo los diversos sistemas de redes terrestres y satelitales.

⁹³ 4G en el Peru: “el comercio”. Op. Cit.

⁹⁴ Ídem.

⁹⁵ Ídem.



Fig. 2.11 Evolucion y normativa Asociada

Las IMT-2000 es la norma mundial para las comunicaciones inalámbricas de tercera generación (3G), y se define por un conjunto de recomendaciones interdependientes de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). Sirve de marco para el acceso inalámbrico mundial, vinculando los sistemas diversos de redes terrenales o por satélite⁹⁶

'4G' es el término utilizado para referirse a la "Cuarta Generación" de servicios móviles inalámbricos que está definido por la UIT .

La UIT es la autoridad internacional que establece los criterios de la generación de tecnologías inalámbricas posteriores a IMT-2000 (3G), denominada IMT-Advanced⁹⁷. La UIT analizará varias tecnologías para su inclusión en la familia IMT-Advanced.

Desde el año 2009, se han logrado significativos avances en el Sector de Radiocomunicaciones de la UIT (UIT-R) en el establecimiento de una definición acordada y globalmente aceptada de los sistemas

⁹⁶ EVOLUCIÓN DE 3G Y SU CONVERGENCIA A 4G EN COMUNICACIONES MÓVILES. Javier Alonso Navarro Giovanetti (<http://es.scribd.com/doc/74900212/3G24G>)

⁹⁷ Ídem.

inalámbricos '4G'⁹⁸.

Para este año, está previsto que la UIT-R emita la documentación correspondiente a dicha definición. En ese momento, la visión será traducida a un conjunto de requisitos que deberán cumplimentar las tecnologías para, en el futuro cercano, ser declaradas parte de la IMT-Advanced y así ganarse el derecho de ser consideradas 4G, así, toda afirmación en el sentido de que una tecnología en particular es "tecnología 4G" antes de emitida dicha definición es en realidad una estrategia de marketing, que genera confusión en el mercado y minimiza la importancia de las normas en la industria de las telecomunicaciones⁹⁹.

Para que las tecnologías puedan ser consideradas '4G', deberá verificarse que cumplan con un conjunto de requisitos acordados, lo que sucederá en el futuro cuando la UIT los establezca¹⁰⁰.

Recién entonces se entenderá lo que es 4G y lo que puede llamarse de ese modo con todo derecho y credibilidad¹⁰¹.

2.9.1. Avance tecnológico.

La evolución de 2G se ve sostenida con el cambio en las tecnologías de acceso de radio (tecnologías involucradas en la transmisión aérea entre la antena o base estación y el móvil), luego de las modificaciones que produjeron GPRS (Global

⁹⁸ EVOLUCIÓN DE 3G Y SU CONVERGENCIA A 4G EN COMUNICACIONES MÓVILES. Javier Alonso Navarro Giovanetti. Op. Cit.

⁹⁹ Ídem.

¹⁰⁰ Ídem.

¹⁰¹ Ídem.

Packet Radio Service) y EDGE, la tecnología de radio por parte de GSM, evoluciona a WCDMA (base de UMTS) ¹⁰².

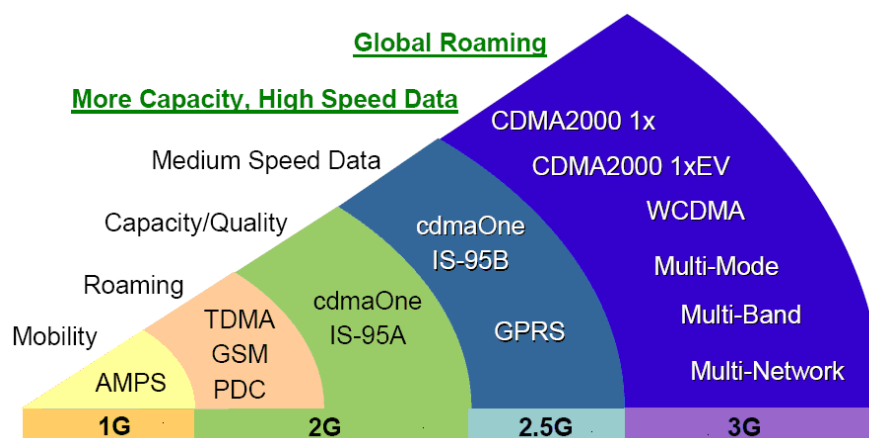


Fig. 2.12 Avance tecnologico

La clave se centra en la forma que las redes evolucionan hacia la 3G, para este caso, la tendencia de GSM es volverse hacia CDMA, específicamente hacia WCDMA (Acceso múltiple por división de código de banda ancha) y evolucionar como una red unificada que comparta el mismo núcleo de recursos de radio y recursos de aplicación. Por otro lado, la CDMA 2000 representa una evolución del cdmaOne (IS-95), la cual está basada en la familia de estándares TIA/EIA-95 y sigue siendo compatible completamente con los sistemas basados en cdmaOne y sus terminales ¹⁰³.

¹⁰² EVOLUCIÓN DE 3G Y SU CONVERGENCIA A 4G EN COMUNICACIONES MÓVILES. Javier Alonso Navarro Giovanetti. Op. Cit.

¹⁰³ Ídem.



Fig. 2.13 Multiplicidad de servicios que presta la telefonía móvil actual

La tercera generación de redes celulares tiene como objetivo ofrecer servicios de datos con altas tasas de transmisión. Los objetivos iniciales establecidos por el IMT-2000, fueron de 2Mbps en ambientes cerrados y de baja movilidad.

Por parte del estándar IEEE 802.16, se ha lanzado al mercado Wimax móvil, el cual entra en la tercera generación por la velocidad de transferencia de datos que alcanza ¹⁰⁴.

La tabla siguiente presenta la evolución de los 3 principales estándares de la 3G.

	UMTS	CDMA 2000	802.16e
Interface Radio	WCDMA	EV-DO	OFDMA, QPSK
Banda por portadora	5 MHz	1,25 MHz	1,5 - 20 Mhz escalable
Evolución de las operadoras que utilizan	GSM	CDMA	802.16
Órgano que define la estandarización	3GPP	3GPP2	IEEE

Tabla 2.2 Comparación de tecnología

¹⁰⁴ EVOLUCIÓN DE 3G Y SU CONVERGENCIA A 4G EN COMUNICACIONES MÓVILES. Javier Alonso Navarro Giovanetti. Op. Cit.

2.10. IMT-2000.

Es la normativa mundial para las comunicaciones inalámbricas de tercera generación, y se define por un conjunto de recomendaciones interdependientes de la UIT. Constituyen un marco de acceso a nivel mundial, ya que permiten conectar diversos sistemas de redes terrenales y/o por satélite. Las actividades normativas de la UIT relativas a las IMT-2000 están distribuidas en tres sectores:

- **Normalización de las telecomunicaciones UIT-T:** Realiza el estudio de los aspectos de redes en las comunicaciones móviles, la red de internet inalámbrica, convergencia de redes móviles y fijas, funciones de multimedia móviles, la interoperabilidad y la mejora de las actuales recomendaciones del UIT-T sobre las IMT-2000.
- **Radiocomunicaciones UIT-R:** Está encargado del espectro de radiofrecuencia considerado en su conjunto y los aspectos de radiocomunicaciones de las IMT-2000 y los sistemas posteriores.
- **Desarrollo de las telecomunicaciones UIT-D:** Se encarga de difundir asistencia a los países en desarrollo para la implementación de las IMT-2000, además de realiza investigación y actividades.

Las 3 técnicas de acceso al medio que contempla la IMT-2000: CDMA, TDMA y FDMA, de las cuales la que ha dado mayores ventajas es la CDMA, ya que supera el desempeño y la eficiencia espectral de las

anteriores¹⁰⁵.

La ITU o UIT exige una serie de requisitos para las redes IMT-2000 (3G), con el fin de justificar un cambio evolutivo considerable respecto de la generación anterior, entre estos requisitos están: una mayor capacidad de sistema, una mayor eficiencia espectral y mayor velocidad de transmisión en entornos fijos (en interiores) y móviles. Basándose en estos requerimientos la ITU aprobó en el año 1999 cinco interfaces de radio para la familia de estándares de IMT-2000¹⁰⁶.

- **El sistema IMT-DS (Direct Sequence).** Es conocido como UTRA FDD (UMTS Terrestrial Radio Access FDD), o también WCDMA.
- **El sistema IMT-MC (Multicarrier).** Este sistema es la versión 3G del sistema IS-95 (también conocido como cdmaOne), y que suele denominar cdma2000.
- **El sistema IMT-TC (Time Code).** Este sistema es el UTRA TDD. Se trata del modo UTRA que utiliza multiplexación por división de tiempo.
- **El sistema IMT-SC (Single Carrier).** Esencialmente se trata de una manifestación particularizada de GSM Fase2+, conocido como EDGE.
- **El sistema IMT FT (Frequency Time).** Este sistema se conoce como DECT (Digital Enhanced cordless Telecommunications).

¹⁰⁵ EVOLUCIÓN DE 3G Y SU CONVERGENCIA A 4G EN COMUNICACIONES MÓVILES. Javier Alonso Navarro Giovanetti. Op. Cit.

¹⁰⁶ Ídem.

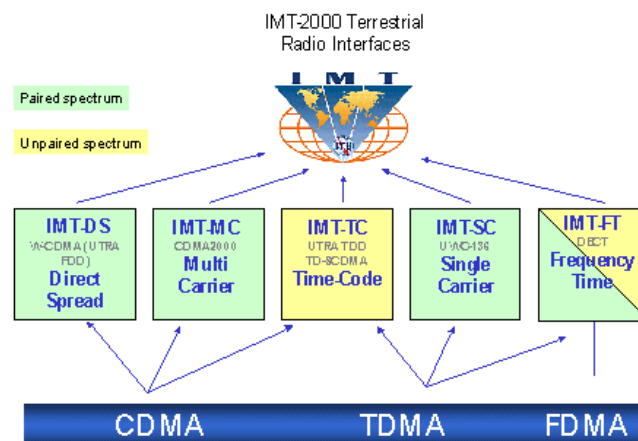


Fig. 2.14 Interfaces de radio para la familia de estándares de IMT-2000

A puertas de una nueva generación de comunicaciones inalámbricas, y analizando las tendencias más relevantes en el camino evolutivo, el proyecto IMT-2000 formó dos grupos para la normalización de redes terrenales.¹⁰⁷

- **3GPP**, Proyecto Asociación de Tercera Generación para preparar la evolución del sistema GSM hacia el sistema UMTS.
- **3GPP2**, proyecto para preparar el camino de la norma IS-95 hacia el acceso múltiple por división de código 2000 (CDMA 2000).

Los grandes objetivos de IMT -2000 son¹⁰⁸:

- Proporcionar cobertura mundial, permitiendo a las unidades cambiar de sistemas y de redes. Reservando una porción del espectro en todo el mundo.
- Alta capacidad de transmisión de datos, con capacidad de soportar tanto

¹⁰⁷ EVOLUCIÓN DE 3G Y SU CONVERGENCIA A 4G EN COMUNICACIONES MÓVILES. Javier Alonso Navarro Giovanetti. Op. Cit.

¹⁰⁸ Ídem.

la conmutación de circuitos como la de paquetes, así como sistemas de multimedia.

- Permitir movilidad con alta velocidad de datos, ya sea en vehículos o en personas en movimiento.

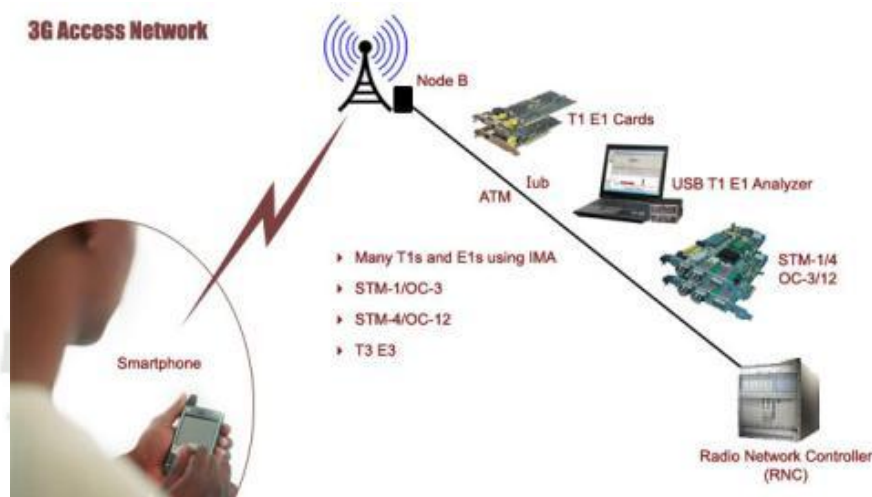


Fig. 2.15 Red típica de acceso 3G

2.10.1. 3GPP.

3GPP (Proyecto Asociación de Tercera Generación) es el grupo encargado de la estandarización del UMTS ¹⁰⁹.

Fue creado en diciembre de 1998 con el principal objetivo de desarrollar las especificaciones técnicas de las redes móviles de tercera generación a partir del sistema existente y triunfante en ese momento: GSM. Este objetivo inicial fue posteriormente ampliado para incluir el mantenimiento y mejoras de los sistemas GSM, tales como GPRS (General Packet Radio Service) o

¹⁰⁹ EVOLUCIÓN DE 3G Y SU CONVERGENCIA A 4G EN COMUNICACIONES MÓVILES. Javier Alonso Navarro Giovanetti. Op. Cit.

EDGE (Enhanced Data rates for GSM of Evolution, Tasas de Datos Mejoradas para la evolución de GSM) ¹¹⁰.

De este modo la numeración de ambas especificaciones técnicas (GSM y UMTS) fue unificado bajo una misma numeración, agrupada en series. Hay un conjunto de series que son aplicables para UMTS y GSM, y otras que solo aplican a GSM o a UMTS. Es una organización, en la evolución de la red GSM hacia las redes UMTS, las cuales prestan una mayor capacidad, alta velocidad de datos y nuevos servicios. 3G/UMTS aumenta la capacidad del sistema, lo que permite a las empresas de servicios móviles, contar con un mayor número de clientes de voz y datos, a un costo menor que la generación anterior. UMTS trabaja con WCDMA (Wideband Code Division Multiple Acces: acceso múltiple por división de código de banda ancha) como tecnología de acceso al medio. Esta tecnología se basa en una técnica radioeléctrica con un espectro ensanchado de banda ancha. El 3GPP actualiza una nueva versión de la norma UMTS casi todos los años, la primera fue al R99, seguida del R4, R5, R6, R7 y ahora está trabajando en el R8 .

- Release 99 Especificación básica.
- Release 4 Mejoras en Release 99.
- Release 5 HSDPA. Otras mejoras.
- Release 6 HSUPA. Mejoras en HSDPA.

¹¹⁰ EVOLUCIÓN DE 3G Y SU CONVERGENCIA A 4G EN COMUNICACIONES MÓVILES. Javier Alonso Navarro Giovanetti. Op. Cit.

- Release 7 Evolución de HSPA (HSPA+)
- Release 8 LTE
- Release 9 Estudio inicial para LTE-Advanced. Otras mejoras
- Release 10 LTE-Advanced

Una nueva arquitectura y una novedosa interfaz radio serán las principales armas con las que se espera lograr los objetivos anteriormente comentados. En cuanto a la nueva arquitectura, el 3GPP se está planteando una importante simplificación de la jerarquía de red tendiendo a un modelo plano similar a las arquitecturas IP. La nueva arquitectura denominada EPS (Evolved Packet System) está inspirada en la arquitectura HSPA mono-túnel en la que se integran los Controladores de Red Radio (RNC) con los Nodos-B. En este sentido la arquitectura EPS estaría formada por ¹¹¹:

- MME (Mobility Management Entity)
- SAE-GW (System Architecture Evolution Gateway)
- eNodeB o Nodo-B evolucionado

En este modelo de arquitectura todo-IP (ver figura 2.16), la red radio adquirirá un papel muy relevante, ya que pasará a concentrar gran parte de la inteligencia que antes se localizaba en el núcleo de red. El 3GPP está trabajando en una nueva red radio de acuerdo a los nuevos requerimientos. Las

¹¹¹ EVOLUCIÓN DE 3G Y SU CONVERGENCIA A 4G EN COMUNICACIONES MÓVILES. Javier Alonso Navarro Giovanetti. Op. Cit.

especificaciones técnicas del nuevo interfaz radio se recogen bajo el epígrafe Evolución a Largo Plazo, más conocido por sus siglas anglosajonas LTE (Long Term Evolution) ¹¹².

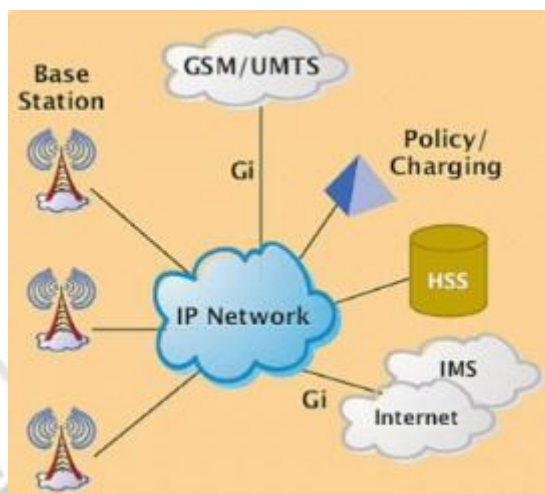


Fig. 2.16 Arquitectura todo-IP

Aunque el 3GPP está en plena faena de especificación del nuevo interfaz radio, lo que está claro es que estará basado en los protocolos IP. Como resultado de estos trabajos, hoy en día ya contamos con una nueva familia de tecnologías de radio que añadir a las ya conocidas GSM/GPRS y WCDMA/HSPA. También parece claro que el Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal (OFDMA en inglés) será utilizado para el enlace de bajada y que el Acceso Múltiple por División de Frecuencia de Portadora Única (SC-FDMA las siglas inglesas) será utilizado para el enlace de subida ¹¹³.

En la siguiente figura, se muestra una línea del tiempo en donde

¹¹² EVOLUCIÓN DE 3G Y SU CONVERGENCIA A 4G EN COMUNICACIONES MÓVILES. Javier Alonso Navarro Giovanetti. Op. Cit.

¹¹³ Idem.

se ubican las fechas de lanzamiento cada evolución tecnológica presentada, el método de acceso al medio utilizado y la velocidad alcanzada por cada una ¹¹⁴.

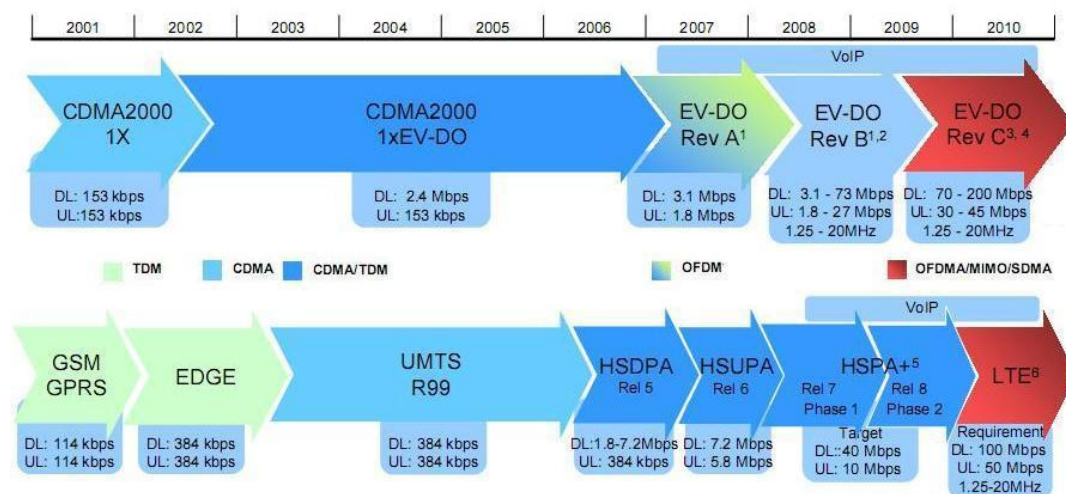


Fig. 2.17 Diagrama en el tiempo de los avances tecnológicos.

Tipos de Celdas UMTS.

Existen tres tipos de celdas UMTS, picoceldas, microceldas y macroceldas, cada una con unas características determinadas ¹¹⁵.

- Macrocelas. Ofrecen cobertura celular en grandes áreas abiertas, de entre 1 y 40 km, a una velocidad de transmisión de datos de 114 kbit/s).
- Microcelas. Ofrecen cobertura celular en áreas urbanas y autopistas, un rango de entre 50 a 1000 metros, con velocidades de 384 kbit/s.

¹¹⁴ EVOLUCIÓN DE 3G Y SU CONVERGENCIA A 4G EN COMUNICACIONES MÓVILES. Javier Alonso Navarro Giovanetti. Op. Cit.

¹¹⁵ Ídem.

- Picoceldas. Su uso es en entornos residenciales e interiores de oficinas, radios inferiores a 50 metros, con velocidades del orden de los 2 Mbit/s.

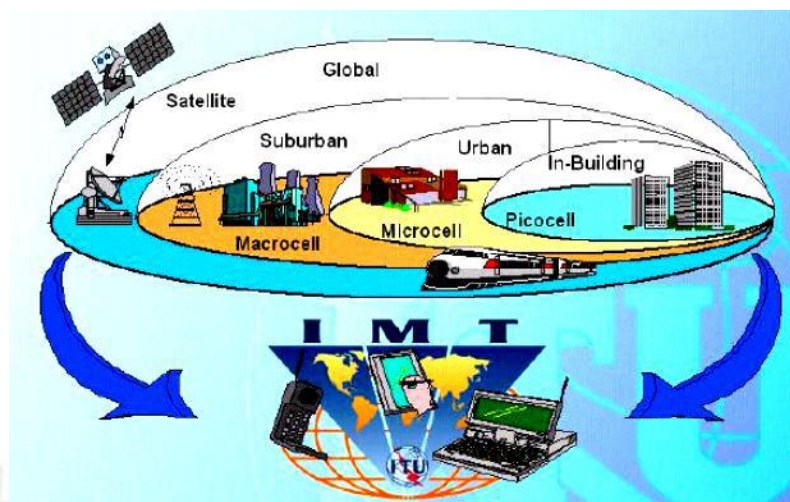


Fig. 2.18 Tipos de celdas

2.10.2. EDGE.

EDGE es una tecnología 3G que puede aumentar el rendimiento de la capacidad y producción de datos típicamente al triple o cuádruple de GPRS, proporcionando así un servicio de 3G espectralmente eficiente ¹¹⁶. En particular, EDGE permitirá que se exploren todas las ventajas de GSM/GPRS, con el establecimiento de una rápida conexión, mayor amplitud de banda y velocidades en la transmisión de datos medios de 80-130 Kbps y tan rápidas como 473 kbps ¹¹⁷.

Al ser una tecnología de radio de banda angosta (canales de 200 kHz), EDGE permite que los operarios ofrezcan servicios de 3G sin la necesidad de comprar una licencia 3G. Además, EDGE

¹¹⁶ EVOLUCIÓN DE 3G Y SU CONVERGENCIA A 4G EN COMUNICACIONES MÓVILES. Javier Alonso Navarro Giovanetti. Op. Cit.

¹¹⁷ Idem.

reduce el costo al implementar sistemas de 3G a nivel nacional porque está diseñada para integrarse a una red de GSM ya existente. Así, EDGE representa una solución fácil, incremental del coste que sea una de las rutas más rápidas a desplegar los servicios de 3G. EDGE emplea 3 técnicas avanzadas en el radio-enlace que le permiten alcanzar una eficiencia espectral sumamente elevada para servicios de datos celulares de banda angosta ¹¹⁸.

- Nuevo esquema de modulación llamado 8-PSK, que le permite a la señal de radio transmitir tres bits de información en cada símbolo de radio.
- La segunda técnica es la de esquemas de codificación múltiples, en la que la red puede ajustar la cantidad de bits dedicados a control de errores dependiendo del entorno de radio. EDGE tiene cinco esquemas de codificación disponibles para 8-PSK y cuatro esquemas de codificación para GMSK.
- EDGE selecciona dinámicamente el esquema de modulación y codificación óptimo para el entorno de radio imperante en el momento. Con la tercera técnica, si se reciben bloques de datos con error.

EDGE envía una cantidad incremental de datos correctores de

¹¹⁸ EVOLUCIÓN DE 3G Y SU CONVERGENCIA A 4G EN COMUNICACIONES MÓVILES. Javier Alonso Navarro Giovanetti. Op. Cit.

errores (retransmite datos usando diferentes tipos de codificación) en cada re-transmisión haciendo que una tenga mayor probabilidad de éxito que la anterior ¹¹⁹.

GSM con EDGE, puede proporcionar teóricamente 50,2Kbps en cada time slots, para un total máximo de la red de 473,6kbps en 8 time slots. Al enviar más datos e cada ranura de tiempo, EDGE también incrementa la eficiencia espectral en 150% en comparación con GPRS cuando utiliza los esquemas de codificación CS1 y CS2, y en un 100% cuando usa los esquemas de codificación CS1 a CS4 EDGE reduce la latencia a aproximadamente 300ms, en el caso de GSM este valor es de entre 500 y 600ms, con lo cual se hace más rápida la red. Los esfuerzos por mejorar esta tecnología se basan principalmente en aumentar la capacidad de la red y reducir la latencia. EDGE es una tecnología 3G aprobada por la UIT como norma y está disponible en más de 131 países ¹²⁰.

2.10.3. WCDMA.

El esquema del acceso para UTRAN, es el acceso múltiple por división de códigos por espectro expandido en secuencia directa (DS-CDMA), anteriormente descrito. Este ancho de banda amplio, es el que ocupa un canal Wideband CDMA o WCDMA. Existen dos modos de funcionamiento para WCDMA en UMTS,

¹¹⁹ EVOLUCIÓN DE 3G Y SU CONVERGENCIA A 4G EN COMUNICACIONES MÓVILES. Javier Alonso Navarro Giovanetti. Op. Cit.

¹²⁰ Ídem.

uno es el FDD (Frequency Division Duplex) y el TDD (Time Division Duplex). El Modo FDD utiliza frecuencias diferentes, separadas en 190MHz, para el enlace ascendente (UL) y el descendente (DL). Estas portadoras tienen un ancho de banda de 5MHz con una tasa de bit de 3,84Mbps, divididas en tramas de 10ms con 15 intervalos de tiempo cada una. FDD utiliza una modulación QPSK ¹²¹.

Sin embargo en el modo TDD, el enlace ascendente y descendente utilizan la misma frecuencia pero en intervalos temporales diferentes. Estos intervalos pueden ser combinados para funcionar como UL ó DL, según las necesidades. En el entorno de operación de UMTS, el modo TDD se considera más adecuado para proporcionar servicios de datos en entornos micro-celulares o de interiores, y no tanto para entornos macro-celulares, por diversas razones ¹²².

- Debido a la necesidad de disponer de sincronización entre las estaciones base.
- Debido a los problemas originados por las interferencias no controladas.

El efecto el hecho de que coincida el enlace ascendente en una estación con el descendente de otra vecina puede producir

¹²¹ EVOLUCIÓN DE 3G Y SU CONVERGENCIA A 4G EN COMUNICACIONES MÓVILES. Javier Alonso Navarro Giovanetti. Op. Cit.

¹²² Ídem.

interferencias.

No solo de estación base a móvil y viceversa (como sucede en los distintos sistemas TDD), sino también entre estaciones base y entre móviles asignados a distintas estaciones base ¹²³.

2.10.4. EVOLUCIÓN DE LA UMTS.

UMTS ha sido un gran avance en relación a GSM en lo que respecta a la transferencia de datos, sin embargo, todavía resulta un tanto limitada las aplicaciones cuando se requiere de transferencias de muy alta velocidad o hay muchos usuarios de aplicaciones 3G en un área reducida ¹²⁴.

Dado que los datos se descargan mayoritariamente de la red al terminal, el estándar 3GPP en su versión 5 de WCDMA, introduce HSDPA (Hight Speed Downlink Packet Access) en la interfaz de radio, permitiendo alcanzar velocidades muy elevadas en enlace descendente .

Con la introducción del HSDPA, se pasó de velocidades de descarga de 171 Kbit/s teóricos (que en la realidad eran unos 40 u 80 Kbit/s) del GPRS y 473 Kbit/s teóricos (que en práctica eran de unos 100/130 Kbps) en EDGE, a velocidades de 14 Mbit/s teóricos (que en la práctica corresponden a 3 o 4 Mbit/s),

¹²³ EVOLUCIÓN DE 3G Y SU CONVERGENCIA A 4G EN COMUNICACIONES MÓVILES.
Javier Alonso Navarro Giovanetti. Op. Cit.

¹²⁴ Ídem.

pudiéndose hablar de velocidades de muy alta velocidad ¹²⁵.

2.10.5. HSDPA (HIGHT SPEED DOWNLINK PACKET ACCESS O ACCESO DESCENDENTE DE PAQUETES A ALTA VELOCIDAD).

La tecnología HSDPA es una evolución de la telefonía móvil de tercera generación WCDMA y consiste en un nuevo canal compartido en el enlace descendente, que mejora significativamente la capacidad máxima de transferencia de información hasta alcanzar tasas teóricas de 14 Mbps (1.8 Mbps en despliegues comerciales habituales) ¹²⁶.

HSDPA es totalmente compatible en sentido inverso con WCDMA. Esta tecnología es una funcionalidad de las especificaciones de la versión 5 del 3GPP. Aunque el límite teórico establecido por HSDPA es de 14 Mbps, lo normal será que las velocidades ofrecidas por los operadores en las primeras fases de la actualización se sitúen alrededor de los 2-4 Mbps. Con el tiempo se espera que tanto la cobertura como la velocidad de transferencia aumenten ¹²⁷.

Arquitectura de red HSDPA.

La arquitectura de red para la tecnología HSDPA, es la misma en donde conviven las redes de acceso de radio EDGE/GPRS

¹²⁵ EVOLUCIÓN DE 3G Y SU CONVERGENCIA A 4G EN COMUNICACIONES MÓVILES. Javier Alonso Navarro Giovanetti. Op. Cit.

¹²⁶ Ídem.

¹²⁷ Ídem.

(GERAN) con UMTS (UTRAN), conectados al núcleo de red. La implantación del HSDPA en la red de acceso (UTRAN) de esta operadora sería hecha a través del "upgrade" de software/hardware en las estaciones base (BS) y controladores de red radio (RNC). La estación base (BS) es también conocida como nodo B en la terminología 3GPP ¹²⁸.

Tecnologías MIMO

MIMO es el acrónimo en inglés de *Multiple-input Multiple-output* (en español, *Múltiple entrada múltiple salida*).

Se refiere específicamente a la forma como son manejadas las ondas de transmisión y recepción en antenas para dispositivos inalámbricos como enrutadores. En el formato de transmisión inalámbrica tradicional la señal se ve afectada por reflexiones, lo que ocasiona degradación o corrupción de la misma y por lo tanto pérdida de datos.

MIMO aprovecha fenómenos físicos como la propagación multicamino para incrementar la tasa de transmisión y reducir la tasa de error. En breves palabras MIMO aumenta la eficiencia espectral de un sistema de comunicación inalámbrica por medio de la utilización del dominio espacial.

Durante los últimos años la tecnología MIMO ha sido aclamada

¹²⁸ EVOLUCIÓN DE 3G Y SU CONVERGENCIA A 4G EN COMUNICACIONES MÓVILES. Javier Alonso Navarro Giovanetti. Op. Cit.

en las comunicaciones inalámbricas ya que aumenta significativamente la tasa de transferencia de información utilizando diferentes canales en la transmisión de datos o la multiplexación espacial por tener las antenas físicamente separadas.

2.10.6. HSUPA (HIGH-SPEED UPLINK PACKET ACCESS O ACCESO ASCENDENTE DE PAQUETES A ALTA VELOCIDAD)

Es un protocolo de acceso de datos para redes de telefonía móvil con alta tasa de transferencia de subida de hasta 7,2 Mbit/s y bajada hasta 14.4Mbps. Calificado como generación 3.75 (3.75G) o 3.5G Plus, es una evolución de HSDPA, nombrado popularmente como 3.5G. La solución HSUPA potenciará inicialmente la conexión de subida UMTS/WCDMA (3G). HSUPA está definido en UMTS Release 6 estándar publicado por 3GPP como una tecnología que ofrece una mejora sustancial en la velocidad para el tramo de subida, desde el terminal hacia la red. HSDPA y HSUPA, ofrecen altas prestaciones de voz y datos, y permitirá la creación de un gran mercado de servicios IP multimedia móvil¹²⁹. HSUPA mejorará las aplicaciones de datos avanzados persona a persona, con mayores y más simétricos ratios de datos, como el e-mail en el móvil y juegos en tiempo real con otro jugador.

Las aplicaciones tradicionales de negocios, junto con muchas

¹²⁹ HSUPA http://es.wikipedia.org/wiki/High-Speed_Uplink_Packet_Access

aplicaciones de consumidores, se beneficiarán del incremento de la velocidad de conexión ¹³⁰.

2.10.7. HIGH-SPEED PACKET ACCESS (HSPA)

Es la combinación de tecnologías anteriores y complementarias a la 3ra generación de telefonía móvil (3G), como son el 3.5G o HSDPA y 3.5G Plus, 3.75G o HSUPA ¹³¹.

Teóricamente alcanza velocidades de hasta 14,4 Mbit/s en bajada y 2 a 7.2 Mbit/s en subida, dependiendo del estado o la saturación la red y de su implantación ¹³².

A finales de 2008 se lanzó un estándar más avanzado, Evolved HSPA (también conocido como HSPA+), adoptado a nivel mundial en 2010. Definido en la versión 7 de 3GPP Este nuevo estándar proporciona velocidades de datos de hasta 84 Megabits por segundo (Mbit/s) de bajada y 22 Mbit/s de subida, a través de una técnica multi-antena conocida como MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*) y modulación 64-QAM. Sin embargo, estas velocidades representan picos teóricos que difícilmente se llegan a alcanzar. Al lado de la celda (sector, máximo 3 sectores por sitio), se alcanzan velocidades apenas superiores a los 14.4 Mbps de HSDPA, a menos que se utilice un canal mayor a los 5 Mhz. Las versiones posteriores de

¹³⁰ HSUPA. Op. Cit.

¹³¹ EVOLUCIÓN DE 3G Y SU CONVERGENCIA A 4G EN COMUNICACIONES MÓVILES. Javier Alonso Navarro Giovanetti. Op. Cit.

¹³² Ídem.

HSPA+ soportarán velocidades de hasta 168 Mbps utilizando múltiples portadoras, y hasta 672 Mbps según lo propuesto para las versiones posteriores de 3GPP, utilizando técnicas avanzadas de antena ¹³³.

2.10.8. LTE (LONG TERM EVOLUTION). LTE (4G)

Es también conocida como evolución a largo plazo de UMTS o Acceso de radio terrestre por UMTS y forma parte de la versión 8 de las especificaciones del 3GPP ¹³⁴.

El objetivo de LTE es proporcionar un acceso de radio capaz de alcanzar velocidades de tráfico de hasta 100Mbps en Downlink y 50Mbps en Uplink. Esta tecnología opera en las mismas frecuencias que UMTS con BW variables de 20Mbps ¹³⁵.

Además ofrecerá menores tiempos de latencia lo que hace reducir los tiempos de acceso a un servicio y la respuesta de la red a cualquier solicitud ¹³⁶.

¹³³ EVOLUCIÓN DE 3G Y SU CONVERGENCIA A 4G EN COMUNICACIONES MÓVILES.
Javier Alonso Navarro Giovanetti. Op. Cit.

¹³⁴ Ídem.

¹³⁵ Ídem.

¹³⁶ Ídem.



Fig. 2.19 Equipos 4G LTE

En el aspecto económico, LTE incluye costos de despliegue y puesta en marcha del servicio. Los costos de implementación, incluye la migración de las redes UMTS a los nuevos requerimientos, ya que estos cambios no implican la red de radio sino el CORE de la red. Para esto el grupo de trabajo del 3GPP denominado System Architecture Evolution, trata de encontrar la solución óptima de red capaz de soportar estos cambios ¹³⁷.

2.10.9. LTE-ADVANCED

Las especificaciones de LTE en 3GPP norma Release 8 se acaba de terminar, cuando se comenzó a trabajar en el nuevo LTE-A, norma Release 9 y más allá). LTE-A cumple o excede los requisitos impuestos por la ITU para la Cuarta Generación (4G) de los sistemas móviles, también llamado IMT-A. Estos requisitos eran indispensables hace unos años, pero ahora son una realidad. Velocidades de datos máximas de 1 Gbps con

¹³⁷ EVOLUCIÓN DE 3G Y SU CONVERGENCIA A 4G EN COMUNICACIONES MÓVILES. Javier Alonso Navarro Giovanetti. Op. Cit.

anchos de banda de 100 MHz para el enlace descendente , una latencia muy baja , la gestión de las interferencias más eficiente y la reducción de los costos operativos son claros, ejemplos de por qué LTE-A es tan atractivo para los operadores. La brecha de calidad no sólo afecta a los operadores, sino también a los usuarios, que van a experimentar los estándares de calidad similar a la fibra óptica terminal. Para llegar a estos niveles de capacidad y calidad, el 3GPP, están desarrollando diferentes mejoras tecnológicas en LTE. Las más importantes propuestas tecnológicas para LTE -A son: apoyo de mayor ancho de banda (agregación de portadoras), MIMO, CoMP, repetidores, mejoras para la estación eNodeB (HeNB) y comunicaciones de tipo de máquina¹³⁸.

2.10.10. NUEVOS MÉTODOS DE TRANSMISIÓN PARA LTE.

3GPP se ha dedicado a buscar nuevos métodos de transmisión y modelos de arquitectura. LTE no está basado en WCDMA al igual que UMTS, en el Downlink el método de transmisión escogido es OFDMA (Orthogonal Frequency División Multiple Access). OFDMA es también utilizado en tecnologías como Wimax o DVB-T. OFDMA ofrece una robusta transmisión de datos con una buena eficiencia espectral. En el Uplink el método usado por LTE es el SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access) que fue seleccionado por sus

¹³⁸ LTE: “nuevas tendencias en comunicaciones móviles” (<http://es.scribd.com/doc/60165166/15/Arquitectura-del-sistema-LTE>)

favorables características de señal. Las señales SC-FDMA presentan menores factores de cresta que las OFDMA y ello redundará en un más sencillo desarrollo de la etapa amplificadora de los móviles. El empleo de antenas múltiples, conocido como MIMO (Multiple Input Multiple Output) es otra característica importante de LTE. Sobre todo el uso de dos antenas de transmisión y recepción en la estación base, en los móviles cobra especial relevancia. En un sistema MIMO, las antenas de transmisión disponibles transmiten simultáneamente cadenas de datos independientes al mismo recurso de radio, pudiendo pertenecer al mismo usuario o a otro. Los sistemas MIMO ofrecen tablas de transmisión de datos considerablemente superiores y son, por tanto, un componente fundamental de LTE. Además de los métodos de transmisión física, la arquitectura del protocolo LTE ha sido completamente reformada. El objetivo es conseguir una arquitectura menos compleja que la existente para UMTS. La estación LTE, que es conocida como eNodeB (eNB), engloba importantes funciones en la red de radio y se conecta directamente al puerto de acceso (aGw) del core de la red vía interface S1. Las funciones del RNC son asumidas de forma mayoritaria por la estación base de LTE y parcialmente por la puerta de acceso ¹³⁹.

LTE no necesita de canales dedicados, los cuales asignan un recurso fijo al usuario durante toda la conexión. En vez de eso,

¹³⁹ EVOLUCIÓN DE 3G Y SU CONVERGENCIA A 4G EN COMUNICACIONES MÓVILES. Javier Alonso Navarro Giovanetti. Op. Cit.

la estación base informa al usuario, si es necesario del recurso que está disponible para la transmisión de datos. Este principio de compartición de canales es usado también en HSDPA y es ideal para la transmisión de servicios con arquitectura de paquetes. De igual modo, LTE emplea para la corrección de errores el método HARQ (Hybrid automatic repeat request) empleado en HSDPA y HSUPA. HARQ permite de forma rápida la retransmisión de paquetes recibidos de manera errónea .

Para poder mejorar los servicio de banda ancha móvil, surge la clara necesidad de evolucionarlas existentes redes de datos. Por esto el 3GPP ha trabajado en la normalización de la red y se espera que esté lista en el Rel 8 ¹⁴⁰.

Los puntos clave para definir esta nueva arquitectura es la simplificación de la misma, con el objeto de reducir los tiempos de latencia, tanto en el plano de control como en el usuario. Esta simplificación se traduce en una redefinición de los procesos de señalización, así como el número de nodos implicados en una red actual ¹⁴¹.

2.11. CONCLUSIONES PREVIAS DE TECNOLOGIA 4G (LTE)

En telecomunicaciones, 4G (también conocido como LTE que son las siglas utilizadas para referirse a la cuarta generación de tecnologías de

¹⁴⁰ EVOLUCIÓN DE 3G Y SU CONVERGENCIA A 4G EN COMUNICACIONES MÓVILES. Javier Alonso Navarro Giovanetti. Op. Cit.

¹⁴¹ Ídem.

telefonía móvil). Es la sucesora de las tecnologías 2G y 3G, y que precede la próxima generación, la 5G ¹⁴².

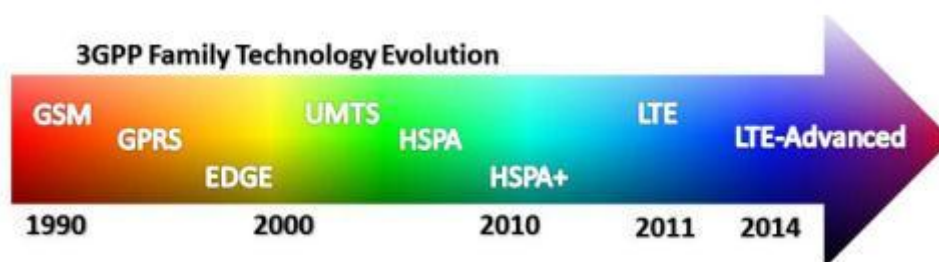


Fig. 2.20 Evolución de tecnologías

La 4G está basada completamente en el protocolo IP, siendo un sistema de sistemas y una red de redes, que se alcanza gracias a la convergencia entre las redes de cables e inalámbricas. Esta tecnología podrá ser usada por módems inalámbricos, móviles inteligentes y otros dispositivos móviles ¹⁴³.

La principal diferencia con las generaciones predecesoras será la capacidad para proveer velocidades de acceso mayores de 100 Mbit/s en movimiento y 1 Gbit/s en reposo, manteniendo una calidad de servicio (QoS) de punta a punta de alta seguridad que permitirá ofrecer servicios de cualquier clase en cualquier momento, en cualquier lugar, con el mínimo coste posible ¹⁴⁴.

El WWRF (Wireless World Research Forum) pretende que 4G sea una fusión de tecnologías y protocolos, no sólo un único estándar, similar a 3G, que actualmente incluye tecnologías como lo son GSM y CDMA.1

¹⁴² PAPER: "especial 4G" (<http://aldiaconlainformatica25.blogspot.com/2013/09/especial-4g.html>)

¹⁴³ Ídem.

¹⁴⁴ Ídem.

Por su parte, el ITU indicó en 2010 que tecnologías consideradas 3G evolucionadas, como lo son WiMax, HSPA+ y LTE, podrían ser consideradas tecnologías 4G¹⁴⁵.

La empresa NTT DoCoMo en Japón, fue la primera en realizar experimentos con las tecnologías de cuarta generación, alcanzando 100 Mbit/s en un vehículo a 200 km/h ¹⁴⁶.

La firma lanzó los primeros servicios 4G basados en tecnología LTE en diciembre de 2010 en Tokyo, Nagoya y Osaka. En el resto del mundo se espera una implantación sobre el año 2020. El concepto de 4G (LTE) trae unas velocidades mayores a las de 301 Mbit/s con un rating radio de 8 MHz; entre otras, incluye técnicas de avanzado rendimiento radio como MIMO y OFDM ¹⁴⁷.

Dos de los términos que definen la evolución de 3G, siguiendo la estandarización del 3GPP, serán LTE ('Long Term Evolution') para el acceso radio, y SAE ('Service Architecture Evolution') para la parte núcleo de la red. Los requisitos ITU y estándares 4G indican las siguientes características ¹⁴⁸:

- Para el acceso radio abandona el acceso tipo CDMA característico de UMTS.
- Uso de SDR (Software Defined Radios) para optimizar el acceso radio.

¹⁴⁵ PAPER: "especial 4G". Op. Cit.

¹⁴⁶ Ídem.

¹⁴⁷ Ídem.

¹⁴⁸ Idem.

- La red completa prevista es todo IP.
- Las tasas de pico máximas previstas son de 100 Mbit/s en enlace descendente y 50 Mbit/s en enlace ascendente En febrero de 2007, la firma japonesa NTT DoCoMo testeó un sistema prototipo de 4G con 4x4 MIMO llamado VSF-OFCDM a 100 Mbit/s en movimiento, y 1 Gbit/s detenido.
- En 2008, ITU-R estableció el detalle de los requerimientos de desempeño para IMT-Avanzado, mediante una circular.
- En noviembre de 2008, HTC anuncia el primer móvil habilitado para WiMax, conocido como Max 4G.
- En marzo de 2009, la empresa lituana LRTC anuncia a la primera red 4G operativa en los países bálticos.
- En diciembre de 2009, se anuncia la primera implementación comercial de LTE, en Estocolmo y Oslo, a través de TeliaSonera. El módem ofrecido fue manufacturado por Samsung.
- En febrero de 2010, la empresa EMT inaugura la red LTE 4G en régimen de prueba, en Estonia.
- En mayo de 2010 la empresa estatal Copaco-Vox de Paraguay licita la primera red LTE de Sudamérica
- En junio de 2010, Sprint Nextel lanza el primer móvil inteligente WiMax de Estados Unidos, conocido como el HTC Evo 4G.
- En julio de 2010, MTS implementa LTE en Tashkent.
- En agosto de 2010 en Letonia la empresa LMT inaugura la red LTE 4G a modo de prueba en el 50% de su territorio.
- En diciembre de 2010, en el Seminario Mundial de

Radiocomunicaciones, ITU establece que LTE y WiMax, así como otras tecnologías evolucionadas del 3G pueden ser consideradas 4G.

- En diciembre de 2010, VivaCell-MTS lanza en Armenia un test comercial 4G/LTE.
- El 6 de Abril de 2011 Entel lanza la tecnología 4G LTE para Bolivia
- En noviembre de 2011 la empresa ANTEL de Uruguay anuncia que la tecnología 4G/LTE estará por primera vez en América Latina en Uruguay, más precisamente en Punta del Este a partir de la primera quincena de diciembre de 2011, siendo así el primer país del continente con tecnologías de cuarta generación (ya se ofrecían servicios HSPA+ desde hacía un tiempo)
- En noviembre de 2011 (Movistar Venezuela) anuncia pruebas 4G/LTE en el Edo. Aragua con una duración de 3 meses, cumpliendo con el periodo aprobado por el regulador estatal (Conatel)
- En el año 2011 la empresa UNE EPM Telecomunicaciones anuncia el lanzamiento de la tecnología 4G/LTE en Colombia para el primer trimestre del año 2012 en la banda de 2,5 GHz, siendo así la segunda compañía en Latinoamérica en contar con dicha tecnología después de Uruguay, aunque de por sí ya venía trabajando tecnología 4G bajo la tecnología WiMax
- En abril de 2012, Digitel anuncia que empieza el desarrollo del despliegue de 4G/LTE en Venezuela, realizando pruebas en LTE con ayuda de ZTE y Huawei, en la banda de 1,8 GHz.
- Para junio del 2012 la empresa Orange anuncio la primera red 4G/LTE en República Dominicana. Primero con cobertura solo en la

capital, para luego extenderla en todo el territorio nacional con una inversión de US\$150MM.

- Para julio de 2012, Movistar realizó las segundas pruebas 4G/LTE en la capital de Venezuela utilizando las frecuencias AWS (1,7 y 2,1 GHz) y la Banda de 700 MHz donde LTE hasta ahora, sólo se encuentra disponible en 6 países de Latinoamérica –Colombia, Puerto Rico, Brasil, Paraguay, Uruguay y México.
- En julio de 2012, la Subsecretaría de Transportes y Telecomunicaciones de Chile (Subtel), declaró ganadores de licitación pública para entregar servicio 4G en Chile a las empresas Claro, Movistar y Entel. Dichas compañías tendrán un año de plazo para dejar funcionando el servicio a nivel nacional.
- En noviembre de 2012, Telcel lanza en México su red 4G LTE con velocidades de 20 Mbit/s.
- En febrero del 2013, Personal lanza su servicio LTE en Paraguay, así como las empresas nacionales VOX y Copaco con los módems USB y los módems router LTE con velocidades de hasta 60 Mbit/s.
- El 26 de Junio de 2013, en Colombia el MinTic subastó 6 espectros en la red 4G, donde se originaron 2 nuevos operadores móviles (DirecTV y Avantel) y los operadores actuales (Movistar, Claro y consorcio Tigo-ETB) se hicieron a un espectro en esta red. Con esto, Colombia terminaría el año con 6 operadores móviles (Claro, Movistar, UNE-EPM, Avantel, Tigo-ETB y DirecTV), siendo el país latinoamericano con la mayor oferta de servicios móviles. En la subasta la nación recibió 770.000 millones de pesos superando, con

creces, los 450.000 millones de pesos que se tenían calculados inicialmente

- El 27 de junio de 2013 Claro Chile lanzo su servicio 4G LTE en Chile.
- El 22 de julio del 2013 Telefónica Móviles y Americatel Perú obtuvieron la licitación de las frecuencias 4G LTE de 1700 MHz y 2100 MHz respectivamente. El servicio se puso activo a partir del 2 de enero del 2014 se inició la primera etapa oficialmente el 7 distritos de lima-Perú).
- El 17 de junio del 2014 se inició la primera etapa oficialmente el 4 distritos de Arequipa-Perú)



Fig. 2.21 Bandas licitadas por la operadora movistar

Las tecnologías de telefonía móvil han sufrido un significativo cambio en los últimos años y para poder clasificar los avances tecnológicos involucrados se han establecido una serie de generaciones ¹⁴⁹.

Hoy en día estamos en la generación 3.5G y 4G que nos permite la utilización de los avances tecnológicos y las aplicaciones que hoy ofrece

¹⁴⁹ EVOLUCIÓN DE 3G Y SU CONVERGENCIA A 4G EN COMUNICACIONES MÓVILES. Javier Alonso Navarro Giovanetti. Op. Cit.

el mercado. Hay dos grandes tendencias tecnológicas en lo que se refiere a redes telefonía móvil, GSM (Global System for Mobile) y CDMA (Code division multiple Access), cada una de las cuales ha tenido su propia evolución y se han ido acomodando a las últimas exigencias ¹⁵⁰.

En el principio de las generaciones móviles, el terminal era usado solo para llamadas telefónicas, luego se añadió envío de mensajes de texto a una velocidad de 9,6 kbps y con este cambio se produce un avance a las dos primeras generaciones. La evolución de la segunda generación, está caracterizada por aumento en la velocidad para transmitir datos y la conexión a internet lo que ha producido un mayor consumo y requerimientos por parte de los clientes, para esto la velocidad ha sido una limitante en esta generación. La 3G, permite solventar las deficiencias de la 2G logrando aumentar la velocidad a un máximo de 4Mbps, con esto se ha tenido que rediseñar equipos del cliente y las arquitecturas de red para que sean compatibles a estas capacidades, pero sigue habiendo un límite, la capacidad de la radio y las bandas de frecuencias para que tanto tráfico pueda ser abastecido a la población, por esto la evolución de la 3G enfoca a nuevos métodos de modulación y codificación para la transmisión ¹⁵¹.

Las nuevas características de las arquitecturas de red, también han permitido abastecer no solo al servicio móvil, sino también ahora se puede prestar el servicio de conexión a internet a equipos fijos y note

¹⁵⁰ EVOLUCIÓN DE 3G Y SU CONVERGENCIA A 4G EN COMUNICACIONES MÓVILES. Javier Alonso Navarro Giovanetti. Op. Cit.

¹⁵¹ Idem.

books, esto le ha permitido competir con las conexión de banda ancha fijas. Lo que se espera a un futuro es la tecnología LTE-Advanced, la que tiene como objetivo mejorar es la actual 4G y unificar los sistemas para que el cliente tenga un servicio estable en cualquier parte del mundo con el mismo terminal móvil.

Además de aumentar considerablemente la velocidad, lo que permitirá una gama más amplia de servicios y facilidades¹⁵².



¹⁵² EVOLUCIÓN DE 3G Y SU CONVERGENCIA A 4G EN COMUNICACIONES MÓVILES.
Javier Alonso Navarro Giovanetti. Op. Cit

CAPÍTULO 3

INGENIERÍA DEL PROYECTO



Las comunicaciones móviles se han convertido, en los últimos años, en uno de los focos principales de las economías nacionales, tanto desde el punto de vista de ingresos generados como inversiones realizadas por los diferentes operadores, como las prestaciones que brindan estas tecnologías y que facilitan la vida de las personas y organizaciones.

Esta creciente importancia se debe a un cambio en la demanda de los servicios y aplicaciones por parte del usuario, ya sea organizacional o personal, empleando sus terminales móviles (tablets, Smartphone) como principal punto de acceso a Internet.

Este acceso se realiza a través del servicio de banda ancha móvil MBAS. Para la provisión de este servicio. Los operadores pueden utilizar tecnologías avanzadas de 3G como High Speed Packet Access (HSPA) así como, ahora, las 4G, Long Term Evolution (LTE).

Hemos visto la importancia del HSPA pero, en el actual panorama socio económico, es de vital importancia para los operadores maximizar el rendimiento de su inversión en equipamiento de red.

Para ello se deben realizar estudios muy avanzados, desde el punto de vista tecnológico, como comparativos del coste de inversión en la red celular de acceso de tecnologías para diferentes escenarios de tráfico de usuario a nivel nacional.

Esto implica la utilización de herramientas, software de planificación de redes que incorporen algoritmos precisos de planificación de las tecnologías.

En este trabajo presentamos algunas herramientas de planificación de redes móviles 4G mas propiamente el análisis de los principales factores o parámetros a emplearse en la implementación de esta y su aplicación al

estudio comparativo entre las tecnologías.

Redefiniremos algunos conceptos vistos en el capítulo anterior para cumplir los objetivos planteados en el capítulo 1

LTE (Long Term Evolution) 4G, el esperado estándar de la norma 3GPP. Para algunos nombrada como una evolución de la norma (3GPP UMTS) 3G y otros indican que es un nuevo concepto de arquitectura evolutiva (4G).¹⁵³

La novedad de LTE es la interfaz radioeléctrica establecido en el Acceso múltiple por división de frecuencias ortogonales (OFDMA) sujeta al enlace

Descendente (DL) y el SC-FDMA sujeta al enlace ascendente (UL)¹⁵⁴. La modulación elegida por el estándar 3GPP hace que las diferentes tecnologías de antenas (MIMO) tengan una mayor facilidad de implementación.

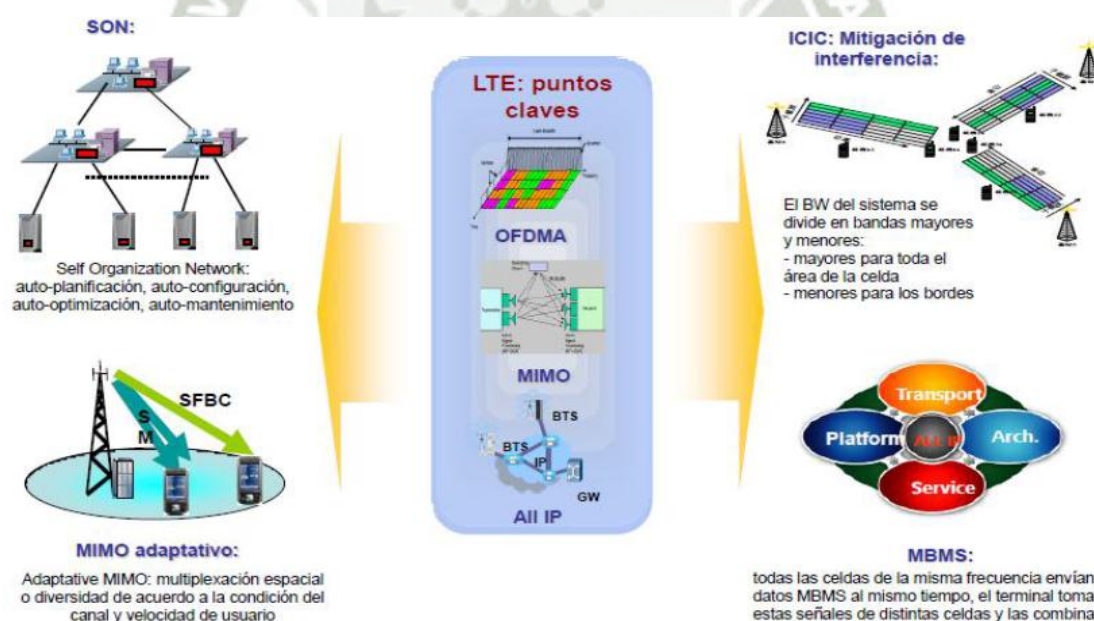


Fig. 3.1 Puntos de clave de LTE

¹⁵³ LTE: "nuevas tendencias en comunicaciones móviles". Op. Cit.

¹⁵⁴ LTE: "Long Term Evolution – Diseño de redes" (<http://www.slideshare.net/julesrod/universidad-de-orient-23198200>)

Otro factor que interviene en la determinación de un sistema 4G LTE son las configuraciones de antenas MIMO

MIMO, acrónimo en inglés de *Multiple-input Multiple-output* (en español, *Múltiple entrada múltiple salida*)¹⁵⁵.

Se expone concretamente tal como son manejadas las ondas de recepción y transmisión en antenas para equipos inalámbricos como los enrutadores. El formato de transmisión inalámbrica tradicional, la señal es perjudicada por reflexiones, lo cual ocasiona degradación o corrupción de la misma y a la vez pérdida de datos¹⁵⁶.

Multiple-input Multiple-output emplea fenómenos físicos como la propagación multicamino para acrecentar la tasa de transmisión y reducir la tasa de error. Siendo breves, MIMO amplía la eficiencia espectral de un sistema de comunicación inalámbrica por medio de la utilización del dominio espacial .

En estos últimos años esta tecnología MIMO ha sido elogiada en las comunicaciones inalámbricas lo cual amplía significativamente la tasa de transferencia de información utilizando canales distintos en la transmisión de datos o la multiplexación espacial por tener las antenas físicamente separadas¹⁵⁷.

La utilización de *Múltiple entrada múltiple salida*, aplica la propagación por trayectorias múltiples en canales de radiotransmisión, en el cual los estándares

¹⁵⁵ MIMO: "Multiple-input Multiple-output" (http://es.wikipedia.org/wiki/Tecnolog%C3%AD_a_MIMO)

¹⁵⁶ Ídem.

¹⁵⁷ Ídem.

de radiotransmisión habituales se perciben como interferencia perturbadora, en otras palabras, mejora la calidad y la velocidad de la transmisión con el uso simultáneo de varias antenas receptoras y trasmisoras. Cada ruta adicional en MIMO entre el TX y el RX aumenta la distancia entre señal y ruido . La recepción por trayectorias múltiples favorece en especial a las aplicaciones móviles por lo que se puede reducir el nivel de recepción mínimo. La gran parte de los modos de funcionamiento y los estándares de comunicación MIMO se determinan para dos, tres o cuatro antenas ¹⁵⁸.

Se establece en los sistemas MIMO una divergencia entre la diversidad de transmisión y la multiplexación de espacio “(*spatial division multiplex*)”. Cuando se utiliza la diversidad de transmisión se transmite un flujo de bits de forma simultánea a través de dos antenas, teniendo en cuenta una codificación diferente para cada una. Esta codificación es planteada por el procedimiento de Alamouti, por lo cual mejora la capacidad en los límites y la distancia entre la señal y ruido ¹⁵⁹. La velocidad de transmisión aumenta sólo de forma indirecta como resultado de la mejora de la calidad de la señal. En la multiplexación de espacio se transmiten diferentes flujos de bits en dos antenas de recepción simultáneamente. Esto incrementa el caudal de datos y mejora el aprovechamiento del ancho de banda ¹⁶⁰.

¹⁵⁸ Tutorial LTE: “Redes de telecomunicaciones” (<http://www.ipv6go.net/lte/mimo.php>)

¹⁵⁹ Ídem.

¹⁶⁰ Ídem.

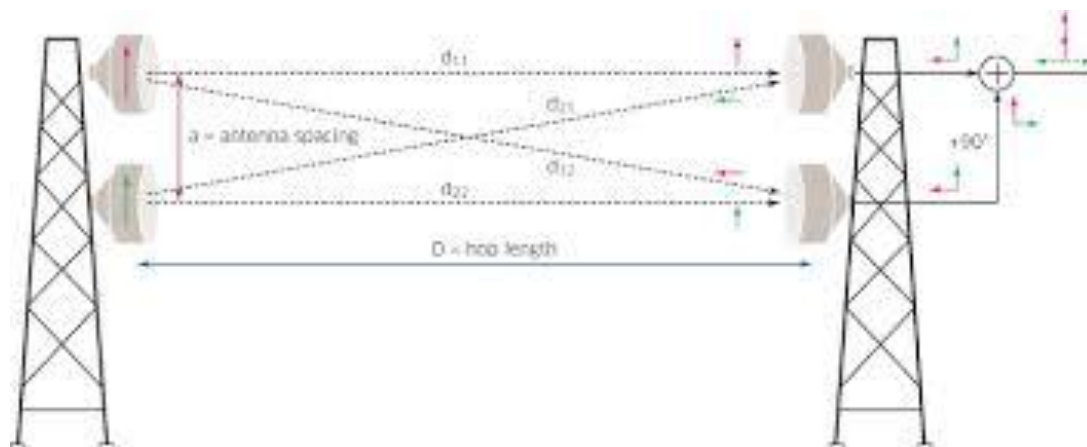


Fig. 3.2 Sistema MIMO en antenas

En los sistemas de radiocomunicación modernos, continuamente la estación base adapta la codificación de la señal para aprovechar de forma óptima la propagación por trayectorias múltiples. Para que el transmisor reduzca la correlación entre las rutas de propagación, el TX puede retrasar todas las señales de transferencia, menos una. Este sistema se conoce como *cyclic delay shift* o *cyclic delay diversity*¹⁶¹.

Generalmente utilizamos el método Collaborative MIMO para la transferencia en la red de telefonía móvil, esto hace que una estación base pueda servir a más equipos móviles (usuarios). Collaborate MIMO es similar al método de multiplexación de espacio pero no utiliza dos antenas transmisoras, sino que dos usuarios envían en la misma frecuencia. Esto aumenta el rendimiento de todo el sistema pero no el de cada usuario¹⁶².

Recordando, referente al hardware y antenas apropiadas MIMO, es una tecnología relativamente nueva de enlace inalámbrico que permite la conexión en red de diversos ordenadores con un alcance y velocidad superior al de las

¹⁶¹ Tutorial LTE: "Redes de telecomunicaciones". Op. Cit.

¹⁶² Ídem.

tecnologías tradicionales, utilizando múltiples antenas y el hardware apropiado¹⁶³.

La señal transmitida en los sistemas inalámbricos de esta actualidad viene por un Router con un punto de acceso inalámbrico o una tarjeta de red inalámbrica lo cual es enviada por una antena, lógicamente en línea recta, en caso es obstaculizada por algún objeto, debilita o anula su recepción. No obstante, la señal se refleja en muebles, paredes etc. y a menudo es manifestada como una interferencia, y como consecuencia, anulada ¹⁶⁴.

Los sistemas MIMO reciben y envían la señal por diversas antenas (normalmente dos o tres), y mediante un sistema inteligente, pre amplifican y reemiten las señales incluso las reflejadas por ende se obtiene ¹⁶⁵:

- Un menor margen de error. Son comparadas con la original y re amplificadas si son correctas, y anuladas si son una interferencia real.
- Un mayor alcance. Los objetos que se encuentran entre dos puntos de comunicación, ya no merman la potencia de la señal, que es enviada por otras antenas.
- Una mayor velocidad. No porque la ganen, sino porque no la pierden a la hora de la comparación de datos recibidos.

Si comparamos un sistema inalámbrico convencional (802.11b/g) con un MIMO en 802.11n, se puede hasta sextuplicar el alcance y llegar a velocidades de 300 Mbps., siempre en la banda de 2.4 GHz., que pronto pasará a una

¹⁶³ MIMO: “Tecnología inalámbrica” (<http://www.malavida.com/blog/44/mimo-tecnologia-inalambrica>)

¹⁶⁴ Ídem.

¹⁶⁵ Ídem.

frecuencia más limpia y más elevada ¹⁶⁶.

Hay que tener en cuenta un factor importante, si empleamos una red MIMO, todos sus componentes tienen que serlo, pues de lo contrario, se pierden las ventajas de este sistema. La tecnología MIMO se aplica en la implementación 4G LTE .

3.1. Características

Con respecto a 4G LTE ¹⁶⁷

- Trabaja con un Ancho de banda adaptativo de 1.4, 3, 5, 10, 15 y 20 MHz
- Con una celda de 5 MHz puede operar con más de 200 usuarios.
- Perfecto para desplazamientos hasta 15 km/h. Compatible hasta 500 km/h
- Velocidades teóricas de pico: Subida: 86,5 Mbps y Bajada: 326,5 Mbps para 4x4 antenas, 172,8 Mbps para 2x2 antenas
- Capacidad para funcionar en muchas bandas frecuenciales diferentes.
- Muy baja latencia con valores de 100 ms para el Control-Plane y 10 ms para el User-Plane.
- Separación del plano de usuario y el plano de control mediante interfaces abiertas.
- Compatibilidad con otras tecnologías de 3GPP.
- Multi-antena de aplicación.

¹⁶⁶ MIMO: "Tecnología inalámbrica". Op. Cit.

¹⁶⁷ LTE: "Long Term Evolution – Diseño de redes". Op. Cit.

- Arquitectura simple de protocolo.
- Red de frecuencia única OFDM.
- Acceso múltiple por división de frecuencias ortogonales con Alta eficiencia espectral de enlace descendente robusto frente a las múltiples interferencias y de alta afinidad a las técnicas avanzadas como la programación de dominio frecuencial del canal dependiente y MIMO ¹⁶⁸.
- Interfuncionamiento con otros sistemas como CDMA2000.

Tamaño óptimo de las celdas es 5 km, pudiendo llegar de 100 a 500 km con pequeñas degradaciones cada 30 km. El Handover entre tecnologías 2G (GSM - GPRS - EDGE), 3G (UMTS - W-CDMA - HSPA) y LTE son transparentes. LTE nada más soporta hard-handover ¹⁶⁹.

Las tecnologías 2G y 3G están basadas en técnicas de Conmutación de Circuito (CS) para la voz mientras que LTE propone la técnica de Conmutación por paquetes IP (PS) al igual que 3G (excepto la comunicación de voz) ¹⁷⁰. Las operadoras UMTS pueden usar más espectro, hasta 20 MHz

Flexibilidad y Mejora del uso del espectro (TDD y FDD) elaborando una gestión más eficaz del mismo, lo que incluiría servicios unicast y broadcast. Alta fidelidad para redes de Banda Ancha Móvil y reducción en TCO (coste de análisis e implementación) ¹⁷¹.

¹⁶⁸ LTE: "Long Term Evolution – Diseño de redes". Op. Cit.

¹⁶⁹ Ídem.

¹⁷⁰ Ídem.

¹⁷¹ Ídem.

Categorías de los equipos LTE versión 8						
Categoría		1	2	3	4	5
Pico por ratio	Bajada	10	50	100	150	300
	Subida	5	25	50	50	75
Capacidad para funciones físicas						
Ancho de banda RF		20 MHz				
Modulación	Bajada	QPSK, 16QAM, 64QAM				
	Subida	QPSK, 16QAM				QPSK, 16QAM, 64QAM
Multi-antena						
2Rx		Asumido en los requerimientos de rendimiento				
2x2 MIMO		No soportado	Obligatorio			
4x4 MIMO		No soportado				Obligatorio

Principales parámetros LTE versión 8		
Tipo de acceso	Subida	DFTS-OFDM
	Bajada	OFDMA
Ancho de banda		1.4, 3, 5, 10, 15, 20 MHz
Mínimo TTI		1 ms
Espacio de la subportadora		15kHz
Prefijo de longitud ciclica	Corto	4,7µs
	Largo	16,7µs
Modulación		QPSK, 16QAM, 64QAM
Multiplexación espacial		Una sola capa para subida para UE Hasta 4 capas para bajada para UE MU-MIMO soportado para subida y bajada

Tabla 3.1 Principales parámetros y categorías de los equipos LTE

3.2. Arquitectura de 4G

La arquitectura de radio y la interfaz del sistema LTE son completamente nuevas. Estas actualizaciones fueron definidas como Envolved UTRAN (E-UTRAN).¹⁷²

Recordando que es UTRAN: Universal Mobile Telecommunications System (Red de Acceso Radio Terrestre UMTS). La UMTS muestra una arquitectura en la cual se describen tres elementos principalmente, el UE o equipo de usuario, UTRAN y el Core Network (red central). La UTRAN permite a los equipos de usuario acceder al núcleo de red de UMTS, una de las principales redes de comunicaciones móviles inalámbricas de tercera generación (3G) . La UTRAN ha desarrollado un sistema para alcanzar altas velocidades de transmisión. Nuevos tipos de transferencia de datos y algoritmos ayudan a alcanzar esta velocidad ¹⁷³.

¹⁷² LTE: “Evolución a largo plazo” (<http://www.slideshare.net/montoya118/lte-long-term-evolution-10785345>)

¹⁷³ Red 4G LTE “Comunidad Moviles” (http://www.comunidadmoviles.com/red_4g_lte_argentina_se_frena_por_falta_de_frecuencias-t97199.0.html)

Un trascendental resultado de la E-UTRAN ha sido la reducción del costo y la complejidad de los equipos, esto es gracias a que se ha eliminado el nodo de control (conocido en UMTS como RNC) ¹⁷⁴. Por tanto, las funciones de control de recursos de radio, control de calidad de servicio y movilidad han sido integradas al nuevo Node B, llamado envolved Node B ¹⁷⁵. Todos los eNB se conectan a través de una red IP y se pueden comunicar unos a otros usando el protocolo de señalización SS7 sobre IP. Los esquemas de modulación empleados son QPSK, 16-QAM y 64-QAM. La arquitectura del nuevo protocolo de red se conoce como SAE donde eNode gestiona los recursos de red ¹⁷⁶.

3.3. Análisis de los parámetros y Herramientas usadas para la implementación del sistema propuesto

Este ítem trata sobre el análisis de las herramientas para una formulación a nivel de anteproyecto, utilizadas para poder implementar un sistema 4G (LTE) situando el inconveniente en perspectiva, los datos 3G corren a través de una red telefónica mientras que los datos 4G LTE lo hacen en una red de datos de internet con un ancho de banda mucho mayor que de seguir evolucionando podría llegar a competir incluso con la red de internet fija ¹⁷⁷.

La implementación del servicio 4G LTE en Perú, especialmente en Arequipa, favorecerá a descomprimir la red 3G que se encuentra casi

¹⁷⁴ LTE: "Evolución a largo plazo". Op. Cit.

¹⁷⁵ Ídem.

¹⁷⁶ Ídem.

¹⁷⁷ Red 4G LTE "Comunidad Moviles". Op. Cit.

saturada debido a la cantidad de teléfonos celulares que se venden y la falta de antenas, actualmente los usuarios navegan a través de un espectro muy limitado que provoca que el servicio no funcione como debería ¹⁷⁸.

Por lo consiguiente, los arequipeños no podremos aprovechar de una red 4G en su mayoría de los distritos finalizando el 2014 o comienzos del año 2015 ya que colocar antenas o modificar las existentes es una tarea que lleva mucho tiempo sumado al hecho de que para implementar la red 4G se requiere un funcionamiento correcto del 3G, imposible de momento debido a la falta de antenas que perjudican su rendimiento y siendo un problema imposible de solucionar ya que el ancho de banda asignado a Movistar y Americatel no se puede ampliar. Indiscutiblemente es un tema de presupuesto ¹⁷⁹.

Por lo cual, ¿Qué falta para que se implemente la red 4G LTE en su totalidad en nuestro país? ¹⁸⁰. Que las operadoras estén dispuestas a invertir los millones comprometidos para la implementación de la red 4G.

Los dispositivos electrónicos inalámbricos, como los celulares y las tabletas, al igual que las antenas que difunden la señal, envían y reciben datos por medio de radiación electromagnética.

Como sabemos, el espectro electromagnético es el conjunto de todas las frecuencias posibles en las que puede oscilar la radiación electromagnética. Esta radiación puede oscilar desde unos 1.000 hertz

¹⁷⁸ Red 4G LTE "Comunidad Móviles". Op. Cit.

¹⁷⁹ Ídem.

¹⁸⁰ Ídem.

hasta varios exahertz (EHZ), unidad que equivale a un billón de millones de hertz.

Las 'bandas' son partes de este espectro que son útiles para varios propósitos. Por ejemplo, la radio AM tiene una franja de frecuencia de entre 540 y 1.610 kilohertz (KHz), y los hornos microondas emiten ondas electromagnéticas en una frecuencia de 2,45 GHz.

La disponibilidad de conexión 4G de los equipos depende de las bandas con las que sean compatibles.

Se realizaron pruebas de video en alta definición sin las fastidiosas pausas que se presentan actualmente o la descarga de aplicaciones en solo 10 Seg aproximadamente a través de un Smartphone ¹⁸¹.

Fehacientemente vemos velocidades nunca vistas en el país. La experiencia que consigue un cliente es prácticamente multiplicar por 10 la velocidad de transmisión de datos que uno tenía en 3G ¹⁸². Estas son precisiones de Telefónica.

Con esta nueva tecnología, si es que es realmente la 4G, los peruanos podremos acceder a servicios que demandan un gran ancho de banda como telemedicina, redes virtuales, cloud computing, vigilancia remota, TV móvil, pay per view, juegos en línea, 4 play y otros desarrollos futuros ¹⁸³.

En la conexión 4G mediante pruebas se han mostrado velocidades pico de descarga que llega más de 80 Mbps en un Smartphone y 154 Mbps

¹⁸¹ 4G LTE Perú "Primera prueba" (<http://centraldenoticiavenezuela.blogspot.com/2013/08/movistar-realiza-primera-prueba-de.html>)

¹⁸² Ídem.

¹⁸³ Red 4G LTE "Comunidad Moviles". Op. Cit.

en una laptop ¹⁸⁴.

No obstante, la velocidad para los usuarios será menor, debido al tráfico en la red y el número de conexiones. Para implementar la red 4G, el operador deberá implementar antenas con esta tecnología. Se necesita evidentemente un mucho mayor despliegue de recursos técnicos, sobre todo, antenas base ¹⁸⁵.

Es un despliegue complejo, pero necesariamente ordenado. Actualmente se tiene en el país 2,300 estaciones base aproximadamente ¹⁸⁶.

Y lo que se tiene que hacer es colocar estas nuevas antenas de 4G, pero en las mismas estaciones base donde hoy están las de 2G y 3G". Un primer y decisivo paso para lograr dicha implementación ¹⁸⁷.

Por otro lado, existen realidades de la 3G, como su relativa baja velocidad, la alta latencia, y prestaciones que ya no satisfacen a los usuarios, que hacen necesario, como una tecnología emergente, seguir por el camino del perfeccionamiento.

Evidentemente 4G es una red de mayor capacidad, que resuelve los problemas de la 3G. El mayor ancho de banda, es fundamental para satisfacer las expectativas de los usuarios: Contenido de mayor calidad, nuevos servicios comerciales, streaming de video, entre otros.

¹⁸⁴ Red 4G LTE "Comunidad Móviles". Op. Cit.

¹⁸⁵ Ídem.

¹⁸⁶ Ídem.

¹⁸⁷ Ídem.

Para realizar esta tecnología, es necesario usar microceldas y femtoceldas para conseguir una fácil implementación y una óptima distribución de la señal a costo accesible ¹⁸⁸.

En telecomunicaciones, la tecnología evoluciona aceleradamente donde nació la navegación en 2G desde el año 1990. Si bien fue un comienzo, sólo permitía un bajo ancho de banda, diez años posteriormente la tecnología 3G se implementó aumentando la velocidad de navegación que permite hasta 7,2 Mb/s. por último, y continuando con el progreso en el año 2008, se comenzaron a plasmar las primeras pruebas con las redes 4G ¹⁸⁹.

La comunicación por IP (datos inalámbricos) sigue creciendo muy rápido sin precedentes. Mientras los smartphones con sistema android o BlackBerry e iPhone, ya son comunes, al igual las Tablet, las tasas de penetración se incrementan rápidamente. La gran tecnología disponible en los Smartphone y Tablet en la actualidad hacen que las aplicaciones de video desempeñan una primordial presión sobre la red inalámbrica donde se ha pasado de un equipo básico que sólo permitía realizar y recibir llamadas, a equipos con un avance tecnológico donde por medio de la red no sólo se transmite voz, sino también encierran varios servicios como correo electrónico, redes sociales, navegación por internet, video llamadas (servicios multimedia) entre otros ¹⁹⁰.

¹⁸⁸ PLANIFICACION Red 4G“Sergio O. Manríquez López” (<http://www.slideshare.net/ingmaster1/tesis-planifiacin-de-una-red-4-glte>)

¹⁸⁹ Ídem.

¹⁹⁰ Ídem.

Consecuentemente, es imprescindible el aumento en las tasas de bajada y subida de datos, aprovechando de una mejor forma el espectro de radio, por ende se llega a proveer una mayor calidad y capacidad a los usuarios. Todos los problemas que generan el rápido crecimiento de las tecnologías, alta latencia (con frecuencia en la navegación 3G) con velocidad de internet limitada, conocimientos nuevos adquiridos por los usuarios, y el bajo ancho de canal de la telefonía móvil será solucionado con las redes 4G ¹⁹¹.

El privilegio de una enorme realización de las redes de cuarta generación es otorgar a los usuarios a estar en todo momento conectados y poder efectuar traspasos de tecnologías cuando no exista cobertura en un determinado lugar o la intensidad de señal sea muy leve ¹⁹².

Esto gracias a que la interfaz de radio de cuarta generación pretende integrar tecnologías tales como WIFI y Wimax. Al integrar estas tecnologías las velocidades de transmisión para LTE podrán bordear aproximadamente los 50Mbps como tasa de subida y 100Mbps como tasa de bajada. Bajo el protocolo IP, su flujo de información será tanto de datos como de voz ¹⁹³.

Por lo expuesto anteriormente plenamente se argumenta el análisis de la implementación de una red 4G LTE (cuarta generación), investigando el transporte de la información en la red, la planificación de la instalación

¹⁹¹ PLANIFICACION Red 4G“Sergio O. Manríquez López”. Op. Cit.

¹⁹² Ídem.

¹⁹³ Ídem.

de la red, y contiguo a esto la distribución de las antenas, los costos que implica la instalación de esta red y la implementación de una red de micro-celdas ¹⁹⁴.

3.3.1. PLANIFICACIÓN DE LA RED

La planificación de la red es una de las propiedades más significativas dentro de la implementación de la tecnología 4G, por ende se plantea en este capítulo lo integro para lograr una buena implementación de esta novedosa etapa en la cual se está trabajando ¹⁹⁵.

Se determina la planificación como el planteamiento de objetivos dentro de una tarea específica, observándolo de una manera técnica dentro de la red de acceso inalámbrico, lo cual su propósito es conectar a los usuarios, la red de transporte o transmisión que permite llevar el tráfico de los usuarios al backbone de la red y la red central. Puntualmente, los objetivos a cumplir son opuestas y obedecen a visiones distintas, tanto desde la perspectiva financiera, técnica y como de mercado ¹⁹⁶.

Por lo tanto, este proyecto de tesis, se verán los elementos fundamentales de la planificación de la red de acceso o Radio Planning ¹⁹⁷.

¹⁹⁴ PLANIFICACION Red 4G“Sergio O. Manríquez López”. Op. Cit.

¹⁹⁵ Ídem.

¹⁹⁶ Ídem.

¹⁹⁷ Ídem.

FASES DE PLANIFICACIÓN

En la búsqueda sobre la literatura del tema de planificación de redes de radio se descubre que no existen las etapas del proceso, ni lo que es la planificación ni un consenso único¹⁹⁸. Se confunde planificación con dimensionamiento o con diseño, y a veces con la planificación de la capacidad, entre otros.

A saber en esta tesis, se va a dividir el proceso de planificación en cinco grandes etapas: Dimensionamiento, Aceptación, Verificación Fase de Preparación y Detalles de la misma¹⁹⁹.

Realmente no existe un consenso acerca de lo que es dimensionamiento diseño, planificación, y tal vez el cálculo de cobertura y de capacidad están más claros, inclusivamente existen también muchas definiciones al respecto. Este proyecto no pretende diseño, sino, claramente el análisis de las herramientas necesarias en la implementación y parámetros²⁰⁰.

Al realizarse un análisis del dimensionamiento de la red, tenemos que tener en cuenta algunos parámetros de la red que se irán ocupando en el futuro.

Compréndase como dimensionamiento de red a los parámetros necesarios para que la misma funcione de la forma que el planificador desee. Todos los usuarios comprarán el servicio de

¹⁹⁸ PLANIFICACION Red 4G“Sergio O. Manríquez López”. Op. Cit.

¹⁹⁹ Ídem.

²⁰⁰ Ídem.

acceso a Internet y de VoIP²⁰¹.

El factor de reventa para Internet empresarial es complicado, ya que a las empresas se les vende un CIR (Committed Information Rate) sin embargo el factor de reventa para Internet residencial varía y lo ajusta el operador dependiendo de tipo de usuarios ²⁰².

Por lo cual el factor de reventa se define a la cantidad de veces que se vende un mismo enlace de red a los clientes de la compañía. Junto con esto hay una serie de términos para abreviar cada una de las terminologías que se ocuparan más adelante ²⁰³.

En este tipo de proyecto de envergadura real se toman en cuenta factores o parámetros para poder calcular la cantidad de BSs ²⁰⁴.

Parámetro de Entrada	Cómo Obtenerlo
Área de Cobertura en km ²	Link Budget
Usuarios: Cantidad, Tipo, Perfil, Factor de Reventa	Información de Mercado
Consumo de los usuarios, Mbps	Información de mercado
Área total a cubrir	Información de mercado
Capacidad máxima de una BS	A calcular, en función de la tecnología

Tabla 3.2 Principales parámetros y obtención para calcular la cantidad de BSs

²⁰¹ PLANIFICACION Red 4G“Sergio O. Manríquez López”. Op. Cit.

²⁰² Ídem.

²⁰³ Ídem.

²⁰⁴ Ídem.

Hay que llevar cabo el hecho del factor en que las redes no se diseñan para que la carga llegue a la capacidad total, sino que siempre se considera algo menor, su capacidad característica sería un 75% y 85 %.

Dicho entorno, la información se determina del mercado con relación al tipo, perfil y cantidad de los usuarios que comprarían el servicio .

3.3.2. ESTADO ACTUAL DE LA IMPLEMENTACION DE LAS REDES IPRAN EN AREQUIPA

Las redes actuales en los operadores móviles se basan en anillos de routers, que actúan como routers de agregación, por donde conectan los equipos de transmisión que por medio de Vlans

En la figura se puede ver la topología física del anillo IPRAN que las empresas de telecomunicaciones actuales vienen empleando en la ciudad de Arequipa

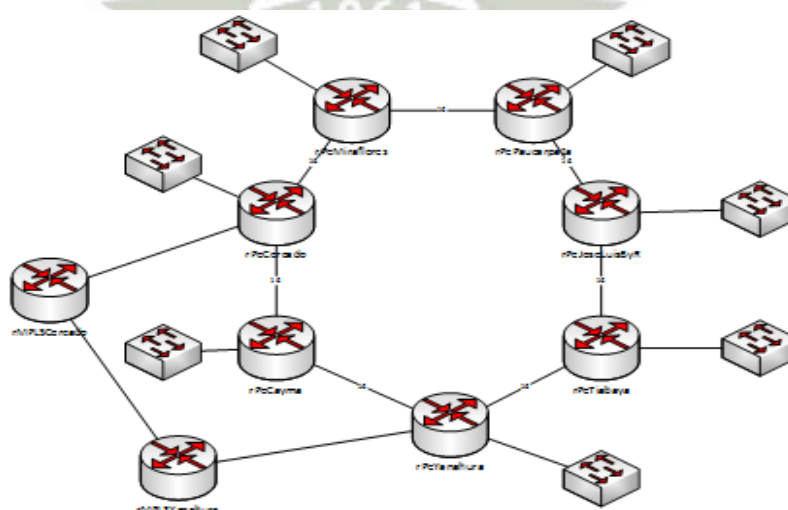


Fig. 3.3 Topología de las redes ipran actuales

Telefónica Móviles utiliza la solución IP RAN (Radio Access Network IP) de Cisco para optimizar sus redes emergentes.

Es el primer despliegue de redes de la tecnología IP RAN (redes de acceso por radio).

La implementación pone de manifiesto que se puede tener éxito en reducir los costes mientras se aceleran los despliegues.

Telefónica Móviles utiliza la tecnología IP de Cisco para reducir drásticamente los costes de líneas de transmisión y acelerar los despliegues de redes 4G,

Cisco Systems Inc. (NASDAQ:CSCO) es líder mundial en soluciones de red e infraestructuras para Internet.

3.3.3. PROCESO DE PLANIFICACIÓN PARA LA RED DE RADIO

Se examinara el proceso de planificación de la red de radio en este capítulo.

En la cuarta generación, se requiere que la implementación de la red cumpla con todos los parámetros necesarios para su correcto funcionamiento.

Se comprende la planificación, como la acción de programar alguna actividad o tarea que lleva a cabo una empresa o el ser humano. Esta planificación se realiza gracias a una sucesión de procesos que deben ser establecidos antes de la puesta en marcha del proyecto. Los proyectos de planificación de la red se

pueden dividir en tres categorías principales, según la cantidad de planificación externa, los servicios que el operador este utilizando. En caso de no haber servicios de planificación externa, por lo tanto se expresa que el operador es responsable de la planificación de la red desde el principio hasta el final ²⁰⁵.

Esta forma de compromiso total de la red de planificación es la más apropiada para operadores de red tradicionales, lo cual poseen un extenso conocimiento sobre la experiencia previa de planificación de red y las redes actuales de los recién llegados a este campo de la tecnología. No obstante, existe la dificultad de que un operador no tenga el conocimiento de los equipos de última tecnología que están disponibles en el mercado por ende corre el riesgo de que sea el responsable de la planificación de la red. Por lo contrario, Si el operador de red compra una red ya planificada nueva, se emplea solamente de los criterios de planificación, la definición de la red, entre otros. Después de que el despliegue de la red se ha finalizado, se ingresa ya instalada en la fase de optimización de la red. Dichos servicios de optimización el operador puede estar interesado en tomar parte de las operaciones de red y empezar a aprender el proceso o también pueden ser subcontratados. Dentro de la planificación si el operador no desea ser involucrado en la toma de decisiones, tendría bastantes riesgos, por lo que se dará cuenta si los estándares cumplen o no una vez puesta en marcha la red. Por

²⁰⁵ PLANIFICACION Red 4G“Sergio O. Manríquez López”. Op. Cit.

lo tanto es recomendable como mejor opción trabajar con la empresa subcontratada. También los servicios de consultoría de planificación de la red el operador de red puede comprarlos. En este aspecto, la mayoría de las funciones de planificación y externaliza determinados aspectos del trabajo el operador los realiza. Es elemental conocer cómo complementar los conocimientos del grupo de planificación de la red. Por general esto se utiliza en los casos en que las redes más antiguas son añadidas por las nuevas tecnologías ²⁰⁶.

3.3.4. PLANIFICACIÓN Y ORGANIZACIÓN DE INSTALACIÓN DE LA RED DE RADIO.

Los pasos de la planificación de redes es establecido por la organización del proyecto de planificación, puntualizado en el proceso de despliegue ²⁰⁷.

De acuerdo a los requisitos acordados el proceso para otorgar una nueva red a la empresa operadora se define como el objetivo final de la planificación del despliegue de la red. Más adelante estos pasos del proceso serán tocados así como las tareas de planificación de red y dichos resultados. Por ahora, sólo se verá el marco general del proceso de puesta en marcha del proyecto. La planificación del proceso de despliegue de la red es tratada recíprocamente con La planificación de la

²⁰⁶ PLANIFICACION Red 4G“Sergio O. Manríquez López”. Op. Cit.

²⁰⁷ Ídem.

organización de la red ²⁰⁸.

El proceso de puesta en marcha es designada tanto para el conjunto de la red como las estaciones base individualmente. No todas las estaciones base pueden ser agrupadas pero deben ser administradas en grupos, por ejemplo las que están en la fase de construcción. Hay pasos dentro del proceso que deben ser eliminados y se superponen. La planificación de la red es encargada de la organización del proyecto en conjunto, Algunas funciones como apoyo son la proyección en toda la organización, no estando específicamente relacionados a cualquiera de los equipos de proyecto así como apoyo técnico, logística, ventas, marketing ²⁰⁹.

Es todo un procedimiento en cuanto a la planificación.

Hay un equipo de planificación de la red actual y otra que es la planificación previa de red, dando propuestas respecto a lugares de instalación.

El equipo de planificación de la red cuenta con la ayuda del equipo de campo. Las propuestas de sitio son un aporte para el equipo de adquisición del sitio, que es responsable de encontrar lugares reales de ubicación ²¹⁰.

El equipo de adquisición va de la mano con estudios técnicos del

²⁰⁸ PLANIFICACION Red 4G“Sergio O. Manríquez López”. Op. Cit.

²⁰⁹ Ídem.

²¹⁰ Ídem.

sitio para proceder con el contrato de arrendamiento eligiendo la mejor ubicación para un lo cual es una decisión que es siempre la suma de varios factores. Las obras de construcción son ejecutadas por el equipo de construcción con el objetivo de preparar el sitio listo para la ejecución de las telecomunicaciones. La ubicación del sitio puede variar de un edificio existente, hasta un mástil, que se construyó a propósito. Entonces la infraestructura de construcción de un sitio varía mucho de uno a otro. La instalación es la creación de la base de equipos de alimentadores, estaciones y antenas. La puesta en marcha está para pruebas funcionales autónomas de entidades de la red. La verificación de que el sitio esté funcionando como parte de la red lo realiza la fase de integración ²¹¹.

Lo cual está disponible para su uso comercial. Un equipo de planificación de la red o un equipo de optimización por separado son encargados de la optimización de la fase de pre-lanzamiento. El propósito de esta fase es inspeccionar la funcionalidad de la red con una prueba de campo, equipo es medido para dar apoyo, por lo tanto debe demostrar que los objetivos de planificación se pueden cumplir y que los valores de los parámetros de la red son correctos ²¹².

²¹¹ PLANIFICACION Red 4G“Sergio O. Manríquez López”. Op. Cit.

²¹² Ídem.

3.3.5. Criterios De Planificación Y Objetivos De La Red.

Es un proceso complejo la planificación de la red que consta de varias fases. El objetivo final del proceso de planificación consiste en definir el diseño de la red, que se edificó como una red celular. El diseño de la red puede ser una extensión de la red GSM existente o una nueva red (4G LTE). La dificultad en la planificación de la red es diseñar una solución de la red rentable y la combinación de todos los requisitos de forma óptima. Antes de la planificación actual se inicia un nuevo análisis de la situación actual del mercado. Este análisis de mercado cubre todos los competidores y la información clave de los mismos como son: las áreas de cobertura, tarifas, servicios, el porcentaje que ocupa del mercado, entre otros, todo está asentado en la situación del mercado ²¹³.

Es factible crear un futuro despliegue de la estrategia para el operador. Surgen interrogantes sobre la forma en que crecerá en el futuro, qué tan grande es la cobertura al principio y la naturaleza de los grupos de usuarios específicos. También se decidió en el principio qué tipo de servicios se ofrecerán y qué está conectado al grupo de usuarios objetivo ²¹⁴.

Esto conduce a estimaciones de cuota de mercado en un principio y los objetivos para el futuro. Para realizar estimaciones

²¹³ PLANIFICACION Red 4G“Sergio O. Manríquez López”. Op. Cit.

²¹⁴ Ídem.

más detalladas se necesitan la cantidad de usuarios de un determinado tipo que utilizarán los servicios proporcionados. La capacidad necesaria de cada servicio y en adelante para toda la red se puede calcular a partir de la media estimada de cada uso²¹⁵.

3.3.6. REQUISITOS BÁSICOS PARA LA RED

Estos requisitos deben cumplir con metas de calidad y cobertura también están relacionados con las experiencias del usuario final de la red. Las metas de cobertura indica la determinación del área geográfica que la red está cubriendo con una probabilidad del lugar acordado. Otro de los requisitos, también se especifican los valores de intensidad de la señal que deben cumplirse dentro de diferentes tipos de área. Los objetivos de calidad están relacionados con factores como el porcentaje de éxito para el establecimiento de llamada y de trasposos, la proporción de llamadas, que no deberá exceder el valor acordado y el éxito de la convocatoria²¹⁶.

Los factores ambientales también afectan en gran medida la planificación de la red. La propagación de las ondas de radio varía dependiendo de la zona geográfica. La atenuación varía, por ejemplo, cuando se comparan los suburbios urbanos, rurales y las diferencias también entre exteriores e interiores provocados

²¹⁵ PLANIFICACION Red 4G“Sergio O. Manríquez López”. Op. Cit.

²¹⁶ Idem.

por edificios. Primordialmente el rango de frecuencia tiene un impacto en la propagación, obviamente, los factores que inciden en la planificación son la ubicación de las ciudades, carreteras, La topografía de la zona planificada y otros puntos. A medida que la banda de frecuencia es un recurso limitado, el ancho de banda disponible determina en parte las tácticas para la planificación de la red. Todos los factores mencionados anteriormente junto con los datos basados en el análisis de mercado, factores del medio ambiente, los requisitos del operador y otras condiciones límite son las que apoyan a definir los marcos para la red del proyecto y los parámetros de planificación. Debido a diversos parámetros de diseño, el proceso de planificación de la red requiere la optimización y compromisos con el fin de obtener una red celular funcional. El objetivo de la planificación de la red es crear una red de la más alta calidad posible. Por otro lado la cantidad de dinero que el operador puede gastar y el costo-eficiencia en las inversiones para que el negocio sea rentable económicamente. Los dos factores tanto las inversiones y calidad de la red se conectan a los beneficios ²¹⁷.

Aclarando, el usuario final debe recibir el mejor servicio que se le pueda ofrecer con el tráfico disponible para el uso. Éste explica la complejidad de la planificación de la red, donde generar una red celular con una cobertura suficiente y una capacidad acorde

²¹⁷ PLANIFICACION Red 4G“Sergio O. Manríquez López”. Op. Cit.

es fundamental además de hacerlo con inversiones lo más bajas posibles. Resumiendo los principales factores que afectan la planificación de la red, se describe a continuación :

- Los requisitos de cobertura y capacidad
- El Análisis de la competencia
- El Análisis del mercado
- Los clientes potenciales
- Los perfiles de usuario: el uso Necesidades de los clientes y los servicios requeridos
- Los objetivos de calidad: la caída de la tasa de llamadas, el éxito de establecimiento de llamada, entre otros.

Otros factores o parámetros que se toman en cuenta en la planificación de la red son ²¹⁸:

- La Banda de frecuencias disponibles
- El Área Geográfica
- El Tipo de topografía
- Los Planes para el futuro despliegue
- Las Limitaciones financieras
- La Ubicación de las bases
- La Recomendación de lugares para las Estaciones Bases (BTS)

Las resoluciones de la planificación de la red de radio son las

²¹⁸ PLANIFICACION Red 4G“Sergio O. Manríquez López”. Op. Cit.

configuraciones de la BTS final y ubicación de los sitios. La cobertura final entrega predicciones, como los mapas compuestos y la dominación. Los planes de energía se calculan para todas las configuraciones. Relacionados con el plan de frecuencias, las frecuencias situadas se documentan y también presentan un análisis de la interferencia. Estas entregas contienen también el plan de adyacencia y se asignan parámetros, ya sea optimizadas o por defecto. El proceso de planificación de la red consta de varias fases, que se pueden combinar en un nivel superior a las fases principales que se diferencian en función de la lógica ²¹⁹.

Haber completado la planificación detallada de la red, en base a los parámetros indicados, se encuentra preparada para su lanzamiento comercial, pero la fase de post-planificación continúa, con el proceso y los objetivos de optimización de la configuración de la red ²²⁰.

Realmente, el proceso de planificación de la red es un ciclo que nunca termina debido a los cambios en los parámetros de diseño ²²¹.

Resumiendo, el primer paso en la fase de planificación y organización se determina como planificación nominal lo cual proporciona la ubicación de los sitios por primera vez en el mapa

²¹⁹ PLANIFICACION Red 4G“Sergio O. Manríquez López”. Op. Cit.

²²⁰ Ídem.

²²¹ Ídem.

basándose en la fase de dimensionamiento. El proceso continúa con una planificación más detallada de la cobertura del sitio y cómo se realizará la transmisión. La planificación de capacidad detallada se incluye también en la fase de planificación. La planificación detallada cubre la planificación de los parámetros y la frecuencia. Por consiguiente, la planificación detallada de la red está lista para su aceptación y verificación. Seguidamente se continúa con la fase de optimización ²²².

3.3.7. PLANIFICACIÓN DE 4G BASADA EN OFDMA PARA LA RAN

Ahora se examina la evolución de las RAN LTE 4G hacia LTE avanzado. La tecnología de acceso multiusuario para todos RAN 4G se basa en OFDMA, que utiliza Multiplexación por División Ortogonal de Frecuencia (OFDM) en la capa física ²²³.

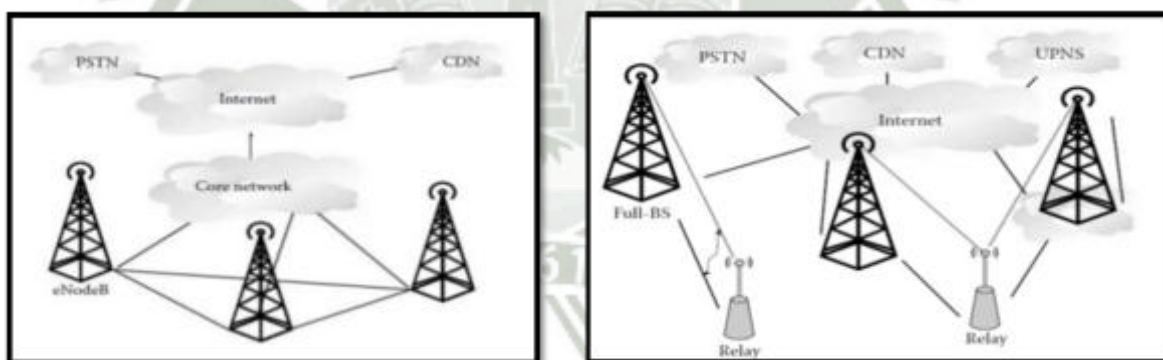


Fig. 3.4 OFDMA para la RAN 4G LTE / 4G LTE-A

OFDMA permite la asignación de recursos relativamente fáciles de radio en tiempo y frecuencia, lo cual es una mejora sobre las

²²² PLANIFICACION Red 4G“Sergio O. Manríquez López”. Op. Cit.

²²³ Ídem.

redes 2G y 3G. LTE utiliza mucha de las características de sus predecesores, una de ellas es UTRAN, que es un precursor para la 4G E-UTRAN ²²⁴.

(4G)LTE, sistema basado en OFDMA y de un solo portador FDMA (SC-FDMA) en el UL, SC-FDMA reduce la relación de potencia pico a la mitad, por lo que es mas fácil de implementar en los terminales de usuario, el acceso de radio LTE se denomina evolución-UTRAN (E-UTRAN) que se conecta a la evolución del nodo B (eNodeB), las funcionalidades RRM (Radio Resource Managment) que reside en la RNC ahora esta en los enodeBs, LTE se denomina un sistema de paquetes evolucionados (EPS) que comprende un acceso a la radio EUTRAN y la EPS de la red.

4G LTE-A, heredara muchas características de LTE, inclusión de un rele, como la expansión del ancho de banda y de orden superior de antena con configuraciones MIMO, con velocidad de 1Gbps, con un ancho de banda de transmisión como máximo de 100MHz. Técnicas RRM para las redes inalámbricas de un solo salto (es decir, los terminales de los usuarios se conectan directamente a la estación base), sin embargo como los rele hacen que las redes 4G sean redes multi-salto, ósea el enrutamiento múltiple trayectoria.

²²⁴ PLANIFICACION Red 4G“Sergio O. Manríquez López”. Op. Cit.

TRANSMISIÓN Y TRANSFERENCIA EN LA RED

Para poder lograr las velocidades que promete LTE es de vital importancia obtener una transferencia de información rápida y de buena calidad ²²⁵.

Las redes de acceso, son las que se conectan las redes de radio y las redes centrales. "Tradicionalmente", en la planificación de la red de transmisión (TNP) es fundamental tener una línea de visión entre bases, es decir, si un sitio puede "ver" a otro sitio y así hacer una conexión a través de radios de microondas / cables ópticos / líneas arrendadas, entre otros. Sin embargo, como la complejidad de las redes aumenta, la planificación de la red de transmisión ha ganado más importancia ²²⁶.

A medida que los avances tecnológicos han ido desde el GSM al UMTS y más allá, el proceso se vuelve más complicado así como la cantidad de interfaces con los equipos de radio de planificación aumenta considerablemente. En el GSM, el proceso de planificación de la red de transmisión puede trabajar casi independiente (con poco impacto el radio). Sin embargo, esto aumenta considerablemente en los EGPRS ya que se convierte en un factor limitante para el rendimiento de la interfaz aire. En el UMTS, la calidad y la demora se asegura de que los tres ámbitos principales de planificación de la red, la radio, la

²²⁵ PLANIFICACION Red 4G "Sergio O. Manríquez López". Op. Cit.

²²⁶ Ídem.

transmisión y el núcleo, son muy dependientes el uno del otro²²⁷.

En cualquier proyecto, la mayoría de los aspectos comienzan en un nivel genérico. Sin embargo, en aras de la comprensión, las tareas se pueden subdividir en la planificación general y la planificación de detalle. Planificación maestra incluye dimensionamiento y otros aspectos de planificación previa. La planificación de detalle consiste en segmentos de tiempo junto con la sincronización y los planes de gestión de red. Sin embargo, algunas tareas como la planificación de un enlace de microondas (MW) están integrados en el proceso de planificación de la transmisión tanto que puede ser considerado como una parte del maestro y la planificación de detalle²²⁸.

Plan maestro.

Muchas tareas se realizan en paralelo durante la fase de la puesta en marcha de una red. De hecho, muchas de las tareas suelen suceder antes que la puesta en marcha se lleve a cabo. Las tareas, tales como dimensiones, selección de equipos, entre otras, se utilizan para ordenar el equipo para comenzar el despliegue de la red²²⁹.

Tareas de la planificación de una red

Esto significa, que la planificación maestra es más precisa,

²²⁷ PLANIFICACION Red 4G“Sergio O. Manríquez López”. Op. Cit.

²²⁸ Ídem.

²²⁹ Ídem.

teniendo en claro el equipo que se necesita, resultando en una mayor eficiencia y un menor costo del proceso de puesta en marcha ²³⁰.

El Plan maestro general incluye tareas para la fase de pre-planificación, dimensionamiento, planificación para la protección, la decisión de topologías, entre otras ²³¹.

Algunos detalles de la planificación de la red. Este plan contiene detalles de las tareas que están relacionadas con los planes maestros, pero en términos más concretos. Estos son los planes que se implementan con respecto a la red. Por ejemplo, un plan maestro puede incluir una instrucción que el 50% de los nodos se van a conectar en bucles, pero en todos los detalles de la planificación los nodos necesitan ser identificados. Además, la planificación incluye detalles de cómo estos saltos se puede conectar, el número de líneas PCM necesarias para estar conectado a cada sitio, intervalos de tiempo que se necesitan para transportar el tráfico de cada sitio, aparte de la sincronización y gestión de los aspectos relacionados con los equipos de transmisión ²³².

3.4. ARQUITECTURA DISTRIBUIDA

El Core de conmutación de paquetes para las redes 4G del 3GPP ha

²³⁰ PLANIFICACION Red 4G“Sergio O. Manríquez López”. Op. Cit.

²³¹ Ídem.

²³² Ídem.

sido rediseñado y llamado System Architecture Evolution (SAE) o también EPS (Evolved Packed System). SAE logra interconectar diversas redes de acceso, que en algunas ocasiones pueden ser heterogéneas entre ellas. La arquitectura SAE diferencia redes de acceso 3GPP y no-3GPP ²³³²³⁴.

- Red 3GPP: Cuentan con el HSS como la base de datos de información del suscriptor y se conectan a redes externas a través de un Gateway de Paquetes (PDG, Packet Data Gateway).
- Red no-3GPP: Utilizan un servidor AAA 3GPP que se comunica también al HSS para coordinar la información necesaria. También usan el PDG para conectarse a redes externas.

La arquitectura SAE sigue los mismos parámetros de diseño de las redes 3GPP antecesoras, sin embargo divide las funciones del Gateway de Control (SGSN en UMTS) en un plano de control comandado por el MME (Mobility Management Entity) y un plano de usuario liderado por el SGW (Serving Gateway). Las funciones originales del GGSN son implementadas por el PDN Gateway (PGW) ²³⁵²³⁶.

²³³ Tutorial LTE: “Arquitectura de una red LTE” (http://www.ipv6go.net/lte/arquitectura_red_lte.php)

²³⁴ Redes Móviles Terrestre 4G: “F. Pérez”. Op. Cit.

²³⁵ Tutorial LTE: “Arquitectura de una red LTE”. Op. Cit.

²³⁶ Redes Móviles Terrestre 4G: “F. Pérez”. Op. Cit.

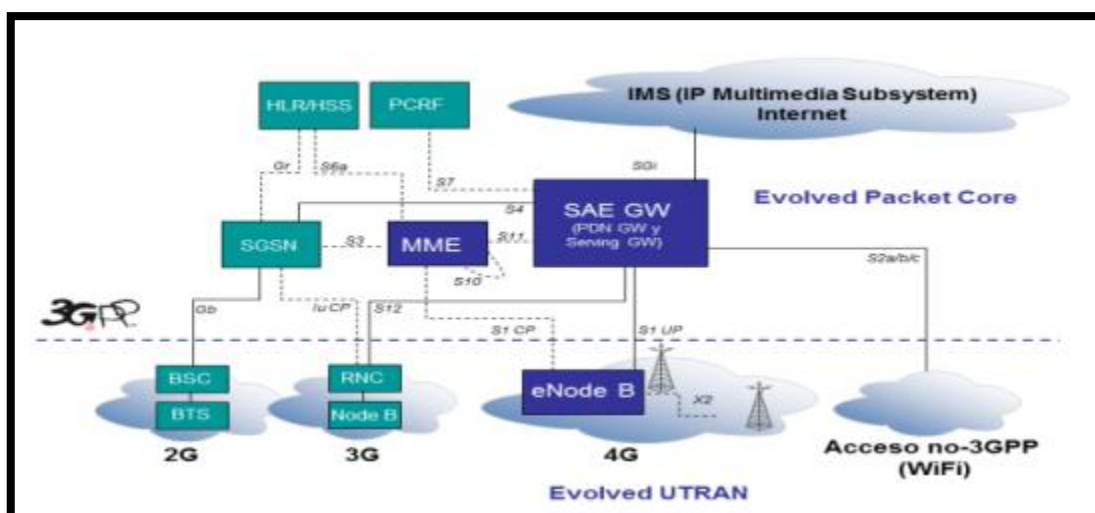


Fig. 3.5 Arquitectura Distribuida

3.5. TECNOLOGÍAS EMPLEADAS

Los componentes fundamentales de una red 4G son ²³⁷:

- Sistemas Multi-antena (MIMO).
- SDR (Software Define Radio).
- Sistemas de acceso existentes como TDMA, FDMA, CDMA y sus posibles combinaciones son fundamentales en sistemas 3G y también lo son los sistemas ya empleados en los estándares 802.11 (Wi-Fi), 802.16a (WiMAX) y 802.20 (MBWA) como son OFDMA, MC-CDMA y Single Carrier FDMA.
- Estándar IPv6 para soportar gran número de dispositivos inalámbricos, y asegurar una mejor calidad de servicio además de un enrutamiento óptimo.

²³⁷ Redes Móviles Terrestre 4G: "F. Pérez". Op. Cit.

3.6. EL LTE O LONG TERM EVOLUTION

Surge a partir de la necesidad de satisfacer la creciente demanda de los usuarios y redes, y será la tecnología que acabe sustituyendo a la actual UMTS dentro de los sistemas 4G. Esta tecnología, basada en el uso de protocolos IP (soportado, por tanto, en el dominio de conmutación de paquetes) ²³⁸.

Otro aspecto que tenemos que analizar y evaluar son las antenas; y por ende las estaciones base para la implementación de la red móvil 4G en la ciudad de Arequipa.



Fig. 3.6 Torres con Antenas 4G LTE

²³⁸ Redes Móviles Terrestre 4G: "F. Pérez". Op. Cit.

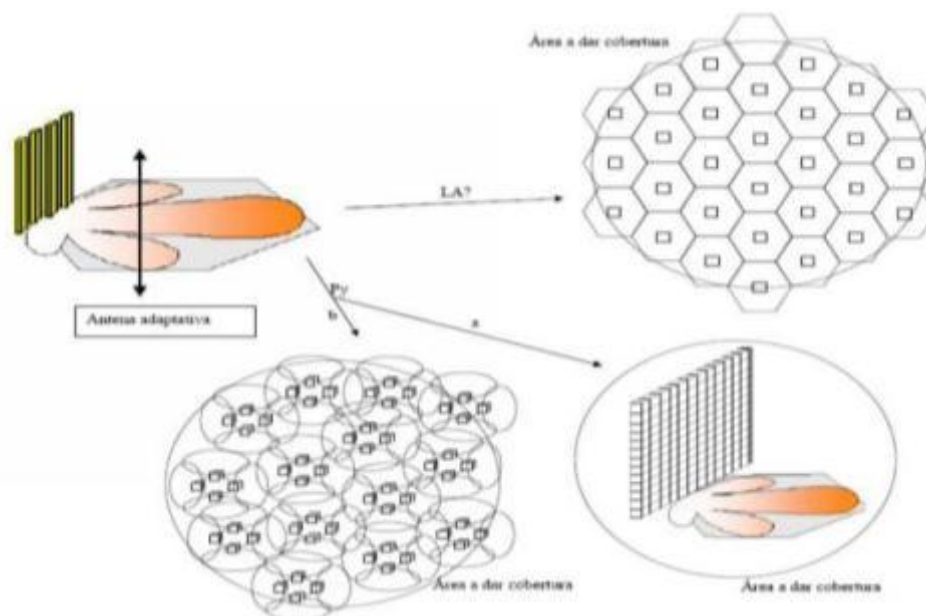


Fig. 3.7 Estación base modular para tráfico y cobertura

3.6.1. PRINCIPALES VENTAJAS DE LA 4G

- Una experiencia de navegación avanzada.
- Mayor velocidad de descarga, hasta 10 veces más rápido (4G LTE de 10 a 20 Mbps).
- Visualización de videos en alta definición (HD) sin interrupciones.
- Realización de videoconferencias en alta definición en tiempo real.
- Aplicaciones como:
- Seguridad y vigilancia remota.
- TV móvil.²³⁹
- Juegos en Línea.

²³⁹ PAPER: "Movistar – Telefónica del Perú". Op. Cit.

- Telemedicina.
- Cloud Computing.²⁴⁰



Fig. 3.8 Ventajas de la nueva tecnología

IMPACTO DE 4G EN EL SERVICIO

La comunicación de equipo a equipo en 4G LTE es: 16.7 segundos desde “Send”, depende del tráfico

Movistar probablemente pondrá un tono para que el cliente no piense que no engancho la llamada estando en cobertura 4GLTE

El desenganche de 4G a 3G o 2G va depender de la cobertura en donde nos ubiquemos

El tiempo de enganche de 3g a 4glte es 23.9 segundos prácticos, teóricos son 16 segundos

Si en caso estamos descargando en primera instancia una

²⁴⁰ PAPER: “Movistar – Telefónica del Perú”. Op. Cit.

aplicación en 4GLTE y se engancha una llamada, al finalizar la llamada se seguirá descargando la aplicación en 3g terminado recién la descarga y pasando 23.9 segundos aproximadamente, recién regresara a 4GLTE²⁴¹.



Fig. 3.9 Impacto de 4G en el servicio



Fig. 3.10 Homologacion

²⁴¹ PAPER: "Movistar – Telefónica del Perú". Op. Cit.

3.6.2. PARÁMETROS INTERVINIENTES EN UNA RED 4G

Los sistemas de telecomunicaciones móviles actuales, definen las características de las redes móviles celulares de cuarta generación (4G) para soportar una amplia gama de servicios y aplicaciones que requieran de una infraestructura de red con capacidades banda ancha y calidad de servicio (QoS, Quality of Service) de extremo a extremo²⁴²

Uno de los parámetros fundamentales es QoS (CALIDAD DE SERVICIO)

Los mecanismos QoS que ofrecen las redes móviles celulares LTE son fundamentales para la prestación de próximas generaciones de servicios móviles interactivos²⁴³

Las redes móviles celulares continuamente están en la búsqueda de nuevos servicios y aplicaciones para satisfacer necesidades productivas, comerciales, informacionales, de entretenimiento y de comunicación, situación que debe impulsar el crecimiento y la evolución de este tipo de redes hacia redes de banda ancha y capaces ofrecer QoS de extremo a extremo para soportar los diferentes tipos de tráfico que circularán por la red. En consecuencia, la Unión Internacional de las Telecomunicaciones (UIT) definió en los sistemas de LTE las

²⁴² Calidad de Servicio en Redes: "LTE-Advanced" (<http://es.scribd.com/doc/229378835/02-Calidad-de-Servicio-en-Redes>)

²⁴³ Ídem.

características para sus redes móviles celulares (Pepinosa, 2013). En *ITU Paves the Way for Next-Generation 4G Mobile Broadband Technologies*, la UIT presentó a LTE como la versión de los sistemas 4G, puesto que incluye los requisitos definidos en *Requirements for further advancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA)*.²⁴⁴

De esta manera, 4G LTE marca la línea de una nueva era en las comunicaciones móviles de banda ancha al ofrecer una plataforma global para el soporte de las próximas generaciones de servicios móviles interactivos. 4G LTE-A constituye una tecnología de acceso inalámbrico completamente IP (All-IP), capaz de ofrecer altas velocidades de acceso, teórico, (1 Gbps en el enlace ascendente y 500 Mbps en el enlace descendente), mejorar la eficiencia espectral y reducir el retardo (50 ms) con lo cual se logra una mejora significativa en la QoS para garantizar la entrega. Por lo anterior, en este artículo se realiza una revisión de los parámetros de QoS y los mecanismos de QoS que ofrecen las redes móviles celulares LTE-Advanced para la prestación de próximas generaciones de servicios móviles interactivos. Así, inicialmente se presentan algunas consideraciones sobre el crecimiento del tráfico de datos en las redes móviles celulares y la influencia que tienen los nuevos servicios móviles en las redes móviles, luego se hace descripción de los parámetros de QoS y los mecanismos de QoS

²⁴⁴ Calidad de Servicio en Redes: "LTE-Advanced". Op. Cit.

que ofrecen las redes *LTE-Advanced* para la prestación de diversos servicios, y finalmente se presentan las conclusiones de este trabajo. Satisfactoria de servicios y aplicaciones a los usuarios finales ²⁴⁵.

Por lo anterior, en este capítulo, se realiza una revisión de los parámetros de QoS y los mecanismos de QoS que ofrecen las redes móviles celulares LTE para la prestación de próximas generaciones de servicios móviles interactivos.

Así, inicialmente se presentan algunas consideraciones sobre el crecimiento del tráfico de datos en las redes móviles celulares y la influencia que tienen los nuevos servicios móviles en las redes móviles.

Luego se hace descripción de los parámetros de QoS y los mecanismos de QoS que ofrecen las redes LTE. Para la prestación de diversos servicios, y finalmente se presentan las conclusiones.

Tráfico en las redes móviles celulares

La forma en que los consumidores y las empresas utilizan los servicios de comunicaciones móviles está en constante evolución debido a la demanda de nuevos servicios y aplicaciones y al uso de nuevos dispositivos móviles para acceder a la red (*tablets*, *smartphones*, computadores portátiles,

²⁴⁵ Calidad de Servicio en Redes: “LTE-Advanced”. Op. Cit.

entre otros).

Según lo planteado en *Analysys Research Limited, "Global Mobile Broadband: Market potential for 4G LTE (Long Term Evolution)"* las redes móviles celulares transportan principalmente tráfico generado por los servicios de telefonía móvil celular (TMC), de mensajería SMS (*Short Message Service*) y MMS (*Multimedia Messaging Service*) y de personalización (*ringtones, wallpapers*)²⁴⁶.

No obstante, con el despliegue de las redes de 3G los operadores móviles celulares en todo el mundo han visto un rápido crecimiento de los suscriptores de Internet móvil, lo cual ha generado el crecimiento del volumen de tráfico generado por los usuarios, debido principalmente al aumento del uso de servicios multimedia, aplicaciones empresariales y el acceso a redes corporativas²⁴⁷.

En el estudio realizado en *Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update 2009-2014*, se puede observar que durante los próximos años el crecimiento de tráfico sobre las redes móviles celulares será generado por el aumento en el número de suscriptores y por el consumo de servicios de video y datos en múltiples dispositivos móviles, toda vez que este tipo de servicios se están convirtiendo en una parte esencial

²⁴⁶ Calidad de Servicio en Redes: "LTE-Advanced". Op. Cit.

²⁴⁷ Ídem.

de la vida de los usuarios ²⁴⁸.

Es así que de los 6.3 Exabytes de tráfico por mes que circulará en las redes móviles en 2015, el 64.4% de este tráfico será generado por contenidos de video, puesto que este servicio demanda más ancho de banda que otros servicios móviles .

Esto conlleva a que las redes móviles celulares deben ser eficientes en el uso del espectro, altamente confiables y proporcionar la velocidad de acceso suficiente para manejar las diferentes clases de tráfico con diferentes grados de movilidad de los usuarios ²⁴⁹.

Para apoyar estas necesidades de cambio y ofrecer nuevos servicios, los operadores móviles necesitan invertir en la ampliación de las capacidades de sus propias redes, para de esta manera, evitar la congestión de sus redes y por ende, la degradación en la prestación de los servicios ²⁵⁰.

Una de las formas de lograr esto es controlando la QoS, puesto que es uno de los factores fundamentales de las redes de 4G para la gestión de los recursos de red y para garantizar la entrega satisfactoria de servicios y aplicaciones a los usuarios finales ²⁵¹.

Para ello, LTE y como evolución de las actuales redes móviles

²⁴⁸ Calidad de Servicio en Redes: "LTE-Advanced". Op. Cit.

²⁴⁹ Ídem.

²⁵⁰ Ídem.

²⁵¹ Ídem.

celulares de 3G proporciona los mecanismos de QoS necesarios para reducir el retardo, la variación del retardo (*jitter*) y la pérdida de paquetes que según la recomendación UIT-T G.1010 son los factores que determinan la QoS para los diferentes tipos de servicios y aplicaciones definidos en la *Recomendación UIT-R M.1822* y *3GPP TS 23.107*. De este modo, LTE tiene el potencial de transformar cómo los usuarios reciben, consumen e interactúan con la información y contenidos distribuidos a través de redes móviles ²⁵².

3.7. QOS EN REDES 4G LTE

El concepto de QoS toma importancia cuando es necesaria la diferenciación servicios y usuarios como se lo expresa en *QoS Control in the 3GPP Evolved Packet System*. En este sentido, los mecanismos de QoS deben permitir al operador ofrecer, por un lado, un acceso diferenciado a cada uno de los servicios, puesto que estos tienen diferentes requisitos de desempeño, como ancho de banda y retardo, y por otro lado, una diferenciación de usuarios, es decir, diferenciar el trato por grupos de usuarios para el mismo servicio, como por ejemplo diferenciar usuarios pre-pago de los usuarios post-pago en el acceso a Internet ²⁵³.

A los usuarios les interesan aquellos aspectos de calidad que pueden ser percibidos por ellos y dependen del servicio que se trate.

²⁵² Calidad de Servicio en Redes: "LTE-Advanced". Op. Cit.

²⁵³ Ídem.

Por ejemplo, un usuario que navega por Internet percibe la QoS principalmente por el tiempo que transcurre para que una página web se despliegue totalmente después de hacer la petición ²⁵⁴.

Técnicamente, esta duración depende de una compleja interacción de factores tales como el ancho de banda, el retardo y la tasa de error de bits (BER, *Bit Error Rate*). Por lo tanto, uno de los conceptos clave asociados con QoS en las redes *LTE-Advanced* es la clasificación de servicios en clases ²⁵⁵.

Cada una de las clases de servicios forma un flujo de paquetes, al cual se le asignarán los recursos de la red según las exigencias del servicio. Desde la perspectiva del usuario, la clasificación de la QoS para los servicios se realiza en conversacional, interactiva, *streaming* y *background* ²⁵⁶.

La clase de servicio conversacional agrupa los servicios cuyos requisitos de QoS son más estrictos y rigurosos puesto que dependen directamente de la percepción humana como por ejemplo una llamada por voz sobre IP (VoIP, *Voice over IP*) ²⁵⁷.

Mientras que la clase de servicio *background* reúne servicios con requisitos de QoS menores puesto que usuario envía y recibe datos en un segundo plano como por ejemplo al realizar una transferencia de archivos ²⁵⁸.

²⁵⁴ Calidad de Servicio en Redes: "LTE-Advanced". Op. Cit.

²⁵⁵ Ídem.

²⁵⁶ Ídem.

²⁵⁷ Ídem.

²⁵⁸ Ídem.

Técnicamente, antes que los paquetes de datos de un servicio sean transmitidos, un filtro de paquetes se encarga de asociar los flujos de paquetes con una portadora (*bearer*), la cual recibirá el tratamiento de QoS acorde a la clase de servicio que pertenezca. Cada paquete IP se provee de un encabezado de túnel (*tunnel header*) compuesto de un identificador de portadora (*bearer identifier*) y de un valor DSCP (*DiffServ Code Point*)²⁵⁹.

El concepto de portadora y el procedimiento de señalización asociado permiten habilitar la reserva de recursos antes que los flujos de paquetes que se asignan a esa portadora sean admitidos en la red, esto último se realiza a través de una función de control de admisión que opera en un nivel por portadora²⁶⁰.

Clase de servicio de QoS	Conversacional	Interactiva	Streaming	Background
	Conversación en tiempo real	Clase interactiva al mejor nivel posible	Clase <i>streaming</i> en tiempo real	Clase de <i>background</i> al mejor nivel posible
Características desde la perspectiva del usuario	- Preserva la relación (variación) de tiempo entre las entidades de información del flujo de bits - Modelo conversacional (estricto y con bajo retardo)	- Patrón de respuesta a peticiones - Preserva el contenido útil	Preserva la relación (variación) de tiempo entre las entidades de información del flujo de bits	- El destino no espera los datos dentro de un tiempo limitado - Preserva el contenido útil
Ejemplo de la aplicación	– Voz	– Navegación en la web	– Video <i>streaming</i>	– Correo electrónico

Tabla 3.3 Clases de QoS desde la perspectiva del Usuario

²⁵⁹ Calidad de Servicio en Redes: “LTE-Advanced”. Op. Cit.

²⁶⁰ Ídem.

3.8. OTROS PARAMETROS FUNDAMENTALES EN LA IMPLEMENTACION DE UNA RED 4G LTE

La 4G no es una tecnología o estándar definido, sino una colección de tecnologías y protocolos para permitir el máximo rendimiento de procesamiento con la red inalámbrica más barata ^{261 262}.

El objetivo que persigue es el de garantizar una calidad de servicio y el cumplimiento de los requisitos mínimos para la transmisión de servicios de mensajería multimedia, video chat, TV móvil o servicios de voz y datos en cualquier momento y en cualquier lugar utilizando siempre el sistema que mejor servicio proporcione. En resumen, el sistema 4G debe ser capaz de compartir dinámicamente y utilizar los recursos de red economizando los requerimientos del usuario. ^{263 264}

Algunos de los estándares fundamentales para 4G son **WiMAX**, **WiBro**, y **3GPP LTE** (Long Term Evolution). Para poder hacer realidad esta red es necesario no sólo integrar las tecnologías existentes (2G, 3G...), también es necesario hacer uso de nuevos esquemas de modulación o sistemas de antenas que permitan la convergencia de los sistemas inalámbricos. ^{265 266}

¿Tecnología LTE?

El **LTE** o **Long Term Evolution** es la tecnología que acaba

²⁶¹ Redes Móviles Terrestre 4G: "F. Pérez". Op. Cit.

²⁶² Sistemas 4G (http://wikitel.info/wiki/Sistemas_4G).

²⁶³ Redes Móviles Terrestre 4G: "F. Pérez". Op. Cit.

²⁶⁴ Sistemas 4G. Op. Cit.

²⁶⁵ Redes Móviles Terrestre 4G: "F. Pérez". Op. Cit.

²⁶⁶ Sistemas 4G. Op. Cit.

sustituyendo a la actual **UMTS** dentro de los sistemas 4G^{267 268}

Esta tecnología, basada en el uso de protocolos IP (soportado, por tanto, en el dominio de conmutación de paquetes)^{269 270}

Se halla actualmente (segundo cuatrimestre del año 2009) en fase de pruebas, siendo Telefónica el operador encargado de las mismas en España. Se prevé que los primeros despliegues comerciales en los países donde se halla más avanzada se realicen a partir del año 2010²⁷¹

²⁷²

Objetivos de LTE

Uno de los objetivos principales de esta tecnología es proporcionar una velocidad, tanto de descarga como de subida de archivos, muy alta en comparación con las alcanzadas con las tecnologías actuales^{273 274}.

De manera formal, los principales objetivos del LTE son los siguientes:

- Obtención de una mayor velocidad de transmisión, pudiendo llegar a los 100 Mbit/s de descarga y a los 50 Mbit/s de subida.
- Disminuir el retardo hasta conseguir un total menor de 10 milisegundos y unos tiempos iniciales de establecimiento de comunicación inferiores a 100 ms.

²⁶⁷ Redes Móviles Terrestre 4G: "F. Pérez". Op. Cit.

²⁶⁸ Sistemas 4G. Op. Cit.

²⁶⁹ Redes Móviles Terrestre 4G: "F. Pérez". Op. Cit.

²⁷⁰ Sistemas 4G. Op. Cit.

²⁷¹ Redes Móviles Terrestre 4G: "F. Pérez". Op. Cit.

²⁷² Sistemas 4G. Op. Cit.

²⁷³ Redes Móviles Terrestre 4G: "F. Pérez". Op. Cit.

²⁷⁴ Sistemas 4G. Op. Cit.

- Conseguir una eficiencia espectral 3 veces mejor que la del HSPA.
- Mejorar para los servicios de difusión (broadcast) para permitir servicios de radiodifusión y televisión móvil en tiempo real con una calidad aceptable para todos los usuarios.
- Flexibilidad de espectro para disponer de anchos de banda variables según el servicio y el uso de diversas bandas de frecuencia según las características de cada zona.

Para alcanzar la consecución de estos objetivos se están planteando arquitecturas de red con tendencia a simplificar lo máximo posible la jerarquía, hablando de estructuras planas. En éstas, la radio cobra un gran protagonismo, ya que debe asumir funciones que actualmente se hallan distribuidas en otras plataformas. La siguiente imagen muestra una arquitectura plana de red ^{275 276}.

Definiciones del esquema SAE

El Core de conmutación de paquetes para las redes 4G ha sido rediseñado y llamado System Architecture Evolution (SAE) o también EPC (Evolved Packet Core). System Architecture Evolution

Los principales beneficios que presenta SAE sobre las arquitecturas antecesoras son:

- Mejoras en la latencia, capacidad y throughput

²⁷⁵ Redes Móviles Terrestre 4G: "F. Pérez". Op. Cit.

²⁷⁶ Sistemas 4G. Op. Cit.

- Simplicidad del core y optimización del tráfico y de los servicios
- Simplicidad en el handover a redes de acceso no-3GPP
- Red All-IP y servicios basados totalmente en IP
- Simplicidad en la Operación y Mantenimiento de las redes.

MME: obtiene datos del subscriber a través de la información almacenada en el HSS. El MME autentifica, autoriza y selecciona el PDN apropiado para establecer el enlace entre el E-UTRAN a las redes o servicios externos. MME proporciona conectividad entre el Nodo B y la red GSM/UMTS existente a través del SGSN (Serving GPRS Support Node).

SGW: Es un equipo de plano de usuario que es controlado por el MME. El SGW también es un punto de monitoreo de las políticas de conexión y servicio establecidas en el PCRF (policy and charging Rules Function)

PGW: puede ser comparado con las funciones realizadas por el GGSN, pero además tiene un importante rol en el control de la movilidad. El PGW asigna la dirección IP al UE.

SGSN: se encarga de la parte de movilidad del celular además de dar acceso a estos a la red de datos móviles, de autentificar y asignar la calidad del servicio a utilizar por cada terminal.

GGSN: se encarga de proveer la salida a la PDN dependiendo del APN, así como de la parte de facturación y aplicación de políticas y reglas de navegación.

Subsistema Multimedia IP (IMS): define un marco de trabajo y arquitectura base para tráfico de voz, datos, video, servicios e imágenes conjuntamente a través de infraestructura basada en el ruteo de paquetes a través de direcciones IP.

PCRF: es el elemento de red responsable de la política y control de cargos (Policy and Charging Control, PCC). Toma decisiones sobre la forma de manejar los servicios en términos de QoS, y proporciona información al PDN-GW, y si aplica, también al S-GW, de modo de establecer las políticas y portadoras adecuadas. El PCRF es un servidor usualmente ubicado junto a los demás nodos CORE de la red en los centros de operación.

HSS: es el registro de datos de suscripción de todos los usuarios de datos. También registra la ubicación del usuario a nivel de MME. Es una base de datos que almacena la copia maestra del perfil de usuario y que contiene información sobre los servicios que le son aplicables.

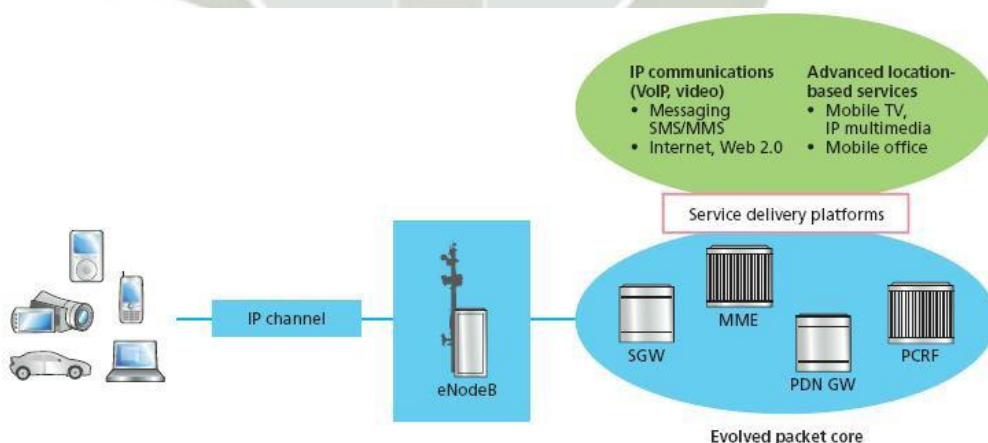


Fig. 3.11 Esquema SAE

Metas

- Más servicios, más ganancias
- Más rápido, más plano y económico
- Aumenta la velocidad y eficiencia espectral
- Movilidad y Rango de Celda
- Disminuir la latencia
- Flexibilidad de espectro
- Reducir costo por bit con un bajo CAPEX y OPEX
- All IP ^{277 278}

Funcionamiento

En el funcionamiento de la tecnología LTE podemos diferenciar entre su funcionamiento en el canal de descarga de datos y en el canal de subida de datos. En la descarga con LTE se emplea una modulación OFDMA (acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal) ^{279 280}.

Las sub portadoras se modulan con un rango de símbolos QPSK, 16QAM o 64QAM. Es muy fuerte contra los efectos de multipath, idónea para implementaciones MIMO o SFN ^{281 282}.

La subida de archivos con LTE usa división de portadora simple de acceso múltiple (SC-FDMA) para simplificar el diseño y reducir picos de

²⁷⁷ Redes Móviles Terrestre 4G: "F. Pérez". Op. Cit.

²⁷⁸ Sistemas 4G. Op. Cit.

²⁷⁹ Redes Móviles Terrestre 4G: "F. Pérez". Op. Cit.

²⁸⁰ Sistemas 4G. Op. Cit.

²⁸¹ Redes Móviles Terrestre 4G: "F. Pérez". Op. Cit.

²⁸² Sistemas 4G. Op. Cit.

ratio medio y consumo energético^{283 284}.

Vemos estos dos modos de funcionamiento en el siguiente esquema:

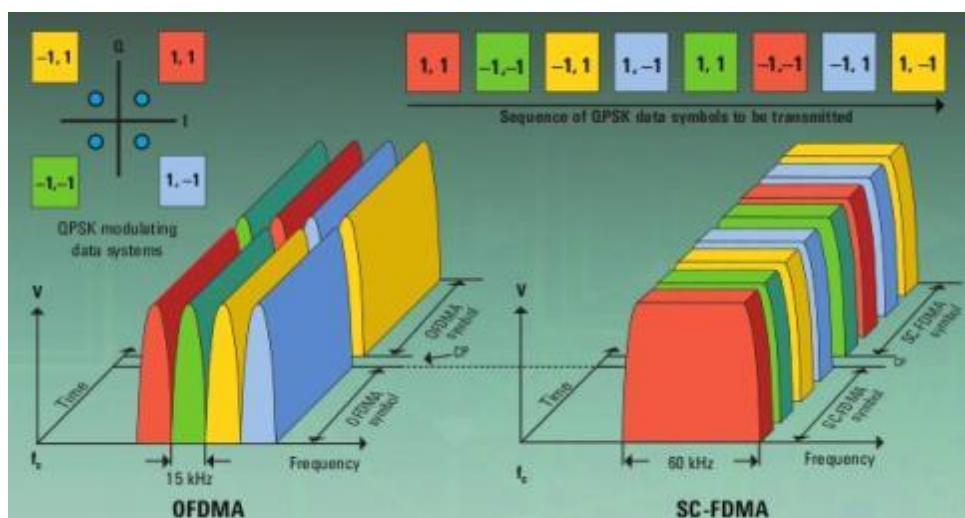


Fig. 3.12 OFDMA y SC-FDMA

OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access)

OFDMA es una técnica de multiplexación que consiste en transmitir un conjunto de distintas frecuencias portadoras, donde cada una transporta información modulada digitalmente. Los canales de banda estrecha de OFDMA son ortogonales entre sí, lo que evita el uso de bandas de guarda, proporcionando un uso eficiente del espectro. La multiplexación de portadoras OFDMA es muy robusta frente al multipath, siendo capaz de recuperar la información de entre las distintas señales que llegan con distintos retardos y amplitudes que llegan al receptor²⁸⁵

²⁸⁶.

Soporta diferentes bandas de frecuencias portadoras (1,4 a 20 MHz)

²⁸³ Redes Móviles Terrestre 4G: "F. Pérez". Op. Cit.

²⁸⁴ Sistemas 4G. Op. Cit.

²⁸⁵ Redes Móviles Terrestre 4G: "F. Pérez". Op. Cit.

²⁸⁶ Sistemas 4G. Op. Cit.

tanto en FDD (Frequency Division Duplex), como en TDD (Time División Duplex) proveyendo gran flexibilidad a los operadores para el uso de sus actuales y futuros espectros de frecuencia.

En OFDM se transmiten "M" símbolos en paralelo, repartiendo el ancho de banda entre ellos y en donde cada símbolo tiene una duración igual al tiempo de símbolo ^{287 288} .

SC-FDMA (Single-Carrier FDMA)

Como ya vimos anteriormente, en uplink, 3GPP utiliza SC-FDMA como técnica de acceso múltiple, tanto para FDD como TDD. La forma básica de SC-FDMA puede ser vista con similitud a la modulación QAM, donde cada símbolo es enviado uno a la vez, de manera similar a TDMA .

En SC-FDMA se transmiten "M" símbolos secuencialmente, cada uno ocupando todo el ancho de banda disponible y con una duración igual a una parte del tiempo de símbolo ^{289 290} .

La competición en el caso de las tecnologías 4G con la actual UMTS es clara y la pregunta clave es: ¿Por qué cambiar la tecnología actual si ésta, de momento y por algunos años, puede igualar (hasta cierto punto) las características de la nueva tecnología?

Como conclusión y respuesta a esta pregunta podemos decir que no es necesario para implantar una nueva tecnología que ésta reemplace a la

²⁸⁷ Redes Móviles Terrestre 4G: "F. Pérez". Op. Cit.

²⁸⁸ Sistemas 4G. Op. Cit.

²⁸⁹ Redes Móviles Terrestre 4G: "F. Pérez". Op. Cit.

²⁹⁰ Sistemas 4G. Op. Cit.

actual. En estos momentos la incorporación de esta nueva tecnología podría complementar a la actual y si en algún momento bastase con la nueva tecnología y se pudiese abastecer de manera correcta a todo el mercado únicamente con la tecnología WiMax o por emisión por radio frecuencia.

CARRIER AGREGATION – TRAFICO Y COBERTURA

El concepto de Carrier Agregation aplica sólo en el UE, ya que el eNB siempre ha transmitido y recibido en todo el ancho de banda disponible. Es decir CA implica una serie de modificaciones en el UE para que pueda recibir y transmitir desde y hacia varias porciones del espectro. La diferencia con CA en el UE es que se necesita una señalización adicional en el PDCCH que indique al UE que soporta CA, el tipo de agregación que se usará.

En LTE Rel. 8, al UE sólo se le indicaba la cantidad de RBs que se le asignaban para recibir y para transmitir; y el UE una vez registrado en un canal sólo operaba en dicho canal, a menos que se perdiera la señal y entonces el UE se registrara en otro canal distinto. En CA, adicionalmente, se le debe indicar al UE cual es la clase de ancho de banda y en que canal y/o bandas están ubicados los recursos asignados.

Carrier Aggregation es una de las estrategias principales para alcanzar las altas tasas de transmisión establecidas por la ITU a través de los requerimientos de IMT-Advanced. Es importante aclarar que en Carrier Aggregation, los CC no necesitan ser continuos, pertenecer a la misma

banda, o tener el mismo ancho de banda. Las diferentes combinaciones producen diferentes modos de operación del CA.

En el contexto de Carrier Agregation en LTE, una banda se refiere a aquellas designadas dentro del estándar. Así el término Intra-Band, hace referencia a una misma banda de acuerdo a la numeración del 3GPP. Por su parte el término Inter-Band es la agregación entre dos bandas diferentes, es decir con diferente designación de acuerdo a la numeración del 3GPP.

Alcanzar las altas tasas de transmisión del orden de 1 Gbps requiere de anchos de banda mucho mayor de los que se usan en LTE Rel. 8. IMTAdvanced coloca un limite superior de 100 MHz con 40 MHz como mínimo.

En el caso de CCs contiguas la separación entre las frecuencias de las portadoras debe ser un múltiplo de 300 KHz.

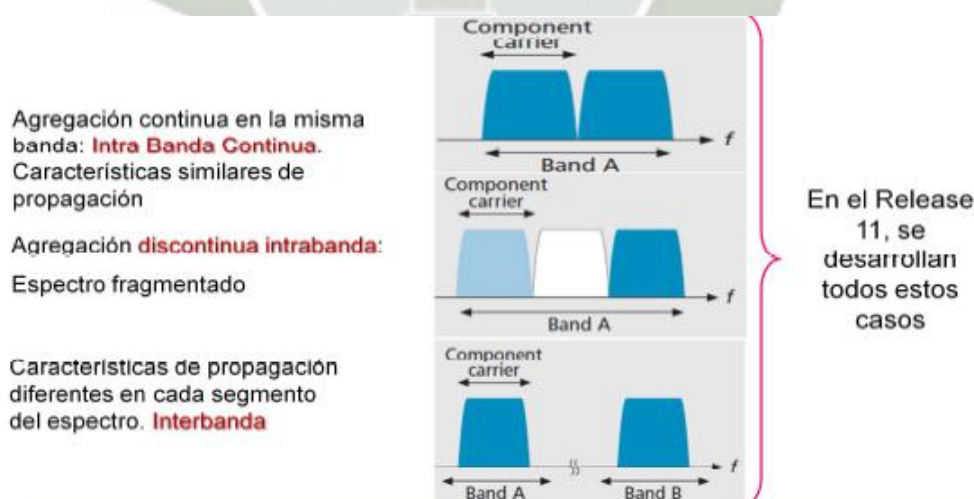


Fig. 3.13 Carrier Agregation

Escenario 1

Este es uno de los escenarios típicos que tiene grandes oportunidades. Las antenas del eNB son localizadas en el mismo sitio y tienen el mismo diagrama de radiación de manera que se produce la misma cobertura. Es el escenario natural cuando los CCs pertenecen a la misma banda, o a bandas distintas pero que estén cercanas.

La BS LTE-Advanced puede verse como un super eNB que tiene la capacidad de transmitir varios CCs continuos o no, intrabanda o Interbanda.

El estándar propone algunos ejemplos de arquitectura pero no son limitativos.

Desde el punto de vista de la implementación física de CA, se deben considerar diversos aspectos.

Si el CA es del tipo continuo, los diferentes CC se pueden agregar usando una sola etapa de RF y realizando un sólo proceso de FFT. Si el CA es del tipo discontinuo o interbanda, entonces es necesario disponer de varias etapas de RF y realizar también varios procesos separados de FFT.

Adicionalmente el caso no continuo tiene otras implicaciones: la fase de planificación del acceso de radio debe considerar que los diferentes CCs tienen path loss y efecto Doppler diferentes.

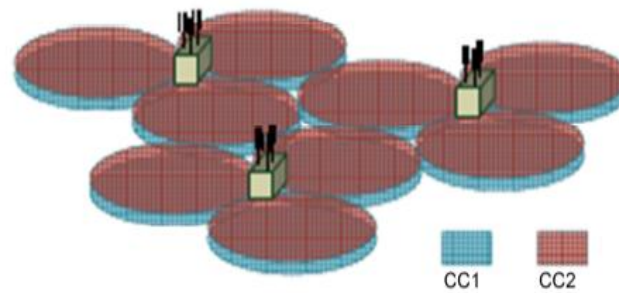


Fig. 3.14 Escenario 1

Escenario 2

Las antenas del eNB están localizadas en el mismo sitio y se superponen pero la cobertura de CC2 es menor debido a las pérdidas del trayecto. CC1 suministra cobertura, mientras que CC2 permite aumentar el throughput. La movilidad y el handover se garantizan por medio de CC1.

Este escenario es muy adecuado para un operador cuyo espectro se encuentra disperso a través de diferentes bandas por ejemplo CC1 en la banda 800MHz y CC2 en la banda 2.5GHz. En cuyo caso la cobertura de un CC en las frecuencias elevadas es menor que la de un CC en frecuencias inferiores. Para CCs en la misma banda, es posible controlar la potencia de cada uno para reducir la interferencia y en ese caso se tendrá una cobertura diferente.

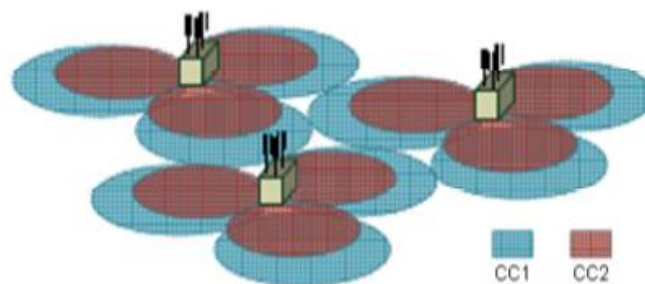


Fig. 3.15 Escenario 2

Escenario 3

En algunos despliegues las antenas de diferentes CCs pueden tener diagramas de radiación y/u orientaciones distintas. Por ejemplo si el patrón de sectorización es diferente en cada CC. También puede darse el caso que se orienten las antenas de manera distinta a fin de aumentar el throughput en los bordes de los sectores.

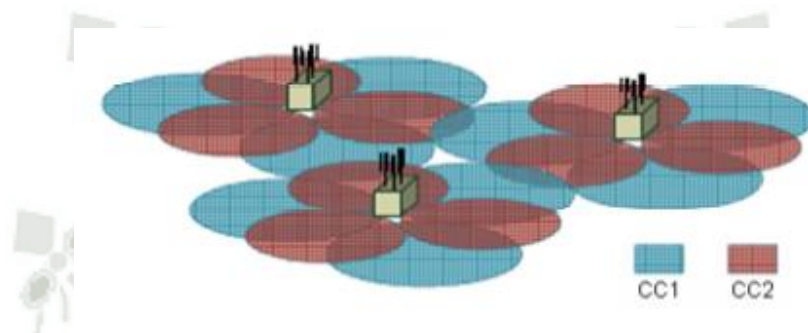


Fig. 3.16 Escenario 3

Escenario 4

En este escenario el CC1 es una macrocelda que suministra suficiente cobertura, mientras que una celda RRH (Remote Radio Head) es colocada en sitios de muy alto tráfico (Hotspots) para aumentar la capacidad usando el CC2. Los RRH se conectan al eNB por medio de fibra óptica u otros medios.

La movilidad es soportada por el CC1, este es un escenario cuando CC1 y CC2 están en diferentes bandas.

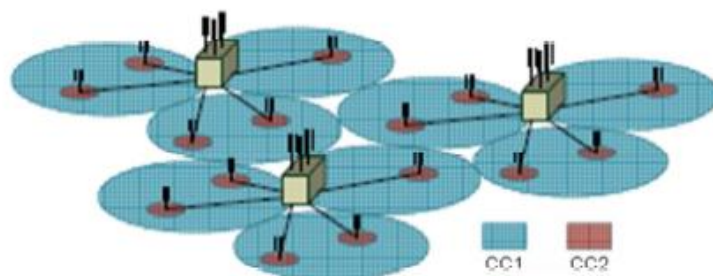


Fig. 3.17 Escenario 4

3.9. LTE vs WiMax

Nos encontramos ante dos tecnologías inalámbricas que ofrecen grandes velocidades, como hemos demostrado anteriormente, pudiendo llegar a cuadruplicar la velocidad actual ^{291 292}.

Realmente podemos hablar de que se trata de dos tecnologías, las cuales trabajan sobre IP, que tienen mucho en común ya que las dos proporcionan el mismo enfoque de las descargas y hacen uso de MIMO, lo que quiere decir que la información es enviada sobre dos o más antenas desde una misma celda. Además las descargas están mejoradas en los dos sistemas ya que utilizan OFDM que soporta transmisiones multimedia y vídeo sostenidas ^{293 294}.

Gran parte de la gente opina que la gran diferencia entre estas dos tecnologías es meramente política ya que depende de las compañías que las apoyan y a sus respectivos intereses, aunque también hay quienes opinan que la diferencia está en el coste.

²⁹¹ Redes Móviles Terrestre 4G: "F. Pérez". Op. Cit.

²⁹² Sistemas 4G. Op. Cit.

²⁹³ Redes Móviles Terrestre 4G: "F. Pérez". Op. Cit.

²⁹⁴ Sistemas 4G. Op. Cit.

Otros expertos opinan que la diferencia está en la cantidad de espectro que necesita cada tecnología para poder llegar a las velocidades que los propios usuarios están exigiendo ^{295 296} .

Ya que ambas pueden alcanzar grandes y muy similares velocidades y transmiten la señal de forma muy parecida ^{297 298}

En principio se piensa que una tecnología no debería destruir a la otra, pero en general se cree que la tecnología más usada será LTE ya que la mayoría de las operadoras a nivel mundial trabajan con GSM (Global System for Mobile Communications), a pesar de que el estándar WiMax ha sido ya aprobado definitivamente y la especificación final de LTE todavía no está disponible.

Como ejemplo de la supuesta supremacía de LTE frente a WiMax, podemos aportar datos de que ciertas compañías como AT&T (proveedor con infraestructura GSM, al igual que T-Mobile) y Verizon Wireless han apostado por la adopción de LTE y planean llevar a cabo grandes despliegues de esta tecnología en 2011 o 2012. Además Sprint tampoco ha descartado crear despliegues LTE ^{299 300} .

En Europa, LTE es la tecnología escogida por la mayoría para adaptarse a las tecnologías 4G, debido a su compatibilidad con GSM, GPRS y UMTS, estándares dominantes en estas tierras, a pesar de que la

²⁹⁵ Redes Móviles Terrestre 4G: "F. Pérez". Op. Cit.

²⁹⁶ Sistemas 4G. Op. Cit.

²⁹⁷ Redes Móviles Terrestre 4G: "F. Pérez". Op. Cit.

²⁹⁸ Sistemas 4G. Op. Cit.

²⁹⁹ Redes Móviles Terrestre 4G: "F. Pérez". Op. Cit.

³⁰⁰ Sistemas 4G. Op. Cit.

operadora europea Vodafone lleva tiempo anunciando sus planes para desplegar una red WiMax en nuestro continente ^{301 302}.

Aunque ya hemos comentado algunas de las velocidades que pueden llegar a alcanzar ambas tecnologías, la realidad es que la velocidad real es difícil de asegurar ya que variará según la cantidad de abonados conectados en un momento determinado a una torre celular, la distancia a la que se encuentren de ella, la frecuencia que se utilice y la potencia de procesamiento del dispositivo que se esté usando ^{303 304}

3.9.1. CARACTERÍSTICAS DE REDES 4G

Como se ha comentado, no existe una definición clara y uniforme sobre lo que es una red 4G. En general, han sido marcados los siguientes objetivos ³⁰⁵:

Altas tasas de transferencia, de entre 100Mbps y 1Gbps, según movilidad, distancia y otros factores.

Heterogeneidad de terminales y redes. Hasta ahora el acceso a un servicio está fuertemente ligado al dispositivo y tecnología de acceso. Los dispositivos con los que se accede a los servicios en redes 4G, así como las tecnologías de acceso pueden ser múltiples, tales como teléfonos móviles, ordenadores portátiles y PCs, televisión, redes UMTS, WiFi, WiMAX,

³⁰¹ Redes Móviles Terrestre 4G: "F. Pérez". Op. Cit.

³⁰² Sistemas 4G. Op. Cit.

³⁰³ Redes Móviles Terrestre 4G: "F. Pérez". Op. Cit.

³⁰⁴ Sistemas 4G. Op. Cit.

³⁰⁵ Redes móviles de cuarta generación" http://www.aplicacionesdnielectronico.com/redes-moviles-de-cuarta-generacion-4g/#.U_K8YvI5M0N

Bluetooth, etcétera.

Roaming vertical y horizontal. Roaming global entre tecnologías de acceso y entre células de una tecnología de acceso, si las hay

- **Servicios IP multimedia.** Soporte para vídeo interactivo o no, voz, SMS, Internet, servicios de localización e información geográfica, etcétera
- **Núcleo de red único y basado en IP.** Al ser una red de conmutación de paquetes, esto dota a 4G de una alta escalabilidad, así como integración completa y consolidada con MPLS y protocolos de ingeniería de tráfico como RSVP-TE u OSPF-TE, además del modelo de Calidad de Servicio DiffServ. El uso de IPv6 permitirá además un rango de direcciones mucho mayor e integración nativa con IPSec entre otras cosas
- **Bajo coste** por bit y de implantación y mantenimiento, ya que 4G puede ser construido sobre las plataformas de red actuales y se prevé que sea una red poco compleja y unificada
- **Compatibilidad** con 3G y uso más **eficiente** del espectro de frecuencias
- **User Friendliness & User Personalization.** Orientación al usuario. La interacción de los usuarios con las aplicaciones y

servicios es minimizada y simplificada. Del mismo modo, elegir y configurar servicios en función de las preferencias del usuario es fundamental. De este modo se consigue atraer a los consumidores hacia nuevas tecnologías

- **Movilidad** de hasta 200 Km/h
- **Oferta uniformizada de servicios.** Cualquier servicio desde cualquier dispositivo y tecnología de acceso.

Esta nueva red debe ser implementada utilizando distintas tecnologías, algunas ya existentes y ampliamente consolidadas³⁰⁶.

3.9.2. TECNOLOGÍAS PARA IMPLEMENTAR REDES 4G

Son varias las tecnologías implicadas en la implantación de redes 4G. Las más importantes son las siguientes, lo cual hace patente el hecho de que 4G puede ser construido sobre la infraestructura actual³⁰⁷:

- **Multiplexación OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing).** Este tipo de multiplexación hace un uso más eficiente del espectro de frecuencias. Para ello aprovecha los huecos entre cada canal variando la fase de las portadoras. OFDM está ampliamente consolidada en redes como WiMAX

308

³⁰⁶ Redes móviles de cuarta generación". Op. Cit.

³⁰⁷ Ídem.

³⁰⁸ Ídem.

- **Antenas MIMO (Multiple-Input Multiple-Output).** Este tipo de antenas aprovecha fenómenos físicos de las señales tales como la propagación multicamino para incrementar considerablemente la tasa de transferencia y disminuir la tasa de error (Moreno S. Y., 2013).
- **Software Defined Radio.** Es un dispositivo que implementa las funcionalidades radio a nivel de software. Una antena genérica y capaz de escanear todo el espectro de frecuencias requerido se encarga de captar las señales. El procesador de señal utilizará un módulo de software u otro en función de distintos parámetros tales como disponibilidad, QoS, localización, o la misma acción del usuario en el peor de los casos (Moreno S. Y., 2013).
- **UMTS, TD-SCDMA, WiFi, WIMAX, LTE.** Tecnologías de acceso y de radio heterogéneas que, valga la redundancia, darán acceso a los mismos servicios, proporcionando un entorno de comunicación “always-on” y unificado
- **IP.** Tras muchos años de debate, el protocolo IP ha sido tomado como la opción definitiva como protocolo de nivel 3 en redes de nueva generación.

Teniendo en cuenta los objetivos marcados para la Cuarta Generación y las herramientas disponibles hoy en día, se presentan una serie de retos tecnológicos y económicos que se

detallan a continuación ³⁰⁹.

3.9.3. RETOS EN LA IMPLANTACIÓN DE REDES 4G

Para migrar las redes actuales hacia 4G se presentan una serie de retos tecnológicos y económicos importantes. Éstos pueden dividirse en tres grupos, los relativos al dispositivo móvil, los relativos al sistema y red y los relativos a los servicios. A continuación se describe cada uno de ellos ³¹⁰:

Dispositivo móvil

- **Multimode User Terminals.** Es necesario que los dispositivos puedan reconfigurarse para poder adaptarse a diferentes redes inalámbricas. Esto elimina la necesidad de múltiples dispositivos o múltiples antenas y componentes hardware en un mismo dispositivo. Sin embargo la tecnología SDR hoy en día está poco desarrollada y es prácticamente imposible construir una antena que abarque todo el espectro de frecuencias de 4G (WiFi, WiMAX, UMTS etc) ³¹¹.
- Otra posibilidad es utilizar múltiples antenas y componentes hardware, lo que aumenta considerablemente el tamaño del dispositivo. Además los conversores Analógico-Digital actuales son hasta tres veces más lentos de lo requerido en UMTS o GSM (al menos 17 bits de resolución y 100M

³⁰⁹ Redes moviles de cuarta generacion". Op. Cit.

³¹⁰ Ídem.

³¹¹ Ídem.

muestras por segundo). Por último, para implementar funcionalidades radio por software puede hacerse necesario el uso de procesadores de señal (DSP) paralelos ³¹².

- **Wireless System Discovery.** El terminal del usuario debe ser capaz de escanear la banda de frecuencias del entorno, procesando señales enviadas por distintos sistemas inalámbricos, cada uno con sus características técnicas y protocolos. Esta acción puede ser iniciada por el usuario o por el dispositivo, utilizando para ello distintos criterios. Una vez detectadas las posibles redes, cualquiera de los dos puede iniciar la descarga del módulo software, a través de la red a la que ya está conectado o a través de una tarjeta de memoria o similar. Existe una solución a este problema que consiste en escanear un canal de difusión predefinido, el Global Pilot and Download Channel (GPDCH) para buscar nuevas redes. Sin embargo esta solución se considera lenta ³¹³.
- **Wireless System Selection.** Escaneadas las redes, el dispositivo debe ser capaz de elegir la más adecuada, debido a que cada una tiene sus características y debido también a que el usuario puede estar manteniendo sesiones con cualquier clase de requisitos técnicos. La red seleccionada debe ser capaz de asegurarla QoS y ancho de banda

³¹² Redes móviles de cuarta generación". Op. Cit.

³¹³ Ídem.

requerida por el usuario y sus aplicaciones. Es necesario que el dispositivo adopte unos criterios para cumplir con las exigencias. Esta decisión puede ser tomada en función de varios factores como la localización del usuario o la QoS mínima requerida.

- **Sistema**

- ***Terminal Mobility***. Para proveer un entorno de comunicación “always-on” es necesario que 4G soporte movilidad de dispositivo entre varias redes, lo que se conoce como roaming. Se presentan entonces dos problemas, la Localización y la gestión del Handoff. En IPv6 se propone una solución en la que cada usuario dispone de un “Home Agent”, dispositivo que carece de movilidad y que típicamente se encuentra en el router en el domicilio del usuario. El HA conoce en todo momento la dirección IPv6 del usuario, de modo que cuando éste hace roaming entre una red y otra y la dirección IP cambia, ésta es notificada al HA. Sin embargo este proceso aumenta el retardo, pérdidas y posiblemente variación de retardo ³¹⁴.

- Por lo que debe ser estudiado detenidamente, además en el caso de 4G, la movilidad es tanto horizontal como vertical. Es necesario hacer roaming entre distintas células pero también entre distintas redes, lo que hace el proceso más complicado.

³¹⁴ Redes móviles de cuarta generación”. Op. Cit.

Son necesarias nuevas políticas de decisión y algoritmos de Handoff para redes heterogéneas ³¹⁵.

- **Network Infrastructure and QoS Support.** Actualmente las redes pueden dividirse en redes de conmutación de circuitos y redes de conmutación de paquetes. Ejemplos de la primera son GSM, CDMA2000 o la voz en UMTS. Estas redes están optimizadas para transportar voz, sin embargo las redes de conmutación de paquetes como WiFi están pensadas para datos. Es necesario poder integrar estas redes y proveer la QoS que se espera en los servicios de nueva generación. Actualmente la calidad de servicio se lleva a cabo teniendo una red concreta en mente. UMTS, WiFi, WiMAX y otras redes inalámbricas tienen distintas características en todos los sentidos, y los requerimientos QoS de una aplicación son evaluados de forma distinta en cada una de ellas ³¹⁶.
- **Security and Privacy.** Hasta ahora cada red tiene sus propios esquemas de seguridad, los cuales tratan de cubrir los aspectos de seguridad según el servicio que proporcionan. Por ejemplo, aunque WiFi y WiMAX puedan ambos utilizar AES, su gestión de claves y protocolo previo así como los formatos de trama son distintos. En una red 4G heterogénea estos esquemas de seguridad cerrados no son

³¹⁵ Redes móviles de cuarta generación". Op. Cit.

³¹⁶ Ídem.

adecuados. Es necesario el desarrollo de un sistema de seguridad flexible, que tenga en cuenta la diversidad de dispositivo y acceso de 4G. “Tiny SESAME” es un ejemplo de mecanismo de seguridad ligero y reconfigurable, que provee servicios de seguridad para aplicaciones multimedia o basadas en IP. Además, los ataques en el nivel de aplicación proliferarán con la aparición de nuevos servicios ³¹⁷.

- ***Fault Tolerance and Survivability.*** Hasta ahora se ha realizado mucho trabajo para proveer tolerancia a fallos en redes cableadas tales como la PSTN o ATM. Sin embargo esto no es así en redes inalámbricas, a pesar de que un medio inalámbrico es más propenso a errores. Además, la topología de red en forma de árbol hace que un fallo en un punto afecte a todos los elementos que hay por debajo. En una red 4G el problema se vuelve doble al haber múltiples redes heterogéneas con múltiples peculiaridades. Los diseñadores de algoritmos para tolerancia a fallos en 4G deben tener en cuenta consumo de energía, movilidad del usuario, seguridad y capacidad del sistema, gestión de QoS y tasas de error de diferentes tipos de redes inalámbricas. Algunas posibilidades son utilizar un sistema de células jerárquicas o el solapamiento físico de distintas redes.

- Servicios

³¹⁷ Redes móviles de cuarta generación”. Op. Cit.

- *Multiple Operators and Billing System*. En el mercado actual los proveedores normalmente facturan a los usuarios en función de criterios simples tales como volumen de descarga, duración de llamadas, etcétera. Además el usuario normalmente tiene que proporcionar los mismos datos y preferencias repetidas veces, una por operador y servicio ³¹⁸.
- Hoy en día las demandas de los usuarios son más exigentes y en un escenario 4G éstos pueden tener contratados múltiples servicios, similares o no, con múltiples proveedores. Para satisfacer estas exigencias los proveedores tienen que diseñar nuevas arquitecturas de negocio, por ejemplo basadas en SOA, procesos de “accounting”, facturación y mantenimiento ³¹⁹.
- Diferentes criterios pueden ser utilizados para facturar distinto en distintas clases de servicio y con distinta calidad de servicio. Es necesario unificar los criterios y establecer un esquema común que permita adaptar la facturación a un servicio concreto en un escenario 4G. Además, la información relativa al usuario debe ser compartida por los proveedores para mayor comodidad de todos. Esta nueva plataforma comercial debe cumplir las siguientes condiciones: escalabilidad, flexibilidad, estabilidad, exactitud

³¹⁸ Redes móviles de cuarta generación”. Op. Cit.

³¹⁹ Ídem.

y usabilidad ³²⁰.

- *Personal Mobility*. La movilidad de los usuarios va un poco más allá que la movilidad de dispositivo. En un escenario 4G los usuarios tienen que poder acceder a los servicios independientemente del dispositivo y estos servicios tienen que poder ser adaptados en función de las capacidades de éste.

- Ej: Un usuario recibe un mensaje de vídeo por la mañana y lo lee desde su pc. Por la tarde en el trabajo llega otro y lo lee desde su teléfono móvil. Por la noche en su casa llega otro y lo lee desde su ordenador portátil. Es decir, cuando hay un mensaje a un usuario, no importa su localización ni qué tipo de terminal está usando, el mensaje será enviado al usuario

Algunas soluciones a este problema hacen uso de agentes móviles por software. Con esta solución, un usuario es servido por varios agentes en función de la aplicación. Estos agentes residen en las máquinas servidoras y actúan de intermediarios, de modo que cuando un usuario se mueve a otra red los agentes actúan en consecuencia, ya que conocen todos los datos del usuario, tales como localización o perfil. Otras soluciones no hacen uso de agentes móviles ³²¹.

Este problema puede ser resuelto gracias a la Computación

³²⁰ Redes móviles de cuarta generación". Op. Cit.

³²¹ Ídem.

Cloud, ya que el hecho de almacenar tanto datos como aplicaciones en máquinas servidoras elimina directamente el problema ³²².

Este capítulo ha intentado demostrar que la implantación de redes 4G exige una serie de retos tecnológicos y económicos con mayor o menor grado de dificultad. En el siguiente capítulo se evalúa la necesidad de implantar redes 4G ³²³.

3.9.4. NECESIDAD DE IMPLANTAR REDES 4G

En general, es necesaria una evolución en las redes y servicios de comunicaciones. Las Redes de Nueva Generación (Next Generation Networks, o NGN) representan una nueva filosofía en el diseño, planificación y mantenimiento de redes de telecomunicaciones. El ITU.T define una NGN como una red con las siguientes características ³²⁴:

- Basada en conmutación de paquetes
- Separación de las funciones de control, transporte y servicios
- Interfaces abiertas
- Integración de servicios
- Capacidades de banda ancha con Calidad de Servicio end-to-end
- Integración con las redes actuales

³²² Redes moviles de cuarta generacion”. Op. Cit.

³²³ Ídem.

³²⁴ Ídem.

- Movilidad
- Acceso de los usuarios a distintos Proveedores
- Esquemas variados de identificación de usuarios
- Servicios unificados y diseñados según la percepción del usuario
- Convergencia de servicios Fijo-Móvil
- Acorde con los posibles requisitos regulatorios

Se trata pues de una red altamente escalable pensada para evolucionar rápidamente y al menor coste, acorde con la economía global y desregulada. Sin embargo 4G no es la única solución para realizar todo esto. El Release5 de UMTS (2002) define una arquitectura de red basada en IMS (IP Multimedia Subsystem) acorde con las definiciones de ITU.T sobre NGN. Las similitudes entre 4G e IMS son prácticamente todas en lo que a objetivos se refiere. Además presentan numerosas en cuanto a funcionalidades, tales como un núcleo de red basado en IP, independencia de dispositivo y tecnología de acceso y servicios de nueva generación. Sin embargo 4G sólo tiene ámbito de aplicación en redes móviles ³²⁵.

Mientras que una red IMS se aplica a redes fijas y móviles, esto incluye integrar la red de telefonía fija tradicional y tecnologías de acceso xDSL y FTTx. Otras diferencias pueden ser ³²⁶:

³²⁵ Redes moviles de cuarta generacion". Op. Cit.

³²⁶ Ídem.

- 4G prevé desarrollar un nuevo interfaz radio basado en OFDM, antenas MIMO y tecnología SDR para ser usado junto con las tecnologías ya existentes, mientras que IMS se centra en dar soporte a las ya existentes
- 4G no define una arquitectura de red en tres capas como lo hace IMS. La división funcional de una red entre Transporte, Control y Servicios proporciona mayor nivel de escalabilidad y posibilidades de evolución. IMS es más generalista y adopta un punto de vista más amplio
- 4G no ha sido estandarizado, mientras que IMS lo fue en el Release5 de UMTS (2002)

Además, la implantación de 4G presenta una serie de escollos tecnológicos que se comentaron en capítulos anteriores, donde los más importantes pueden ser la tecnología SDR y la falta de estandarización. Teniendo en cuenta todo esto y que tanto IMS como 4G persiguen los mismos objetivos finales, es posible solapar ambas redes y hacer coincidir sus partes comunes. Esto daría lugar a una red IMS con un nuevo interfaz radio, añadido a los que ya existirían y basado en los principales avances de 4G como tecnología SDR y MIMO. Es decir, ambas redes pueden ser implantadas en paralelo, ya que en esencia persiguen lo mismo. El núcleo común basado en IP, la provisión de servicios orientada al usuario, la independencia de dispositivo y tecnología de acceso y la reducción de costes son partes comunes de ambas redes y hacen que puedan trabajar en común. Además,

la implantación de una red IMS no impide el desarrollo de nuevas tecnologías de acceso y servicios dado su carácter modular y en tres niveles ³²⁷.

Estas redes de nueva generación necesitarán desarrollar servicios para todos los tipos de terminales, los cuales se moverán entre redes fijas (Fibra Óptica, DSL, Cable) y distintas tecnologías de acceso móvil (basadas en 3GPP, 3GPP2 e IEEE) ³²⁸.

3.9.5. REQUISITOS PARA 4G

Los estándares para 4G deben cumplir los siguientes requisitos ³²⁹.

Acceso de banda ancha móvil y eficiencia de ancho de banda

4G está principalmente centrado en el tráfico de datos. Esto se deduce de la tendencia e incremento de este tipo de tráfico en comparación al tráfico de voz durante la evolución de las distintas generaciones de las comunicaciones móviles antes vistas ³³⁰.

³²⁷ Redes moviles de cuarta generacion". Op. Cit.

³²⁸ Ídem.

³²⁹ Tecnología Celular 4G "Carlos Manosalva Uhart (<http://www.monografias.com/trabajos93/telefonía-celular-4g/telefonía-celular-4g.shtml>)

³³⁰ Ídem.

Alta capacidad de red

El estándar 4G requiere una alta capacidad de red conseguida a través del uso eficiente de múltiples técnicas de acceso, unido a avanzados sistemas de antenas conocidas como Smart or Intelligent Antennas ³³¹.

Conectividad y roaming a través de redes heterogéneas

Para sostener la idea de ubicuidad, el estándar 4G debe proveer los medios para proporcionar conectividad y handover a través de redes heterogéneas, es decir redes de diferentes tamaños y funcionalidades. Los handover verticales y horizontales son críticos a fin de permitir una adecuada transición a 4G con el objeto de garantizar su adecuada masificación y viabilidad comercial ³³².

Alta calidad de servicio

Permitiendo un adecuado soporte para las aplicaciones multimedia (audio en tiempo real, datos de alta velocidad, HDTV, televisión móvil, etc.) ³³³.

Desarrollo y estado de las normas

A fin de habilitar la Internet móvil, la ITU lanzó la iniciativa IMT-Advanced con el propósito que las organizaciones de

³³¹ Tecnología Celular 4G “Carlos Manosalva Uhart. Op. Cit.

³³² Ídem.

³³³ Ídem.

normalización realizaran propuestas de comunicación en materia de tecnologías 4G. Las propuestas recibidas están basadas principalmente en dos tecnologías: WIMAX, referida a la familia de normas IEEE 802.16, y Long-Term Evolution (LTE), desarrollado por la 3GPP ³³⁴.

Technology / Features	1G	2G	2.5G	3G	4G
Start/ Deployment	1970/ 1984	1980/ 1991	1985/ 1999	1990/ 2002	2000/ 2006
Data Bandwidth	1.9 kbps	14.4 kbps	14.4 kbps	2 Mbps	200 Mbps
Standards	AMPS	TDMA, CDMA, GSM	GPRS, EDGE, 1xRTT	WCDMA, CDMA-2000	Single unified standard
Technology	Analog cellular technology	Digital cellular technology	Digital cellular technology	Broad bandwidth CDMA, IP technology	Unified IP and seamless combination of broadband, LAN/WAN/PAN and WLAN
Service	Mobile telephony (voice)	Digital voice, short messaging	Higher capacity, packetized data	Integrated high quality audio, video and data	Dynamic information access, wearable devices
Multiplexing	FDMA	TDMA, CDMA	TDMA, CDMA	CDMA	CDMA
Switching	Circuit	Circuit	Circuit for access network & air interface; Packet for core network and data	Packet except circuit for air interface	All packet
Core Network	PSTN	PSTN	PSTN and Packet network	Packet network	Internet
Handoff	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal and Vertical

Tabla 3.4 Comparacion de Tecnologías

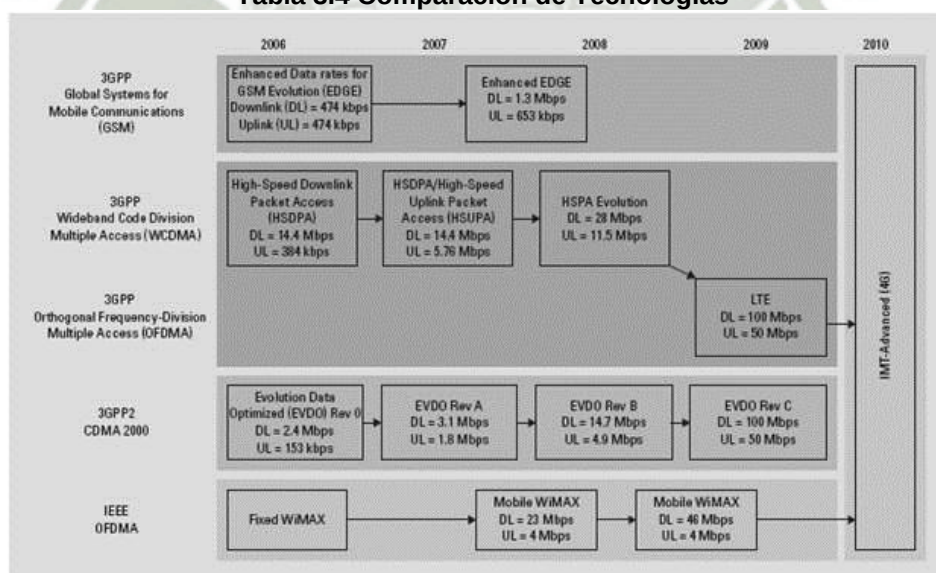


Fig. 3.18 Evolucion y desarrollo de las normas LTE y WiMAX

³³⁴ Tecnología Celular 4G “Carlos Manosalva Uhart. Op. Cit.

Especificaciones técnicas

Tanto LTE y WIMAX hacen uso de la técnica de acceso OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) en el downlink, pero no así en el uplink.

La siguiente tabla muestra las especificaciones técnicas para LTE y WIMAX ³³⁵.

Table 1. LTE and WiMAX technical specifications.

	LTE (3GPP R8)	LTE-Advanced (3GPP R10)	WIMAX 802.16e (R1.0)	WIMAX 802.16m (R2.0)
Physical layer	DL: OFDMA [†] UL: SC-FDMA [‡]	DL: OFDMA UL: SC-FDMA	DL: OFDMA UL: OFDMA	DL: OFDMA UL: OFDMA
Duplex mode	FDD and TDD [§]	FDD and TDD	TDD	FDD and TDD
User mobility	217 mph (350 km/h)	217 mph (350 km/h)	37 to 74 mph (60 to 120 km/h)	217 mph (350 km/h)
Channel bandwidth	1.4, 3, 5, 10, 15, 20 MHz	Aggregate components of Release 8	3.5, 5, 7, 8.75, 10 MHz	5, 10, 20, 40 MHz
Peak data rates	DL: 302 Mbps (4 × 4 antennae) UL: 75 Mbps (2 × 4) at 20 MHz FDD	DL: 1 Gbps UL: 300 Mbps	DL: 46 Mbps (2 × 2) UL: 4 Mbps (1 × 2) at 10 MHz TDD 3:1 (downlink/uplink ratio)	DL > 350 Mbps (4 × 4) UL > 200 Mbps (2 × 4) at 20 MHz FDD
Spectral efficiency	DL: 1.91 bps/Hz (2 × 2) UL: 0.72 bps/Hz (1 × 2)	DL: 30 bps/Hz UL: 15 bps/Hz	DL: 1.91 bps/Hz (2 × 2) UL: 0.84 bps/Hz (1 × 2)	DL > 2.6 bps/Hz (4 × 2) UL > 1.3 bps/Hz (2 × 4)
Latency	Link layer < 5 ms Handoff < 50 ms	Link layer < 5 ms Handoff < 50 ms	Link layer – 20 ms Handoff – 35 to 50 ms	Link layer < 10 ms Handoff < 30 ms
VoIP capacity	80 users per sector/ MHz (FDD)	>80 users per sector/ MHz (FDD)	20 users per sector/ MHz (TDD)	>30 users per sector/ MHz (TDD)

^{*}Downlink/uplink, [†]Orthogonal frequency-division multiple access, [‡]Single-carrier frequency-division multiple access, [§]Frequency-division duplexing and time-division duplexing

Tabla 3.5 Técnicas específicas de LTE y WiMAX

Downlink

Si bien OFDMA es considerada ineficiente en términos de potencia, es utilizado en downlink debido a que el amplificador de potencia se coloca en la estación base (o en el eNodeB en la terminología 3GPP) en donde la potencia está asegurada, y los terminales móviles comparten con ella muchas de sus la complejidades adicionales. Sin embargo, en el uplink, en inicio

³³⁵ Tecnología Celular 4G “Carlos Manosalva Uhart. Op. Cit.

de transmisiones se realizan desde los dispositivos móviles, los cuales sólo funcionan con baterías ³³⁶.

Un aumento de la capacidad en las redes OFDMA puede lograrse mediante el uso de múltiples antenas, tanto en el emisor como en el receptor. Las antenas MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) por ejemplo, aprovechan las características multipath en la propagación de ondas UHF para incrementar la tasa de transmisión y reducir la tasa de error. En breves palabras MIMO aumenta la eficiencia espectral de un sistema de comunicación móvil por medio de la utilización del dominio espacial ³³⁷.

Uplink

WIMAX continúa utilizando OFDMA, pero las especificaciones 3GPP para LTE proponen una reducción del parámetro PAPR (Peak to Average Power Ratio) para la señal uplink. Este modelo de transmisión usado por LTE para uplink es una versión no codificada de OFDMA llamado SC-FDMA (Single Carrier - Frequency Division Multiple Access), el cual facilita al terminal móvil mantener una transmisión de señal de alta eficiencia utilizando su propio amplificador de potencia ³³⁸.

El uplink LTE logra esta propiedad y ahorra energía sin degradar la flexibilidad del sistema o su rendimiento. Un bajo valor de

³³⁶ Tecnología Celular 4G “Carlos Manosalva Uhart. Op. Cit.

³³⁷ Ídem.

³³⁸ Ídem.

PAPR da como resultado una mejor cobertura y mejores rendimientos en las celdas extremas³³⁹.

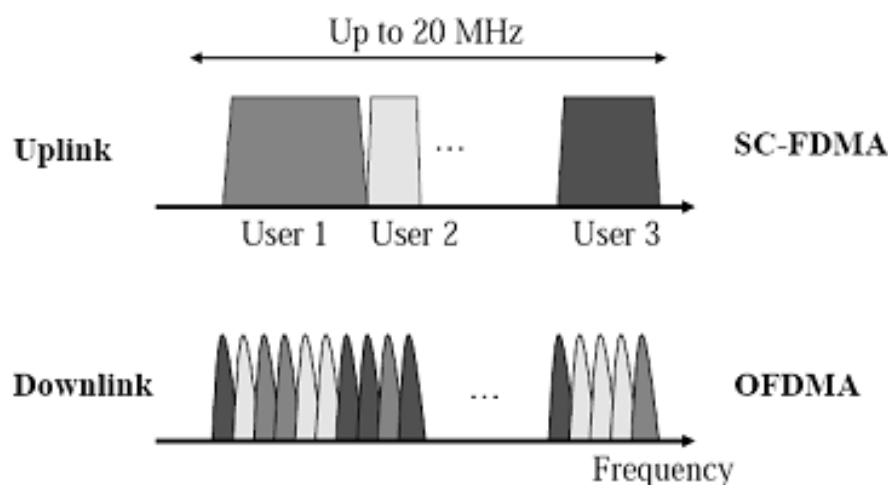


Fig. 3.19 Esquema de acceso para LTE

Otro parámetro a considerar en la Implementación de una Red 4G LTE es la Propagación

3.9.6. Modelo de Propagación para 4G LTE

El objetivo de este análisis es presentar una visión general de los diversos modelos de propagación para entornos urbanos.

Conociendo los aspectos más relevantes de la caracterización de dichos modelos³⁴⁰.

Los métodos para el cálculo de coberturas nacen a partir de incorporar procedimientos empíricos de la estimación de pérdida de propagación y el nivel de señal recibida. Estos métodos empíricos, aportan una rápida estimación de las pérdidas

³³⁹ Tecnología Celular 4G “Carlos Manosalva Uhart. Op. Cit.

³⁴⁰ LTE-Advanced and Next Generation Wireless Networks- Channel Modelling and Propagation-Guillaume de la roche, Andres alayon Ben Allen.

básicas de propagación. Las zonas urbanas, caracterizan como principal obstrucción al rayo directo la presencia de los edificios que son mayoritarios, generando una cantidad de efectos sobre la señal analizada en cualquier punto³⁴¹.

No se pretende hacer algún cálculo o una síntesis de la metodología que sería tema de otro trabajo de tesis. Sin embargo señalamos el factor o parámetro de propagación, como una primera aproximación de análisis, que conjuntamente con el método MIMO, configuran todo el aspecto de propagación y antenas de una red 4G LTE³⁴².

Las zonas urbanas, caracterizan como principal obstrucción al rayo directo la presencia de los edificios que son mayoritarios, generando una cantidad de efectos sobre la señal analizada en cualquier punto³⁴³.

De tal manera que los modelos tradicionales solo significan una primera aproximación para estimar pérdidas en función de la distancia. En realidad si tomamos las expresiones de los canales fijos se puede determinar muy justo el valor de la pérdida en función de la distancia ya que este canal al sobredimensionar el efecto del fading (desvanecimiento), se aproxima a un sistema invariante en el tiempo³⁴⁴.

³⁴¹ LTE-Advanced and Next Generation Wireless Networks- Channel Modelling and Propagation-Guillaume de la roche, Andres alayon Ben Allen. Op. Cit.

³⁴² Ídem.

³⁴³ Ídem.

³⁴⁴ Ídem.

Sin embargo en la telefonía móvil, el modelo es crono variable, lo que implica agregar algunas correcciones empíricas debido al grado de urbanización de la zona, o también pueden agregarse algunas pérdidas por difracción deducidas de forma teórica para situaciones idealizadas de edificios ³⁴⁵.

No es como en la Telefonía fija donde Erlang es mucho más precisa.

La planificación de estructuras celulares, se genera debido a las densidades poblacionales, a utilizar celdas cada vez más pequeñas, esto es el factor determinante para tener una mejor resolución en la predicción de la cobertura de la señal ³⁴⁶.

A partir de la metodología utilizada para obtener el valor medio de las pérdidas de propagación, se los puede clasificar como ³⁴⁷:

- **Empíricos:** basados en las campañas de medida.
- **Semi-empíricos:** modelos empíricos a los que se les agregan soluciones exactas para algunos mecanismos de propagación.
- **Deterministas:** basados en el cálculo exacto de las pérdidas de propagación, mecanismos de difracción, reflexión, scattering, etc.
- **Semi-deterministas:** al anterior, se agregan técnicas

³⁴⁵ LTE-Advanced and Next Generation Wireless Networks- Channel Modelling and Propagation-Guillaume de la roche, Andres alayon Ben Allen. Op. Cit.

³⁴⁶ Ídem.

³⁴⁷ Ídem.

estadísticas que permiten modelar algunos elementos físicos del entorno donde se estudia la propagación.

Una segunda clasificación donde se tienen en cuenta los aportes y contribuciones del haz principal y otras contribuciones, se la puede expresar como sigue ³⁴⁸:

- **Modelos bidimensionales:** solamente se analiza la contribución del haz principal, con lo que se obtiene una predicción del área de cobertura.
- **Modelos tridimensionales:** trabajan con la mayor cantidad de rayos que llegan al receptor, es decir todas las contribuciones por el multitrayecto.

Con esto se obtienen otros parámetros del canal móvil que pueden interesar para la planificación.

Veremos algunas consideraciones que se toman en cuenta para el dimensionamiento ³⁴⁹:

Propagación y Ganancia de la antena en el espacio libre

En líneas generales para un canal fijo, hablar de la atenuación del espacio libre entre dos antenas implica suponer que el enlace está despejado y una parte de la señal transmitida se pierde y no llega a la antena receptora ³⁵⁰.

La densidad de potencia transmitida, se la expresa como el

³⁴⁸ LTE-Advanced and Next Generation Wireless Networks- Channel Modelling and Propagation-Guillaume de la roche, Andres alayon Ben Allen. Op. Cit.

³⁴⁹ Ídem.

³⁵⁰ Ídem.

cociente entre la potencia del transmisor y el área de transmisión

$$P = \frac{P_T}{A_{TR}} \quad (1.1)$$

Como el área física en el cual se distribuye la radiación de una isotrópica es una esfera esta área vale, donde R , es el radio de la esfera

$$A_{TR} = 4. \pi. R^2 \quad (1.2)$$

Al ser la antena directiva, 1.1 se modifica con la ganancia de la antena transmisora en:

$$P = \frac{P_T}{A_{TR}} G_T \quad (1.3)$$

Reemplazando (1.2) en (1.3)

$$P = \frac{P_T}{4. \pi. R^2} G_T = \frac{P_T}{4. \pi. d^2} G_T \quad (1.4)$$

Es conveniente aclarar que se hizo un cambio de nomenclatura, el radio de la esfera en la isotrópica, es la distancia del enlace fijo al ser directiva la antena, por ello el radio R se reemplaza con la letra d , que es la distancia total del enlace (TX a RX).

La potencia recibida se obtiene como el producto de la densidad de potencia transmitida por el área de captura o efectiva de la antena receptora.

$$P_R = P. A_R \quad (1.5)$$

El área efectiva de una antena (en este caso la receptora) se expresa como:

$$A_R = \frac{\lambda^2}{4 \cdot \pi} G_R \quad (1.6)$$

Reemplazando (1.4) y (1.6) en (1.5) y operando

$$P_R = P_T \frac{\lambda^2}{(4 \cdot \pi \cdot d)^2} G_T \cdot G_R \quad (1.7)$$

G_T y G_R : representa la transmisión y recepción de ganancias de antena

Considerando las ganancias unitarias ya que pueden ser tenidas en cuenta en cualquier momento y realizando el cociente entre la potencia recibida y la transmitida encontramos la atenuación del espacio libre:

$$A_0 = \frac{P_R}{P_T} \left(\frac{\lambda}{4 \cdot \pi \cdot d} \right)^2 \quad (1.8)$$

La atenuación está en función de la frecuencia y la distancia entre antenas. Las ecuaciones de enlace se trabajan generalmente con la frecuencia en MHz o GHz, la distancia en Km o m y la atenuación en dB. A tal efecto expresamos que la longitud de onda en Km. en función de la frecuencia en MHz se expresa como:

$$\lambda = \frac{0.3}{f} \quad (1.9)$$

Reemplazando (1.9) en (1.8)

$$A_0 = \left(\frac{0.3}{4 \cdot f \cdot \pi \cdot d} \right)^2 \quad (1.10)$$

Aplicando dB (unidades logarítmicas)

$$A_{0dB} = 20 \log 4\pi - 20 \log 0.3 - 20 \log f - 20 \log d \quad (1.11)$$

Resolviendo

$$A_{0dB} = 32.44 - 20 \log f - 20 \log d \quad (1.12)$$

Reflexión y Transmisión

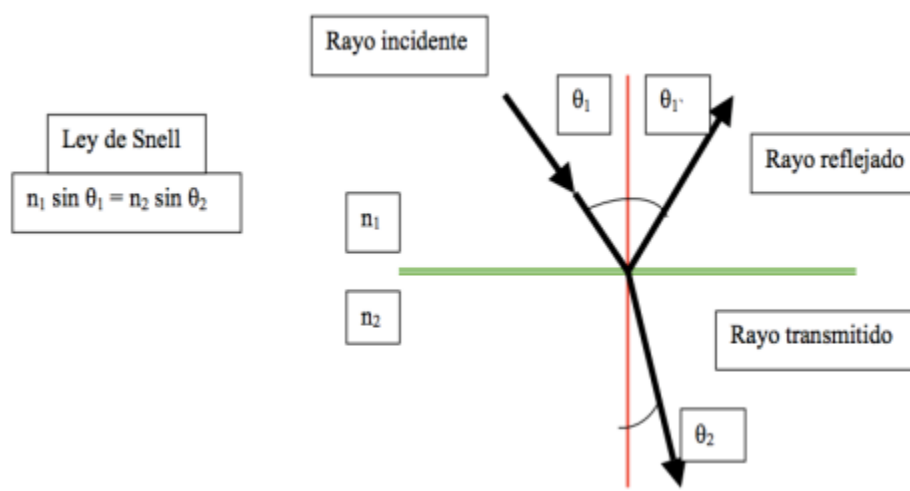


Fig. 3.15 Ley de Snell

En los entornos habituales, las señales se reflejan en el terreno, edificios o montañas, o se propagan a través de las paredes del edificio o de las habitaciones. Por lo tanto, el proceso fundamental de la reflexión o transmisión a través de una capa dieléctrica es de gran relevancia. La reflexión/transmisión en la interfaz de dos semiespacios dieléctricos, se rigen por las leyes

de Snell ³⁵¹.

Difracción

Las ondas también pueden "doblar"se – encorvarse " en torno a los obstáculos, un proceso conocido como difracción. La eficacia del proceso depende de la longitud de onda, las ondas se comportan como los rayos que lanzan "sombras" agudas o nítidas. La difracción puede ser esencial para permitir que las señales por completo "cubran" todos los puntos en un área ³⁵².

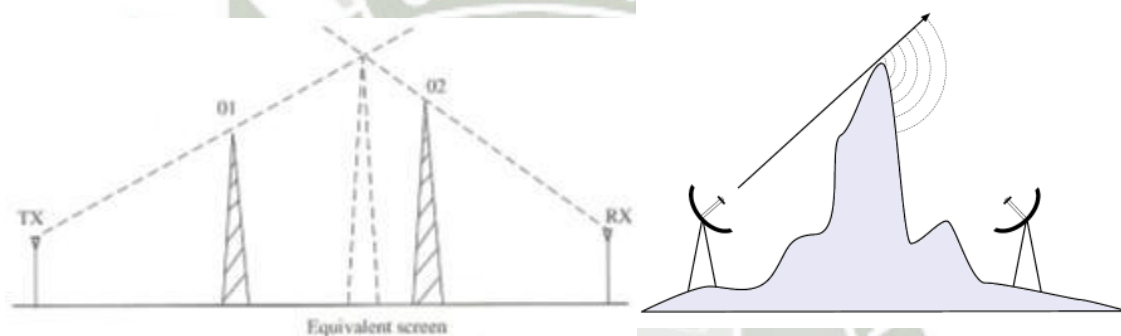


Fig. 3.20 Difraccion

Dispersión (*Scattering*)

La reflexión especular, se produce cuando una onda plana incide sobre un objeto perfectamente liso (e infinitamente extendido). Cuando la superficie es rugosa, la radiación se dispersa en todas las direcciones ³⁵³, ver Figura2.2.

³⁵¹ LTE-Advanced and Next Generation Wireless Networks- Channel Modelling and Propagation-Guillaume de la roche, Andres alayon Ben Allen. Op. Cit.

³⁵² Ídem.

³⁵³ Ídem.

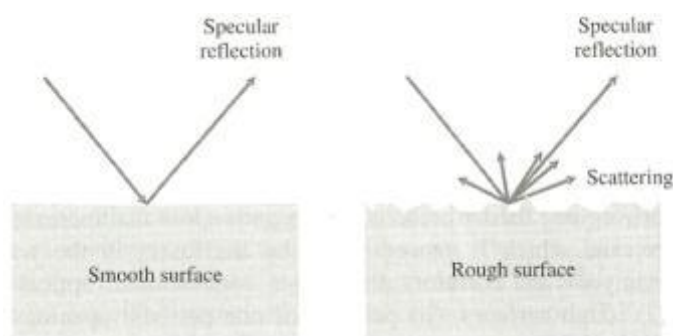


Fig. 3.21 Scattering

Sin embargo, para los propósitos del modelado es común subsumir todas las variaciones de superficies que tienen dimensiones más pequeñas que una longitud de onda en la rugosidad de la superficie. Por ejemplo, una fachada de un edificio sobre sale marcos de las ventanas se modela como una superficie con rugosidad aleatoria, a pesar de que los marcos de las ventanas tienen claramente una estructura regular ³⁵⁴.

Hay dos teorías principales de la dispersión por superficies rugosas: la teoría de Kirchhoff, y la teoría de la perturbación. La teoría de Kirchhoff asume que las variaciones de altura son tan pequeñas que diferentes puntos de dispersión en la superficie, la rugosidad de la superficie conduce a una reducción de la potencia del rayo reflejado especularmente ³⁵⁵.

La teoría de la perturbación tiene en cuenta que algunos puntos de una superficie rugosa pueden "proyectar una sombra" sobre otros puntos. Este efecto se puede cuantificar por la distancia de

³⁵⁴ LTE-Advanced and Next Generation Wireless Networks- Channel Modelling and Propagation-Guillaume de la roche, Andres alayon Ben Allen. Op. Cit.

³⁵⁵ Ídem.

la coherencia de la rugosidad de la superficie ³⁵⁶.

Nota: Por otro lado si se agrupan todos los mecanismos de reflexión, difracción y scattering, que ocurren en un entorno muy cercano al móvil, creando un submodelo tridimensional al que se lo denomina “modelo de propagación horizontal”. Lo que se obtienen como resultado de este modelo es la estadística a corto plazo de la señal recibida. Como se ve en la siguiente figura :

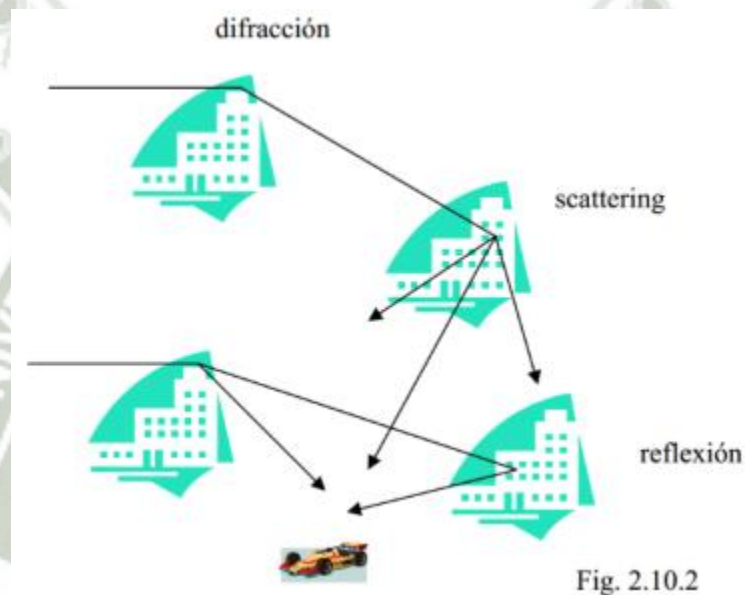


Fig. 3.22 Mecanismos de reflexión, difracción y scattering

³⁵⁶ LTE-Advanced and Next Generation Wireless Networks- Channel Modelling and Propagation-Guillaume de la roche, Andres alayon Ben Allen. Op. Cit.

CONCLUSIONES

- Se ha demostrado la hipótesis, bajo los lineamientos de los objetivos planteados
- Se situó el entorno de la tesis en la infraestructura de redes utilizadas para telefonía móvil como parte integrante de las redes móviles de cuarta generación, mencionando la principal característica de esta red de acceso radio: proporciona servicios de acceso a una red de conmutación IP de cuarta generación, basada en tecnologías IP móvil.
- Se discutió a lo largo del trabajo, el planteamiento del problema, las limitaciones de las propuestas actuales de redes de acceso de cuarta generación en el soporte de los servicios genéricos de la red móvil de acceso. Se ha sintetizado los planteamientos teóricos relacionados con la telefonía móvil, resumiendo todo lo relacionado con sistemas de Telecomunicación IP Inalámbrica. Se ha establecido un marco conceptual de lo que debe hacerse óptimamente para implementar un sistema integrado de tecnología 4G y sus parámetros necesarios, recurriendo además a la tecnología IP inalámbrica
- Se planteó un conjunto de objetivos generales y específicos, conducentes a la realización de las aportaciones de esta tesis en el ámbito de las arquitecturas de redes móviles, específicamente en el desarrollo de una arquitectura de red de acceso móvil de cuarta generación que proporcione los servicios típicos asociados a una red de acceso móvil, a través de protocolos basados en IP móvil, y que de

soporte a distintas tecnologías.

- Las redes móviles 3G están evolucionando hacia la 4G a través de la simplificación de la red de acceso y de nuevas interfaces radio que permiten mayores velocidades de acceso, y la utilización de movilidad local IP para una mejor integración con otras redes de acceso.
- Se definieron los requisitos de la red de acceso móvil 4G, con el objetivo de servir a los usuarios móviles a través de distintas tecnologías móviles, utilizando una arquitectura y protocolos comunes y basados en IP, para ofrecer los servicios de movilidad de usuario, sincronización de red y de usuario, transferencia de datos de usuario en modo unicast, multicast y broadcast, servicios de posicionamiento de usuario, calidad de servicio (QoS), autenticación, autorización, seguridad y descubrimiento de servicios.
- Luego se realizó la principal contribución de esta tesis, el desarrollo de la arquitectura de acceso radio 4G LTE
- Se identificaron un conjunto mínimo de requisitos que debe cumplir cualquier red de cuarta generación, en cuanto a los servicios de red, con el objetivo de cumplir con el soporte de tecnologías radio heterogéneas a través de una red de acceso basada en IP.
- El modelo de red incluye la integración de distintos mecanismos y
- Protocolos basados en IP móvil con el propósito de proporcionar soporte como red de acceso radio genérica.

- Esta integración incluye la interacción de distintos protocolos y mecanismos basados en IPv6 e IPv6 móvil, así como entre estos mecanismos basados en red IP sus protocolos y mecanismos asociados a las distintas tecnologías para el soporte de los distintos servicios asociados a la red de acceso móvil.
- Los principales requisitos para 4G, es tener un acceso de banda ancha móvil y eficiencia de ancho de banda, requiriendo alta capacidad de red e infraestructura, para lograr una buena cobertura y tráfico.
- Definir la capacidad del sistema, sus medios de transmisión, protocolos, enlaces, antenas, nodos, topologías físicas y/o virtuales de la red y otras características, en sus necesidades de comunicación y gestión por el usuario. Se ha seleccionado e implementado aplicaciones de calidad, que demuestren la factibilidad técnico-económica del uso de estos sistemas.
- Transferir conocimientos al sector productivo privado, público y académico a través de una buena memoria descriptiva y manuales, así como a la configuración, administración y mantenimiento de protocolos para la selección y aceptación de estas configuraciones y equipos y fundamentalmente LTE/LTE-A, cuyo propósito inicial fue expandir las redes 3G/3.5G ya no es sólo un proceso de upgrade de red, sino que será necesaria la implementación de un nuevo acceso de red a través de la infraestructura ya existente a fin de explotar las máximas capacidades de las redes completamente basadas en IP.

RECOMENDACIONES

Esta Tesis, debido a la amplitud del tema tratado, basó sus objetivos en la definición del concepto y sus requisitos, el diseño y la evaluación previa de ciertas funciones, de los parámetros de una red de acceso radio móvil de cuarta generación, denominada 4G LTE.

Entonces. Las recomendaciones, se enmarcan en la necesidad de realizar trabajos e investigaciones adicionales que permitirían la realización de la optimización del sistema, con el objeto de su especificación técnica o estandarización.

Las recomendaciones exponen un conjunto de posibles vías de investigación futuras que se derivan del alcance de este trabajo, así como de las conclusiones obtenidas durante la realización del mismo, y que por su envergadura y por limitaciones de tiempo, no han podido ser convenientemente abordadas en el mismo.

Es recomendable que los operadores cuenten con la mayor cantidad de espectro continuo posible. Los organismos reguladores podrían autorizar el cambio de bandas entre operadores, siempre y cuando la cantidad de espectro sea la misma. Esto ayudaría a los operadores a obtener bandas continuas y contarían con mayor espectro para implementar la red, en este caso, LTE. Un mayor espectro permite un aumento de velocidad de transmisión y, sobre todo, aumenta la capacidad de la operadora para servir a una mayor cantidad de usuarios.

Los tipos de mercado, el acceso a nuevas tecnologías y el grado de

competencia hacen de cada país un caso de estudio independiente sobre el manejo del espectro. Cada uno debe tener su estrategia de acuerdo a sus necesidades y proyecciones. No se puede recomendar una estrategia definitiva aplicable a todos ellos. Pero, deben estar conscientes de que las disposiciones tienen que evitar enfáticamente la subutilización y la sobreexplotación del espectro.



BIBLIOGRAFIA

- Agrawal, R. y Bedekar, A. (2007) NetworkArchitectures for 4G: IEEE Communications Magazine, 76-81
- Arunabha Ghos, David R. Wolter, Jeffrey G.Andrews and Runhua Chen, “Broadband Wireless Access with WiMAX/802.16: Current Perfomance Benchmarks and Future Potential”, IEEE Communications Magazine Feb, 2011.
- José Cantos Muñoz y Mar Pacheco Pasamontes. “Caracterización y optimización del acceso a Internet a través de UMTS y HSPDA”. Universidad Politécnica de Cataluña, pp. 8-16. Noviembre 2012. Paper
- Sebastián Cortez, “Comparación de los standars CDMA para sistemas de comunicaciones móviles de tercera Generación” .Tesis, Instituto Tecnológico de Buenos Aires, pp. 26-31. 2010
- Ítalo Mazzei Haase. “Estudio relativo a la introducción de nuevas bandas para Telefonía Celular”. 21, Diciembre 2004
- José Pastor, Daniel Torres y Blanca Seguro. “Beyond 3G”, paper. 47-65. Abril – Mayo 2012
- Miguel Ángel Fernández, “UMTS - LTE Rumbo a la Nueva Generación de Telefonía Móvil” Dpto. de instrumentación de Rhode & Schwarz España 2012
- Páginas web de artículos y papers, que explican el funcionamiento de las redes móviles terrestres y su evolución

- <http://blogmoviles.com/telefonía-movil-de-cuarta-generación/>. Papers y artículos de la especialidad
- Páginas del MTTCC Perú
- LTE-Advanced and Next Generation Wireless Networks- Channel Modelling and Propagation-Guillaume de la roche, Andres alayon Ben A.



TRABAJOS CITADOS

- Alacant, U. d. (2013). *Sistemas 4G*. Recuperado el Enero de 2014, de Wikitel: wikitel.info/wiki/Sistemas_4G
- Andres alayon, B. A. (2013). *LTE-Advanced and Next Generation Wireless Networks*. Wiley.
- Ascan, R. G. (24 de Enero de 2014). *Scribd*. Obtenido de Curso de Redes de Tecnologías 4G: <http://es.scribd.com/doc/201855549/Guia-Methodologica-del-Curso-de-Redes-de-Tecnologias-4G>
- CLARO. (2014). PAPER (America Moviles). *Tecnologia 2014*.
- Estefania Salazar, M. G. (15 de Enero de 2013). *LTE: LongTermEvolution*. Recuperado el Mayo de 2014, de Slideshare.net: www.slideshare.net/julesrod/universidad-de-orient-23198200
- Giovanetti, J. A. (2008). *Evolucion de 3G y su convergencia a 4G*. Recuperado el Marzo de 2014, de scribd: es.scribd.com/doc/74900212/3G24G
- *HSUPA*. (s.f.). Recuperado el Abril de 2014, de Wikipedia: http://es.wikipedia.org/wiki/High-Speed_Uplink_Packet_Access
- Isuiza, R. I. (11 de Junio de 2012). Dispositivos 4G en el Peru. *El comercio*.
- Isuiza, R. I. (19 de Septiembre de 2012). Tecnologia LTE del Iphone 5S y 5C. *El Comercio*, págs. <http://elcomercio.pe/tecnologia/actualidad/que->

peru-america-latina-no-podran-gozar-tecnologia-lte-iphone-noticia-1471776.

- Isuiza, R. I. (28 de Mayo de 2013). 4G LTE en Peru. *El Comercio*, págs. <http://elcomercio.pe/economia/negocios/4g-lte-peru-cuando-se-habilitara-internet-movil-alta-velocidad-noticia-1582123>.
- Isuiza, R. I. (20 de Mayo de 2014). 4G LTE de Claro. *El comercio*, págs. <http://elcomercio.pe/paginas/smartphones-tablets/4g-lte-claro-lo-que-tenes-que-saber-sobre-este-servicio-noticia-1730681>.
- Karen Ruiz Gutierrez, C. V. (10 de Septiembre de 2012). *Blogspot*. Recuperado el 30 de Octubre de 2013, de Software y Tecnologia Actual: <http://swteca.blogspot.com/>
- Lopez, S. O. (06 de Septiembre de 2013). *Tesis planificacion de una red 4G LTE*. Recuperado el Febrero de 2014, de slideshare: www.slideshare.net/ingmaster1/tesis-planifiacin-de-una-red-4-glte
- Melgarejo, D. I. (01 de Enero de 2014). *4G*. Recuperado el Junio de 2014, de slideshare: www.slideshare.net/DanielIncisoMelgarej/4-g-3539540
- Moreno, A. R. (2013). *Especial 4G*. Recuperado el Abril de 2014, de blogspot: <http://aldiaconlainformatica25.blogspot.com/2013/09/especial-4g.html>
- Moreno, S. Y. (2013). *Redes moviles de cuarta generacion*. Recuperado el Marzo de 2014, de aplicacionesdnielectronico:

http://www.aplicacionesdnielectronico.com/redes-moviles-de-cuarta-generacion-4g/#.U_K8Yvl5M0N

- Moviles, C. (28 de Febrero de 2013). *Red 4G LTE*. Recuperado el Junio de 2014, de Webmaster: www.comunidadmoviles.com/red_4g_lte_argentina_se_frena_por_falta_de_frecuencias-t97199.0.html
- MTC. (2014). PAPER (Ministerio de Transporte y Comunicaciones). *Tecnología 4G*.
- Nicolas. (24 de Octubre de 2010). *Movistar realiza primera prueba de tecnología 4G LTE en el peru*. Recuperado el Noviembre de 2013, de blogspot: centraldenoticiavenezuela.blogspot.com/2013/08/movistar-realiza-primera-prueba-de.html
- Pepinosa, D. F. (2013). *Calidad de Servicio en Redes*. Recuperado el Enero de 2014, de scribd: es.scribd.com/doc/229378835/02-Calidad-de-Servicio-en-Redes
- Perez, E. (2014). *El Androide Libre*. Obtenido de bandas y Frecuencias: <http://www.elandroidelibre.com/2014/04/como-saber-si-un-movil-chino-android-sera-compatible-con-la-red-de-mi-pais.html?aceptarCookies=5ee8ea322c41b45966ad8e9a9ba5730c9993b1ce>
- Perez, F. (2010). *slideshare*. Obtenido de Redes Moviles Terrstres: 4G: <http://www.slideshare.net/DanielIncisoMelgarej/4-g-35359540>

- R.F, J. (28 de Marzo de 2008). *MIMO:Tecnología inalámbrica*. Recuperado el Julio de 2013, de Malavida: www.malavida.com/post/mimo-tecnologia-inalambrica
- Rios, A. F. (03 de Enero de 2012). *Evolucion a largo plazo*. Recuperado el Mayo de 2013, de slideshare: www.slideshare.net/montoya118/lte-long-term-evolution-10785345
- SAC, G. E. (Julio de 2013). *Sony*. Recuperado el 05 de Enero de 2014, de Claves sobre la tecnología 4G LTE: <http://equicom.pe/tag/sony/>
- Salazar, C. S. (28 de abril de 2014). *UMTS Terrestrial Radio Access Network*. Recuperado el Julio de 2014, de Scribd: es.scribd.com/doc/220626975/UMTS-Terrestrial-Radio-Access-Network
- Sanchez, V. (2014). *blogspot*. Obtenido de ¿Que bandas utilizamos en 4G LTE?: <http://noticiasvilicitano.blogspot.com.es/2014/04/que-bandas-utilizamos-en-4g-lte.html>
- Stanleyatala. (16 de Julio de 2011). *LTE*. Recuperado el Mayo de 2014, de Scribd: es.scribd.com/doc/60165166/15/Arquitectura-del-sistema-LTE
- TDP. (2014). PAPER (Telefonica del Peru). *Tecnología 4G*.
- *Tutorial LTE*. (2012). Recuperado el Mayo de 2014, de ipv6go.net: www.ipv6go.net/lte/mimo.php
- *TUTORIAL LTE*. (2012). Recuperado el 2014, de ipv6go.net: www.ipv6go.net/lte/arquitectura_red_lte.php

- Uhart, C. M. (2013). *Tecnología Celular 4G* "Carlos Manosalva Uhart.
Recuperado el Abril de 2014, de Monografias:
www.monografias.com/trabajos93/telefonica-celular-4g/telefonica-celular-4g.shtml
- Wikimedia. (2012). *MIMO*. Obtenido de Wikipedia:
http://es.wikipedia.org/wiki/Tecnolog%C3%ADA_MIMO



ANEXOS



ANEXO I: MÉTODOS DE PROPAGACIÓN

1. Introducción

El objetivo de este análisis es presentar una visión general de los diversos modelos de propagación para entornos urbanos e indoor (dentro de edificios). Conociendo los aspectos más relevantes de la caracterización de dichos modelos, teniendo en cuenta la información 3.9.6 del capítulo 3.

2. Modelo de Okumura.

El principal resultado del trabajo de Okumura fue un conjunto de curvas que proporcionan el nivel de atenuación media relativa al espacio libre, en función de la frecuencia, la distancia entre transmisor y receptor, la altura de las antenas de la estación base y la estación móvil, además de varios factores de corrección específicos para diferentes tipos de trayecto.

Los valores obtenidos de cada curva fueron obtenidos por exhaustivas mediciones usando antenas verticales y omni-direccionales tanto en la base como en el móvil y graficadas en función de la frecuencia comprendiendo la banda de VHF, UHF y como una función de la distancia , (100 MHz a los 1920 MHz en ciudades japonesas).

En base a esto pudo desarrollar un modelo de las pérdidas del enlace considerando factores de corrección dependiendo del tipo de terreno.

Es uno de los modelos más simples y adecuados para las predicciones

de atenuación para sistemas celulares y sistemas de radio terrestre en ambientes poblados (urbanos). Su desventaja es que a pesar de ser bueno en zonas urbanas no lo es en zonas rurales.

El modelo puede ser expresado como:

$$L_{50}(dB) = L_F + A_{mu}(f, d) - G(h_{tx}) - G(h_{rx}) - G_{AREA} \quad (2.1)$$

$$h_b = h_{te} = h_{tx}, \quad h_m = h_{re} = h_{rx}$$

Donde:

L_{50} : Atenuación media por trayectoria (son las pérdidas por propagación al 50 % de recepción de la señal)

L_F : Atenuación del espacio libre

$A_{mu}(f, d)$: Atenuación relativa promedio (curvas), d corresponde a la distancia entre la estación base y la unidad móvil

$G(h_{tx})$: Ganancia de altura de la antena transmisora.

$G(h_{rx})$: Ganancia de altura de la antena receptora.

G_{AREA} : Ganancia debido al tipo de ambiente

h_{tx}, h_{rx} : Alturas efectivas de las antenas en la estación base y el móvil (m) respectivamente.

Los valores de $A_{mu}(f, d)$ y G_{AREA} son obtenidos de las gráficas empíricas de Okumura, además deriva formulas empíricas para $G(h_{tx})$ y $G(h_{rx})$ de la siguiente manera

$$G(h_{tx}) = 20 \log (h_{tx}/200) \quad \text{para } 30 \text{ m} < h_{tx} < 200 \text{ m} \quad (2.2)$$

$$G(h_{rx}) = 10 \log (h_{rx}/3) \quad \text{para } h_{rx} < 3 \text{ m} \quad (2.3)$$

$$G(h_{rx}) = 20 \log (h_{rx}/3) \quad \text{para } 3 \text{ m} < h_{rx} < 10 \text{ m} \quad (2.4)$$

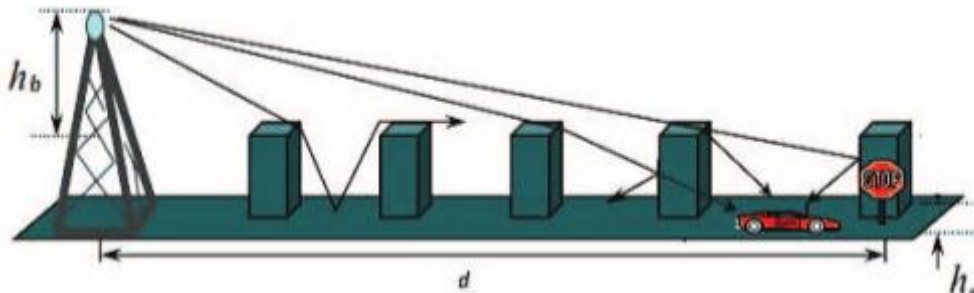


Figura 2.1: parámetros básicos

3. Modelo Okumura- Hata

Okumura – Hata es el nombre de uno de los modelos de propagación más promulgados y utilizados con algunas variantes en su estructura. Pero como todos los modelos de propagación, no son estáticos y pueden ser mejorados para brindar una mayor precisión. El principal resultado que proporciona el modelo es el valor medido de la pérdida básica de propagación, en función de la frecuencia, la distancia, y las alturas de las antenas de la estación base y el móvil.

Este modelo toma en cuenta el porcentaje de edificios en el trayecto que recorre la señal para el cálculo de la atenuación, es válido para el rango de frecuencias comprendiendo la banda de VHF y UHF, (100 MHz a los 1920 MHz en ciudades japonesas).

El modelo de propagación Okumura-Hata toma en cuenta varios aspectos para su propagación como son:

- Altura de las antenas
- Frecuencia de la portadora
- Espacios de propagación cuasi-abierto, espacios abiertos o áreas de terreno montañoso
- La pérdida por difracción debido a las montañas
- Zonas marítimas o lagos
- Pendientes en las carreteras

El Modelo Okumura-Hata se clasifica en 3 ambientes de propagación.

Área urbana: Corresponde a las grandes ciudades con altas edificaciones y casas con 2 o más pisos, o donde existen una gran concentración de casas o edificios.

Formula estándar

$$L_{50}(\text{urbano}) = 69.55 + 26.16 \log f_c + (44.9 - 6.55 \log h_{tx}) \log d - 13.82 \log h_{tx} - a(h_{rx}) \text{ (dB)} \quad (3.1)$$

Donde:

f_c : Frecuencia de la portadora en (MHz)

d : Distancia entre la estación base y el terminal móvil en (Km) de 1 a 20 Km

h_{tx} : Altura efectiva de la antena de la estación base en (m) /antena transmisora de 30 a 200m

h_{rx} : Altura efectiva de la antena del terminal móvil en (m)/antena

receptora de 1 a 10m

$a(h_{rx})$: Factor de corrección para la altura efectiva de la antena móvil que está en función del tipo de área de servicio expresado para:

- Grandes Ciudades

$$a(h_{rx}) = 8.29 [\log(1.54 h_{rx})]^2 - 11 \quad f_c \leq 200 \text{ MHz} \quad (3.2)$$

$$a(h_{rx}) = 3.2 [\log(11.75 h_{rx})]^2 - 4.97 \quad f_c \geq 400 \text{ MHz} \quad (3.3)$$

- Pequeñas y medianas ciudades

$$a(h_m) = [1.1 \log(f_c) - 0.7] h_m - [1.56 \log(f_c) - 0.8] \text{ dB} \quad (3.4)$$

Área suburbana: Ciudades o carreteras en donde hay árboles y casas en forma dispersa.

Formula estándar modificada:

$$L_{50} = L_{50}(\text{urbano}) - 2 \left[\log \left(\frac{f_c}{28} \right) \right]^2 - 5.4 \quad (3.5)$$

Área abierta o rural: Son los espacios abiertos sin grandes árboles o edificaciones en el camino de la señal.

$$L_{50} = L_{50}(\text{urbano}) - 4.78(\log f_c)^2 + 18.33 \log f_c - 40.94 \text{ dB} \quad (3.6)$$

Este método de cálculo proporciona resultados óptimos en ambientes urbanos y suburbanos, pero no así en áreas rurales, debido que no se toma en cuenta la ondulación del terreno ni el grado de urbanización a lo largo del trayecto.

4. Modelo de propagación COST 231

La cooperativa europea para la investigación científica y técnica (EURO-COST) formó el modelo COST-231 para desarrollar una versión ampliada del modelo Hata. Es un modelo empírico y es adecuado para predicciones en micro-celdas y macro-celdas pequeñas. El modelo propuesto para la pérdida por trayecto se expresa como:

$$L_{50}(\text{urbano}) = 46.3 + 33.9 \log(f_c) - 13.82 \log(h_{tx}) - a(h_{rx}) \\ + (44.9 - 6.55 \log(h_{tx})) \log(d) + C_M \quad (4.1)$$

Donde $a(h_{rx})$ es el mismo factor de corrección antes ya mencionado, C_M es un factor de corrección para adecuar el modelo extendiendo al rango de frecuencias con el cual trabaja el modelo de Hata.

C_M : 0 dB para ciudades medianas y áreas suburbanas.

C_M : 3 dB para centros metropolitanos.

Una de las aportaciones de este modelo es que considera pérdidas por dispersión.

5. Modelo walfisch-Bertoni

Joram Walfisch y Henry Bertoni presentaron un modelo físico donde se analiza el proceso de propagación de un entorno urbano (no muy denso) sobre una base teórica en lugar de una empírica, como el modelo de Okumura-Hata está basado, el rango de frecuencia dedicada a UHF (300 MHz a 3 GHz).

Se toma en cuenta que los edificios se le pueden representar como

cilindros difractantes que se comportan como filas de pantallas que absorben energía. La hipótesis principal supone que la mayoría de las ciudades poseen un núcleo principal de edificios de gran altura que están rodeados por un área mucho mayor de edificios de alturas similares y están dispuestos en filas paralelas.

Cada fila de edificios están adyacentes y/o separados por distancias menores al propio ancho del edificio, esto define al modelo y funciona muy bien en las formas de “ensanche”, es decir que las calles forman una rejilla muy uniforme con todas las líneas paralelas.

Cabe recalcar que la antena está siempre en altura por encima de las alturas de los edificios vecinos (modelo COST 231 se puede considerar la situación de la antena de la BTS por debajo de los edificios).

Para cuantificar las pérdidas medias de propagación se tienen tres factores

- a) Pérdidas entre antenas en el espacio libre.
- b) Reducción por la obstrucción de los tejados de edificios, lo que se denomina propagación sobre edificios
- c) Efecto de la difracción desde las terrazas a la calle, donde se encuentra el móvil.

Las pérdidas del espacio libre(a) se calculan mediante la ecuación (1.12)

$$L_{fs} = 32.44 + 20 \log f_{MHz} + 20 \log d_{km}$$

Para cuantificar las pérdidas de propagación sobre los edificios (b), se utiliza la siguiente expresión:

$$Q(\alpha) = 0.1 \left(\frac{\alpha \sqrt{\frac{d_m}{\lambda}}}{0.03} \right)^{0.9} \quad (5.1)$$

Donde:

d_m : espaciado entre edificios sobre el perfil que une al transmisor con el receptor en m.

λ : Longitud de onda en m.

α : es el ángulo de incidencia que se calcula como se muestra:

$$\alpha = \frac{H}{d_1} - \frac{d_1}{ka} \quad (5.2)$$

H : Altura de la antena de la BTS sobre la altura media de los edificios en Km.

d_1 : Distancia entre el transmisor y el edificio inmediato anterior al receptor en Km.

ka : Radio terrestre geográfico modificado para atmosfera estándar 8.5×10^3 Km.

Para cuantificar las pérdidas asociadas al proceso de difracción(c), lo cual depende de la forma y la construcción de los edificios. Una aproximación simple se considera que una fila de edificios actúa como un plano absorbente situado en el centro de la fila, siempre que la

antena este muy cerca del piso. La amplitud del campo eléctrico que llega al móvil se obtiene multiplicando el nivel del campo en el tejado por el siguiente factor:

$$\frac{\sqrt{\lambda}}{2\pi \left[\left(\frac{d_m}{2} \right)^2 + (h - h_m)^2 \right]^{\frac{1}{4}}} \left[\frac{1}{\gamma - \alpha} - \frac{1}{2\pi + \gamma - \alpha} \right] \quad (5.3)$$

Donde:

h : Altura media de los edificios en metros

h_m : Altura de la antena del móvil en metros

d_m : espaciado entre edificios sobre el perfil que une al transmisor con el receptor en m.

α : es el ángulo (radianes) de incidencia (5.2)

γ : En radianes se calcula como se indica en la siguiente expresión:

$$\gamma = \tan^{-1} \left(\frac{2(h - h_m)}{d_m} \right) \quad (5.4)$$

La expresión (5.3), se suele simplificar despreciando el término $\frac{1}{2\pi + \gamma - \alpha}$ frente a $\frac{1}{\gamma - \alpha}$ y asumir $\alpha \ll \gamma$

Este modelo es bidimensional ya que estudia el perfil entre el transmisor y el receptor, sin embargo para poder cuantificar las contribuciones del multicamino, se considera que el valor cuadrático medio del campo total es mayor que el producido por la contribución principal en un factor de $\sqrt{2}$.

Combinando las expresiones (1.12) y (5.1) a (5.4) y el factor $\sqrt{2}$, se obtiene la reducción que expresa el exceso de pérdida que está dada por:

$$L_{ex,dB} = 57.1 + \log f + 18 \log d - 18 \log H - 18 \log_{10} \left(1 - \frac{d^2}{17H} \right) + A_{dB} \quad (5.5)$$

El efecto de la geometría del edificio está dada por A_{dB} como:

$$A_{dB} = 5 \log \left[\left(\frac{d_m}{2} \right)^2 + (h - h_m)^2 \right] - 9 \log d_m + 20 \log \left\{ \tan^{-1} \left[\frac{2(h - h_m)}{d_m} \right] \right\} \quad (5.6)$$

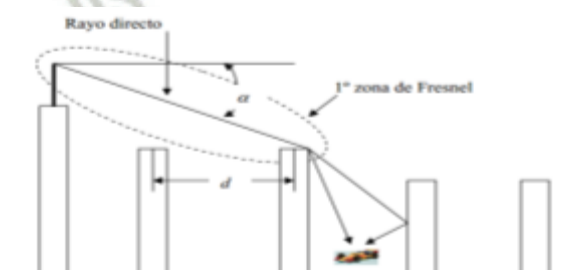
Las pérdidas totales están dadas por la suma de la pérdida en el espacio libre y el exceso de estas:

$$L_{p,dB} = L_{fs,dB} + L_{ex,dB} \quad (5.7)$$

6. Modelo Ikegami

Dentro de la clasificación de los modelos, este modelo pertenece a los modelos de propagación empírico basado en la teoría geométrica de rayos. Este modelo es el predecesor del modelo Walfisch-Bertoni, que al igual que este solo toman los dos primeros rayos, tal y como se puede apreciar en las siguientes figuras:

Figura 6.1: rayo directo y zona de fresnel



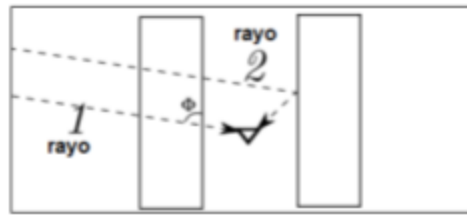


Figura 6.2: Representación del modelo Ikegami

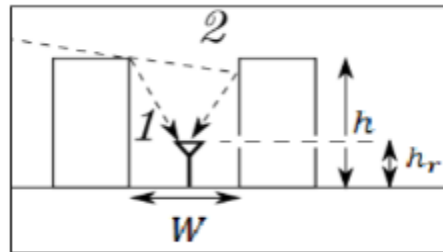


Figura 6.3: Involucra los factores que utiliza el modelo Ikegami

Las pérdidas se calculan como:

$$L = -5.8 - 20 \log \left(1 + \frac{2}{L_r^2} \right) - 10 \log W + 20 \log (H - h_r) + 10 \log (\sin \varphi) + 10 \log f \quad (6.1)$$

Dónde:

L_r Es la pérdida por reflexión, W es la separación entre edificios, $H = h_t, h$ donde h_t es la altura del transmisor y h la altura del edificio. h_r Es la altura del receptor y φ es el ángulo entre el primer rayo y uno de los edificios

7. Modelo COST-231 Walfish-Ikegami

En este caso, el modelo Walfisch-Bertoni y el modelo de Ikegami han sido combinados para considerar la difracción descendente hasta el

nivel de las calles y algunos factores empíricos de corrección para incorporar acuerdos, con referencia a mediciones, resumidos en un único modelo, basándose además, en las diferentes contribuciones de los miembros del “*COST 231 Subgroup on Propagation Models*”, dando como resultado el modelo COST231- Walfisch-Ikegami.

Es un modelo de propagación empírico para un área urbana, que es especialmente aplicable para micro células, pero también se puede utilizar para macro células y puede ser utilizado en las bandas UHF y SHF, además permite incorporar a la estimación de PL (*Path Loss*). Los parámetros relacionados son ilustrados en la figura

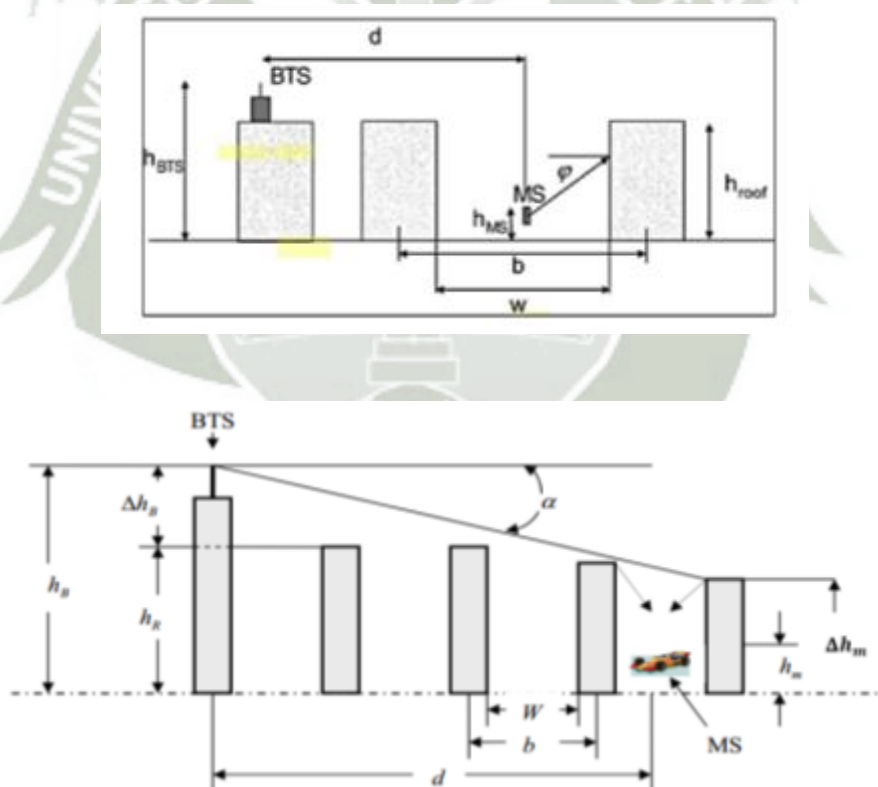


Figura 7.1: Parámetros en el modelo walfisch-Ikegami

h_b : Altura de la antena de la estación base. (h_{BTS}) (h_{base})

h_m : Altura de la antena del terminal móvil. (h_{MS}) ($h_R > h_m$)

h_R : Altura media de los edificios en metros (h_{roof})

w : Ancho de la calle donde se encuentra el móvil en metros.

b : Anchura entre centros de edificios en metros.

d : Distancia entre estación base y terminal móvil.

α : Angulo de inclinación de rayo principal en grados.

φ : Angulo del rayo con el eje de la calle en grados.

$$\Delta h_B = h_B - h_R \quad \Delta h_m = h_R - h_m$$

Este modelo se separa en dos casos, que son el caso con línea de vista (LOS) y el sin línea de vista (NLOS).

La pérdida por espacio libre está dada como (LOS):

$$L_0 = 32.4 + 20\log d + 20\log f \quad (1.12)$$

En el caso de NLOS:

$$L = 32.4 + 20\log d + 20\log f + L_{rts} + L_{msd} \quad (7.1)$$

Donde d (km) es la distancia entre base – móvil (de este valor depende L_{msd}), f (MHz) es la frecuencia. La pérdida básica de transmisión está compuesta de tres términos: la pérdida por espacio libre L_0 , la pérdida por dispersión y difracción de los tejados de edificios a la calle L_{rts} , producida en el interior de la calle en la que se encuentra el receptor como resultado de la difracción del techo adyacente a este y la pérdida por difracción multi- pantalla L_{msd} la cual es producida por múltiples difracciones en los tejados de los edificios situados a lo largo del trayecto.

La regla es la siguiente:

$$L_b = \begin{cases} L_0 + L_{rts} + L_{msd} & \text{para } L_{rts} + L_{msd} > 0 \\ L_0 & \text{para } L_{rts} + L_{msd} \leq 0 \end{cases} \quad (7.2)$$

Donde L_{rts} tiene en cuenta la anchura de la calle y su orientación con respecto a la dirección de propagación del rayo, está dada por:

$$L_{rts} = -16.9 - 10 \log w + 10 \log f + 20 \log \Delta h_{Movil} + L_{ori} \quad (7.3)$$

$$\Delta h_{Movil} = h_{roof} - h_{Movil} \quad (7.4)$$

El término L_{ori} , considera la orientación de las calles a un ángulo ϕ según como se indica a continuación:

$$L_{ori}(\phi) = \begin{cases} -10 + 0.354\phi & 0^\circ \leq \phi < 35^\circ \\ 2.5 + 0.075(\phi - 35) & \text{para } 35^\circ \leq \phi < 55^\circ \\ 4.0 - 0.114(\phi - 55) & 55^\circ \leq \phi < 90^\circ \end{cases} \quad (7.5)$$

Donde ϕ es el ángulo de incidencia relativo para la dirección de la calle.

L_{msd} Este dado de la siguiente manera:

$$L_{msd} = L_{bsh} + k_a + k_b \log d + k_f \log f - 9 \log b \quad (7.6)$$

En donde L_{bsh} y k_a representan el aumento de la perdida en el trayecto para el caso de estaciones bases ubicadas por debajo de la altura media de los edificios

Por otro lado, si las características de los edificios y las calles son desconocidas (no existen datos), los siguientes valores por defecto, para los parámetros, pueden ser utilizados para la realización de un trabajo aproximado:

$$h_{roof} = \begin{cases} 3m \times n_{roof} + 0m & \text{para techos planos} \\ 3m \times n_{roof} + 3m & \text{para techos puntiguados(inclinado)} \end{cases} \quad (7.7)$$

Donde n_{roof} es el número de pisos de los edificios, $b=20-50$ m,
 $w=b/2$, $\varphi = 90$

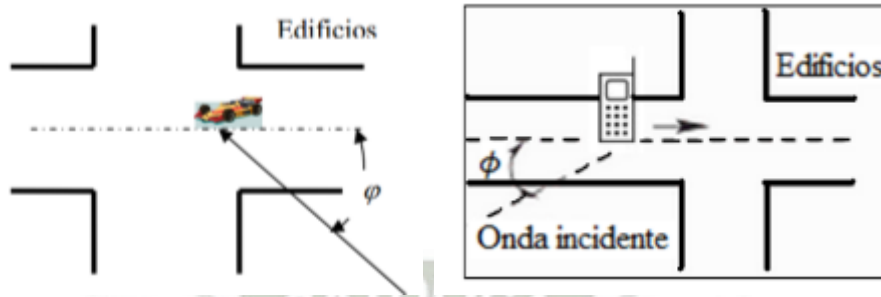


Figura 9: Orientación en las vías

L_{bsh} y K_a Son dados a través de:

$$L_{bsh} = \begin{cases} -18\log(1 + \Delta h_{base}) & h_{base} > h_{roof} \\ 0 & h_{base} \leq h_{roof} \end{cases} \quad (7.8)$$

$$k_a = \begin{cases} 54 & h_{base} > h_{roof} \\ 54 - 0.8\Delta h_{base} & d \geq 0.5km \text{ y } h_{base} \leq h_{roof} \\ 54 - 1.6\Delta h_{base} & d < 0.5km \text{ y } h_{base} \leq h_{roof} \end{cases} \quad (7.9)$$

$$\Delta h_{base} = h_{base} - h_{roof} \quad (7.10)$$

Los términos k_d y k_f controlan la dependencia de la pérdida por difracción multi-pantalla (L_{msd}) con respecto a la distancia y la frecuencia respectivamente. Estos están dados como:

$$k_d = \begin{cases} 18 & h_{base} > h_{roof} \\ 18 - 15 \frac{\Delta h_{base}}{h_{roof}} & h_{base} \leq h_{roof} \end{cases} \quad (7.11)$$

$$K_f =$$

$$\begin{cases} -4 + 0.7 \left(\frac{f}{925} - 1 \right) : \text{ciudades de tamaño mediana y zonas suburbanas} \\ \quad \quad \quad \text{con densidad de vegetación} \\ -4 + 1.5 \left(\frac{f}{925} - 1 \right) : \quad \quad \quad \text{centros metropolitanos} \end{cases}$$

(7.12)

Los valores a los cuales se puede aplicar este modelo se cuantifica a continuación

$$4m \leq h_{base} \leq 50m$$

$$1m \leq h_{Movil} \leq 3m$$

$$0.02km \leq d \leq 5km \text{ (valido para nuevas frecuencias)}$$

8. Modelos de propagación indoor

Los modelos de propagación *indoor*, difieren de los *outdoor* ya que en los de interior el entorno influye más que la distancia entre antenas.

Paredes interiores, exteriores, suelos, techos producen atenuaciones muy grandes. El mobiliario y todas las estructuras metálicas empotradas en paredes y techos influyen notablemente en los procesos de scattering y difracción, haciéndolos mucho más notable que en el exterior. Las distancias del transmisor receptor deben ser mucho más cortas ya que las pérdidas son muy grandes y que además las potencias de los equipos usados son muy bajas.

Un aspecto muy importante es sobre las interferencias que se producen entre el equipo móvil y la infraestructura electrónica de los edificios sean hospitales, laboratorios, oficinas, industrias, etc. Analizar este modelo y caracterizarlo como la propagación entre antenas dentro del

interior del edificio, asegura el diseño de sistemas sin hilos para telefonía y redes. Esto incluye las situaciones cuando la BTS se instala en el interior de edificios especiales.

Las organizaciones de normalización e instituciones de investigación también han definido varios modelos de canales de interiores para diferentes propósitos, que se resumen en la siguiente tabla

Item	Frequency band	Scenario
ITU-R M.2135	2 GHz ~ 6 GHz	indoor hotspot
3GPP TR 36.814	2 GHz ~ 6 GHz	femtocell
IEEE 802.11n	2 GHz and 5 GHz	residential small office typical office large space
WIM2	2 GHz ~ 6 GHz	indoor hotspot indoor office
COST 231	150 MHz~2 GHz	dense, open, large, corridor

Tabla 8.1: modelos de canal de interior de las instituciones de investigación y la normalización

IMT-A, también conocido como el sistema de telecomunicaciones móviles avanzada (de 4^a generación), define un escenario de interior esencial llamado punto de acceso de interior para la evaluación de la tecnología y el sistema de simulación en la ITU-R M.2135.

3GPP TR 36.814 ha definido el modelo de canal para la simulación de femtoceldas basado en el modelo del canal de interior de la ITU-R M.2135.

IEEE 802.11n en WLAN ha desarrollado correspondientes modelos para cuatro escenarios interiores diferentes.

Wireless world initiative new radio (WINNER) Como un consorcio de 41 socios ha publicado WINNER-Fase II modelo de canal (WIM2) en el 2007. Los escenarios de interior en WIM2 se clasifican en hotspot (punto de acceso) de interior y la oficina de interior.

COST tiene muchas iniciativas dedicadas a canalizar el modelado. Se desarrollan modelos de canal COST 207, 231, 259, 273 y 2100 para diferentes objetivos, que son los modelos generales de canal de referencia a ser ampliamente utilizados.

El Ambiente de la oficina de interior se refiere como varias habitaciones pequeñas con pupitres y sillas y pocas personas. El medio ambiente hotspot de interior se define como un espacio interior relativamente grande con un montón de gente en movimiento, como un centro comercial, la fábrica, la estación de tren y el aeropuerto. Como la diferencia en el entorno de propagación, las características de propagación en los dos escenarios sin duda serán diferentes. La propagación de interior es más versátil que la propagación al aire libre, se ve afectada por varios factores. Hoy en día, el diseño del edificio es de la mayor diversidad, que trae grandes dificultades en la categorización de escenario de interiores y definición. Las paredes y los pisos también introducen atenuaciones de propagación en interiores, además de los factores tradicionales, como la frecuencia. Incluso la densidad de población afectan a la propagación en interiores en cierta medida. Todos estos factores de impacto en la propagación en interiores conjuntamente, lo que hace más difícil de describir exactamente las características de propagación en interiores.

8.1 Desvanecimiento a gran escala de interiores

El desvanecimiento a gran escala es la pérdida promedio de la potencia de la señal recibida en una gran distancia de separación entre el transmisor y el receptor, el desvanecimiento a gran escala se divide en dos partes, una es PL y el otro es SF.

PL es el cambio promedio de la pérdida de potencia de la señal a través de la distancia. SF indica la lenta fluctuación alrededor de la pérdida media, que es causada por la obstrucción de dispersores.

Nos centraremos principalmente en el interior PL con el fin de dar una idea general del reciente estudio del modelo de interior PL. Además, también se presentará el estudio sobre SF en los ambientes de interiores. Por último, se analizarán varios factores de impacto en la propagación de interior a gran escala basado en los resultados de las mediciones de los canales de campo de interior.

8.2 Modelos de interior a gran escala

Se proponen diferentes modelos de interior PL por un montón de institutos de investigación y organizaciones de estándares. Sin embargo, la mayoría de los modelos se pueden clasificar en unos formularios tipo PL que se analizarán a continuación.

9 Modelo en el espacio libre (FS)

Es un modelo básico PL, no sólo para la propagación en interiores, sino también para la propagación al aire libre. La onda electromagnética de

propagación principal en el espacio libre puede ser descrita por la ecuación de transmisión de Friis.

$$\frac{P_R}{P_T} = G_R G_T \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (9.1)$$

La transformación de la ecuación en una formulación en escala logarítmica, y la utilización de la definición de PL, el modelo PL en el espacio libre se puede escribir como:

$$PL_{FS} = P_T - P_R + G_T + G_R \approx 32.44 - 20 \log f_c - 20 \log d \quad (9.2)$$

Donde PL_{FS} indica el valor de PL en la unidad dB. Los modelos que se introducirán a continuación se omiten el punto de frecuencia. Casi todos los demás modelos de interior PL se originan a partir del modelo de FS, que sólo tienen algunos pequeños cambios de acuerdo a los diferentes ambientes prácticos. Algunos modelos PL evolutivos populares se presentarán a continuación:

10. Modelo de una sola pendiente (SS) single-slope o log-distance

El modelo SS también se conoce como el modelo log-distancia, la pérdida de trayectoria a una distancia d del transmisor se expresa como:

$$PL_{SS} = PL_0(d_0) + 10n \log \left(\frac{d}{d_0} \right) \quad (10.1)$$

Dónde: n es la pendiente de pérdidas que se ajusta de manera empírica en función del entorno y medición. $PL_0(d_0)$ Es el valor PL a una distancia de referencia que generalmente se selecciona como 1 m. El modelo expresa que el PL aumenta con la distancia a una tasa fija, que se utiliza

principalmente para el modelado de PL en ciertos ambientes simples con mecanismos de propagación similares en diferentes lugares, como un enorme vestíbulo o un amplio salón. Sin duda ampliamente utilizado para el modelado de PL en ambientes interiores.

Es importante señalar que este modelo no depende de la frecuencia, por lo que puede utilizarse para una gran cantidad de bandas.

La siguiente tabla muestra los valores típicos de los exponentes de propagación obtenidos en entornos de recepción móviles

Entorno	Exponente de propagación (n)
Espacio Libre	2
Área urbana	2.7 a 3.5
Zona de sombra urbana	3 a 5
Línea de vista en edificios	1.6 a 1.8
Obstrucciones por construcciones	4 a 6
Obstrucciones por fábricas	2 a 3

Tabla 10.1 Exponentes de propagación para diferentes entornos

11 Modelo multi pendiente (MS) multi-slope o log-distance con regresión múltiple

$$PL_{MS} = PL_S + 10n_s \log d, \quad d_{s-1} \leq d \leq d_s, s \in \{1, 2, \dots\} \quad (11.1)$$

Donde PL_S y n_s denotan el valor de referencia PL y el exponente PL correspondiente a la gama de algunas distancias (d_{s-1} , d_s).

Segunda definición:

Se puede considerar bajo condiciones de propagación diferenciadas en regiones separadas a partir de ciertas distancias específicas desde el

transmisor conocido como puntos de ruptura (breakpoints), si se distinguen dos regiones de propagación la pérdida de trayectoria es:

$$PL_{MS} = \begin{cases} PL_S + (10n_1)\log(d/d_0) & d_0 < d < d_f \\ PL_S + (10n_2)\log(d/d_f) + (10n_1)\log(d_f) & d < d_f \end{cases} \quad (11.2)$$

Los índices de propagación n_1 y n_2 (medidas empíricas) y el valor del punto de ruptura corresponde a la distancia de la primera zona de Fresnel d_f son desconocidos.

PL_S : La pérdida de trayectoria en dB a una distancia de referencia d_0 . Una rutina iterativa sobre los datos obtenidos permite reconocer los valores correctos para las variables desconocidas de tal modo que el modelo responda satisfactoriamente a las mediciones de campo.

Generalmente el modelo de regresión doble proporciona un mejor rendimiento frente al modelo simple de regresión log-distance de un segmento.

Un parámetro importante en los resultados es el de determinar la ubicación denominada "punto de ruptura", se le considera como la distancia en la cual el terreno comienza a obstruir la primera zona de Fresnel. A partir de este punto, la atenuación comienza a ser más severa que en las condiciones sin obstrucción y consecuentemente el exponente de propagación se incrementa, propiciando un modelo de doble regresión lineal.

La ubicación del punto de ruptura bajo este criterio está dada mediante la ecuación:

$$d_f = \frac{1}{\lambda} \sqrt{(\Sigma^2 - \Delta^2)^2 - 2(\Sigma^2 + \Delta^2) \left(\frac{\lambda}{2}\right)^2 + \left(\frac{\lambda}{2}\right)^4} \quad (11.3)$$

Donde:

Σ : representa la suma de las alturas de las antenas transmisora y receptora

Δ : representa su diferencia

12. Modelo de distancia lineal (LD) linear-distance

Devasirvatham propuso el modelo LD para el modelado de la base interior PL en las mediciones en dos edificios de diferentes estructuras a 850 MHz, 1.7 GHz, 4.0 GHz. Se asume que las pérdidas de propagación varían linealmente con la distancia. Se puede escribir como:

$$PL_{LD} = PL_{FS} + \alpha d \quad (12.1)$$

El modelo LD incluye dos partes. Uno es el PL perdida en el espacio libre, la otra es la atenuación adicional que está aumentando linealmente con la distancia entre el TX y el RX. Donde α es una constante de atenuación en la unidad de dB/m . Es posible agregar el efecto de las paredes y el suelo para mejorar sus prestaciones.

13. Modelo de Factor de atenuación

$$PL = PL_{base} + A_F \quad (13.1)$$

Donde la PL_{base} puede ser PL_{FS} , PL_{SS} y PL_{LD} . A_F Es el factor de

atenuación, lo que indica la atenuación adicional causada por obstáculos como paredes y pisos. Si sólo se consideran obstáculos en una sola planta, A_F se puede expresar como:

$$A_F = \sum_{m=1}^M K_m, A_m \quad (13.2)$$

Donde K_m es el número de obstáculos m th y A_m es la atenuación del número de obstáculos m th. El Modelo de múltiple paredes y pisos (MWF) es un ejemplo práctico del modelo AF, que se propone por Mathias Lott en el 2001. En el modelo MWF, PL_{base} es PL_{SS} y A_F se compone de las atenuaciones adicionales de paredes y pisos, que se pueden expresar como

$$A_F = \sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^{K_p^w} A_{pk}^w + \sum_{q=1}^Q \sum_{k=1}^{K_q^f} A_{qk}^f \quad (13.3)$$

Donde:

A_{pk}^w : Atenuación causada por el número de paredes de tipo p

A_{qk}^f : Atenuación causada por el número de pisos de tipo q

P : Numero de tipos de pared

Q : Numero de tipos de piso

K_p^w : Número de paredes de tipo p

K_q^f : Número de pisos de tipo q

Los parámetros del modelo se pueden extraer mediante la técnica de trazado de rayos o mediciones del canal de campo. Es evidente que el

modelo AF es más preciso, pero más complejo que los modelos log-distancia sobre la predicción de la propagación en interiores. Sin embargo, es difícil de lograr con precisión todos los factores de atenuación cuya exactitud tiene un fuerte impacto en el modelo AF.

SF indica la fluctuación de PL es comúnmente modelada por una distribución logarítmica normal, Generalmente, el modelado SF se basa en el modelado PL. El modelo a gran escala completado. Puede expresarse como:

$$L = PL + X_{\sigma} \quad (13.4)$$

X_{σ} Denota la SF es una variable aleatoria gaussiana con media cero y varianza σ^2 . El parámetro σ puede ser calculado estadísticamente por el valor PL medido restando el valor estimado PL del modelo utilizado. Así que σ será diferente si se escogen diferentes modelos PL. La varianza de SF depende del entorno de propagación. Cuando RX se aleja de TX, SF se encuentra para aumentar. La correlación de S entre dos puntos separados por la distancia Δx se define como:

$$\langle S(x), S(x + \Delta x) \rangle = \sigma^2 \exp\left(-\frac{|\Delta x|}{X_c}\right) \quad (13.5)$$

Donde X_c es la distancia de correlación del desvanecimiento de sombra, σ es la desviación estándar. El rango del valor típico de X_c es de 10 m a 500 m. está dada por:

$$X_c = -\frac{D}{\ln(\varepsilon_D)} \quad (13.6)$$

Donde ε_D es el coeficiente de correlación de dos puntos en la distancia D . A partir de esta ecuación, las propiedades de auto correlación espacial de la sombra de desvanecimiento entre diferentes lugares se pueden evaluar. Como se deduce, la correlación de SF disminuye con la distancia, es decir, está altamente correlacionado a una distancia más corta.

Resumen de Características de Gran Escala de interior

Algunos modelos a gran escala de interior han sido estandarizados por el ITU-R, 3GPP y IEEE 802.11n. Los modelos a gran escala de interior propuestos por WINNER y COST 231 también son ampliamente utilizados para el enlace o simulación a nivel de sistema y la planificación y optimización de redes.

14. Modelo ITU-R M.2135

El Informe de la ITU-R M.2135 proporciona las directrices para evaluar la propuesta IMT-A de tecnologías de interfaz de radio (RITs) o conjuntos de RIT (SRITs) para una serie de ambientes y escenarios de implementación para su evaluación. Sobre la base de la medición de campo por la Universidad de Beijing de Correos y Telecomunicaciones (BUPT), China propone la hipótesis de la simulación punto de acceso de interior y modelos, y ha sido aceptado por el ITU-R M.2135.

El entorno de medición de campo se muestra en la Figura 14.1, es un gran espacio con 120 m de largo y 45 m de ancho. La medición se lleva a cabo dentro de la frecuencia portadora de 2,35 y 5,25 GHz con ancho

de banda 100 MHz, teniendo en cuenta tanto las condiciones de propagación (LOS) y (NLOS), como una rejilla o cuadrícula A y B como se ilustra en la Figura 10, respectivamente. En combinación con los resultados de otras propuestas, los modelos finales PL de escenario hotspot interior se han definido en la Recomendación ITU-R M.2135, que se muestra en la Tabla 14.1

Además, las características de retardo y espacial obtenidos en la medición también se incluyen en la ITU-R M.2135. Además de la principal contribución a los modelos de punto de acceso de interior, un montón de logros de estudio en otros escenarios también se incluyen como referencias en el ITU-R M.2135, tales como el medio ambiente al aire libre y el medio ambiente al aire libre para interiores.

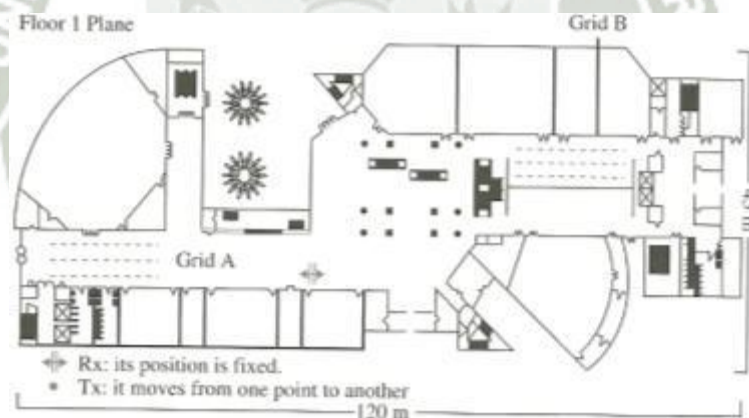


Figura 14.1: Entorno de medición para el punto de acceso de interior

Indoor hotspot	PL (dB) f_c in GHz, d in m.	SF (dB)	Distance range
LOS	$PL = 16.9\lg(d) + 32.8 + 20\lg(f_c)$	$\sigma = 3$	$3\text{ m} < d < 100\text{ m}$
NLOS	$PL = 43.3\lg(d) + 11.5 + 20\lg(f_c)$	$\sigma = 4$	$10\text{ m} < d < 150\text{ m}$

Tabla 14.1: modelos de interior PL definidos en ITU-R.2135

15. 3GPP TR 36.814

El primer estándar de femtoceldas ha sido publicado oficialmente por 3GPP, allanando el camino para que las femtoceldas estandarizadas sean producidas en grandes volúmenes. El Escenario de simulación se define y modelos están dentro de 3GPP TR 36.814. El escenario de simulación consta de una sola planta de un edificio que se muestra en la Figura 11, que es el mismo punto de acceso de interior del dibujo o croquis ITU-R M.2135. La altura de la planta es de 6 m. El piso consta de 16 habitaciones de 15 m x 15 m y un largo pasillo de 120 m x 20 m. Son dos sitios donde se colocan en el medio de la sala a 30 m y 90 m con respecto al lado izquierdo del edificio. Figuran los modelos de simulación de PL en la Tabla 14.1



Figura 15.1: diseño de escenario de simulación para femtoceldas en 3GPP TR 36.814

16. IEEE 802.11n

En la IEEE 802.11n, seis modelos PL marcados de la A ~ F se definen para los diferentes escenarios de interior. Los escenarios interiores incluyen, una pequeña oficina residencial, una típica oficina y gran espacio donde se consideran casos LOS y NLOS. El modelo de Mapeo

para un escenario particular se basa en el retardo de propagación de la media cuadrática o valor cuadrático medio (rms) del escenario. El marco de los modelos PL A ~ F se basan en el modelo de doble pendiente, que es un caso especial del modelo multi-pendiente PL. Sus parámetros se resumen en la Tabla 16.1 y se ilustran en la Figura 16.1.

New Model	d_{BP} (m)	Slope before d_{BP}	Slope after d_{BP}	SF before d_{BP}, LOS (dB)	SF after $d_{BP}, NLOS$ (dB)	Delay spread (ns)
A	5	2	3.5	3	4	0
B	5	2	3.5	3	4	15
C	5	2	3.5	3	5	30
D	10	2	3.5	3	5	50
E	20	2	3.5	3	6	100
F	30	2	3.5	3	6	150

Note: Model A is not used for system performance comparison.

Tabla 16.1: Parámetros de los modelos PL (A-F) en IEEE 802.11n

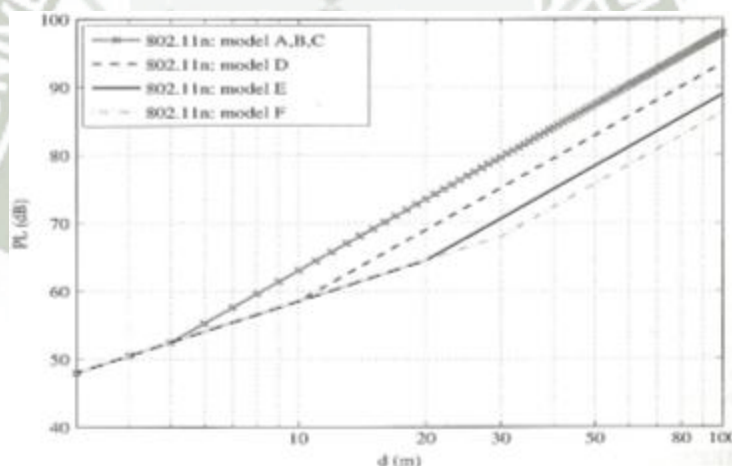


Figura 16.1: modelos PL en IEEE 802.11n

17. Modelo WIM2

El Modelo interino WIM2 ha sido publicado en el entregable D1.1.1. El modelo WIM2 final en el D1.1.2 ha estado disponible desde 2007. Los modelos de PL y parámetros del canal se basan principalmente en

mediciones de 2 GHz y 5 GHz. Sin embargo, las bandas de frecuencia se extienden de 2 a 6 GHz. Los ambientes interiores de aquí se divide principalmente en dos escenarios: la oficina de interior y punto de acceso del interior.

Para la oficina de interior, la distribución se muestra en la figura 17.1 y se han discutido diferentes condiciones (LOS y NLOS). En la figura 17.1, las estaciones base (puntos de acceso) se supone que están en el pasillo o corredor, para el caso LOS es corredor a corredor. Para el caso NLOS, el modelo básico PL sólo considera las habitaciones contiguas al pasillo donde se encuentra el punto de acceso. En cuanto a las habitaciones más lejos del pasillo (varias paredes serán penetradas), las pérdidas causadas por las paredes deben ser aplicadas por las paredes paralelas a los corredores. Por otra parte, también se modela el caso de piso a piso. Todos los pisos se generan idénticamente. La pérdida del suelo o piso se modela como constante para la misma distancia entre los pisos, pero aumenta con el número de plantas o pisos linealmente.

Mientras el punto de acceso (hotspot) interior se caracteriza por grandes espacios abiertos cuya dimensión típica podría oscilar entre 20 m x 20 m hasta más de 100 m de longitud y ancho y hasta 20 m de altura. En tales escenarios, tanto LOS y NLOS las condiciones de propagación podrían existir. Los modelos de PL, tanto para la oficina de interior y punto de acceso de interior se resumen en la Tabla 17.1.

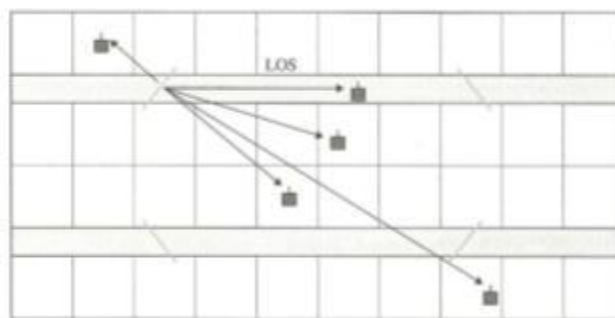


Figura 17.1: diseño del escenario interior in WIM2

Scenarios	PL (dB)	SF (dB)	Notation
indoor office			
LOS	$PL = 18.7\lg(d) + 46.8 + 20\lg(f_c)$	$\sigma = 3$	$3\text{ m} < d < 100$
NLOS	$PL = 36.8\lg(d) + 43.8 + 20\lg(f_c)$	$\sigma = 4$	$3\text{ m} < d < 100$
wall-penetration	light wall: $A_{wall} = 5(n_w - 1)$ n_w is the number of walls heavy wall: $A_{wall} = 12(n_w - 1)$ n_w is the number of walls	–	PL_{base} should be considered
floor penetration	$A_{floor} = 17(n_f - 1)$ n_f is the number of floor	–	PL_{base} should be considered
indoor hotspot			
LOS	$PL = 13.9\lg(d) + 64.4 + 20\lg(f_c)$	$\sigma = 3$	$5\text{ m} < d < 100$
NLOS	$PL = 37.8\lg(d) + 36.5 + 23\lg(f_c)$	$\sigma = 4$	$5\text{ m} < d < 100$

Tabla 17.1: Parámetros del modelo WINNER D1.1.2

18. Modelo COST 231 Hata

COST 231 Hata es la extensión del modelo de Hata. Los modelos PL interior en COST 231 Hata contienen tres tipos de modelos de PL: El modelo SS, el modelo LD, y el modelo múltiple pared (MWM). MWM es similar al modelo de MWF, pero la pérdida de la pared y la pérdida de suelo se definen de diferentes maneras. La Pérdida de la penetración de la pared se define en MWM como:

$$A_{wall}^{wall} = \sum_{i=1}^I K_{wi} L_{wi} \quad (18.1)$$

Donde K_{wi} es el número de paredes penetradas de tipo i , pero se diferencian aquí dos tipos de pared. L_{wi} Es la pérdida del tipo de pared i , I es el número de tipos de pared. En cuanto a la pérdida de la penetración del piso:

$$A_{floor} = k_f \left[\frac{k_f+2}{k_f+1} - b \right] L_f \quad (18.2)$$

Donde K_f es el número de pisos penetrados, L_f es la pérdida entre pisos adyacentes, b es un parámetro empírico.

De la ecuación 18.2, se puede encontrar que la pérdida total del suelo es una función no lineal de la cantidad de plantas. Un factor empírico b es instalado para representar la relación no lineal. Por otra parte, los tipos de pared se discuten en el MWM. El MWM también se utiliza para diferentes escenarios de interiores. Los parámetros del modelo para los diferentes escenarios se enumeran en la Tabla 18.1.

El interior de desvanecimiento a largo plazo sigue la distribución logarítmica normal con $\sigma = 2.7 \sim 5.3$ dB.

Environment	SS model		LD model		MWM		
	PL_0 (dB)	n	α (dB/m)	L_{w1} (dB)	L_{w2} (dB)	L_f (dB)	b
Dense							
one floor	33.3	4.0	0.62	3.4	6.9	18.3	0.46
two floor	21.9	5.2	—	—	—	—	—
multi floor	44.9	5.4	2.8	—	—	—	—
Open	42.7	1.9	0.22	3.4	6.9	18.3	0.46
Large	37.5	2.0	—	3.4	6.9	18.3	0.46
Corridor	39.2	1.4	—	3.4	6.9	18.3	0.46

L_{w1} is the penetration loss for light wall like plasterboard.
 L_{w2} is the penetration loss for heavy wall like a load-bearing wall.

Tabla 18.1 Coeficientes del modelo para diferentes modelos de PL en 1800 MHz

19. Comparación de los modelos de canal de interior

Con el fin de saber la diferencia entre los modelos de PL de diferentes organizaciones de normalización y grupos de investigación mencionados anteriormente, se hacen algunas comparaciones en la Tabla 19.1, Figuras 19.1 y 19.2.

En la Figura 14, la pérdida de trayectoria pronosticada por los modelos B, C de IEEE 802.11n a 2 GHz en 10 dB es mejor que en el escenario denso, y 9,8 dB es peor que en el escenario del corredor para COST 231 Hata en 1.8 GHz, cuando $d = 10$ m. Además, como se representa en la figura 15, en condiciones NLOS, cuando d es mayor que 50 m, PL en WIM2 y ITU-R M.2135 son aproximadamente el mismo y al menos 5,8 dB peor que el estándar IEEE 802.11n del modelo B ~ C a 5.25 GHz. Por otra parte, PL en WIM2 en 11.6dB es peor que la Recomendación ITU-R M.2135 para el caso de LOS, cuando d es de 3 m hasta 100 m.

Institutes	Frequency	Indoor environment	Factors considered
ITU-R M.2135	2 GHz ~ 6 GHz	Indoor hotspot: LOS and NLOS condition	distance, frequency
3GPP TR 36.814 IEEE 802.11n	2 GHz ~ 6 GHz 2 GHz and 5 GHz	Femtocell 4 scenarios residential, small office, typical office and large space	distance, frequency distance
WIM2	2 GHz ~ 6 GHz	Indoor hotspot and indoor office different condition LOS and NLOS, and so on	distance, wall, floor and frequency
COST 231 Hata	0.9 GHz and 1.8 GHz	4 scenarios: dense, open, large	distance, wall, floor and frequency

Tabla 19.1: comparación de modelos de interior PL propuesto por los institutos

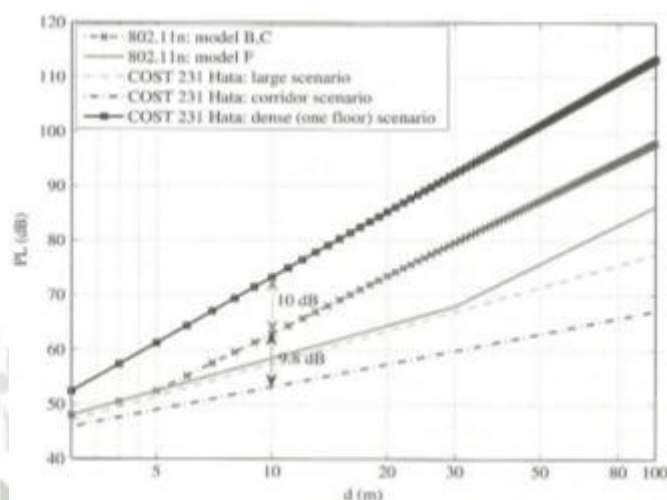


Figura 19.1: comparación de modelos de interior PL en IEEE 802.11n y COST 231 Hata

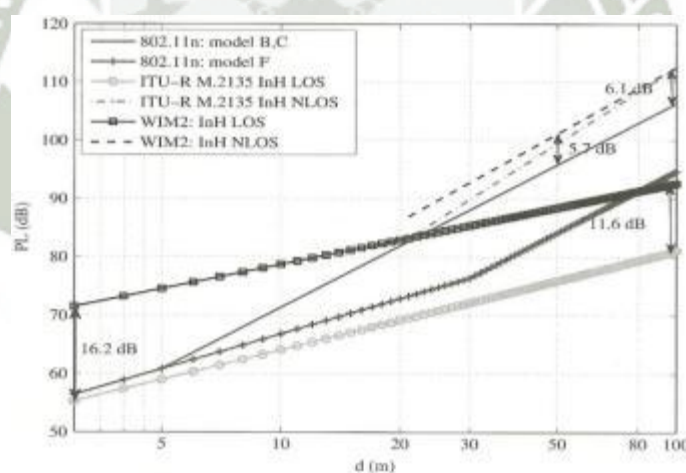


Figura 19.2: comparación de modelos de interior PL en WIM2, ITU-R M.2135 y COST 231 Hata

Las bandas de frecuencia de despliegue del candidato LTE-A propuestas por la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones del 2007 (CMR-07), incluyendo 450 MHz-470 MHz, 698 MHz-862 MHz, 790

MHz, -862 MHz, 2.3 GHz-2.4 GHz, 3,4 GHz-4,2 GHz, 4,4 GHz-4.99 GHz, y así sucesivamente.

Se puede observar que, además de 2,3 GHz-2.4 GHz desplegados en sistemas celulares tradicionales, nuevas bandas son ya sea alta o baja. Con el fin de desarrollar modelos de canal para sistemas de comunicaciones LTE-A, los modelos de canal deben cubrir una amplia gama de bandas de frecuencia.

Como la banda de alta frecuencia para LTE-A, los modelos de la ITU-R (como la UIT-R M.2135) y WIM2 pueden ser referidos; mientras que para la banda baja, se puede convertir con COST 231 modelo de Hata. Puesto que cada modelo de canal normalizado incluye un conjunto de modelos de canal, independientemente del modelo de canal estandarizado que adopte, un modelo específico para la implementación real depende de las condiciones concretas, como escenarios, frecuencias, etc.

ANEXO II: EQUIPOS Y ANTENAS QUE IMPLEMENTAN EN LA RED 4G LTE EN AREQUIPA



Antena Amphenol- C-BXD-65806580-M

X-Pol | VET Panel | 65° / 65° | 16.0 / 18.0 dBi

bandas de frecuencias: 806-896 880-960 1710-1880 1850-1990 1920-
2170

polarización $\pm 45^\circ$ $\pm 45^\circ$ $\pm 45^\circ$ $\pm 45^\circ$ $\pm 45^\circ$

Ancho de haz Horizontal 65° 63° 66° 64° 63°

Ancho de haz vertical 10° 9.5° 5.5° 5° 5°

ganancia 15.5 dBi 16 dBi 17.5 dBi 17.8 dBi 18 dBi

Downtilt electrico 0° - 8° 0° - 8° 0° - 8° 0° - 8° 0° - 8°

Impedancia 50Ω

VSWR ≤ 1.5

Supresión de lóbulos laterales superior

0° ... 4° ... 8°

18...18...18

0° ... 4° ... 8°

16...15...15

Relación parte frontal a la parte posterior ≥ 30

Aislamiento ≥ 30

Relación polar cruzado $\geq 15(\pm 60^{\circ} \geq 10)$

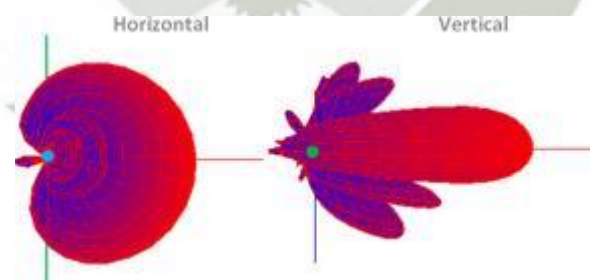
IM3 (2x43 dBm carrier) ≤ -150 dBc

potencia de entrada 400 W 200 W

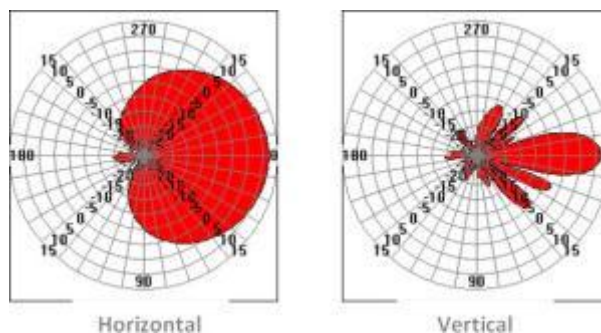
Protección contra rayos a tierra DC

-40° to 60° C -40° to 140° F

Conector(s) 4 / 7/16 DIN Hembra

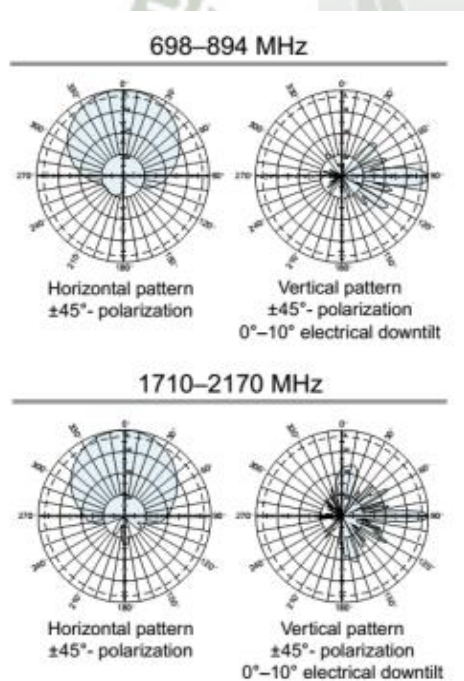


La eficacia de una red celular depende directamente de una correcta configuración y adaptación de sistemas radiantes: sus antenas de transmisión y recepción.



Antena Ericsson Air 21 B4A B12P B5P

- polarizado-X (45° y -45°).
- Resistente a UV cúpulas de fibra de vidrio.
- Tecnología de dipolo vectorial de banda ancha.
- DC a tierra las partes metálicas para la supresión de los impulsos.
- RET motor alojado en el interior de la cúpula y reemplazable en el campo



General specifications:

Frequency range	698–894 MHz // 1710–2170 MHz
Impedance	50 ohms
VSWR	<1.5:1
Intermodulation (2x20w)	IM3:< -150 dBc
Polarization	+45° and -45°
Connector	4 x 7-16 DIN female (long neck)
Isolation	intrasystem >30 dB // intersystem >35 dB

See reverse for order information.

Specifications:	698–806 MHz	824–894 MHz	1710–1755 MHz	1850–1990 MHz	2110–2170 MHz
Gain	16.4 dBi	16.8 dBi	18 dBi	18.5 dBi	18 dBi
Front-to-back ratio	>30 dB (co-polar) 34 dB (average)	>30 dB (co-polar) 34 dB (average)	>27 dB (co-polar) 34 dB (average)	>27 dB (co-polar) 34 dB (average)	>27 dB (co-polar) 34 dB (average)
Maximum input power per input	500 watts (at 50°C)	500 watts (at 50°C)	300 watts (at 50°C)	300 watts (at 50°C)	300 watts (at 50°C)
+45° and -45° polarization horizontal beamwidth	68° (half-power)	65° (half-power)	63° (half-power)	62° (half-power)	63° (half-power)
+45° and -45° polarization vertical beamwidth	9.5° (half-power)	8.7° (half-power)	5.8° (half-power)	5.8° (half-power)	5.8° (half-power)
Electrical downtilt continuously adjustable	0°–10°	0°–10°	0°–10°	0°–10°	0°–10°
Min sidelobe suppression for first sidelobe above main beam average	0° 5° 10° T 16 16 16 dB 18 20 18 dB	0° 5° 10° T 18 18 16 dB 20 20 20 dB	0° 5° 10° T 18 18 18 dB 20 22 20 dB	0° 5° 10° T 18 18 18 dB 20 22 20 dB	0° 5° 10° T 18 18 18 dB 20 22 20 dB
Cross polar ratio					
Main direction	0°	25 dB (typical)	20 dB (typical)	25 dB (typical)	30 dB (typical)
Sector	±60°	>10 dB, 15 dB (avg)	>10 dB, 12 dB (avg)	>8 dB, 15 dB (avg)	>10 dB, 15 dB (avg)
Tracking, avg.	1 dB	1 dB	1.5 dB	1.5 dB	1.5 dB
Squint	±2.5°	±2.5°	±3°	±3°	±3°

RBS 6601 DUW 3001 y DUS 4101

Es una RBS con radios externos. Se compone de una unidad principal cubierta y un número de unidades de radio remota (RRUs), que están diseñados para ser situado cerca de la antena, o unidades de Antena de Radio Integrada (AIR). Un cable óptico conecta cada RRU o unidad de aire (AIR) a la unidad principal, como se muestra en la Figura. Los cables ópticos están disponibles en longitudes estándar, que van desde unos pocos metros hasta varios cientos de metros.

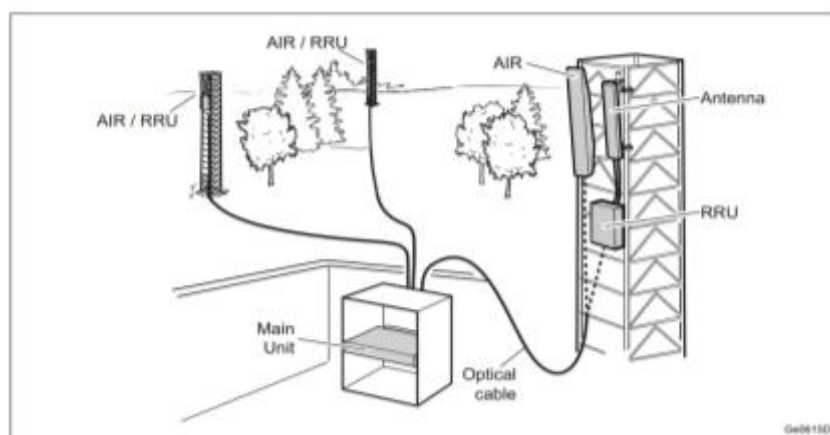


Fig. 1: Instalación entre la unidad principal y la antena

Standard	Number of Cells	Number of Carriers
CDMA	1-3	1-4
GSM	1-3	1-8
LTE	1-3	1-4
WCDMA	1-3	1-4

Tabla 1: RBS 6601 típicas configuraciones



Fig. 2: Unidad principal con la unidad digital

Conexión de interfaces

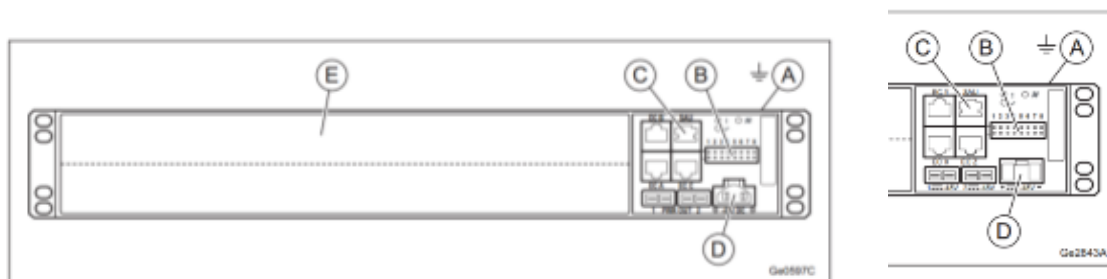


Fig. 3: Ubicaciones de las conexiones de interfaz

Posición A, Interfaz de conexión a tierra: Todo el equipo debe estar conectado a la misma Terminal de tierra principal (MET) del interior de la sala de equipos con un cable de puesta a tierra 16mm^2

Posición B, interfaz de alarma externa incorporada: la unidad principal soporta ocho puertos integrados de alarma para alarmas externas específicas. Una alarma puede ser activada por un estado abierto o cerrado

Posición C, interfaz SAU (Opcional): El SAU es opcional y se instala fuera del gabinete. La alimentación se suministra de la unidad principal a la SAU a través del conector RJ-45. (SAU) es una unidad de alarma instalado en un bastidor de distribución, que también incluye la protección de sobretensión (OVP) de alarmas y transmisión externa.

Posición D, interfaz de la conexión de alimentación:

Polarity	Cross Sectional Area
-48 V DC	2.5 mm ² to 10 mm ²
+24 V DC	4 mm ² to 10 mm ²

Tabla 2: polarización

Posición E, LMT Interface (Opcional)

El cliente está conectado al armario para los propósitos de configuración y de servicios. En WCDMA el sitio de internet o LMT se utiliza para comunicar con el Elemento de RBS Manager (EM). En LTE y CDMA el terminal de mantenimiento local (LMT) se utiliza para comunicarse con el RBS EM. En GSM el sitio LAN se utiliza para comunicarse con la Operación y Mantenimiento de la Terminal (OMT)

Posición E, interfaz GPS (opcional)

El RBS se puede conectar a un sistema GPS, que se utiliza para la temporización, Sincronización de la RBS.

Posición E, interfaz de Radio

Las unidades RRU y aire están conectados a la unidad principal mediante cables ópticos a través de módulos pequeños (SFP). Los cables ópticos están disponibles en longitudes estándar

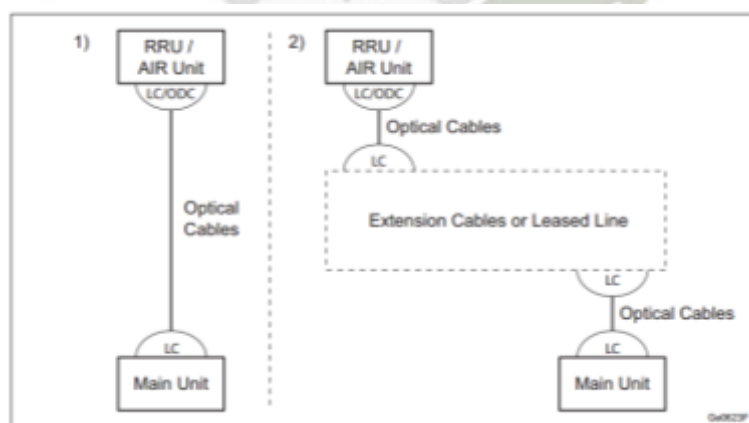


Fig. 4: Interfaces para cable ópticos hacia la RRU o unidades de aire

Posición E, interfaz de transmisión

Esta sección describe los estándares de transmisión soportados por el RBS.

Las siguientes alternativas de transmisión están disponibles:

- Transmisión Eléctrica Ethernet (WCDMA y LTE)
- La transmisión óptica Ethernet (WCDMA y LTE)
- E1/T1/J1, transmisión eléctrica (WCDMA solamente)
- E1/T1, de transmisión eléctrica (sólo GSM)
- STM-1 (módulo de transporte síncrono de nivel 1 (STM-1) (sólo WCDMA)

Transmission Standard	Transmission Capacity (Mbps)	Cable Impedance (Ω)	Cable Type	Physical Layer
Ethernet (electrical)	100/1000	100	Twisted pair, balanced lines	IEEE 802.3-100/1000Base-T
Ethernet (optical)	1000	Max attenuation 0.5 dB/cabling	Optical	SFP connectors: • 1000Base-SX • 1000Base-LX • 1000Base-LX10 • 1000Base-LX40 • 1000Base-ZX • 1000Base-BX10 • 1000Base-BX20

Transmission Standard	Transmission Capacity (Mbps)	Cable Impedance (Ω)	Cable Type	Physical Layer
E1	2.0	120	Twisted pair, balanced lines	ETSI ETS 300 166 & ITU-T G.703
T1	1.5	100		ANSI T1.403
J1	1.5	100		Japan JT-L431a (ITU-T L.431)
		110		Japan JT-G.703 (ITU-T G.703)
STM-1	155.5	Max attenuation 12 dB/cabling	Optical	SFP connectors: • S-1.1 • L-1.1

Tabla 3: Estándares de transmisión

DUS 4101

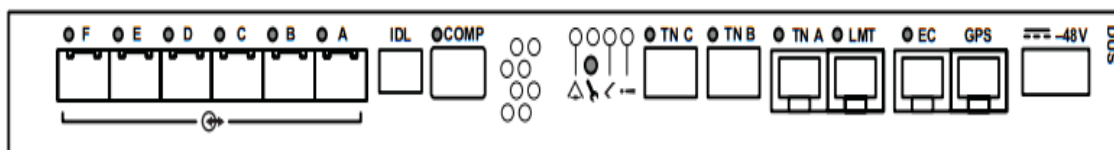


Fig. 5: DUS 4101

Digital Unit	Supported Radio Interface Connections CPRI	Dimensions			
		Height	Width	Depth	Weight
DUL 20 01	2.5 Gbps	350 mm	31 mm	280 mm	< 3 kg
DUS 31 01 DUS 31 02	2.5 Gbps, 5 Gbps ⁽¹⁾ , 10 Gbps ⁽¹⁾	350 mm	31 mm	280 mm	< 3 kg
DUS 41 01 DUS 41 02	2.5 Gbps, 5 Gbps ⁽¹⁾ , 10 Gbps ⁽¹⁾	350 mm	31 mm	280 mm	< 3 kg

Tabla 4: Data técnica DUS 4101

RRUS 11

Los RRUS se extienden de forma remota con una distancia de la RBS por un máximo de 40 km. El RRU está diseñado para ser situado cerca de la antena. Un cable de fibra óptica conecta el RRU a la unidad principal de RBS o un RBS macro expandido. El RRU puede ser conectado en una configuración en estrella o en una configuración en cascada con enlaces de cable ópticos como se muestra en la Figura

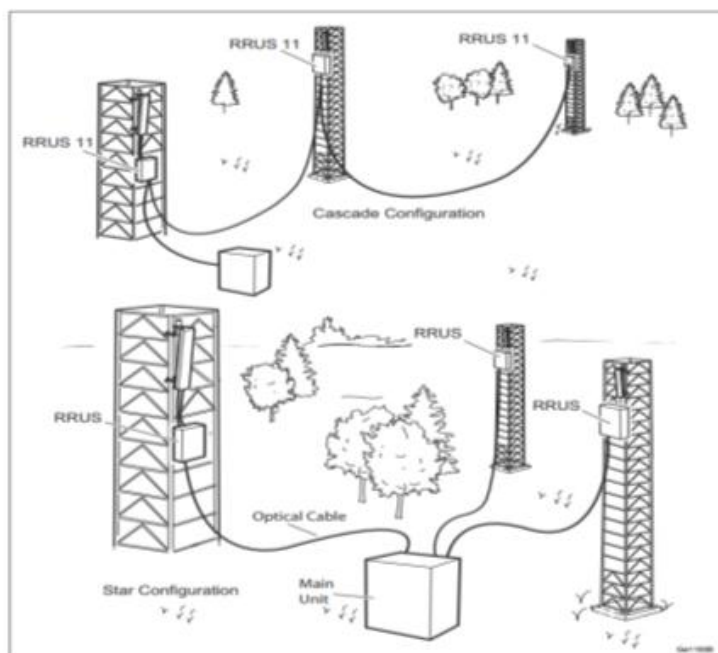


Fig. 6: configuración estrella y cascada

Description	Value
Maximum nominal output power	Without license key: 2x10 W or 1x20 W
	2x20 W or 1x40 W (1x30 W), 2x30 W, 2x40 W ⁽¹⁾ require license keys ⁽²⁾
Number of carriers	Without licence key: one carrier
	With license keys: up to four carriers

Description	Value
Frequency	1920 to 1980 MHz uplink
	2110 to 2170 MHz downlink
	B1 for WCDMA and LTE
	1850 to 1910 MHz uplink
	1930 to 1990 MHz downlink
	B2 for WCDMA and LTE
	1710 to 1755 MHz uplink
	2110 to 2155 MHz downlink
	B4 for WCDMA and LTE
	824 to 849 MHz uplink
	869 to 894 MHz downlink
	B5 for WCDMA and LTE
	2,500 to 2,570 MHz uplink
	2,620 to 2,690 MHz downlink
	B7 for LTE
	699 to 715 MHz uplink
	729 to 745 MHz downlink
	B12 for LTE ⁽³⁾
	832 to 862 MHz uplink
	791 to 821 MHz downlink
	B20 for LTE
	1850 to 1915 MHz uplink
	1930 to 1995 MHz downlink
	B25 for LTE
	1850 to 1910 MHz uplink
	1930 to 1990 MHz downlink
	B25 for CDMA
	817 MHz to 824 MHz uplink
	862 MHz to 869 MHz downlink
	B26A for CDMA and LTE

Tabla 5: Datos técnicos

Conditions	Values and Ranges
Nominal voltage	-48 V DC
Operating voltage range	-40.0 to -57.6 V DC
Non-destructive range	0 to -60 V DC

Tabla 6: Características Fuente de alimentación DC

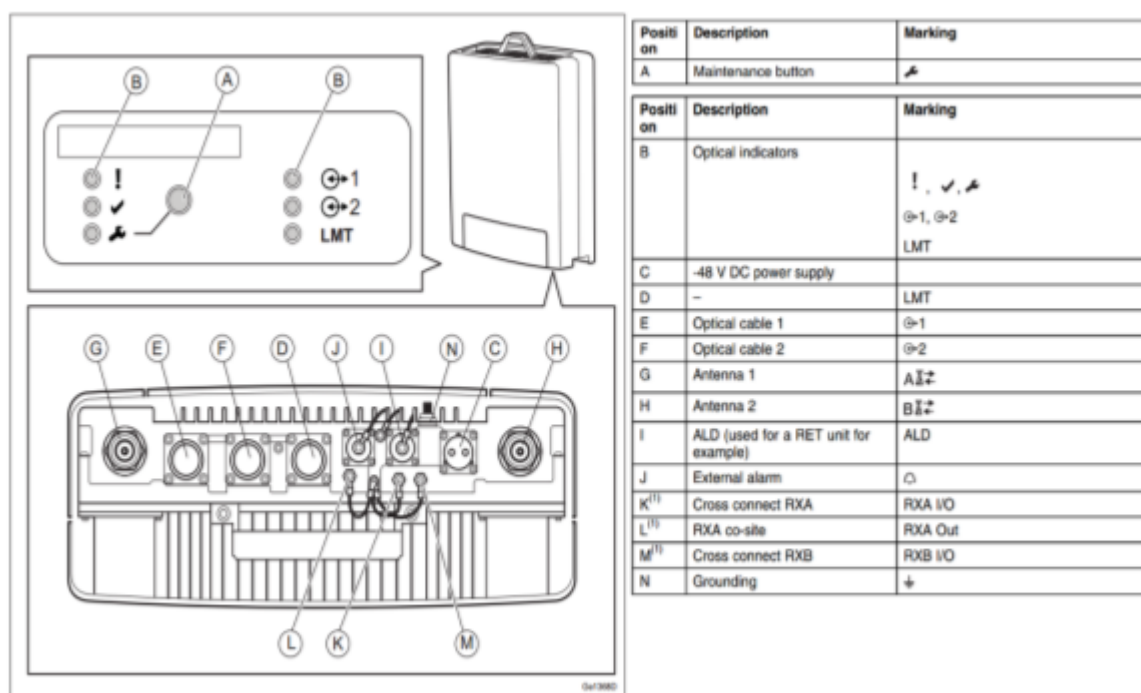


Fig. 7: Conexión de interfaces

Posición A, botón de mantenimiento

Utilice un objeto puntiagudo, por ejemplo, un destornillador o una punta de lápiz, presionar el botón de mantenimiento. (Se visualiza color azul)

Posición B, indicadores ópticos

Indicaciones ópticas muestran el estado del sistema, en fault (se visualiza color rojo), en operacional (se visualiza color verde), las interfaces correctas (se visualizan color verde)

Posición C, -48V DC interfaz de la fuente de alimentación

El conductor de cable de alimentación tiene un cable para 0 V y un cable para -48 V. Todos los cables deben estar blindados.

El blindaje debe estar correctamente conectado tanto en el conector de alimentación y de la interfaz de conexión a tierra en la fuente de alimentación del equipo, de lo contrario la sobretensión de la RRUS y la protección contra relámpago no funcionarían correctamente.

Position D, LMT

No se usa

Posición E y F, Interfaz de Cable óptico a la unidad Principal

Las interfaces 1 y 2 proporcionan conexiones con cables ópticos para el tráfico

Y señales de temporización entre la RRUS y la unidad principal. Un SFP se utiliza para conectar el cable óptico a la RRUs.

Posición G y H, interfaz antena

Connector Type	RF Cable Type	Cable Connector Type	Cable Product Number
7/16 IEC-169-4 insert-receiver type	50 Ω 1/2-inch coaxial	7/16 insert-type on both ends	TSR 951 70

RRUS Connectors	Antenna Connectors
A  (Antenna 1)	TX/RX
B  (Antenna 2)	TX/RX

RF Monitoreo de puertos para RRUS 11 (Opcional)

El puerto de monitoreo de RF puede ser utilizado para controlar la salida de RF del enlace descendente RRUS.

En otras palabras Soporta la interfaz bidireccional, el tráfico de RX / TX, pero sólo la dirección TX pueden ser monitoreado.

Supervisión de la potencia de salida de RF sin interrumpir el servicio RRUS 11.

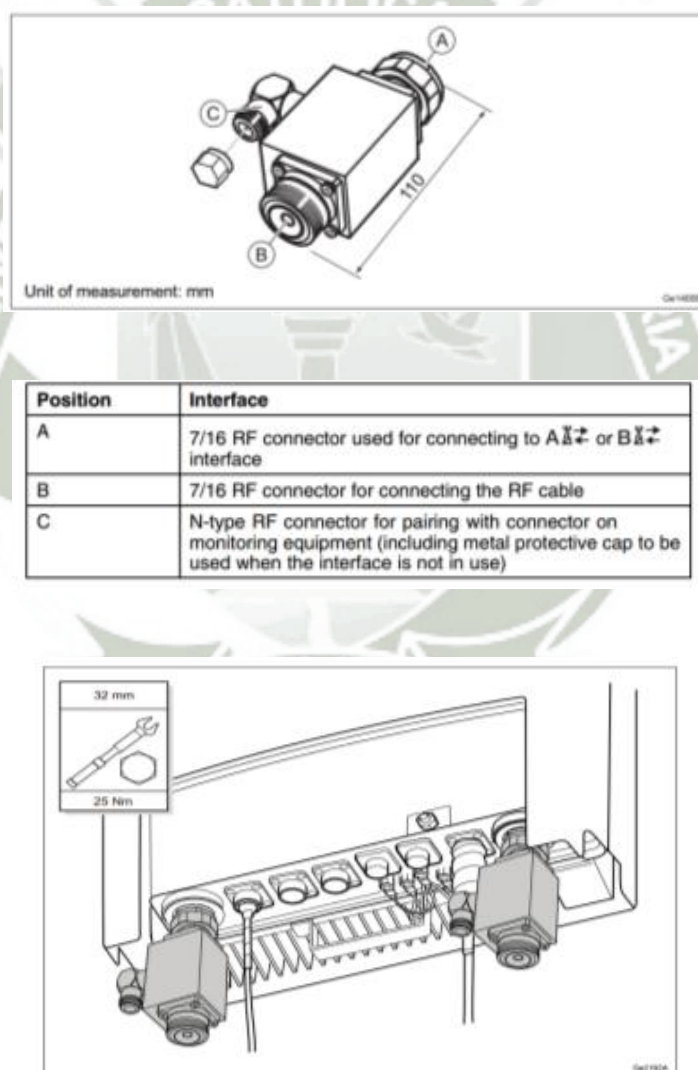


Fig. 8: Conexión de puerto de monitorio a la RRUs

Posición I, Interfaz ALD Ctrl

El Control ALD se conecta un cable de ALD (RET –Tilt eléctrico remoto) a la RRUS para la Comunicación del sistema de la antena.

Posición J, interfaz de alarma externa

Dos alarmas externas se pueden conectar al puerto de alarma externa RRUS

Posición K y M, interfaz RXA I/O y RXB I/O

El puerto de interfaz RXA I/O y RXB I/O se utiliza para cruzar y conectar el RRUs hacia otro RRU para la diversidad de la antena

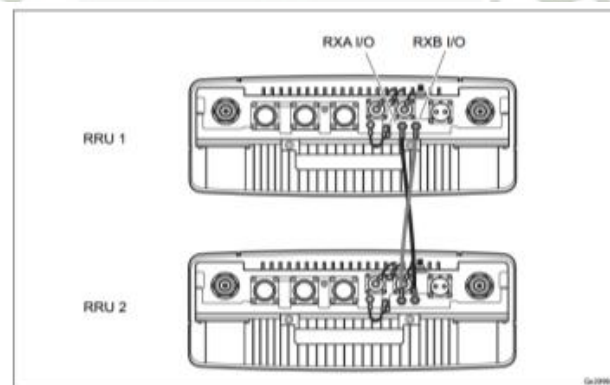


Fig. 9: Cruce de conexión RRUs

Posición L, RXA Interfaz de salida

El puerto de interfaz RXA Out se utiliza el co-site, conectar el RRUs hacia otro RRU (formar una comunicación en cascada)

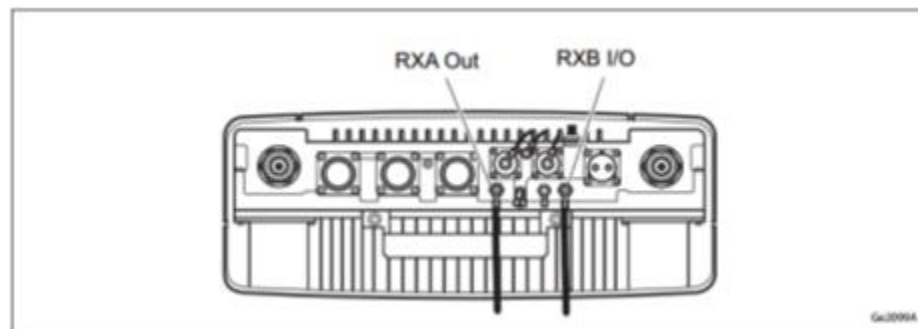


Fig. 10: Co-siting RRUs

Posición N, interfaz de tierra

El RRUS debe conectarse a tierra para protegerla de la sobretensión y relámpagos

RRUs A2

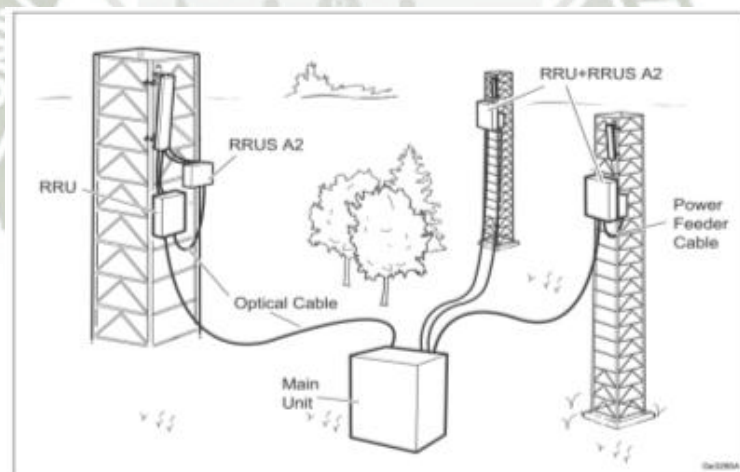


Fig. 11: Instalación entre la unidad principal y RRUs y RRUs A2

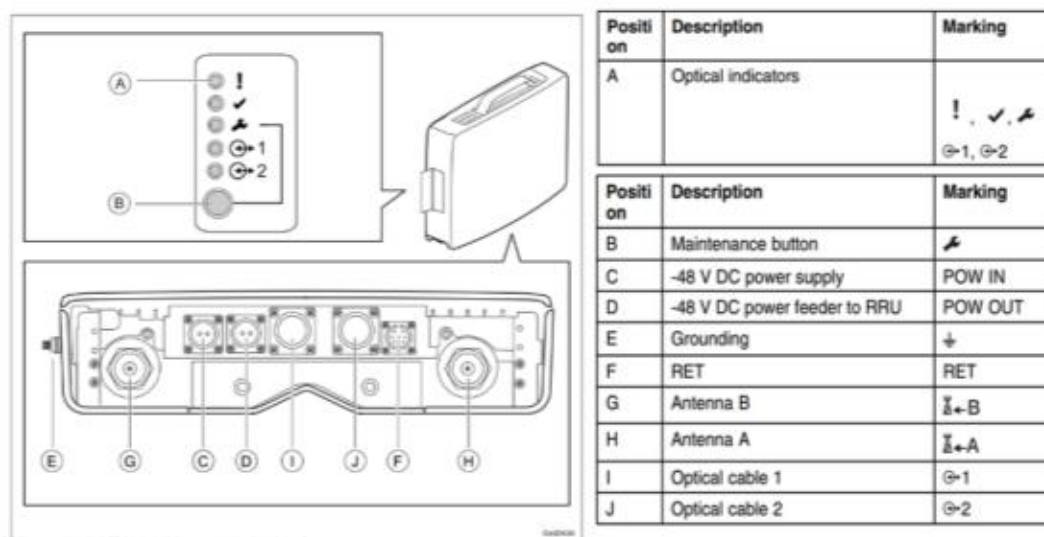


Fig. 12: Conexión de interfaces

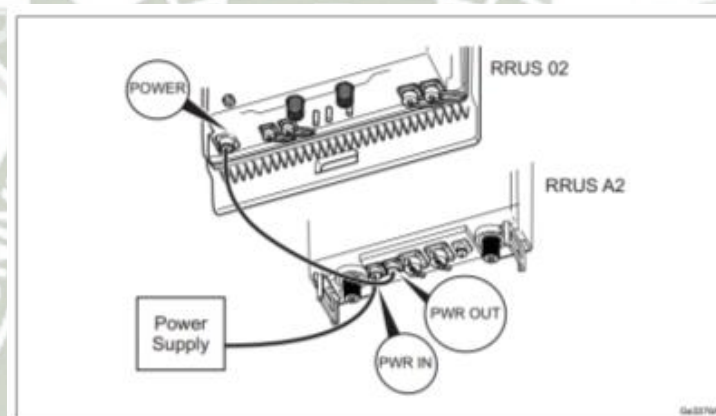


Fig. 13: Conexión de alimentación

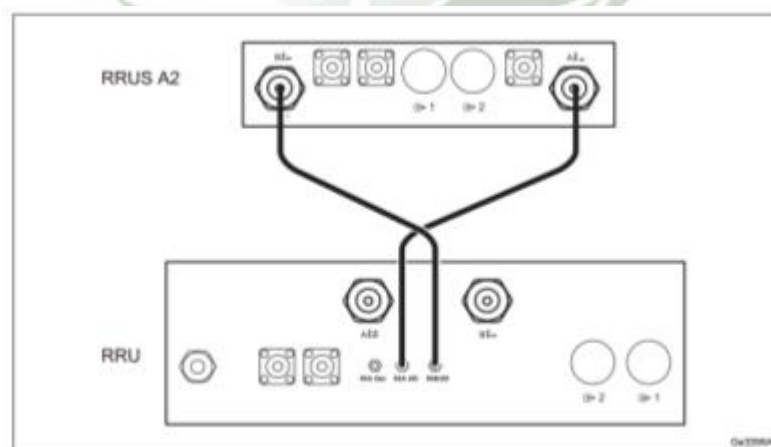


Fig. 13: Conexión cruzada entre RRUs A2 y RRUs

DBS3900 HUAWEI

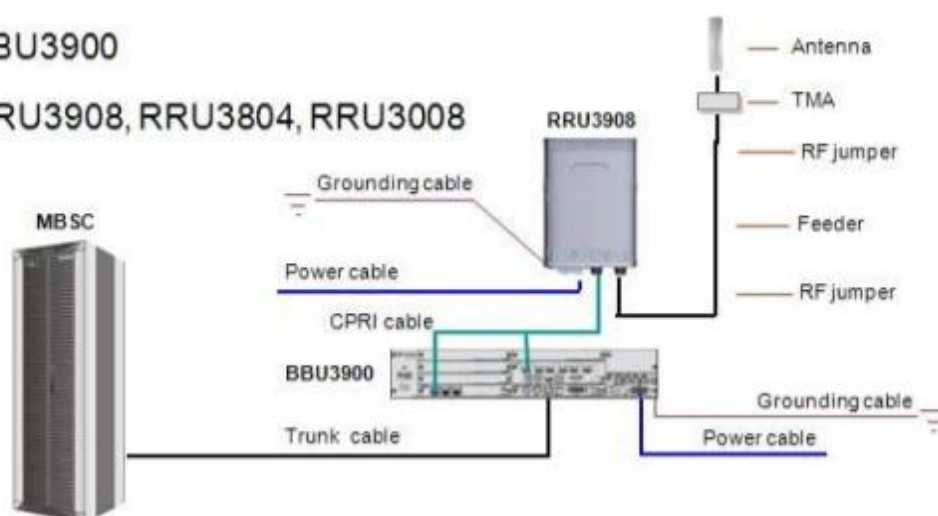
Con un enfoque en la innovación orientada al cliente, Huawei lanza una serie de productos en su cartera de productos, incluyendo SingleBTS DBS3900 LTE Distribuido Estación Base. El LTE LTE TDD DBS3900 utiliza al máximo los recursos de la plataforma de Huawei y una variedad de tecnologías para afrontar los retos del desarrollo de la red móvil.

El eNodeB se utiliza para el acceso de radio en el sistema de LTE. El eNodeB realiza principalmente la gestión de recursos (RRM) funciones de radio tales como la gestión de la interfaz de aire, control de acceso, control de la movilidad, y el equipo de usuario (UE) la asignación de recursos. Múltiples eNodeBs constituyen un sistema de E-UTRAN (Evolved Terrestre Universal Red de Acceso Radio).

El DBS3900 sólo tiene dos tipos de módulos básicos: unidad de banda base (BBU3900) y unidad de radio remota (RRU), que se pueden configurar de forma flexible para satisfacer las necesidades en diferentes escenarios de uso. Además, el DBS3900 cuenta con un tamaño pequeño, bajo consumo de energía, una instalación flexible, y la implementación de sitios fácil.

- DBS3900 components:

- BBU3900
- RRU3908, RRU3804, RRU3008



ANEXO III: TECNOLOGÍA MIMO Y SUS ASPECTOS FUNDAMENTALES

El siguiente esquema resume una configuración MIMO 2x2:



Fig. 1: canales de propagación posibles

Tanto el transmisor como el receptor cuentan con dos antenas. Tal y como muestran las flechas, la señal transmitida por una antena es recibida por las dos antenas receptoras, por lo que la señal recibida en una determinada antena receptora es una combinación lineal de las señales transmitidas por cada antena transmisora. Las cuatro antenas operan en la misma frecuencia y polarización.

La tecnología MIMO logra mediante métodos matemáticos crear dos “canales espaciales” diferenciados, de modo que

entre el transmisor y el receptor se crean dos canales independientes que operan en la misma frecuencia y al mismo tiempo por los que transmitir información. La transmisión físicamente se realiza a través de los cuatro canales de propagación mostrados en la figura anterior, pero matemáticamente es como si existieran dos canales independientes entre el transmisor y el receptor. Podríamos

hablar por tanto de canales matemáticos, o canales virtuales, en contraste con los cuatro canales físicos que realmente existen entre el transmisor y el receptor.



Fig. 2: canales espaciales MIMO

Como se ha indicado, la señal recibida en la antena receptora es una combinación lineal de las señales transmitidas por las antenas transmisoras. Para poder separar esas señales si el canal de propagación que conecta las antenas es conocido (en el caso anterior hay cuatro canales de propagación posibles), basta con resolver un sistema de ecuaciones de dos incógnitas.

Para conocer el canal de propagación basta con enviar señales conocidas por una antena y luego por la otra, de modo que el receptor conocerá cada canal de propagación.

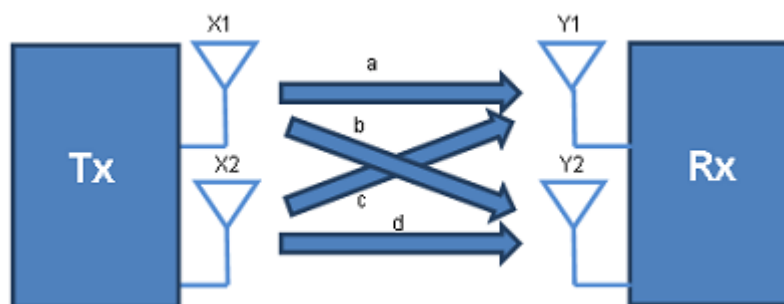


Fig. 3: canales de propagación con símbolos

En la figura anterior, cada antena transmisora envía un símbolo diferente, X1 por una antena y X2 por otra antena.

La señal de las antenas viaja por los canales de propagación posibles (a, b, c y d), y el receptor recibe las señales Y1 e Y2 en sus antenas. Por ejemplo, Y1 es la suma del símbolo X1 viajando por el canal “a”, más X2 viajando por el canal “c”.

El sistema de ecuaciones por tanto es:

$$Y1 = a \cdot X1 + c \cdot X2$$

$$Y2 = b \cdot X1 + d \cdot X2$$

Como los coeficientes del canal de propagación a, b, c y d son conocidos, el receptor puede recuperar X1 y X2 en base a las señales recibidas Y1 e Y2 con simplemente resolver el anterior sistema de ecuaciones.

Sin embargo, basta repasar la teoría básica de ecuaciones lineales para recordar que no todo sistema de ecuaciones tiene solución. El sistema puede ser indeterminado, con infinitas soluciones posibles.

Para que un sistema lineal de dos ecuaciones con dos incógnitas tenga solución, es imprescindible que las ecuaciones sean linealmente independientes, o que la matriz de canales de propagación tenga determinante no nulo.

Del mismo modo, para que MIMO pueda separar los dos canales espaciales es imprescindible que la matriz de canales de propagación tenga determinante no nulo, o empleando otra terminología, que los canales de propagación entre las diferentes antenas sean incorrelados.

Es decir, que en el ejemplo anterior, los canales de propagación entre la antena transmisora 1 y las antenas receptoras 1 y 2 (a y b), sean bien diferentes que los canales de propagación entre la antena transmisora 2 y las antenas receptoras 1 y 2 (c y d).

Una vez se cumple este condicionante de incorrelación de los canales de propagación, es fácil separar los canales espaciales, creando dos canales diferentes que operarán en la misma frecuencia, tiempo y polarización, siendo el receptor capaz de diferenciar las señales enviadas por cada canal espacial.

Como hemos visto, mediante mecanismos matemáticos MIMO es capaz de crear canales espaciales diferenciados que operan en la misma frecuencia, polarización y tiempo. En el ejemplo anterior, los dos canales espaciales creados pueden emplearse para dos fines.

MIMO Matrix A están orientadas a mejorar la recepción de la señal en unas condiciones determinadas, y no a incrementar la velocidad de

transmisión. Al contrario, Matrix B incrementa la velocidad de transmisión en esas mismas condiciones sin mejorar la tasa de error.

La principal diferencia entre canales con línea de vista (LOS) y sin línea de vista (NLOS) es la existencia de un rayo directo que domina sobre los reflejados. Dejando al margen los detalles matemáticos, podemos resumir diciendo que en LOS la comunicación se realiza a través de un rayo directo dominante, con poco multitrayecto, y en NLOS la comunicación se logra únicamente mediante multitrayecto rebotando la señal de un lugar a otro hasta llegar del transmisor al receptor.

Como en un escenario LOS es matemáticamente imposible crear canales espaciales diferenciados que operen en la misma frecuencia, polarización y tiempo, no queda otro remedio que crear físicamente esos canales diferenciados, ya sea mediante frecuencias diferentes, polarizaciones diferentes o tiempos diferentes. Es decir, ya no hablamos de canales virtuales creados mediante métodos matemáticos, sino de canales físicos reales diferenciados.

Ya no hablamos por tanto de incrementar la eficiencia espectral más allá del límite de Shannon para sistemas convencionales, sino de mantener la eficiencia espectral convencional en dos, tres o cuatro canales físicamente (y no matemáticamente) diferenciados, ya sea empleando diferente espectro (diversidad en frecuencia), polarización (diversidad angular), tiempo (diversidad temporal), o una combinación de las anteriores.

Pero ya no es posible la diversidad espacial.

El método más comúnmente empleado es el de la diversidad angular, por el que los canales físicos operan en la misma frecuencia y tiempo, pero empleando polarizaciones ortogonales. Se entiende así que los conceptos de diversidad angular y multiplexación en polarización son equivalentes. Más adelante en este documento explicaremos por qué esta tendencia y sus ventajas e inconvenientes.

Tal y como se ha indicado anteriormente, la mayor parte de los radioenlaces emplean tecnología 802.11n, que sí fue diseñada para implementar MIMO, pero que al trasladarse a aplicaciones LOS obliga a trabajar en polarizaciones ortogonales.

Desafortunadamente no hay más de dos polarizaciones ortogonales: vertical y horizontal. Por eso sólo es posible implementar MIMO 2x2 basándose en polarizaciones ortogonales.

Sin embargo hay en el mercado chipsets 802.11n MIMO 3x3, y se ha llegado a ver empresas que implementan estos sistemas en radioenlaces LOS empleando polarización vertical, horizontal y diagonal, pensando que así lograrán triplicar el throughput. Esto obviamente es matemáticamente imposible, ya que la tercera polarización es una combinación lineal de las otras dos.

Por lo tanto, en sistemas LOS que emplean polarizaciones ortogonales no es posible implementar más que MIMO 2x2.

ANEXO IV: GLOSARIO DE TERMINOS

3GPP 3rd Generation Partnership Project

AAA Authentication Authorization Accounting

ADSL Asymmetric Digital Subscriber Line

ALTQ Alternate Queueing

ATM Asynchronous Transfer Mode

Bps bits por segundo

BA Behavior Aggregate

BGP Border Gateway Protocol

BoS Bottom of Stack

CDMA Code Division Multiple Access

CBQ Class Based Queueing

CBR Constant Bit Rate

CE Customer Edge

CEF Cisco Express Forwarding

CoS Class of Service

CoMP Coordinated Multipoint transmission or reception

CPU Central Processing Unit

DSCP Differentiated Service Code Point

ECN Explicit Congestion Notification

EPS Evolved Packet System

E-UTRAN Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network

FDMA Frequency Division Multiple Access

FEC Forward Error Correction Class

FIB Forwarding Information Base

FIFO First In First Out

FR Frame Relay

FTP File Transfer Protocol

GGSN Gateway GPRS Support Node

GPRS General Packet Radio Service

GSM Global System for Mobile communications

HeNB Home eNodeB

HSPA High-Speed Packet Access

HSS Home Subscribe Server

HTTP HyperText Transfer Protocol

ICMP Internet Control Message Protocol

IETF Internet Engineering Task Force

IEEE Institute of Electrical and Electronic Engineers

IMT-A International Mobile Telecommunication Advanced

IMT International Mobile Telecommunication

IGP Interior Gateway Protocol

IOS Internetwork Operating System

IP Internet Protocol

IPDV IP packet Delay Variation

IPER IP packet Error Ratio

IPLR IP packet Loss Ratio

IPTD IP packet Transfer Delay

IPRAN IP Radio Access Network

IS IntServ

IS-IS Intermediate System – to – Intermediate System Protocol

ISP Internet Service Provider

ITU-T International Telecommunication Union – Telecommunication

Standardization Sector

LAN Local Area Network

LDP Label Distribution Protocol

LER Label Edge Router

LFIB Label Forwarding Information Base

LSP Label Switching Path

LSR Label Switching Router

LTE Long Term Evolution

LTE-A Long term Evolution Advanced

MAN Metropolitan Area Network

MC-CDMA Multi-Carrier CDMA

MIMO Multiple-Input Multiple-Output

MME Mobility Management Entity

MPLS Multi-Protocol Label Switching

MTU Maximum Transmission Unit

NAT Network Address Translation

OAM Operations Administration Maintenance

OFDMA Orthogonal FDMA

OSPF Open Shortest Path First

PHB Per- Hop Behavior

PCRF Policy and Charging Rule Function

PDG Packed Data Gateway

PDN Packet Data Network

PGW PDN Gateway

PIU Percent IP service Unavailability

PRIQ Priority Queueing

PVC Path Virtual Circuit

QAM Quadrature Amplitude Modulation

QPSK Quadrature Phase Shift Keying

QoS Quality of Service

RAN Radio Access Network

RD Route Distinguisher

RFC Request For Comment

RSVP Resource Reservation Protocol

RIP Routing Information Protocol

SAE System Architecture Evolution

SC-FDMA Single-Carrier FDMA

SDR Software Define Radio

SFN Single Frequency Network

SGSN Serving GPRS Support Mode

SGW Serving Gateway

SLA Service Level Agreement

SLA Service Level Agreement

SPF Shortest Path First

TDMA Time Division Multiple Access

TCA Traffic Conditioning Agreement

TCP Transmission Control Protocol

TDM Time Division Multiplexing

TE Traffic Engineering

TFTP Trivial Transfer Protocol

ToS Type of Service

TTL Time To Live

UE User Equipment

UDP User Datagram Protocol

UMTS Universal Mobile Telecommunication System

VoD Video over Demand

VoIP Voice over IP

VPN Virtual Private Network

VRF Virtual Routing and Forwarding

WAN Wide Area Network

WiBro Wireless Broadband

Wi-Fi Wireless Fidelity

WiMAX World Interoperability from Microwave Access

WLAN Wireless Local Area Network