



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CURSO TEÓRICO Y DE UN
LABORATORIO SOBRE CALIDAD EN REDES 3G Y LTE**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL ELÉCTRICO

ÁLVARO ANDRÉS CEA CAMPOS

PROFESOR GUÍA:
ALFONSO EHIJO BENBOW

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
CLAUDIO ESTEVEZ MONTERO
JORGE SANDOVAL ARENAS

SANTIAGO DE CHILE

JULIO 2013

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE: Ingeniero Civil Eléctrico
POR: Álvaro Andrés Cea Campos
FECHA: 26/07/2013
PROFESOR GUÍA: Alfonso Ehijo Benbow

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CURSO TEÓRICO Y DE UN LABORATORIO SOBRE CALIDAD EN REDES 3G Y LTE

El creciente avance de las telecomunicaciones móviles nos permite hoy en día, no tan solo comunicarnos con quien deseamos de una manera fácil y rápida, sino que también nos entrega la posibilidad de descargar archivos, música y videos a través de nuevas generaciones de dispositivos móviles, liderados principalmente por los teléfonos inteligentes o *smartphones*. Actualmente la penetración de la telefonía móvil alcanza un 140% y con ello se acrecienta la demanda de servicios que utilizan un mayor ancho de banda, lo que congestiona la red y hace que los usuarios perciban una calidad de servicio deteriorada. Los operadores de telecomunicaciones responden a la necesidad del usuario, tanto de mayores velocidades de datos como de una mejor calidad de servicio, con la incorporación de una nueva y mejor tecnología de acceso a internet, denominada *Long Term Evolution* (LTE), la cual alcanzaría velocidad hasta 10 veces mayores que sus predecesoras, además de contar con bajos tiempos de latencia.

El presente Trabajo de Título, tiene como motivación satisfacer la necesidad de capacitación existente, tanto en la industria como en los centros de estudio, enfocando el contenido de un curso, tanto teórico como práctico, hacia el análisis de la Calidad de Servicio (QoS, *Quality of Service*) percibida por los usuarios de los servicios de Banda Ancha Móvil (BAM) actualmente montados sobre redes 3G y sobre las futuras redes LTE.

El objetivo general del Trabajo de Título es desarrollar un curso sobre calidad de servicio en Redes 3G y LTE, compuesto por una parte teórica y una parte práctica o de laboratorio. Para lograr el objetivo planteado, se diseña una metodología docente para la parte teórica del curso, la cual consiste en la confección de un material docente basado en el diseño y construcción de cursos universitarios, mientras que para la metodología de los prototipos de prueba, se diseñan e implementan una serie de pruebas de laboratorio, que ejemplifican como diversos factores de red y condiciones de usuario afectan la QoS percibida por el usuario de servicios BAM tanto para redes 3G como para LTE. Los prototipos de prueba se implementan bajo la red de un ISP en el caso 3G y bajo la red de un laboratorio en el caso LTE.

El resultado del trabajo es el material complementario para un curso, compuesto en su parte teórica por nueve capítulos, y en su parte práctica por nueve experiencias de laboratorio basadas en prototipos de prueba diseñados e implementados. Cada capítulo se materializa en un conjunto de diapositivas a modo de material docente, mientras que, por otro lado, se confecciona una guía de laboratorio con los prototipos de prueba detallados paso a paso. Las pruebas de laboratorio fueron validadas a través de la obtención de mediciones de *throughput*, en condiciones de red simuladas, observándose una disminución de la QoS acorde con los resultados teóricos. El Trabajo de Título propone como trabajos futuros la realización de más prototipos de prueba, usar los prototipos descritos en esta memoria, en otras tecnologías de acceso o en la futura red LTE y por último la realización de las pruebas a través de un enlace internacional.

La memoria de Título presenta una propuesta atractiva para un curso que abarca temáticas contingentes y de interés tanto para los Operadores de Telecomunicaciones como para los estudiantes del DIE de la Universidad de Chile, estableciendo metodologías de medición con proyecciones en el plano investigativo principalmente para redes LTE.

AGRADECIMIENTOS

En cierta forma este es el *anticapítulo*, ese que se escribe con el corazón, para el que no existen fórmulas o teorías universales y homogéneas. Pero yo tengo la mía, tengo mi teoría. Yo creo que uno deja un trozo de su corazón en la gente, deja una parte de su corazón en aquellos que te apoyaron, que te ayudaron a ser lo que eres, y a lograr las metas que te propusiste.

¡Mis más sinceros agradecimientos a mis amigos por siempre estar ahí!... al Leo y al Pancho... incondicionales... a mi grupo de amigos de la U... Victor, Karl, Daniel, Seba... a mis amigas... Rita y Berri... Pía y Steph... Rocío y Paulina... a mi grupo de amigos de Eléctrica, en especial al Chino y la Ángela.

Por otro lado agradezco a mi familia, a mis hermanos por siempre confiar en mí, a mi Madre por su cariño, apoyo y amor, por haber heredado de ella la tenacidad y el temple que la caracterizan, a mi Padre por ser un niño en cuerpo de adulto, por heredar de él la pasión por los desafíos, su optimismo, y el gusto por esas pequeñas cosas de la vida. También agradecer a mis tías, a mis tíos, a mis primos y primas, y a mis abuelos y abuelas que siempre me han apoyado y han creído en mí.

Agradezco también a mi profesor guía, Alfonso Ehijo, por darme la oportunidad de explotar mis conocimientos y mi gusto por la docencia en los diversos proyectos que hemos llevado adelante, por enseñarme el significado de la palabra Motivación. Doy las gracias a José González por su apoyo y por los conocimientos transferidos, a John Oliva por su alegría y sus consejos, a Ricardo Epple y Claudio Estevez por sus aportes a las correcciones de este documento.

Finalmente, agradezco a la persona a la que le he entregado el corazón, mis mejores momentos, mis peores momentos, mis risas y mis llantos, agradezco a mi polola, Johanna Maturana, por compartir conmigo estos últimos años, por darme su amor y el mejor de los regalos... un bebe.

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	II
TABLA DE CONTENIDO	III
ÍNDICE DE TABLAS.....	VI
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
ACRÓNIMOS.....	IX
CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN	1
1.1. MOTIVACIÓN	1
1.2. OBJETIVO GENERAL.....	2
1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
1.4. HIPÓTESIS DE TRABAJO	3
1.5. METODOLOGÍA	3
CAPÍTULO 2 ANTECEDENTES.....	4
2.1. EVOLUCIÓN DE LAS TELECOMUNICACIONES MÓVILES	4
2.1.1. <i>Principio de Evolución</i>	4
2.1.2. <i>Primera Generación 1G</i>	5
2.1.3. <i>Segunda Generación 2G</i>	5
2.1.4. <i>Tercera Generación 3G</i>	6
2.1.5. <i>Cuarta Generación 4G</i>	7
2.2. TELECOMUNICACIONES MÓVILES EN CHILE	8
2.2.1. <i>Evolución de Operadores en Chile</i>	8
2.2.2. <i>Licitación LTE</i>	9
2.2.3. <i>Neutralidad de la Red</i>	9
2.3. REDES LTE	10
2.3.1. <i>LTE</i>	10
2.3.2. <i>Aspectos Generales LTE</i>	11
2.3.3. <i>Arquitectura LTE</i>	12
2.3.4. <i>Red de Acceso LTE (E-UTRAN)</i>	13
2.3.5. <i>Red Troncal LTE (EPC)</i>	14
2.3.6. <i>LTE-TDD y LTE-FDD</i>	15
2.4. LTE EN LA UNIVERSIDAD DE CHILE.....	17
2.4.1. <i>Detalles Técnicos del Laboratorio LTE de la FCFM</i>	17
2.4.2. <i>Equipamiento del Laboratorio LTE de la FCFM</i>	18
2.4.3. <i>Arquitectura del Laboratorio LTE de la FCFM</i>	19
2.5. INTERNET MÓVIL.....	20
2.5.1. <i>Arquitectura del Internet</i>	20
2.5.2. <i>Protocolos de Transporte</i>	23
2.5.3. <i>Red Móvil 3G</i>	28
2.6. CALIDAD DE SERVICIO (QOS).....	31
2.6.1. <i>Retardo (Delay)</i>	32
2.6.2. <i>Latencia (Latency)</i>	34
2.6.3. <i>Pérdida de Paquetes (Packet Loss)</i>	35
2.6.4. <i>Tasa de descarga de datos (Throughput)</i>	36

2.6.5.	<i>Jitter</i>	37
2.6.6.	<i>Distancia a la Antena</i>	38
2.6.7.	<i>CQI</i>	39
CAPÍTULO 3 METODOLOGÍA		41
3.1.	METODOLOGÍAS DOCENTES.....	41
3.1.1.	<i>Planificación Curricular</i>	42
3.1.2.	<i>Diseño Curricular por Competencias</i>	46
3.1.3.	<i>Planificación y Diseño de Módulos Teóricos y Experiencias Prácticas</i>	47
3.1.4.	<i>Metodología de Laboratorios</i>	48
3.1.5.	<i>Validación de Resultados</i>	48
3.2.	METODOLOGÍA DE PROTOTIPOS DE PRUEBA.....	50
3.2.1.	<i>Diseño de Prototipos de Prueba</i>	50
3.2.2.	<i>Metodología de Simulación</i>	52
3.2.3.	<i>Metodología de Medición</i>	55
3.2.4.	<i>Servidor</i>	61
3.2.5.	<i>Cliente</i>	64
3.2.6.	<i>Prototipos de Prueba</i>	67
CAPÍTULO 4 RESULTADOS		75
4.1.	RESULTADOS DOCENTES.....	75
4.1.1.	<i>Prerrequisitos básicos del Curso</i>	75
4.1.2.	<i>Potencial Audiencia o Alumnos</i>	75
4.1.3.	<i>Periodo de Duración del Curso</i>	76
4.1.4.	<i>Objetivo General del Curso</i>	76
4.1.5.	<i>Objetivos Específicos</i>	76
4.1.6.	<i>Duración de Unidades Temáticas</i>	77
4.1.7.	<i>Contenidos y Recursos de Unidades Temáticas</i>	78
4.1.8.	<i>Modelo Curricular Basado en Competencias</i>	80
4.1.9.	<i>Evaluaciones</i>	81
4.1.10.	<i>Material desarrollado</i>	82
4.2.	RESULTADOS DE PROTOTIPOS DE PRUEBA.....	83
4.2.1.	<i>Prueba de Caso Patrón</i>	84
4.2.2.	<i>Prueba de Terminales</i>	85
4.2.3.	<i>Prueba de Tecnologías de Acceso</i>	85
4.2.4.	<i>Prueba de Latencia</i>	85
4.2.5.	<i>Prueba de Pérdida de Paquetes</i>	86
4.2.6.	<i>Prueba de Jitter</i>	87
CAPÍTULO 5 DISCUSIÓN		88
5.1.	DISCUSIONES DOCENTES.....	88
5.1.1.	<i>Metodología y Planificación Curricular</i>	88
5.1.2.	<i>Metodología Curricular por Competencia</i>	89
5.1.3.	<i>Validación de las Experiencias de Laboratorio</i>	89
5.1.4.	<i>Proyecciones del Curso</i>	89
5.2.	DISCUSIONES DE PROTOTIPOS DE PRUEBA.....	90
5.2.1.	<i>Prueba de Terminales</i>	90
5.2.2.	<i>Prueba de Tecnologías de Acceso</i>	90
5.2.3.	<i>Prueba de Protocolos de Transporte</i>	91
5.2.4.	<i>Prueba de Latencia</i>	91
5.2.5.	<i>Prueba de Pérdida de Paquetes</i>	92
5.2.6.	<i>Prueba de Jitter</i>	92
5.2.7.	<i>Prueba de Distancia a la Antena</i>	93
5.2.8.	<i>Prueba de Control de Congestión</i>	93
5.2.9.	<i>Prueba de CQI</i>	94

5.2.10. <i>Comparativa de Tecnologías 3G y LTE</i>	94
CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES	96
CAPÍTULO 7 BIBLIOGRAFÍA	98
ANEXOS IMS	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Tecnologías de transmisión de datos en redes móviles.	7
Tabla 2.2: Bandas Licitadas por la SUBTEL.	9
Tabla 2.3: Ofertas de los postulantes.	9
Tabla 2.4: Bandas de frecuencia utilizadas por TDD.	15
Tabla 2.5: Bandas de frecuencia utilizadas por FDD.	16
Tabla 4.1: Duración estimada en Horas Pedagógicas de cada módulo.....	78
Tabla 4.2: Recursos y Contenidos de la Unidad “Internet Móvil”.	79
Tabla 4.3: Recursos y Contenidos de la Unidad “LTE”.	79
Tabla 4.4: Recursos y Contenidos de la Unidad “Calidad de Servicio”.	79
Tabla 4.5: Tabla de Formación por Competencias Laborales.	81
Tabla 4.6: Resumen de resultados disponibles para los Prototipos de Prueba.	84
Tabla 4.7: Resultados del Caso Patrón para 3G.	84
Tabla 4.8: Resultados del Caso Patrón para LTE.	84
Tabla 4.9: Resultados de la Prueba de Terminales para LTE.	85
Tabla 4.10: Resultados de la Prueba de Tecnologías de Acceso.	85
Tabla 4.11: Resultados de la Prueba de Latencia para 3G.	85
Tabla 4.12: Resultados de la Prueba de Packet Loss para 3G.	86
Tabla 4.13: Resultados de la Prueba de Jitter para 3G.	87

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 2.1: Panorámica de sistemas móviles celulares 3GPP y 3GPP2.....	7
Figura 2.2: Evolución de Operadores en Chile.....	8
Figura 2.3: Línea de tiempo de los Releases emitidos por el 3GPP.....	11
Figura 2.4: Arquitectura del sistema LTE.....	12
Figura 2.5: Diagrama de interfaces del Sistema LTE.....	13
Figura 2.6: Red de acceso E-UTRAN	13
Figura 2.7: Arquitectura básica de la red troncal EPC.	15
Figura 2.8: Diagrama TDD.	16
Figura 2.9: Diagrama FDD.	17
Figura 2.10: Arquitectura del Laboratorio LTE de la FCFM.....	19
Figura 2.11: Arquitectura del Internet.	21
Figura 2.12: Datagrama TCP.	23
Figura 2.13: Operación del algoritmo Slow Start.....	25
Figura 2.14: Operación del algoritmo Congestion Avoidance.....	26
Figura 2.15: Operación conjunta de los algoritmos Slow Start y Congestion Avoidance.....	27
Figura 2.16: Datagrama UDP.....	28
Figura 2.17: Diseño Celular para la red 3G.	29
Figura 2.18: Arquitectura de la red de telefonía móvil UMTS 3G.	30
Figura 2.19: Cuatro niveles de la calidad de servicio.....	32
Figura 2.20: Retardo del Nodo para el Router A.	33
Figura 2.21: Latencia Extremo a Extremo en Internet Móvil.	34
Figura 2.22: Pérdida de paquetes en el Router A.	35
Figura 2.23: Throughput para una transferencia de archivo entre un Cliente y un Servidor.....	36
Figura 2.24: Representación gráfica del Jitter.....	37
Figura 2.25: Distancia a la Antena de dos diferentes usuarios.....	38
Figura 2.26: Características de los niveles de CQI para LTE.	40
Figura 3.1: Procesos del Sistema Curso.....	43
Figura 3.2: Componentes de una Unidad Programática	44
Figura 3.3: Diagrama de Flujos de los Procesos de Validación de Resultados.	49
Figura 3.4: Resumen de Parámetros del Caso Patrón 3G.	51
Figura 3.5: Resumen de Parámetros del Caso Patrón LTE.....	52
Figura 3.6: Configuración de un filtro en NEWT.	53
Figura 3.7: Interfaz de usuario de NEWT.....	53
Figura 3.8: Configuración Final de NEWT.	54
Figura 3.9: Visualización de tiempo de descarga en FileZilla.	55
Figura 3.10: Viñeta desplegada por DU Meter al Iniciar.....	56
Figura 3.11: Interfaz gráfica de DU Meter para la medición de Throughput.	56
Figura 3.12: Interfaz gráfica de DU Meter para filtrar tráfico por IP.....	57
Figura 3.13: Como medir Latencia a través de “Fing – Network Tools”.....	57
Figura 3.14: Interfaz gráfica del CMD para la medición de Latencia en Windows.....	58
Figura 3.15: Interfaz gráfica de JPERF para la medición de Jitter en el Servidor.	59
Figura 3.16: Interfaz gráfica de JPERF para la medición de Jitter en el Cliente.	60
Figura 3.17: Como medir Pérdida de Paquetes a través de “Fing – Network Tools”.	60
Figura 3.18: Interfaz gráfica del CMD para la medición de Pérdida de Paquetes en Windows..	61

Figura 3.19: Interfaz gráfica de FileZilla para la transferencia de archivos TCP.	62
Figura 3.20: Ventana Inicial de FileZilla con valores por defecto.	62
Figura 3.21: Ventana principal de FileZilla.	62
Figura 3.22: Ventana para la gestión de usuarios de FileZilla.	63
Figura 3.23: Ventana para la gestión de usuarios de FileZilla (Usuario creado).	63
Figura 3.24: Ventana para la gestión de directorio de usuarios de FileZilla.	64
Figura 3.25: Ventana para la gestión de permisos de directorio de usuarios de FileZilla.	64
Figura 3.26: Pantalla Inicial de AndFTP.	65
Figura 3.27: Rellenar los campos de configuración de AndFTP.	65
Figura 3.28: Conectarse y descargar un archivo a través de AndFTP.	66
Figura 3.29: Ventana de FileZilla Client para configurar la conexión.	66
Figura 3.30: Diagrama de Prueba de Caso Patrón.	67
Figura 3.31: Diagrama de Prueba de Terminales.	68
Figura 3.32: Diagrama de Prueba de Tecnologías de Acceso.	69
Figura 3.33: Diagrama de Prueba de Protocolos de Transporte.	69
Figura 3.34: Diagrama de Prueba de Latencia.	70
Figura 3.35: Diagrama de Prueba de Pérdida de Paquetes.	71
Figura 3.36: Diagrama de Prueba de Jitter.	72
Figura 3.37: Diagrama de Prueba de Control de Congestión.	73
Figura 4.1: Diapositivas de Clases Expositivas.	82
Figura 4.2: Guía de Laboratorio.	83
Figura 4.3: Resultados graficados de la Prueba de Latencia para 3G.	86
Figura 4.4: Resultados graficados de la Prueba de Pérdida de Paquetes para 3G.	86
Figura 4.5: Resultados graficados de la Prueba de Jitter para 3G.	87
Figura 5.1: Prueba extra de Control de congestión en enlace Ethernet de Laboratorio.	94

ACRÓNIMOS

1G	Primera Generación
1xRTT	1 times Radio Transmission Technology
2G	Segunda Generación
3G	Tercero Generación
3GPP	3rd Generation Partnership Project
3GPP2	3rd Generation Partnership Project 2
4G	Cuarta Generación
ACK	Acknowledgement
AMC	Adaptive Modulation and Coding
AMPS	Advanced Mobile Phone System
ANSI	American National Standards Institute
ARQ	Automatic Repeat Request
A TELMO	Asociación de Telefonía Móvil
BAM	Banda Ancha Móvil
BBU	Baseband Unit
BLER	Block Error Rate
bps	Bits por segundo
BSC	Base Station Controller
BTS	Base Transceiver Station
CDMA	Code Division Multiple Access
CEC	Centro de Computación
CEPT	Conférence Européenne des administrations des Postes et des Télécommunications
CMTS	Cable Modem Termination System
CoMP	Coordinated Multipoint Transmission
CPE	Customer Premises Equipment
CPRI	Common Public Radio Interface
CQI	Channel Quality Indicator
CS	Circuit Switching
DCC	Departamento de Ciencias de la Computación
DIE	Departamento de Ingeniería Eléctrica
DL	Downlink
DoS	Denial of Service
DSL	Digital Subscriber Line
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexor
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
EEUU	Estados Unidos
EGPRS	Enhanced GPRS
eNB	eNodeB
EPC	Evolved Packet Core
EPS	Evolved Packet System

ETSI	European Telecommunication Standards Institute
E-UTRA	Evolved Universal Terrestrial Radio Access
E-UTRAN	Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network
EV-DO	Evolution-Data Optimized
FCFM	Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
FDD	Frequency Division Duplex
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FTP	File Transfer Protocol
FTPS	Explicit FTP over TLS/SSL
FTTH	Fiber to the Home
Gbps	Gigabit por segundo
GERAN	GSM EDGE Radio Access Network
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GMSC	Gateway Mobile Switching Center
GPRS	General Packet Radio System
GSM	Global System for Mobile Communications
HARQ	Hybrid Automatic Repeat Request
HFC	Hybrid Fibre Coaxial
HRPD	High Rate Packet Data
HSDPA	High-Speed Downlink Packet Access
HSPA	High-Speed Packet Access
HSS	Home Subscriber Server
HSTCP	High-Speed TCP
HSUPA	High-Speed Uplink Packet Access
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
IETF	Internet Engineering Task Force
IMS	IP Multimedia Subsystem
IMT	International Mobile Telephone
IP	Internet Protocol
IPDV	Internet Packet Delay Variation
IS	Interim Standard
ISP	Internet Service Provider
ITU	International Telecommunications Union
IXP	Internet eXchange Points
kbps	kilobit por segundo
kHz	kilohertz
LAN	Local Area Network
LMT	Local Maintenance Terminal
LTE	Long Term Evolution
MAC	Media Access Control
MBMS	Multimedia Broadcast Multicast Service
Mbps	Megabit por segundo
MCS	Modulation and Coding Scheme

MGW	Media Gateway
MHz	MegaHertz
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MIRC	Magister en Ingeniería en Redes de Computadores
MME	Mobility Management Entity
MSC	Mobile Switching Center
NAP	Network Access Point
NAS	Non-Access Stratum
NC	Nota de Control
NEWT	Network Emulator for Windows Toolkit
NL	Nota de Laboratorio
NMTs	Nordic Mobile Telephones
O&M	Operación y Mantenimiento
OCS	Online Charging System
OFCS	Offline Charging System
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
OSI	Open System Interconnection
PCC	Policy and Charging Control
PCRF	Policy and Charging Rules Function
PDC	Personal Digital Communications
PDN-GW	Packet Data Network Gateway
P-GW	Packet Data Network Gateway
POP	Point of Presence
PS	Packet Switching
PSTN	Public Switched Telephone Network
QAM	Quadrature Amplitude modulation
QoS	Calidad de Servicio
R4	Release 4
R5	Release 5
R6	Release 6
R7	Release 7
R8	Release 8
R99	Release 99
RAN	Radio Access Network
RF	Radio Frequency
RFC	Request For Comments
RNC	Radio Network Controller
RRC	Radio Resource Control
RRU	Remote Radio Unit
RTO	Retransmission Timeout
RTT	Round-Trip Time
SAE	System Architecture Evolution
SC-FDMA	Single-Carrier Frequency Division Multiple Access

SCP	SSH Secure Copy Protocol
SFTP	SSH File Transfer Protocol
SGSN	Serving GPRS Support Node
S-GW	Serving Gateway
SIM	Subscriber Identity Module
SLF	Subscription Locator Function
SMS	Short Message Service
SMTP	Simple Mail Transfer Protocol
SNR	Signal-to-Noise Ratio
SSH	Secure SHell
SUBTEL	Subsecretaría de Telecomunicaciones
TCP	Transmission Control Protocol
TDD	Time Division Duplex
TDMA	Acceso Múltiple por División de Tiempo
TFTP	Trivial File Transfer Protocol
TVN	Televisión Nacional
U.F.	Unidad de Fomento
UDP	User Datagram Protocol
UE	User Equipment
UGW	Universal Gateway
UL	Uplink
UMB	Ultra Mobile Broadband
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UNTEC	Universidad y Tecnología (Fundación para la Transferencia Tecnológica)
USB	Universal Serial Bus
UTRAN	Universal Terrestrial Radio Access Network
WAN	Wide Area Network
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
WiFi	Wireless Fidelity
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se hace una introducción a la presente memoria, presentando las razones que motivan su realización junto con los objetivos generales y específicos que se buscan con la realización de este proyecto. Además se presenta la metodología a seguir, las hipótesis de trabajo y una breve descripción de los capítulos que proceden en este documento.

1.1. MOTIVACIÓN

El considerable aumento del volumen de datos traficados por el usuario, establece requerimientos de mayores velocidades de transferencia para el suscriptor, lo cual está cambiando la forma de acceder a Internet, además, los sistemas de comunicaciones móviles se han ido desarrollando acorde a los nuevos intereses de los usuarios, lo que dio paso al uso de múltiples dispositivos en el hogar, tales como, computadores, *smartphone*, *Smart TV* y consolas de videojuegos. Es por esto que el desarrollo de nuevas tecnologías móviles apunta hacia la transmisión de datos de alta velocidad, permitiendo el acceso a nuevos servicios como la banda ancha móvil. En Chile y el mundo, la industria de las telecomunicaciones va a girar, a finales de este año y en los próximos, en torno a dos ejes principales relacionados con temáticas a nivel global: convergencia y las altas velocidades de la banda ancha móvil. Y es a propósito de este último punto que nace la necesidad de migrar a nuevas tecnologías por parte del operador móvil.

La Subsecretaría de Telecomunicaciones (SUBTEL), a fines del 2012, registra casi 9 millones de conexiones a Internet al mes, entre tecnologías 2G y 3G, además el nivel de penetración de la telefonía móvil es de aproximadamente un 140%. Es debido al masivo uso de servicios ofrecidos a través de tecnologías móviles, que la presente memoria tiene por motivación, por un lado, dar respuesta a la necesidad de capacitar, tanto a profesionales del rubro de las telecomunicaciones, como a estudiantes universitarios de dicha disciplina, en temas relacionados a los avances en materia de tecnologías de acceso, además de una descripción y análisis de estas mismas.

Luego del terremoto ocurrido en territorio nacional el 2010, se puso fuertemente en tela de juicio la calidad de las redes de telecomunicaciones, al verse estas colapsadas por el gran número de intentos de llamadas simultaneas. A mediados del 2012, a través de la denuncia de un programa de televisión, estuvo en la palestra la calidad de servicio ofrecida por operadores nacionales que ofrecen el servicio de acceso a Internet fijo aparentemente faltando a la Ley de Neutralidad, la cual cautela el derecho de los usuarios de Internet a conocer claramente las condiciones técnicas y comerciales de los planes de banda ancha que se ofertan en el mercado. Además, hace un poco más de un año que se encuentra vigente la portabilidad numérica, lo cual permite al usuario de telefonía móvil, cambiarse de compañía manteniendo su número telefónico. Los antecedentes anteriormente señalados generan una necesidad, por parte del operador de telecomunicaciones nacional, de garantizar al cliente o usuario, un grado de calidad de servicio en el acceso móvil a Internet, es por ello que esta memoria también tiene por motivo satisfacer la necesidad de capacitación en el ámbito de la QoS a través de prototipos de prueba que

ejemplifican las repercusiones de los parámetros de red y condiciones de usuario sobre la QoS percibida por el cliente en las actuales redes de telecomunicaciones.

Según el sitio web <http://www.gsacom.com>, se confirman a la fecha, 371 empresa con despliegue de redes LTE que están previstas o en curso en 116 países, incluyendo 175 redes que se lanzan comercialmente en 70 países. Otros 53 operadores en 10 países participan en piloto pruebas pre-comerciales de LTE, ensayos y/o estudios. Tomados en conjunto, esto significa que 424 operadores en 126 países están invirtiendo en LTE.

LTE es el desarrollo tecnológico de sistemas móviles de más rápida propagación mundial en la historia de las telecomunicaciones. Más de 100 redes LTE se lanzaron comercialmente en los últimos 12 meses. El número de países con servicios LTE comerciales casi se duplicó en el mismo período (aumento del 94%). Esta es otra razón que motiva la realización de la presente memoria, la capacitación en la tecnología LTE, su arquitectura y aspectos técnicos. Además de un análisis respecto a la influencia de parámetros de red y condiciones de usuario que afectan la QoS percibida por el usuario final de un servicio en particular de BAM.

1.2. OBJETIVO GENERAL

El objetivo general de la presente memoria es el diseño y la implementación de un curso sobre calidad de servicio en redes 3G, desplegadas actualmente por los operadores de telefonía móvil, y redes LTE que están prontas a ser desplegadas por las actuales empresas de telecomunicaciones. Con el objetivo de materializar y consolidar los conocimientos aprendidos por el alumno a través de la parte teórica del curso, son diseñados un conjunto de 10 experiencias de laboratorios, basados en prototipos de pruebas, que cuantifican la alteración del grado de QoS percibida por el usuario final a través de la modificación de parámetros de red y otras condiciones de usuario.

1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A continuación se presenta un listado de objetivos específicos, los cuales son planteados como parte del camino que permite cumplir con el objetivo general descrito anteriormente. Cabe destacar que los siguientes objetivos aplican tanto para las redes 3G como para las redes LTE.

- Generar un programa de curso basado en unidades programáticas y módulos con objetivos propios.
- Diseñar el plan de contenidos para cada módulo y materializar dichos contenidos en presentaciones teóricas y/o en experiencias prácticas cuando corresponda.
- Habilitar el Laboratorio LTE ubicado en el 5to piso del DIE, para la realización de experiencias prácticas, claras y con resultados repetibles, para el uso de la comunidad universitaria y operadores de telecomunicaciones.
- Diseñar metodologías de medición de parámetros de red, realizando una búsqueda de las mejores herramientas que permitan realizar dichas mediciones.
- Diseñar y definir metodologías de alteración de parámetros de red, tales como, latencia, pérdida de paquetes, jitter y protocolos de transporte entre otros.

- Diseñar una serie de prototipos de prueba que permitan cuantificar la variación de la QoS percibida por el usuario según la alteración de parámetros de red.
- Estudiar la validez de cada prototipo de prueba.
- Generar guías de las metodologías de cada prototipo de prueba que sirvan como material de estudio para cursos, tanto para el DIE, como para empresas de telecomunicaciones.
- Generar documentación acerca de la instalación de cada uno de los servicios y herramientas a ser utilizadas en los prototipos de prueba.
- Caracterizar los niveles de QoS percibida por el usuario en base a cada uno de los factores que la afectan y que en la presente memoria son abordados.

1.4. HIPÓTESIS DE TRABAJO

Las hipótesis de trabajo, son las siguientes:

- La disponibilidad del Laboratorio LTE y su equipamiento instalado en el edificio de Electro-tecnologías del DIE permitirá el desarrollo de las experiencias prácticas.
- Existirá factibilidad técnica tanto de las redes como de los terminales a utilizar tanto para las redes 3G como para las redes LTE
- Las pruebas de laboratorio confirmarán los resultados teóricos acerca de la influencia que tienen diversos factores en la calidad de servicio percibida por el usuario.
- Existirá la disponibilidad de las personas involucradas; Memorista, Profesor Guía, Profesor Co-Guía y trabajadores de Huawei en caso de ser necesarios para la mantención del Laboratorio LTE.
- El tiempo será utilizado de forma eficiente, para cumplir con los hitos en su plazo y forma.

1.5. METODOLOGÍA

La metodología y la estrategia utilizada, para el desarrollo del trabajo de título, consideró las siguientes actividades:

1. Recopilación de información y estudio de las tecnologías de red actuales, como 3G.
2. Recopilación de información y estudio de las futuras tecnologías LTE.
3. Estudio para el diseño eficiente de cursos universitarios y metodologías docentes.
4. Aplicación de las metodologías docentes, para la definición de las unidades programáticas, módulo, estrategias, recursos y evaluaciones.
5. Desarrollo y materialización del curso teórico y las experiencias prácticas con todas sus componentes, es decir, herramientas, metodologías y recursos.
6. Trabajo en el Laboratorio LTE ubicado en el 5to piso del DIE y la materialización de experiencias prácticas en forma de prototipos de prueba.
7. Validación de las experiencias prácticas o prototipos de prueba.
8. Desarrollo y materialización del presente documento de memoria, con todos sus capítulos.

Capítulo 2

ANTECEDENTES

En el presente capítulo se exponen los antecedentes y las bases teóricas que comprenden los diversos tópicos abarcados por esta memoria, partiendo por un acercamiento a la evolución de las redes de telecomunicaciones, tanto a nivel global como a nivel nacional. Además, se describen los aspectos generales y la arquitectura de las redes 3G y LTE junto con los parámetros que afectan la QoS sobre una transmisión de datos realizada de forma inalámbrica.

2.1. EVOLUCIÓN DE LAS TELECOMUNICACIONES MÓVILES

Las tecnologías de la información, las comunicaciones en general y las comunicaciones móviles en particular, tienen una incidencia decisiva en el crecimiento económico, la competitividad y la mejora de la productividad. Hoy en día, el terminal móvil de cada individuo ha llegado a constituir una parte fundamental en el conjunto de objetos personales que acompañan al usuario a todas partes. En este contexto, la industria de las comunicaciones móviles ha venido aportando soluciones al mercado, en la forma de sucesivas generaciones de sistemas.

Dichas generaciones han estado marcadas por grandes hitos tecnológicos, ya sea en la forma de enviar la información, como en la forma de acceder a la red. El salto de la primera generación (1G) a la segunda generación de redes móviles (2G) queda demarcado por el cambio de tecnología analógica a digital. El avance hacia la tecnología de tercera generación (3G) prometía el paso hacia la transmisión de contenido multimedia mientras que la cuarta generación (4G) está diseñada para ser una red puramente basada en IP (*All-IP*) aumentando la eficiencia de la interfaz de aire lo que le permite llegar a velocidades de hasta 100 Mbps en cobertura de área amplia y de hasta 1 Gbps en cobertura de área local [2].

2.1.1. PRINCIPIO DE EVOLUCIÓN

La evolución es una característica propia y transversal tanto de los seres humanos como de las tecnologías. Ante las necesidades planteadas por las diversas condiciones que se viven en el día a día, los sistemas en general, necesitan adecuarse para enfrentar de mejor manera los desafíos actuales y los futuros. En el caso de las telecomunicaciones, considérese a modo de ejemplo, una densidad de usuarios U usuarios/km² en donde cada usuario trafica T bps/usuario. Además, con el fin de satisfacer la demanda, el operador tiene asignado un ancho de banda B Hz a una determinada estación de radio base (BTS para 2G, Nodo B para 3G y eNB para LTE). Por otro lado, se considera que la eficiencia espectral que caracteriza la tecnología utilizada es E bps/Hz y además la estación radio base posee una cobertura de S km² de superficie.

Dadas las consideraciones anteriores, es posible calcular la capacidad desplegada por el operador, la cual corresponde a $B \times E / S$ bps/km². El dimensionamiento eficiente y adecuado de la red, para satisfacer la demanda de los usuarios sin mantener equipamiento y capacidades ociosas, indica que la capacidad desplegada por el operador debiera cumplir la relación, $B \times E / S = U \times T$. A

partir de la ecuación anterior, es posible ver que tanto un aumento en la cantidad de usuarios, como un crecimiento en el volumen de datos móviles traficados por cada uno de ellos, generarían un crecimiento en la demanda, lo cual requiere que el operador responda a los requerimientos (para así satisfacer la demanda), tomando alguna de las siguientes opciones [2]:

- Aumentando B, es decir, teniendo acceso a una mayor cantidad de espectro radioeléctrico.
- Aumentando E, es decir, utilizando una tecnología espectralmente más eficiente.
- Reduciendo S, es decir, desplegando un mayor número de estaciones base para reducir la superficie cubierta por cada una de ellas.

Según lo comentado anteriormente, el operador de red móvil puede expandir la capacidad de la red a través del despliegue de un mayor número de estaciones base, la disponibilidad de mayor cantidad de espectro o el uso de una tecnología más avanzada. Cuando la movilidad de los usuarios termina por imponer un límite en el tamaño mínimo que puede tener una celda y el espectro es un recurso cada vez más escaso, la única opción que permite al operador satisfacer la creciente demanda es utilizar una tecnología espectral más eficiente.

2.1.2. PRIMERA GENERACIÓN 1G

La Primera Generación, o también conocida como 1G, es un período que se caracterizó por las normas y estándares de telecomunicaciones analógicas que soportaban servicios básicos de voz. El desarrollo comenzó a finales de 1970 con Japón tomando el liderazgo en el despliegue de la primera red de telefonía móvil en Tokio, seguido por el despliegue de *Nordic Mobile Telephones* (NMTs) en Europa, mientras que en EEUU se desplegaba la tecnología *Advanced Mobile Phone Service* (AMPS) [1]. Como se mencionó, la tecnología AMPS, basada en *Frequency Division Multiple Access* (FDMA), fue una de las principales tecnologías 1G, la cual fue desarrollada por los Laboratorios Bell y fue puesta en marcha por primera vez en 1982 en EEUU. AMPS fue uno de los primeros en utilizar el concepto de célula, esto debido al uso de pequeñas celdas donde se ubica una estación base, para transmitir y recibir información.

Las celdas individuales de los sistemas 1G eran grandes y los sistemas no utilizaban el espectro radioeléctrico disponible de manera eficiente, por lo que su capacidad era, para los estándares de hoy en día, muy pequeña. Además, los dispositivos móviles eran grandes y caros, la señal en el aire estaba afectada de mayor forma al ruido, los equipos utilizaban altas potencias para transmitir por lo que la batería se consumía rápidamente, el diseño de la red era complicado y caro, es por ello que los dispositivos móviles de primera generación se comercializaron casi exclusivamente entre hombres de negocios [3]. La enorme cantidad de desventajas e ineficiencias de 1G impulsaron rápidamente la evolución hacia la segunda generación de telefonía móvil.

2.1.3. SEGUNDA GENERACIÓN 2G

En la generación anterior (1G), los diferentes sistemas eran incompatibles entre sí, es por ello que se dispuso la creación de sistemas más compatibles. Este trabajo fue encomendado a la Comisión Europea y como resultado, a principios de la década de 1990, nace la próxima generación de las tecnologías móviles, conocida como la "Segunda Generación" (2G). Los sistemas 2G se diferenciaban principalmente porque eran sistemas digitales en comparación con la tecnología analógica de la primera generación. Los principales sistemas en esta generación

(2G) incluyen a las tecnologías *Global Systems for Mobile Communications* (GSM), TDMA IS-136, CDMA IS-95, *Personal Digital Cellular* (PDC) y *Personal Handy Phone Systems* (PHSs) [1].

IS54 e IS136 (en donde IS significa *Interim Standard*) son los sistemas móviles de segunda generación que constituyen *Digital AMPS* (D-AMPS), la evolución digital de AMPS. CDMA tiene muchas variantes en el mercado celular, *cdmaOne* (IS-95) es una de ellas y corresponde a un sistema de segunda generación que ofrece ventajas tales como aumento de la cobertura, capacidad (casi 10 veces mayor que la de AMPS), la calidad, un sistema de seguridad mejorado, etc. [1]. La tecnología *cdmaOne* fue diseñada por Qualcomm y que se convirtió en el sistema 2G dominante en los EEUU [3].

GSM se desarrolló por primera vez en la década de 1980, ya que se decidió construir un sistema digital basado en una solución TDMA de banda estrecha. Los fundamentos técnicos estuvieron listos en 1987 y las primeras especificaciones para 1990. Para 1991, GSM fue el primer sistema celular digital operado comercialmente. GSM poseía características tales como llamadas prepago, *roaming* internacional, etc., siendo por mucho, el sistema celular más popular y ampliamente implementado con más de mil millones de personas que utilizan el sistema (para el 2005) [1].

El éxito de los sistemas de comunicaciones 2G llegó al mismo tiempo que el temprano crecimiento de Internet. Era natural que los operadores de red permitieran a los usuarios descargar datos en sus dispositivos móviles. Para conectar dispositivos 2G a Internet, se crearon los llamados sistemas 2.5G, mediante la introducción de un núcleo de red en el dominio de la conmutación de paquetes, además de la modificación de la interfaz de aire de modo que pudiera manejar tanto datos, como voz [3]. Cabe destacar que los sistemas 2.5G fueron construidos sobre las bases de los originales sistemas 2G. El *General Packet Radio Service* (GPRS) incorpora estas técnicas en GSM, mientras que para IS-95 fue desarrollado en un sistema conocido como IS-95B. Las velocidades de datos disponibles a través de Internet fueron progresivamente en aumento. Con el fin de satisfacer la demanda de los usuarios, los diseñadores mejoraron por primera vez el funcionamiento de los sistemas 2G usando técnicas tales como *Enhanced Data Rates for GSM Evolution* (EDGE) para luego introducirse los sistemas de tercera generación (3G) en los años posteriores al 2000 [3]. Tanto GSM como CDMA formaron sus propios proyectos de evolución a 3G (3GPP, para GSM y 3GPP2 para CDMA).

2.1.4. TERCERA GENERACIÓN 3G

El sistema 3G dominante en el mundo es el *Universal Mobile Telecommunication System* (UMTS) guiado por la 3GPP. UMTS se desarrolla a partir de GSM, cambiando completamente la tecnología utilizada en la interfaz de aire, pero manteniendo el núcleo de la red casi intacto. El sistema fue posteriormente mejorado para aplicaciones y transferencias de datos, mediante la introducción de tecnologías de acceso 3.5G tales como, *High Speed Downlink Packet Access* (HSDPA) y *High Speed Uplink Packet Access* (HSUPA), las cuales en conjunto se conocen como *High Speed Packet Access* (HSPA) [3]. Por el lado de la 3GPP2, se desarrolla *cdma2000* a partir de IS-95 que se utiliza principalmente en EEUU. Posteriormente fue mejorada hacia un sistema 3.5G con dos nombres alternativos, *cdma2000 High Rate Packet Data* (HRPD) y *Evolution Data Optimized* (EV-DO), que utilizan técnicas similar para el acceso de paquetes a alta velocidad [3].

Dichas redes celulares de tercera generación fueron desarrolladas para ofrecer datos de alta velocidad y conectividad multimedia a los suscriptores. Bajo la iniciativa IMT-2000, la UIT ha definido los sistemas 3G para ser capaces de soportar rangos de transferencias de datos de alta velocidad de 144 kbps a más de 2 Mbps [1].

En 3G, la interfaz aérea UMTS tiene dos implementaciones ligeramente diferentes. *Wideband Code Division Multiple Access* (WCDMA) y *Time Division Synchronous Code Division Multiple Access* (TD-SCDMA). WCDMA es la versión que se especificó originalmente, y la que se utiliza actualmente en la mayor parte del mundo, mientras que TD-SCDMA es un derivado de WCDMA. TD-SCDMA fue desarrollado en China, para minimizar la dependencia del país de la tecnología occidental y el pago de regalías a las compañías occidentales [3].

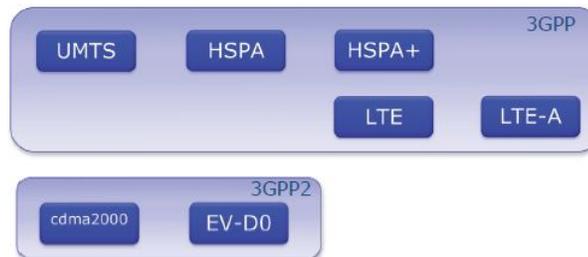


Figura 2.1: Panorámica de sistemas móviles celulares 3GPP y 3GPP2.

Tecnología	Nombre Común	Red utilizada	Velocidad de Bajada	Velocidad de Subida
GPRS	2.5G	GSM	171 kbps	9.6 kbps
UMTS	3G	UMTS	384 kbps	64 kbps
HSDPA	3.5G	UMTS	3,6 Mbps	384 kbps
HSUPA	3.75G	UMTS	3,6 Mbps	1.5 Mbps

Tabla 2.1: Tecnologías de transmisión de datos en redes móviles.

Por otra parte las tecnologías seguían evolucionando con el objetivo de lograr mayores tasas de transferencia de datos. La última evolución de HSPA es HSPA+, que resulta de la adición de Múltiples Entradas Múltiples Salidas (MIMO, *Multiple Input Multiple Output*) en la capacidad de la antena y de modulaciones 16-QAM en el enlace ascendente y 64-QAM en enlace descendente. Finalmente por parte de la 3GPP, la tecnología que busca dar el paso definitivo desde 3G hacia 4G y que es considerada por ello 3.95G, es LTE, la cual será detallada a fondo en la sección 2.3.

2.1.5. CUARTA GENERACIÓN 4G

La próxima generación de tecnologías inalámbricas, Cuarta Generación o 4G, está destinada a soportar altos rendimientos de banda ancha y disponer de aplicaciones multimedia tanto de voz como de video. Las tecnologías disponibles y los estándares para las comunicaciones 4G permiten un significativo aumento en las velocidades de transmisión de datos por sobre las tecnologías 2G, 3G y 3.5G. Hoy en día, LTE y *Worldwide Interoperability for Microwave Access* (WiMAX) son las dos tecnologías consideradas candidatas a lograr los objetivos de rendimiento

que plantean las tecnologías 4G. Por una parte la evolución 4G de WiMAX, sería WiMAX 2, mientras que por otra parte la evolución 4G de LTE, sería LTE-Advanced.

Las tecnologías 4G tienen un gran número de diferencias claves en comparación con 3G y las tecnologías anteriores. El factor definitivamente clave es el hecho que las redes 4G operaran enteramente basadas en la arquitectura del protocolo TCP/IP. Esta decisión de diseño está orientada a reducir costos ya que IP se ha convertido en el protocolo elegido a nivel global para redes de datos a través de tecnologías heterogéneas. Lo anterior también dará lugar a la apertura de lo que antes era un mercado cerrado de la telefonía celular restringido a un número relativamente pequeño de proveedores. Los criterios principales con los que debe cumplir la cuarta generación de tecnología de red inalámbricas (4G) son [2]:

- Alta velocidad de transmisión de datos (1 Gbps de *peak* para baja movilidad y 100 Mbps de *peak* para alta movilidad)
- Es posible el *roaming* entre diferentes redes y diferentes tecnologías
- Alta capacidad
- Bajo costo por bit
- Baja latencia
- Buena calidad de servicio
- Buena cobertura
- Movilidad soportada a altas velocidades

Respecto a 4G es importante aclarar que LTE es aún 3.95G y LTE-Advanced será 4G, sin embargo, comercialmente se habla de LTE como 4G. Finalmente, la predominancia de LTE supone el fin del camino paralelo del 3GPP2, que abandona el desarrollo de UMB, equivalente a LTE.

2.2. TELECOMUNICACIONES MÓVILES EN CHILE

2.2.1. EVOLUCIÓN DE OPERADORES EN CHILE

La Figura 2.2, muestra la evolución de los principales Operadores en Chile [10]:

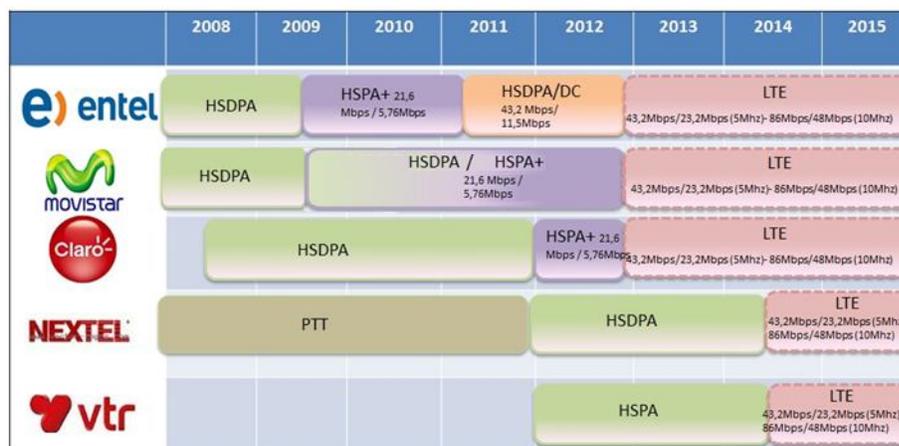


Figura 2.2. Evolución de Operadores en Chile.

2.2.2. LICITACIÓN LTE

Según [22], “4G es la última generación de conectividad que permite acceso a Internet inalámbrico de alta capacidad, con velocidades de navegación 10 veces superiores a las disponibles actualmente con 3G, cuyas conexiones alcanzan ya los 3.5 millones”. Mediante el concurso de las redes LTE, se está haciendo entrega de una mayor cantidad de espectro para el desarrollo de servicios de telecomunicaciones y, en particular, se le otorga una mayor QoS del Internet móvil y servicios BAM, los cuales, cobran mayor relevancia para el crecimiento y la conectividad de los usuarios de banda ancha, abarcando mayor cobertura y potenciando la inclusión digital [22]. El 30 de julio del 2012 la Subsecretaría de Telecomunicaciones (SUBTEL), dio a conocer los resultados de la licitación pública que asignó frecuencias a Entel, Movistar y Claro para desplegar servicios de conectividad móvil avanzada en redes LTE. Las bandas licitadas corresponden a:

Bloque	Banda de Frecuencias Transmisión Móviles (MHz)	Banda de Frecuencias Transmisión Bases (MHz)
A	2.505 – 2.525	2.625 – 2.645
B	2.525 – 2.545	2.645 – 2.665
C	2.545 – 2.565	2.665 – 2.685

Tabla 2.2: Bandas Licitadas por la SUBTEL.

Las tres grandes empresas de Telefonía Móvil que operan hoy en día en nuestro país, postularon al concurso lanzando por la SUBTEL en el 2011, con el objetivo de obtener uno de los bloques (bandas de frecuencia) mostrados en la Tabla 2.2 lo que les permitiría tener el espectro de frecuencias necesario para implementar un servicio basado en redes LTE. Entel, Movistar y Claro, fueron las únicas postulantes, los cuales tras un empate técnico tuvieron que desempatar a través de una oferta económica. Finalmente se resolvió asignar la concesión para el “Bloque A” a Claro, el “Bloque B” a Entel y el “Bloque C” a Movistar. En cuanto a las ofertas de los postulantes para la asignación de los bloques, esta fue [23]:

Postulante	Oferta (U.F.)
Claro Servicios Empresariales S.A. (Bloque A)	62.196,46
WILL S.A. (Bloque B)	189.349
Telefónica Móviles Chile S.A. (Bloque C)	10.777

Tabla 2.3: Ofertas de los postulantes.

2.2.3. NEUTRALIDAD DE LA RED

En Chile ha entrado en vigencia una nueva normativa para el sector de las telecomunicaciones, la cual pone de manifiesto un conjunto de nuevas garantías y derechos para los usuarios de Internet, mientras, a su vez, regula las nuevas obligaciones y derechos para las empresas que proveen acceso a Internet (ISP, *Internet Service Provider*). Esta iniciativa legal es conocida como “*Neutralidad de la Red*” (ley N°20453) [47]. Según [48], “Nuestro país fue el primer país del mundo en consagrar legalmente este principio, que cautela el derecho de los usuarios de Internet a conocer claramente las condiciones técnicas y comerciales de los planes de

banda ancha que se ofertan en el mercado, exigir su cumplimiento y navegar sin que los proveedores establezcan bloqueos arbitrarios o discriminaciones para el acceso a servicios, contenidos y aplicaciones disponibles en la red”.

En una primera etapa, la fiscalización de la SUBTEL se enfocará en verificar la correcta publicación de los siguientes indicadores para cada plan comercial [38]:

- a) Características técnicas y comerciales de los planes que se ofrecen a los usuarios, como la velocidad publicitada de subida y bajada con su rango máximo, mínimo y promedio; el límite de descarga y garantía del servicio.
- b) Tasa de agregación, que equivale a la proporción de usuarios que comparten el mismo enlace al navegar, lo que se relaciona con la calidad de servicio y la experiencia de navegación.
- c) Tiempo de reposición del servicio.
- d) Calidad y disponibilidad del enlace.
- e) Medidas de gestión de tráfico y administración de red.

Desde la aparición de la Ley de Neutralidad de Red, ha estado en la palestra el tema de la QoS ofrecida por las empresas de telecomunicaciones en sus servicios, tanto de Internet fijo como móvil. Para mayor información acerca de la ley y reglamento de Internet y neutralidad de red, la SUBTEL presenta una web donde se pueden verificar detalles de la Ley y las correspondientes mediciones realizadas por los diversos operadores de telecomunicaciones que ofrecen el servicio de acceso a Internet [38].

2.3. REDES LTE

2.3.1. LTE

Long Term Evolution (LTE), corresponde a una línea de trabajo seguida por la 3GPP la cual tiene por objetivo el estudio de la evolución de la red de acceso de UMTS (UTRAN) [2]. En el caso de LTE, la red de acceso recibe el nombre de *Evolved UTRAN* (E-UTRAN), mientras que el termino asociado por la 3GPP al *core* de la red, fue *System Architecture Evolution* (SAE), el cual se utiliza para referirse a las diversas actividades de estudio del núcleo o red troncal, el cual está basado completamente en conmutación de paquetes. Finalmente, la combinación de ambas arquitecturas, tanto la red de acceso como la red troncal constituyen la evolución de las antiguas tecnologías 3G, quedando a un paso de ser aceptada como 4G y recibe el nombre de *Evolved Packet System* (EPS) [2].

En la Figura 2.3, se logra apreciar la evolución de los sistemas del 3GPP, los cuales se estructuran en *Releases*, donde cada uno de ellos queda determinado por la incorporación de mejoras sustanciales además de un conjunto de funcionalidades que lo diferencian de la versión anterior. R99 planteó el primer grupo de especificaciones para UMTS a la que le prosigue el R4 y posteriormente el R5 el que ya incluye HSPDA. En el R6 aparece HSUPA y MBMS, para luego en el R7 consolidarse las mejoras de HSPDA y HSUPA formando el denominado HSPA+. Finalmente en el R8 aparece la primera especificación del sistema EPS, es decir, LTE/SAE [2].

A finales del 2007 se aprobó la primera versión completa y detallada de las especificaciones LTE, mientras que al año próximo se desarrollan intensamente las características del R9 y luego el R10 que es donde hace su aparición *LTE-Advanced* el cual, según las normas del *IMT-Advanced*, corresponde al verdadero 4G. A la fecha no existen despliegues comerciales de *LTE-Advanced*, pero si se ha garantizado que será una tecnología totalmente compatible con su predecesora, LTE.

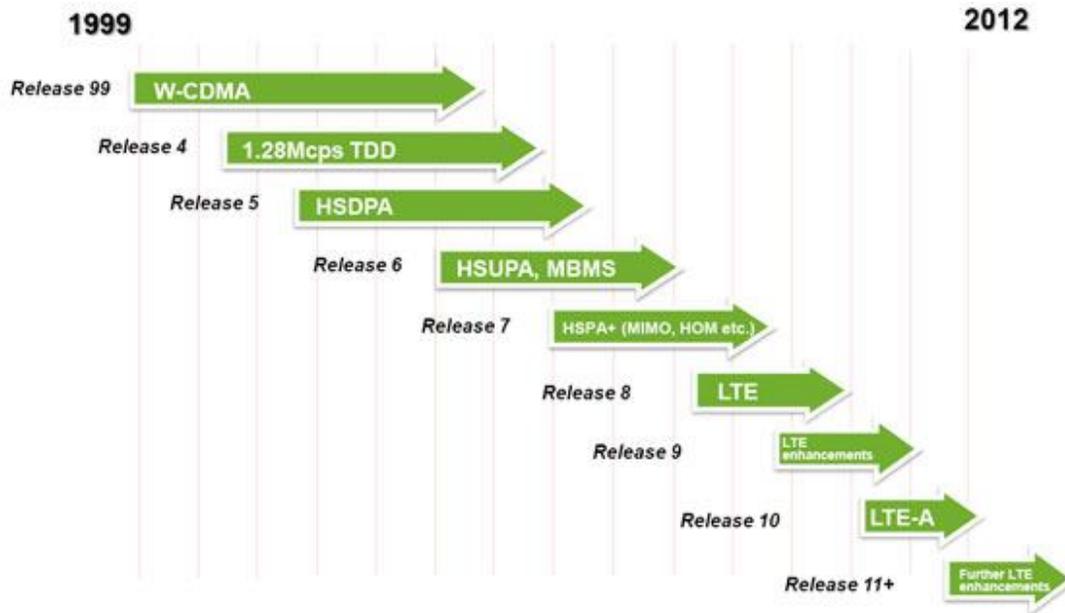


Figura 2.3: Línea de tiempo de los Releases emitidos por el 3GPP.

2.3.2. ASPECTOS GENERALES LTE

Según [2], algunos de los objetivos de E-UTRA y E-UTRAN son:

- *Peak* de velocidades de transmisión de 326 Mbps en *downlink* y 75 Mbps en *uplink* mejorando la velocidad de transmisión obtenible en el extremo de la celda.
- Mejora de la eficiencia espectral en un factor 2-4 con respecto a la *Release 6*.
- Latencia del plano de usuario en la red de acceso radio inferior a 10 ms.
- Ancho de banda escalable.
- Interoperabilidad con sistemas 3G y sistemas no 3GPP.
- Esquema de acceso radio OFDMA en el *downlink* y SC-FDMA en el *uplink*.
- Soporte de *packet scheduling* en el dominio temporal y frecuencial.
- Simplificaciones en la MAC y en el modelo de estados RRC, así como reducción del número de canales de transporte (no hay canales dedicados).
- Funcionalidades de *packet scheduling*, ARQ e HARQ terminadas en eNB.
- Simplificación de la arquitectura E-UTRAN y descentralización de la misma.
- La velocidad más alta teóricamente alcanzable en el *downlink* se encuentra para condiciones de 2×20 MHz (FDD), 64-QAM y 4×4 MIMO, y resulta de 326 Mbps [2].

2.3.3. ARQUITECTURA LTE

Los componentes fundamentales de la arquitectura LTE son, la red de acceso E-UTRAN y la red troncal o *core*, EPC, tal como se muestra en la Figura 2.4. La red está diseñada para soportar todo tipo de servicios de telecomunicaciones en el dominio de los paquetes, es decir, mediante conmutación de paquetes, es por ello que a LTE se le suele denominar una red *All-IP* [2]. Al ser LTE una red basada completamente en IP no resultan necesarios elementos que provisionen servicios basados en conmutación de circuitos, por lo que tanto los servicios en tiempo real, como la voz, deben ser soportados mediante conmutación de paquetes, lo que supone un desafío ya que IP es un protocolo *best effort*, por consiguiente, no existen garantías de que la información llegue a su destino.

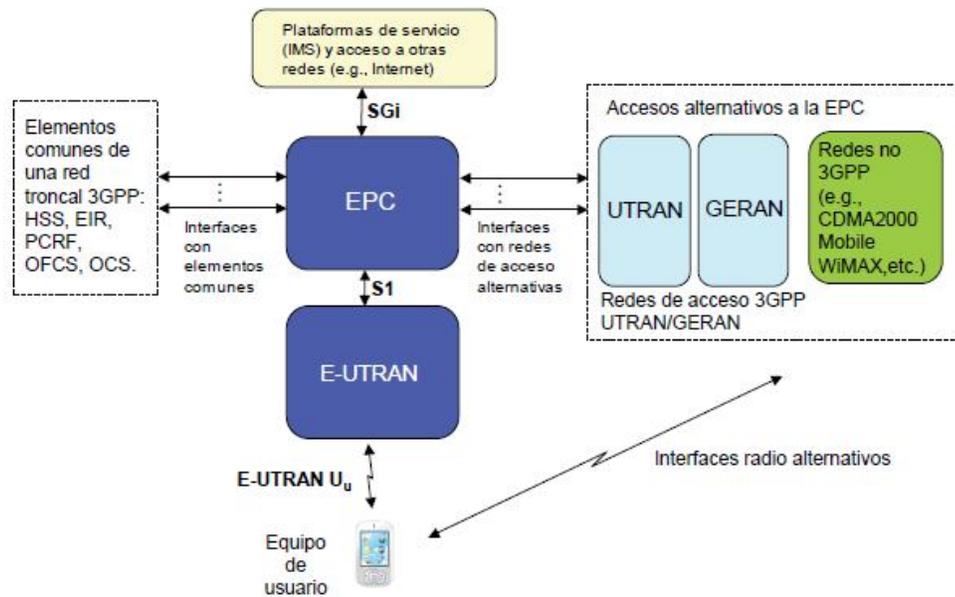


Figura 2.4: Arquitectura del sistema LTE.

La red de acceso E-UTRAN y el *core* EPC, proveen al usuario conectado a la red LTE, de servicios de transferencia de paquetes IP hacia redes de paquetes externas, tales como, Internet, plataformas de servicio IMS y otras redes [2]. La red de acceso E-UTRAN y la red troncal EPC, se comunican mediante la interfaz S1, la cual en el detalle, se divide en dos tipos, S1-U y S1-MME, las cuales proveen una interfaz de datos de usuarios y una interfaz de control respectivamente. Lo anterior supone otro de los grandes cambios en la arquitectura LTE, respecto de las otras tecnologías 3GPP anteriores, ya que los datos de usuario y de control se manejan de manera disjunta por equipos diferentes del *core* EPC. Por otro lado, la interfaz de radio entre el terminal del usuario y la E-UTRAN, se denomina Uu, pero en la bibliografía se suele encontrar también como E-UTRAN Uu, para que no exista confusión con la misma interfaz pero de otros sistemas 3G.

La interfaz que conecta al EPC con las redes externas, se denomina SGi, la cual es análoga a la interfaz Gi definida en sistemas anteriores, como redes GPRS y UMTS, dicha interfaz es el punto de salida (y entrada) a los servicios proporcionados por la red LTE [2].

Finalmente, el EPC se conecta con elementos comunes de una red troncal 3GPP, tales como, HSS, EIR, PCRF, OFCS y OCS, además de presentar interfaces hacia redes de acceso alternativas, tales como, UTRAN, GERAN y otras redes de acceso que no forman parte del 3GPP.

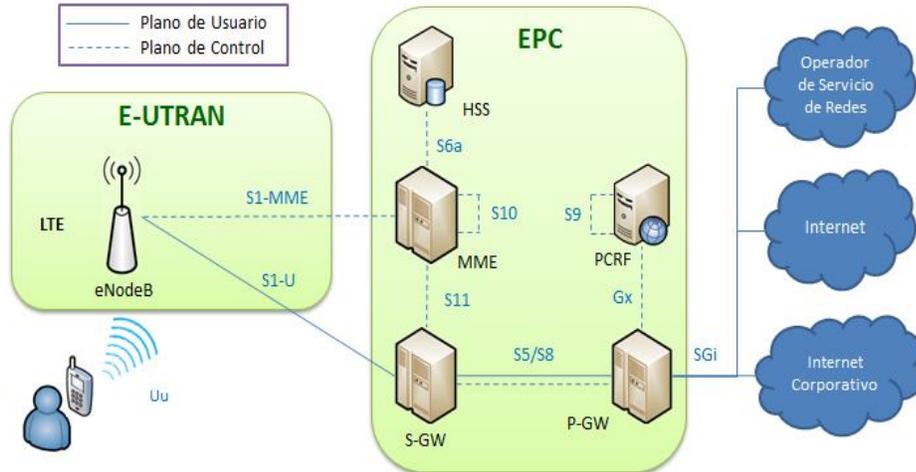


Figura 2.5: Diagrama de interfaces del Sistema LTE.

2.3.4. RED DE ACCESO LTE (E-UTRAN)

A diferencia de las anteriores redes de acceso de los sistemas 3GPP, la arquitectura de la red de acceso E-UTRAN se caracteriza por estar basada en una sola entidad de red, la cual se denomina *evolved Node B* o *eNodeB* (eNB), la cual cumple la función de estación base para la red de acceso, es decir, la E-UTRAN no posee elementos concentradores análogos a los RNC de UMTS y BSC de GSM. Los eNB proporcionan la conectividad de entre el equipo de usuario (UE) y la red troncal EPC y a su vez, los eNB pueden estar conectados entre ellos a través de la nueva interfaz X2, a través de la cual intercambian tanto mensajes de señalización, como tráfico de usuario cuando este se somete al proceso de *handover*.

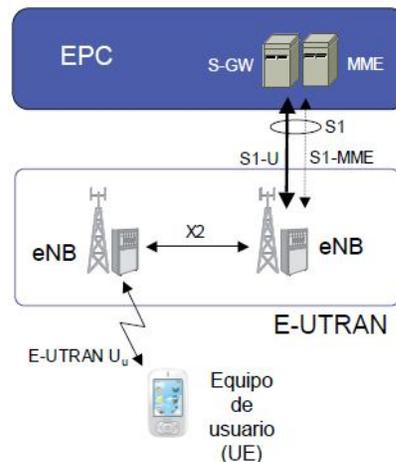


Figura 2.6: Red de acceso E-UTRAN

Todas las funciones y protocolos necesarios para realizar la conexión entre el usuario y la red LTE se realizan a través de la interfaz E-UTRAN Uu y son implementados por los eNB [2]. Además, como se comentó anteriormente, la interfaz S1 se divide en dos interfaces diferentes, la S1-U para soportar el plano de usuario y la S1-MME para soportar el plano de control. La interfaz S1-U conecta el eNB con un elemento del *core* EPC denominado S-GW, mientras que la interfaz S1-MME, conecta al eNB con otro elemento del *core* EPC denominado MME.

2.3.5. RED TRONCAL LTE (EPC)

La red troncal EPC fue diseñada con la función principal de soportar y proveer servicios de conectividad IP, a través de una arquitectura que permita aprovechar las nuevas capacidades de la interfaz de aire E-UTRAN Uu y la red de acceso E-UTRAN [2]. En la Figura 2.7, se pueden apreciar los 3 principales componentes de la red troncal EPC, las cuales son, el *Mobility Management Entity* (MME), *Serving Gateway* (S-GW) y *Packet Data Network Gateway* (P-GW). En algunas bibliografías se asimila al *Home Subscriber Server* (HSS) como parte del *core* EPC, pero en estricto rigor este no es parte de él. Las funciones asociadas al plano de usuario se concentran en los equipos S-GW y P-GW, mientras que, es a través de la entidad MME, que se gestionan las funciones del plano de control y señalización.

Es a través de señalización *Non-Access Stratum* (NAS), mediante la cual se comunican el equipo de usuario (UE) directamente con el MME el cual cumple las funciones de, autenticación, *roaming*, control de seguridad, gestión de los *Tracking Area* (TA), etc. [2]. El MME se conecta también con el S-GW a través de la interfaz S11, mediante la cual controla las funciones de transferencia del plano de usuario. Además, los MME también pueden comunicarse entre ellos mediante la interfaz S10.

La conexión de la red LTE con redes externas, en particular, de la red troncal EPC con las redes externas se hace a través del P-GW mediante la interfaz SGi. El P-GW cumple funciones tales como filtrado de paquetes por usuario, Intercepción Legal (LI, *Lawful Intercept*), asignación de direcciones IP al UE, transporte y marcado de paquetes en el *downlink*, apertura y cierre de puertos y aplicaciones y aplicación de tasa de transferencia previamente acordada [2].

El *Policy and Charging Rules Function* (PCRF) constituye un elemento clave de todos los sistemas 3GPP, ya que se utiliza para controlar los servicios portadores que ofrece la red LTE. Además, controla los mecanismos de tarificación (tarificación on-line, offline, medición del volumen de datos transferido, tiempo transcurrido, etc.). El PCRF gestiona los servicios portadores EPS de la red LTE mediante el envío de unas reglas de uso a través de la interfaz Gx que sirven para configurar la operación de funciones específicas del plano de usuario del P-GW [2]. Las entidades *Offline Charging System* (OFCS) y *Online Charging System* (OCS) son las encargadas del sistema de tarificación de la red, tal como se aprecia en la Figura 2.7, dichas entidades interactúan directamente con el P-GW.

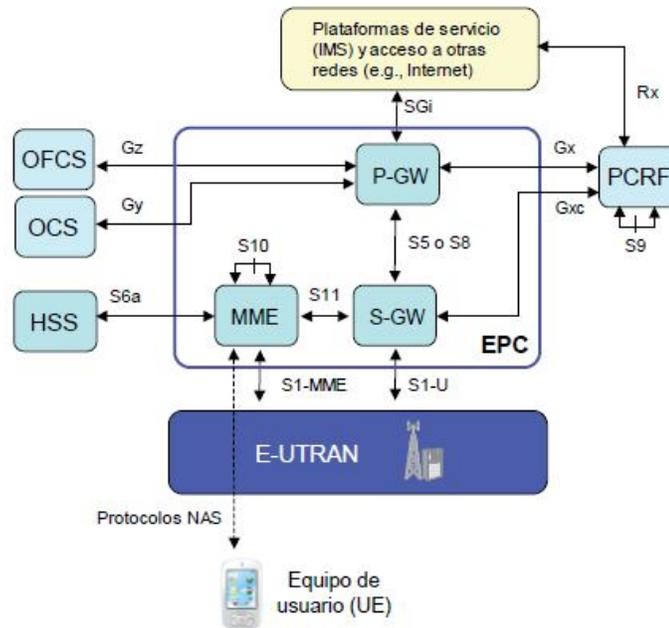


Figura 2.7: Arquitectura básica de la red troncal EPC.

2.3.6. LTE-TDD Y LTE-FDD

2.3.6.1. LTE-TDD

Time-Division Duplexing (TDD) se refiere a los enlaces de comunicación *dúplex* en donde el enlace ascendente se separa del enlace descendente por la asignación de franjas temporales diferentes en la misma banda de frecuencia. Los usuarios se asignan intervalos de tiempo para la transmisión de enlace ascendente y de enlace descendente. Hace coincidir la comunicación *duplex* total sobre un enlace de comunicación *half-duplex*. Método altamente ventajoso en caso de existir una asimetría de enlace ascendente y de las tasas de datos de enlace descendente.

Bandas TDD	Uplink	Downlink
33	1900 MHz –1920 MHz	1900 MHz –1920 MHz
34	2010 MHz –2025 MHz	2010 MHz –2025 MHz
35	1850 MHz –1910 MHz	1850 MHz –1910 MHz
36	1930 MHz –1990 MHz	1930 MHz –1990 MHz
37	1910 MHz –1930 MHz	1910 MHz –1930 MHz
38	2570 MHz –2620 MHz	2570 MHz –2620 MHz
39	1880 MHz –1920 MHz	1880 MHz –1920 MHz
40	2300 MHz –2400 MHz	2300 MHz –2400 MHz

Tabla 2.4: Bandas de frecuencia utilizadas por TDD.

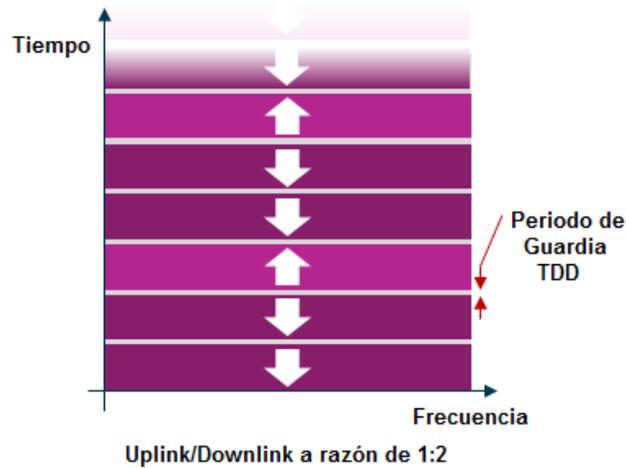


Figura 2.8: Diagrama TDD.

2.3.6.2. LTE-FDD

Frequency-Division Duplexing (FDD) es una técnica en donde bandas de frecuencia separadas se utilizan tanto en el lado del transmisor, como en el lado del receptor. Debido a que la técnica FDD utiliza bandas de frecuencia diferentes para enviar y recibir operaciones, las señales de envío y recepción de datos no interfieren entre sí. Lo anterior hace FDD una mejor opción TDD para el tráfico simétrico tal como aplicaciones de voz en banda ancha de redes inalámbricas.

Bandas FDD	Uplink	Downlink
1	1920 MHz–1980 MHz	2110 MHz–2170 MHz
2	1850 MHz–1910 MHz	1930 MHz–1990 MHz
3	1710 MHz–1785 MHz	1805 MHz–1880 MHz
4	1710 MHz–1755 MHz	2110 MHz–2155 MHz
5	824 MHz–849 MHz	869 MHz–894 MHz
6	830 MHz–840 MHz	875 MHz–885 MHz
7	2500 MHz–2570 MHz	2620 MHz–2690 MHz
8	880 MHz–915 MHz	925 MHz–960 MHz
9	1749.9 MHz–1784.9 MHz	1844.9 MHz–1879.9 MHz
10	1710 MHz–1770 MHz	2110 MHz–2170 MHz
11	1427.9 MHz–1452.9 MHz	1475.9 MHz–1500.9 MHz
12	698 MHz–716 MHz	728 MHz–746 MHz
13	777 MHz–787 MHz	746 MHz–756 MHz
14	788 MHz–798 MHz	758 MHz–768 MHz
17	704 MHz–716 MHz	734 MHz–746 MHz

Tabla 2.5: Bandas de frecuencia utilizadas por FDD.

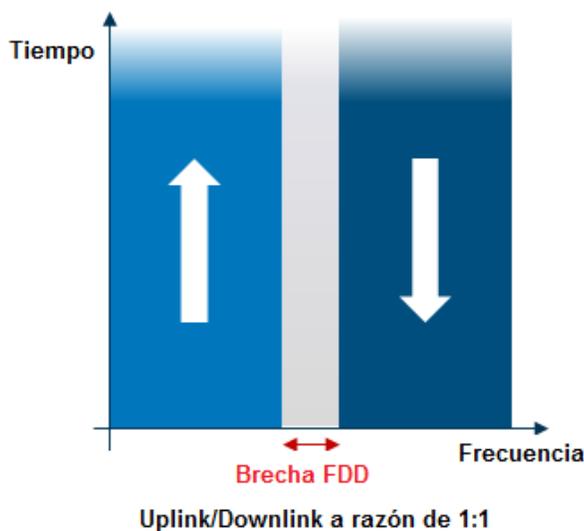


Figura 2.9: Diagrama FDD.

2.4. LTE EN LA UNIVERSIDAD DE CHILE

A mediados del 2012, en el marco de la visita oficial del Primer Ministro de la República Popular China, Wen Jiabao, el Presidente de la República, Sebastián Piñera, y el Decano de la FCFM, Prof. Francisco Brieva, se firmaron en el Palacio de La Moneda, dos convenios de colaboración en entrenamiento de tecnologías en telecomunicaciones. Uno de ellos fue un convenio de cooperación con la empresa china Huawei. Huawei decidió establecer un acuerdo de colaboración con la FCFM para desarrollar un polo latinoamericano tanto para el entrenamiento como para la referencia tecnológica en la industria de las telecomunicaciones. Este persigue mejorar la cobertura y difundir la excelencia en la formación y en la actualización de profesionales del área [32]. En el contexto del acuerdo firmado, la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas (FCFM) de la Universidad de Chile y la Corporación China Huawei, dedicada al desarrollo de tecnologías en el sector de las telecomunicaciones, inauguraron un laboratorio pionero en la región con equipos de última generación en tecnologías LTE, consideradas como uno de los estándares de comunicaciones inalámbricas de mayor aceptación para la evolución hacia la cuarta generación de las actuales redes móviles.

2.4.1. DETALLES TÉCNICOS DEL LABORATORIO LTE DE LA FCFM

EL uso del espectro de frecuencia asignado a LTE puede darse en dos diferentes formas de duplexión, FDD y TDD.

- Para el uso de LTE en la modalidad de FDD, el Laboratorio LTE de la FCFM utiliza la banda 7, que como se ve en la Tabla 2.5, corresponde a las frecuencias de 2500 MHz – 2570 MHz para el *uplink* y 2620 MHz – 2690 MHz para el *downlink*.
- Por otro lado, para el uso de LTE en la modalidad TDD, el Laboratorio LTE de la FCFM utiliza la banda 38, la cual corresponde a las frecuencias de 2570 MHz – 2620 MHz para el *uplink* y 2570 MHz – 2620 MHz para el *downlink*, tal como se muestra en la Tabla 2.4.

2.4.2. EQUIPAMIENTO DEL LABORATORIO LTE DE LA FCFM

Como fue mencionado anteriormente, el Laboratorio LTE fue donado a la FCFM por Huawei, por lo que los equipos LTE pertenecen en su totalidad a dicho proveedor. El Laboratorio LTE de la FCFM consta de una red de acceso E-UTRAN, de un *core* EPC y de un sistema de Operación y Mantenimiento (O&M), cada uno de estos elementos, a su vez está compuesto por diversos equipos los cuales se detallan a continuación.

La red de acceso, como se vio anteriormente, está compuesta por un único elemento:

- **eNB:** El eNB de Huawei es un equipo distribuido que está compuesto por dos elementos, una BBU3900 y una RRU3232. El sistema consiste de una Unidad de Banda Base (BBU, *Baseband Unit*) y una Unidad de Radio Remota (RRU, *Radio Remote Unit*), las cuales están instaladas separadamente y se encargan de procesar las señales de base y las señales de radio respectivamente. Una BBU se puede conectar a una o más RRUs a través de una Interfaz de Radio Pública Común (CPRI, *Common Public Radio Interface*).

Por otro lado se tiene el *core* EPC, el cual está compuesto por los siguientes equipos:

- **UGW9811 [18]:** El Universal GateWay (UGW) de Huawei es un equipo que cumple los roles tanto del S-GW como del PDN-GW, es decir, por un lado es el punto de anclaje para el plano de usuario entre las diferentes redes de acceso de la 3GPP y por otro lado es un punto de anclaje en el plano de usuario entre las redes de acceso 3GPP y las que no son de la 3GPP.
- **USN9810 [19]:** El USN9810 de Huawei cumple la función MME. El MME es responsable de la gestión de la movilidad en el plano de control, incluida la gestión de los contextos de usuario móvil y el estado, y la asignación de identificadores temporales.
- **HSS9820 [20]:** El HSS9820 de Huawei realiza las funciones de HSS en la red SAE (3GPP R8), almacena todos los datos del suscriptor, datos de servicio y gestiona las ubicaciones de los abonados. En estricto rigor, el HSS9820 incorpora la funcionalidad del Servidor de Suscriptor Local (HSS, *Home Subscriber Server*) y la Función de Localizador de Suscripción (SLF, *Subscription Locator Function*) en el Subsistema Multimedia IP (IMS) y no en el *core* EPC, pero sin embargo, se asumirá parte del *core* EPC en los siguientes diagramas.

Finalmente, se tiene el sistema de operación y mantenimiento, el cual está compuesto por dos herramientas.

- **iManager M2000 [21]:** El iManager M2000 de Huawei proporciona a los operadores una centralizada, fácil de usar, y altamente eficiente plataforma operación y mantenimiento para redes móviles que soportan a largo plazo la evolución de redes y tecnologías convergentes de red.
- **Local Maintenance Terminal (LMT):** LMT es una herramienta que permite la operación y el mantenimiento de los equipos Huawei, de manera local, es decir, directamente conectado al equipo. El acceso a esta herramienta puede ser a través de *browser* o a través de un *software*, el cual se descarga directamente del equipo que se quiera configurar.

2.4.3. ARQUITECTURA DEL LABORATORIO LTE DE LA FCFM

El Laboratorio LTE de la FCFM cuenta con una red de acceso compuesto por 4 eNB ubicados estratégicamente en el edificio de Ingeniería Eléctrica de la FCFM y sus alrededores. Los eNB son los únicos elementos que componen la red de acceso o E-UTRAN en la arquitectura LTE y estos se encuentran distribuidos en las cercanías de la FCFM. A continuación se listan la ubicación y las características de cada eNB.

- **eNB Indoor DIE:** Este eNB, se encuentra en el interior del Laboratorio, en el 5to piso del edificio de Ingeniería Eléctrica de la FCFM, por lo que corresponde a un eNB Indoor. Principalmente será este el eNB utilizado para el acceso en los prototipos de prueba.
- **eNB Techo DIE:** Este eNB se encuentra en la azotea del edificio de Ingeniería Eléctrica de la FCFM (Av. Tupper 2007), corresponde a un eNB *outdoor* y es el más cercano al eNB mencionado anteriormente.
- **eNB DCC-CEC:** Este eNB se encuentra ubicado en la azotea del Edificio de Computación (Av. Blanco Encalada 2120) y también corresponde a un eNB *outdoor*.
- **eNB UNTEC:** Por ultimo este eNB es de tipo *outdoor* y se encuentra en la UNTEC (Universidad y Tecnología. Fundación para la Transferencia Tecnológica) ubicada en Avda. Beauchef 993.

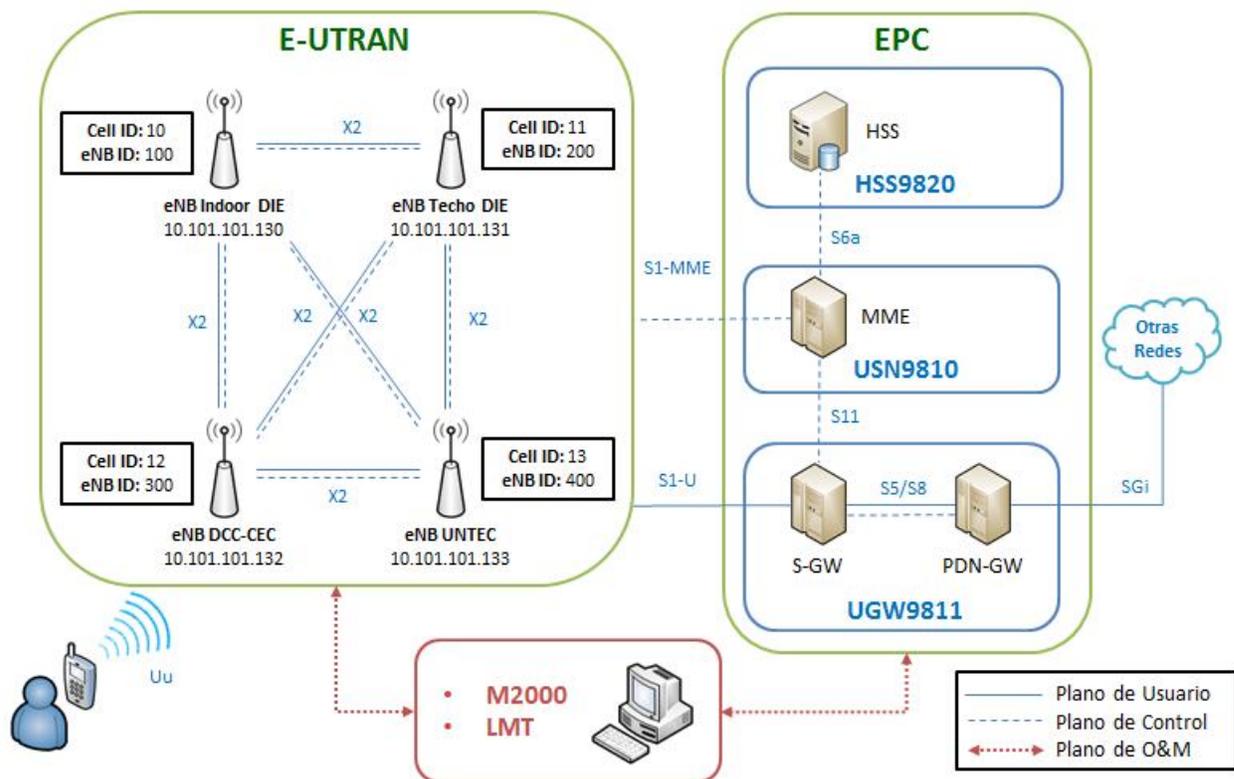


Figura 2.10: Arquitectura del Laboratorio LTE de la FCFM.

Cabe destacar que estos 4 eNB se encuentran operativos todos en TDD (igualmente pueden estarlo en FDD), con las interfaces X2 que los conectan todos contra todos habilitadas y en perfectas condiciones de funcionamiento ya sea en la interconexión con el usuario y con el Núcleo o *core* EPC. Por otro lado, el Laboratorio LTE de la FCFM también cuenta con los elementos principales del *core* EPC, el S-GW, PDN-GW, MME y HSS, los cuales están ubicados dentro del laboratorio del 5to piso del edificio de Ingeniería Eléctrica de la FCFM, dichos elementos están conectados entre sí tal como se muestra en la Figura 2.10 y enlazados con la E-UTRAN por medio de un *switch* que a su vez se conecta a todos los eNB, por lo que todos los eNB anteriormente descritos están bajo la administración del mismo *core* EPC. Finalmente, es importante destacar que todos los equipos presentes en la arquitectura LTE del laboratorio están conectados a un sistema de O&M denominado iManager M2000, el cual permite realizar la administración remota de los equipos, mientras que a través de otra herramienta llamada *Local Maintenance Terminal* (LMT) es posible realizar el mantenimiento local de los equipos.

2.5. INTERNET MÓVIL

2.5.1. ARQUITECTURA DEL INTERNET

La arquitectura de la Internet también ha cambiado mucho, ya que ha crecido explosivamente. En esta sección, se busca dar una breve reseña de lo que parece hoy en día. El panorama se complica por trastornos continuos en el negocio de las empresas de telefonía (Telco), las compañías de cable y proveedores de Internet (ISP) que a menudo hacen que sea difícil saber quién está haciendo qué. Un conductor de estos trastornos es la convergencia en las telecomunicaciones, en la que una red se utiliza para diferentes tipos de servicios. Por ejemplo, en un “*triple pack*”, donde una empresa vende servicios de telefonía, televisión, y servicio de Internet a través de la misma conexión de red bajo el supuesto de que se ahorra dinero. Por consiguiente, la descripción dada aquí será de necesidad algo más simple que la realidad. Y lo que es verdad hoy puede no ser verdad mañana.

El panorama se muestra en la Figura 2.11 examinemos esta figura parte por parte, a partir de un computador en un hogar (en los bordes de la imagen). Para unirse a la Internet, el ordenador está conectado a un proveedor de servicios de Internet, o simplemente ISP, del cual el usuario compra el acceso a Internet o la conectividad. Esto permite el computador pueda intercambiar paquetes de datos con todos los otros *hosts* accesibles en Internet [7]. El usuario puede enviar paquetes a navegar a través de la Web o cualquier otro de los miles de usos. Hay muchos tipos de acceso a Internet, y por lo general, estos se distinguen por la cantidad de ancho de banda que ofrecen y cuánto cuestan, pero el atributo más importante es la conectividad.

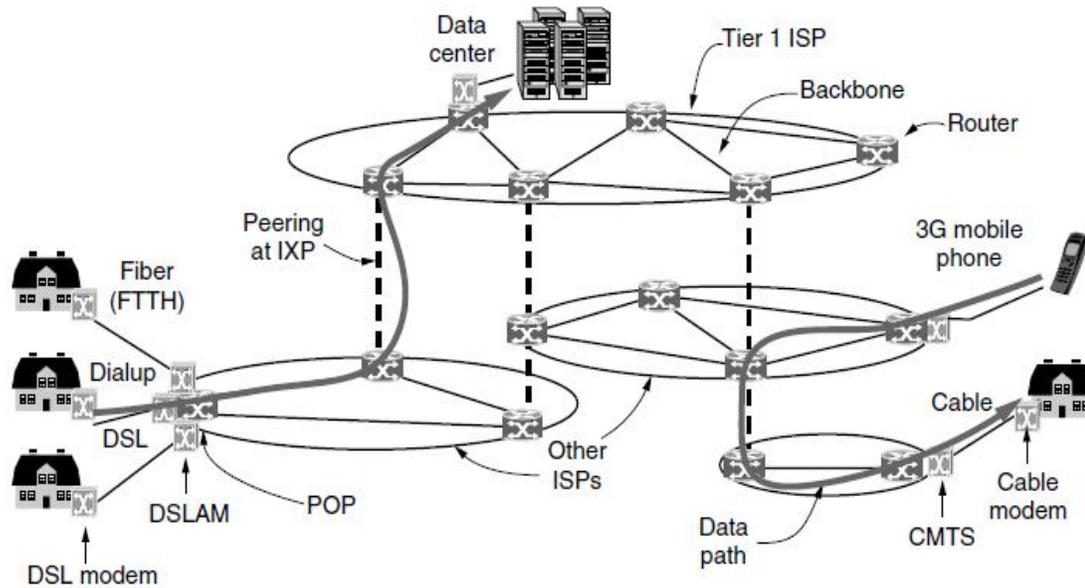


Figura 2.11: Arquitectura del Internet.

Una forma común para conectarse a un proveedor de Internet hasta hace unos años era el uso de la línea telefónica en su casa, en caso de que la compañía de teléfonos fuese su ISP. *Digital Subscriber Line* (DSL), reutiliza la línea telefónica que conecta a su casa para la transmisión de datos digitales. El ordenador se conecta a un dispositivo llamado módem DSL que realiza la conversión entre los paquetes digitales y señales analógicas que pueden pasar sin obstáculos a través de la línea telefónica. En el otro extremo, un dispositivo llamado *Digital Subscriber Line Access Multiplexor* (DSLAM) convierte entre señales y paquetes [7].

Existen varias otras formas populares para conectarse a un ISP las que se muestran en la Figura 2.11, DSL es una de las formas de mayor ancho de banda que utiliza la línea telefónica para enviar bits sobre una llamada de voz tradicional en vez de una conversación de voz, a esto se le llama *dial-up* y se logra con un tipo diferente de módem en ambos extremos. La palabra módem es la sigla de “*modulador demodulador*” y se refiere a cualquier dispositivo que convierte entre los bits digitales y las señales analógicas [7]. Otro método para enviar señales es a través del sistema de TV por cable. Al igual que DSL, este es una manera de reutilizar la infraestructura existente. El dispositivo en el extremo de la casa se llama un módem de cable y el dispositivo del otro extremo se llama el *Cable Modem Termination System* (CMTS).

DSL y el Cable proporcionan acceso a Internet a tasas desde una pequeña fracción de un Mbps hasta múltiples Mbps, dependiendo del sistema. Estas tasas son mucho mayores que las tasas de *dial-up*, que se limitan a 56 kbps debido al estrecho ancho de banda usado para llamadas de voz [7]. El acceso a Internet a velocidades mucho mayores que las alcanzadas por el *dial-up* se denomina *banda ancha*.

Los métodos de acceso mencionados hasta ahora están limitados por el ancho de banda de la “*última milla*” o la última etapa de la transmisión. Mediante la incorporación de la fibra óptica residencial, se pudo proporcionar un acceso a Internet más rápido, esto es a tasas del orden de 10

a 100 Mbps [7]. Este diseño se llama *Fiber to the Home* (FTTH). Para grandes empresas del área comercial, tiene sentido arrendar una línea de transmisión de alta velocidad a las oficinas al ISP más cercano.

Wireless se utiliza para acceder a Internet también. Uno de los ejemplos más cotidianos es el de las redes de telefonía móvil 3G y el WiFi. Las tecnologías 3G pueden proporcionar la entrega de datos a tasas de 1 Mbps o superiores a los teléfonos móviles y suscriptores fijos en el área de cobertura [7]. Ahora podemos mover paquetes entre el hogar y el ISP. Se denomina *Point of Presence* (POP) al lugar por el que los paquetes de los clientes entran en la red del ISP. Desde este punto en adelante, el sistema es completamente digital y los paquetes son conmutados.

Las redes de los ISP pueden ser regionales, nacionales, o internacionales. Su arquitectura se compone de líneas de transmisión de larga distancia que interconecta *routers* a POPs en las diferentes ciudades que los ISPs están presentes. Esta sección es denominada *Backbone* del ISP. Si un paquete está destinado a un *host* atendido directamente por el mismo ISP, dicho paquete se enruta a través del *backbone* y se entrega al *host*, de lo contrario, debe ser entregado a otro ISP.

Los ISPs conectan sus redes para el intercambio de tráfico en los Internet eXchange Points (IXP). Hay muchos IXP en ciudades de todo el mundo. Básicamente, un IXP es una habitación llena de *routers*, al menos uno por ISP. Una LAN en la habitación conecta todos los *routers*, por lo que los paquetes pueden ser enviados desde un *backbone* de ISP a cualquier otro *backbone* de ISP. Uno de los mayores es el NAP de las Américas, a la que cientos de proveedores de Internet de América Latina, incluyendo Chile, se conectan y a través del cual se intercambian cientos de gigabits por segundo. La interconexión entre los IXP depende de las relaciones comerciales entre los ISPs. Hay muchas relaciones posibles. Por ejemplo, un pequeño ISP podría pagar a un ISP más grande por la conexión a Internet para llegar a *hosts* remotos. En este caso, el pequeño ISP se dice que paga por tránsito. Por otra parte, dos grandes ISPs podrían decidir intercambiar tráfico de manera que cada ISP pueda traficar a otro proveedor de Internet sin tener que pagar por el tránsito [7].

El camino que sigue un paquete a través de la Internet depende de las opciones de interconexión de los ISPs. En la parte superior de la cadena alimenticia, coexisten sólo un puñado de compañías, como AT&T y Sprint, que operan grandes redes troncales internacionales con miles de *routers* conectados por fibra óptica de alta capacidad y rapidez. Estos ISPs no pagan por el transporte. Por lo general, se llaman los ISP de nivel 1 (tier 1) y se dice que forman la columna vertebral de la Internet [7], ya que todo el mundo tiene que conectarse a ellos para poder llegar a toda la Internet.

Las empresas que proporcionan gran cantidad de contenido, como Google y Youtube, localizan sus servidores en *Data Center* (Centros de datos) que estén bien conectados con el resto de Internet. La localización o el *hosting* de los *data center* permite a las empresas poner equipos tales como servidores en los POPs de los ISP para que conexiones más cortas y rápidas se pueden hacer entre los servidores y las redes troncales de ISP [7]. Las intranets son normalmente redes accesibles sólo desde dentro de la empresa o desde los *notebook* de la empresa pero, por lo demás, funcionan de la misma manera que Internet.

2.5.2. PROTOCOLOS DE TRANSPORTE

La comunicación efectiva depende de la utilización de un lenguaje común. Esto es cierto para los seres humanos y otros animales, así como para los computadores. Cuando se utiliza un conjunto de comportamientos comunes con un lenguaje común, se está utilizando un *protocolo*. Internet tiene dos protocolos principales en la capa de transporte, uno orientado a la conexión y otro no orientado a la conexión. El protocolo no orientado a la conexión es el UDP y el orientado es el TCP [5].

2.5.2.1. TCP

La descripción en detalle del protocolo TCP se puede encontrar en el RFC793 de la IETF [28]. TCP es un protocolo orientado a la conexión diseñado para brindar una comunicación bidireccional, confiable de extremo a extremo, sobre una red no confiable. Para ello, implementa una serie de mecanismos como el control de flujo, detección y corrección de errores y control de congestión que le da un alto nivel de confiabilidad al protocolo, asegurando a las aplicaciones la entrega íntegra de la información transmitida [5].

TCP se encuentra en la capa del protocolo de internet (IP) y la capa de aplicación, en el modelo TCP/IP. Generalmente, se necesitan que la comunicación entre las aplicaciones sea de fiar y, dado que la capa IP aporta un servicio de datagramas *best effort* o no fiable (sin confirmación), TCP implementa los algoritmos y funciones necesarias para brindar un servicio que permita que la comunicación entre dos sistemas se efectúe sin errores, sin pérdidas y con seguridad [5].

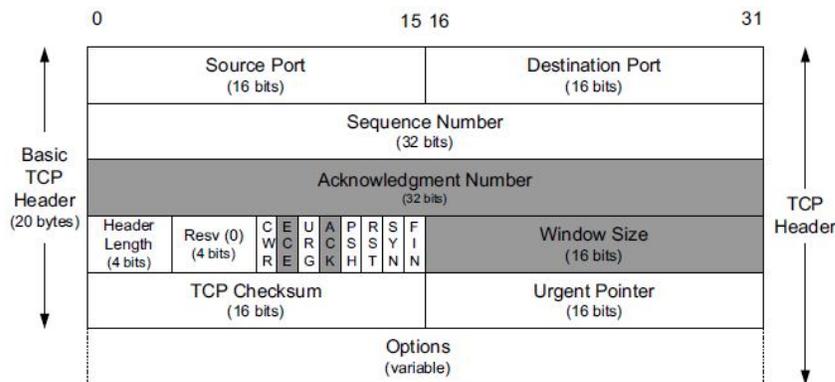


Figura 2.12: Datagrama TCP.

En términos generales se puede decir que una conexión TCP posee 3 fases. La primera de ellas se conoce como sincronización, en dicha fase se inicia el primer contacto entre las partes e intercambian parámetros que permiten asegurar el correcto funcionamiento de la conexión. Además, se informan las características que ésta tendrá. La segunda, donde la conexión ya se encuentra establecida y se realiza el intercambio de la información. Junto con la información de las aplicaciones se realiza el envío de mensajes de control que permiten que ésta se realice de manera fluida. [15] En particular, se realiza el control de flujo de conexión y para ello se utiliza el mecanismo de *slow start* y *congestion avoidance* para finalizar con la tercera fase donde se

negocia y realiza el cierre de la conexión. TCP da soporte a muchas de las aplicaciones más populares de Internet, incluidas HTTP, SMTP, SSH y FTP [5].

Las redes inalámbricas proporcionan capacidades de transferencia de paquetes de datos que son utilizados por protocolos de aplicación y aplicación para el intercambio de información. En el ámbito del transporte, hay varios protocolos que se pueden utilizar, dependiendo del servicio. Para entrega de mensajes libre de errores, TCP es comúnmente usado. En realidad, la mayoría del tráfico de Internet se lleva a cabo a través de TCP, ya que es estable y, probablemente, el protocolo de transporte más puesto a prueba de su tipo. De acuerdo con las mediciones de [35], alrededor de 95% del tráfico de datos global que atraviesa la red troncal de Internet es tráfico TCP. Sin embargo, el rendimiento de la tasa de transmisión de TCP es muy sensible a las características de las redes de comunicación. Factores tales como la latencia, el *throughput* y la pérdida de paquetes tienen un gran impacto en el rendimiento de la capa TCP, e interactúan en gran medida con TCP, su control de congestión y sus algoritmos de retransmisión [8]. Por esta razón, es importante entender cómo estos diferentes efectos interactúan con el protocolo, con el fin de descubrir posibles mejoras u optimizaciones de parámetros que podrían ayudar a reducir cualquier degradación [15].

2.5.2.2. CONTROL DE CONGESTIÓN EN TCP

El control de congestión es un conjunto de comportamientos obtenidos mediante algoritmos que cada TCP implementa en un intento de evitar que la red sea colapsada por una carga de tráfico demasiado grande. El enfoque básico es tender a reducir la velocidad de TCP cuando se tienen razones para creer que la red está a punto de estar congestionada (o ya está tan congestionado que los *routers* están descartando paquetes) [5]. El reto es determinar exactamente cuándo y cómo TCP debe reducir la velocidad, y cuando se puede acelerar de nuevo.

TCP es un protocolo diseñado para proporcionar entrega confiable de datos de un sistema a otro. TCP puede reducir la velocidad si el otro extremo de la comunicación (receptor) no puede seguir el ritmo. Esto se logra mediante procedimientos de TCP como el control de flujo y consiste en que el emisor adapte su tasa de envío basándose en el campo *windows size* o tamaño de ventana proporcionada por el receptor en sus ACKs. Esto proporciona información explícita sobre el estado del receptor de vuelta al remitente y le permite evitar sobrecargar los *buffers* del receptor [30].

Cuando un *router* se ve obligado a descartar los datos porque no puede manejar la tasa de tráfico que llega, se llama congestión, e incluso una única conexión puede conducir a uno o más enrutadores en la congestión. De no tratarse, puede causar que el rendimiento de una red se reduzca tanto que no se pueda traficar sobre ella. Con el fin de evitar o bien al menos reaccionar eficazmente para mitigar esta situación, cada TCP implementa procedimientos de control de congestión. Existen diferentes versiones o variantes de TCP, las cuales tienen diferentes procedimientos y comportamientos.

Los dos principales algoritmos de TCP son [30]: *Slow Start* y *Congestion Avoidance*, los cuales constituyen los primeros algoritmos de control de congestión aplicados sobre el TCP. Fueron introducidos a finales de 1980 con el lanzamiento de la versión 4.2 de UNIX de la UC Berkeley. Estos son algoritmos, basado en los principios de conservación y de paquetes

sincronización de ACK. Estos algoritmos no funcionan al mismo tiempo, TCP ejecuta sólo uno en un momento dado, pero se pueden alternar entre uno y otro.

Los algoritmos *Slow start* y *Congestion avoidance* deben ser utilizado por el remitente TCP para controlar la cantidad de datos en proceso de ser inyectados en la red. Para implementar estos algoritmos, se agregan dos variables a TCP por estado de conexión. La ventana de congestión (*cwnd*) es un límite del lado del emisor sobre la cantidad de datos que el remitente puede transmitir a la red antes de recibir un acuse de recibo (ACK), mientras que la ventana anunciada por el receptor (*rwnd*) es un límite del lado receptor de la cantidad de datos pendientes. El mínimo de *cwnd* y *rwnd* lidera la transmisión de los datos [5].

2.5.2.3. SLOW START

El algoritmo *Slow start* o arranque lento se ejecuta cuando se crea una nueva conexión TCP o cuando una pérdida se ha detectado debido a un tiempo de espera límite o *time out* de retransmisión (RTO). También puede invocarse después de que un emisor TCP ha quedado inactivo durante algún tiempo. El valor que se utiliza para mantener el tamaño de la ventana TCP según la estimación de la capacidad disponible de la red se llama la ventana de congestión, también denominada *cwnd* [30].

El propósito de *Slow start* es ayudar a TCP a encontrar un valor de *cwnd* previo sondeo del mayor ancho de banda disponible utilizado para evitar la congestión y para establecer la sincronización de ACKs. Típicamente, una red TCP comienza una nueva conexión con *Slow start*, eventualmente se descarta un paquete, y luego se fija en un estado estable de funcionamiento utilizando el algoritmo *Congestion avoidance* [5].

A partir de una transmisión en una red con condiciones desconocidas se requiere que TCP lentamente ponga a prueba la red para determinar la capacidad disponible, con el fin de evitar congestionar la red con una ráfaga de datos excesivamente grande [5]. El algoritmo de *Slow start* se usa para este propósito en el inicio de una transferencia, o después de reparar una pérdida detectada por el temporizador de retransmisión.

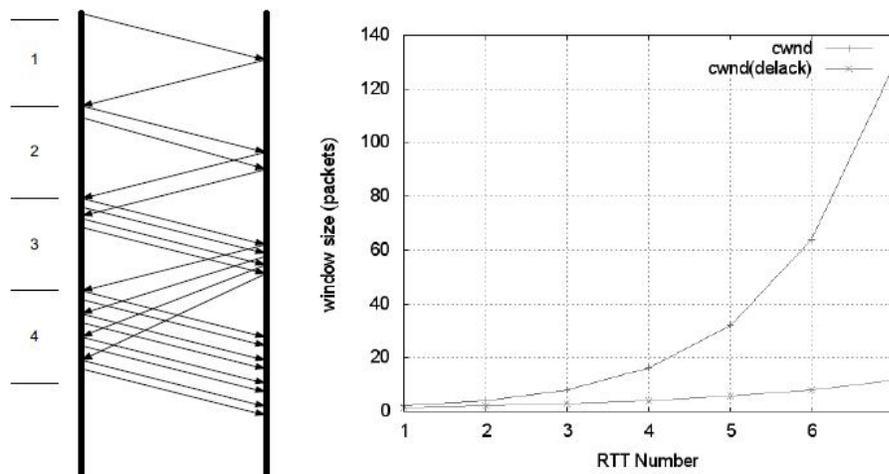


Figura 2.13: Operación del algoritmo *Slow Start*.

2.5.2.4. CONGESTION AVOIDANCE [5] [30]

El algoritmo *Slow start*, recién descrito, es utilizado cuando se inicia el flujo de datos a través de una conexión o después de un evento de pérdida invocada por un tiempo de espera límite (*time out*) [30]. Luego se aumenta el *cwnd* con bastante rapidez lo que ayuda a establecer el valor de *ssthresh* (*slow start threshold*). Una vez logrado esto, siempre existe la posibilidad de que una mayor capacidad de la red puede estar disponible para la conexión [5]. Si esa capacidad fuese utilizada inmediatamente con grandes ráfagas de tráfico, los paquetes de otras conexiones TCP compartirían las mismas colas en los *routers* y probablemente experimentarían una pérdida de paquetes significativa, lo que llevaría a la inestabilidad general en la red cuantas más conexiones experimenten simultáneamente pérdida de paquetes y reaccionen con retransmisiones.

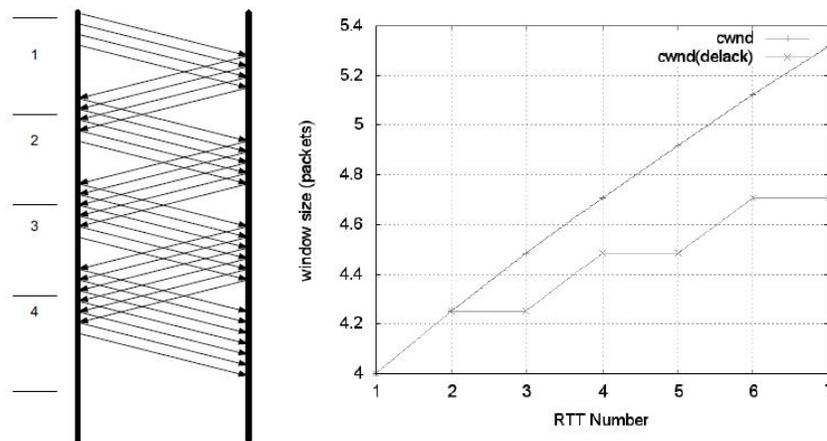


Figura 2.14: Operación del algoritmo Congestion Avoidance.

Para abordar el problema de encontrar la capacidad adicional que puede estar disponible, pero para no hacerlo de forma demasiado agresiva, TCP implementa el algoritmo de *Congestion Avoidance*. Una vez que se establece *ssthresh* y al menos *cwnd* está en este nivel, una conexión TCP ejecuta el algoritmo de *Congestion Avoidance* (o de evitación de congestión), que busca la capacidad adicional mediante el aumento del *cwnd* en aproximadamente un segmento por cada ventana de datos que se trasladan desde el emisor al receptor con éxito. Esto proporciona una tasa de crecimiento mucho más lento que *Slow start*: aproximadamente lineal en términos de tiempo, en lugar del crecimiento exponencial de *Slow start* [5].

2.5.2.5. SLOW START Y CONGESTION AVOIDANCE

A continuación se muestra gráficamente el comportamiento de algoritmos *Slow Start* y *Congestion Avoidance* [5].

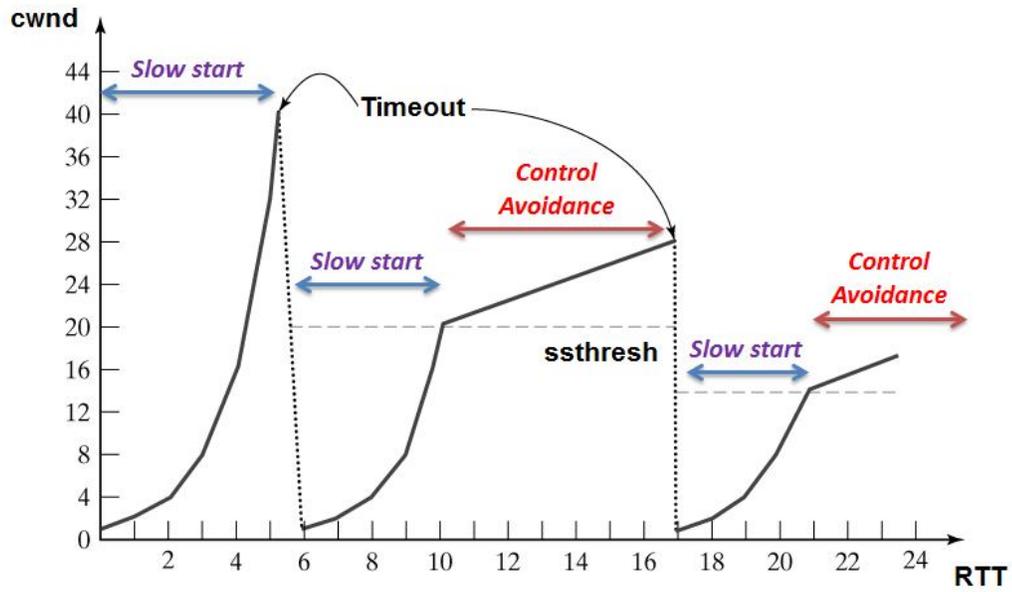


Figura 2.15: Operación conjunta de los algoritmos Slow Start y Congestion Avoidance.

2.5.2.6. FAST RETRANSMIT Y FAST RECOVERY

La descripción completa y en detalle del algoritmo *Fast Retransmit*, puede ser encontrada en el RFC5681 [49]. *Fast Retransmit* es un procedimiento de TCP que puede provocar la retransmisión de un paquete basándose en la retroalimentación entregada por el receptor en lugar de requerir que el tiempo límite de espera expire. Como resultado, las pérdidas de paquetes pueden transcurrir de forma más rápidas y a la vez, estas pueden ser reparadas de manera eficiente utilizando *fast retransmit* que es capaz de retransmitir más rápidamente que si se esperara el tiempo de espera. Típicamente, TCP implementa *fast retransmit* y retransmisiones basadas en un temporizador o tiempo límite [5].

El algoritmo *fast retransmit* consiste en que el receptor de una transmisión TCP envía inmediatamente un ACK duplicado cuando llega un segmento fuera de orden. El propósito de este ACK es informar al remitente de que un segmento fue recibido fuera de orden y que se espera el número de secuencia correspondiente. Esto genera una información más oportuna para que el emisor pueda recuperarse de la pérdida de paquetes y retransmitir más rápidamente que a través de un tiempo de espera de retransmisión. El remitente de la transmisión TCP utiliza el algoritmo para detectar y repara la falla, basándose en la llegada de un ACK duplicado [49].

Luego de que el algoritmo *Fast Retransmit* detecta y corrige el paquete perdido, el algoritmo *Fast Recovery* lidera la transmisión de los nuevos datos al menos hasta que un ACK no-duplicado llega. En este caso no se utiliza el algoritmo visto en la sección anterior, *Slow Start*, dado que la recepción de los ACKs duplicados no sólo indica que un segmento se ha perdido, sino también que los segmentos, probablemente han salido de la red [49]. El remitente retransmite un paquete y reduce su ventana de congestión a la mitad, y en vez de empezar con *Slow Start*, el transmisor utiliza ACKs duplicados adicionales para programar la salida de los paquetes.

2.5.2.7. UDP

User Datagram Protocol (UDP) es un protocolo de transporte no orientado a la conexión que forma parte del *stack* TCP/IP definido en el RFC 768 [29]. Permite el envío de datagramas a través de la red sin que exista una conexión previa. No tiene confirmación de envío ni control de flujo. Tiene un bajo *overhead* haciéndolo ideal para el transporte de audio y video en tiempo real.

El protocolo UDP no introduce tantos inconvenientes ni preocupaciones sobre redes inalámbrica debido a la falta de retransmisiones, control de flujo y mecanismos de control de congestión. Debido a que UDP es un protocolo no orientado a la conexión, éste no requiere de mecanismos de inicio, fin y mantención de la conexión como en el caso de TCP, haciendo más simple el protocolo de comunicación y minimizando el *overhead* [15]. Por otro lado, no posee un mecanismo de control de flujo lo que puede generar un gran problema cuando las aplicaciones son altamente demandantes de ancho de banda, ya que pueden saturar el canal de comunicación.

Este protocolo es mucho más simple que TCP, y por ello puede ser bueno para algunas aplicaciones (principalmente aquellas con requisitos de tiempo real), ya que permite un control más fácil de los retardos y de la velocidad de bits que se proporciona, además explota el máximo *throughput* disponible. Sin embargo, esta falta de control puede dar lugar a congestión en la red [5].

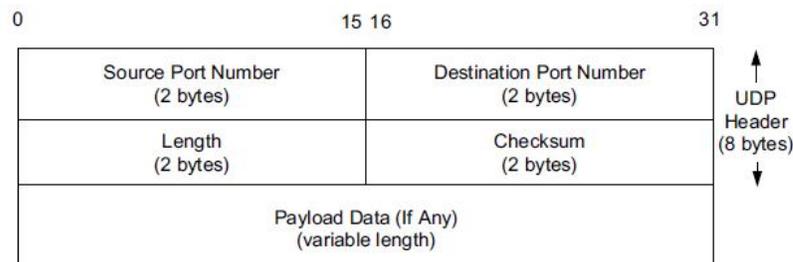


Figura 2.16: Datagrama UDP.

Una diferencia importante entre TCP y UDP es que el primero tiene mecanismos de control de flujo y congestión que permite una adaptación extremo a extremo a las variaciones de las capacidades del camino adaptándose al canal más estrecho. En cambio UDP puede inundar el medio hasta encontrarse con un segmento más estrecho que descartará los datagramas. Otro punto importante que se debe considerar es el *overhead* que aportan los protocolos de transporte a las aplicaciones ya que éste incide en el *throughput* efectivo que aprecia el cliente [15].

2.5.3. RED MÓVIL 3G

La tercera generación, o 3G, fue desplegada inicialmente en 2001 y ofrecían tanto voz digital como servicios de datos digitales de banda ancha. 3G es vagamente definido por la ITU, proporcionando tasas de al menos 2 Mbps para usuarios fijos o a bajas velocidades, por ejemplo, caminando y 384 kbps en un vehículo en movimiento [7]. UMTS, también llamada WCDMA (debido a que esta es su tecnología de acceso), fue el principal Sistema 3G que se desplego con rapidez en todo el mundo. Puede proporcionar hasta 14 Mbps en el enlace descendente y casi 6 Mbps en el enlace ascendente. Las versiones futuras usarán múltiples antenas y radios para proporcionar velocidades aún mayores para los usuarios [7].

El recurso escaso en los sistemas 3G, al igual como en los sistemas 2G y 1G, es el espectro radioeléctrico. La escasez de espectro condujo al diseño de la red celular que se muestra en la figura 2.17 que ahora se utiliza para las redes de telefonía móvil. Para gestionar la radio interferencia entre los usuarios, el área de cobertura se divide en células o celdas. Dentro de una celda, a los usuarios se les asignan canales que no interfieran unos con otros y no causen demasiada interferencia a las celdas adyacentes [7]. Esto permite una buena reutilización del espectro, o reutilización de frecuencias, en las celdas vecinas, lo que aumenta la capacidad de la red. Los sistemas 3G modernos permiten a cada celda utilizar todas las frecuencias, pero de manera que resulta en un nivel tolerable de interferencia a las celdas vecinas. Hay variaciones en el diseño celular, incluyendo el uso de direccional o sectorizado antenas en torres de celulares para reducir aún más la interferencia, pero la idea básica es la misma.

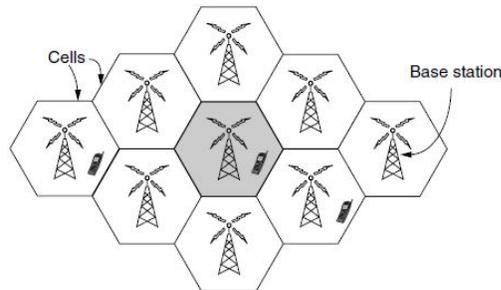


Figura 2.17: Diseño Celular para la red 3G.

La arquitectura de la red de telefonía móvil es muy diferente que el de la Internet. Tiene varias partes, como se muestra en la versión simplificada de la arquitectura UMTS en la Figura 2.18. En primer lugar, existe la interfaz de aire. Este término es un nombre de fantasía para el protocolo de comunicación por radio que se utiliza a través del aire entre el dispositivo móvil (por ejemplo, el teléfono celular) y la estación base celular [7]. Los avances en la interfaz de aire en las últimas décadas han aumentado considerablemente las velocidades de datos inalámbricos. La interfaz de aire UMTS se basa en CDMA.

La estación base celular junto con su controlador conforman la Red de Acceso de Radio (RAN, *Radio Access Network*). Esta parte es la parte inalámbrica de la red de telefonía móvil. El controlador de nodos o *Radio Network Controller* (RNC) controla cómo el espectro es utilizado. La estación base implementa la interfaz de aire, a esto se le llama Nodo B, un nombre que pretendía ser temporal pero que se mantuvo en el tiempo [7]. El resto de la red de telefonía móvil transporta el tráfico para la red de acceso, a esto se le llama el núcleo de la red o *core network*. El *core network* de UMTS evolucionó a partir de la red núcleo utilizado para el sistema GSM 2G que vinieron antes de él.

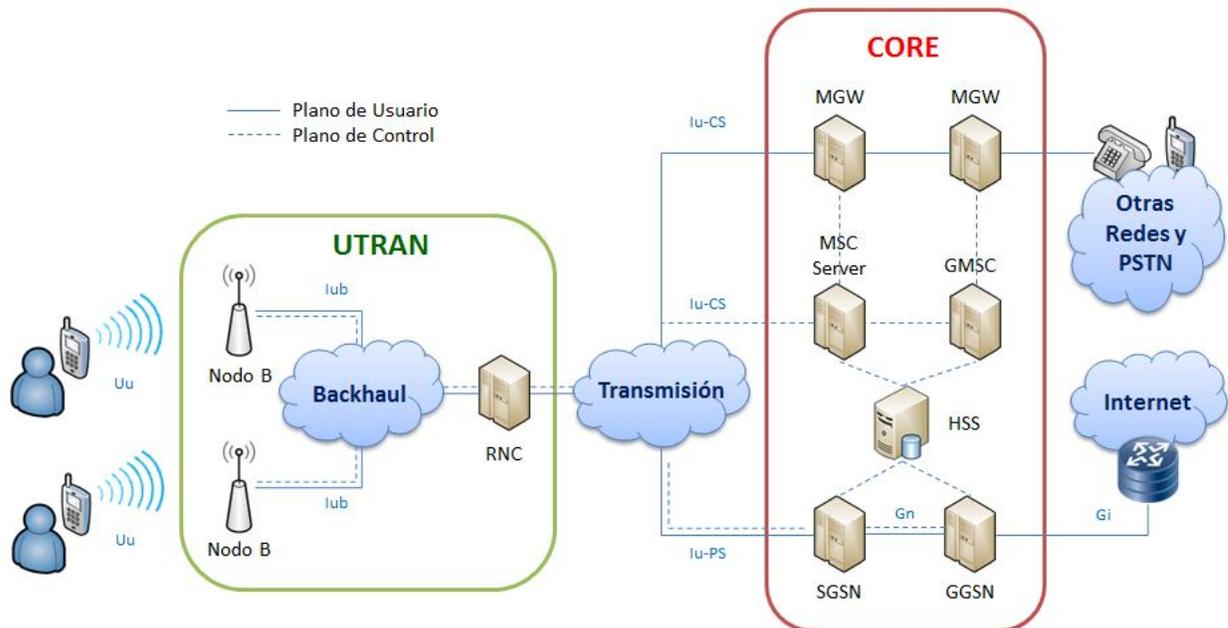


Figura 2.18: Arquitectura de la red de telefonía móvil UMTS 3G.

Desde los comienzos de la creación de redes, han existido dos tipos de redes; redes de paquetes (es decir, subredes no orientadas a la conexión) y redes de circuitos (por ejemplo, las subredes orientadas a la conexión). Los principales defensores de los paquetes provienen de la comunidad de Internet. En un diseño de no orientado a la conexión, todos los paquete se encamina de forma independiente a cualquier otro paquete. Como consecuencia, si algunos *routers* fallan durante una sesión, no producirá daños siempre que el sistema pueda reconfigurarse dinámicamente para que los paquetes siguientes puedan encontrar alguna ruta, incluso pudiendo ser diferente de la que los paquetes anteriores utilizaron.

La idea de los circuitos viene del mundo de las compañías telefónicas. En el sistema telefónico, se debe marcar el número del destinatario y esperar una conexión antes de hablar o enviar datos [7]. Esta configuración de la conexión establece una ruta a través del sistema telefónico que se mantiene hasta que se termina la llamada. Toda palabra o paquete seguiría la misma ruta. Si una línea o *switch* en el camino falla, la llamada se interrumpe.

En la Figura 2.18 es posible ver que en 3G se implementan ambas alternativas mencionadas anteriormente. Las redes de telefonía móvil más antiguas utilizan un núcleo de conmutación de circuitos en el estilo de la red telefónica tradicional para realizar llamadas de voz. Este legado se ve en la red UMTS en los equipos; *Mobile Switching Center* (MSC), *Gateway Mobile Switching Center* (GMSC), y *Media Gateway* (MGW) que establecen conexiones de sobre una red central de conmutación de circuitos, tales como la *Public Switched Telephone Network* (PSTN).

Los servicios de datos se han convertido en una parte mucho más importante de la red de telefonía móvil de lo que solían ser, a partir de los mensajes de texto y tempranos servicios de paquetes de datos, tales como GPRS en el sistema GSM. Estos antiguos servicios de datos

corrían a decenas de kbps, pero los usuarios querían más. Las nuevas redes de telefonía móvil llevan los paquetes de datos a velocidades de varios Mbps. A modo de comparación, una llamada de voz se realiza a una velocidad de 64 kbps, típicamente 3 o 4 veces menos con compresión [7]. Para llevar todos estos datos, los nodos del núcleo de UMTS se conectan directamente a una red de conmutación de paquetes. El *Serving GPRS Support Node* (SGSN) y el *Gateway GPRS Support Node* (GGSN) entregan paquetes de datos hacia y desde los móviles a redes de paquetes externas, tales como Internet.

Una de las principales características de las redes de telefonía móvil es, como su nombre lo indica, la movilidad. Cuando un usuario se mueve fuera del rango de una estación base celular y en el radio de otra, el flujo de datos debe ser re-encaminado desde la vieja a la nueva estación base de la celda, esta técnica se conoce como *handover*. Un tema importante es cómo encontrar un móvil cuando hay una llamada entrante. Cada red de telefonía móvil tiene un HSS en la *core* de la red que sabe la ubicación de cada abonado, así como otras informaciones de perfil que se utiliza para la autenticación y la autorización. De esta manera, cada móvil se encuentra en contacto con el HSS [8]. Desde los sistemas GSM 2G, el teléfono móvil se divide en una auricular y un chip extraíble que contiene la información de identidad y la cuenta del abonado. El chip se llama informalmente tarjeta SIM, la abreviatura de *Subscriber Identity Module*. Las tarjetas SIM se pueden introducir en diferentes teléfonos para activarlos, y proporcionan una base para la seguridad.

Las redes de telefonía móvil están destinadas a desempeñar un papel central en las futuras redes. Ellas están ahora más acerca de las aplicaciones móviles de banda ancha que de las llamadas de voz, y esto tiene importantes implicaciones para las interfaces de aire, arquitectura del núcleo de la red y la seguridad de las redes futuras [8].

2.6. CALIDAD DE SERVICIO (QOS)

En el campo de la telefonía, la calidad del servicio fue definida por la UIT en 1994. Comprende las necesidades de todos los aspectos de una conexión, como el tiempo de respuesta del servicio, pérdida, relación señal-ruido, diafonía, eco, interrupciones, respuesta en frecuencia, los niveles de sonoridad, y así sucesivamente [8].

Según [31], la Calidad de Servicio se define como,

“La totalidad de las características de un servicio de telecomunicaciones que determinan su capacidad para satisfacer las necesidades explícitas e implícitas del usuario del servicio.”

En el área de las redes de computadoras y otras redes de telecomunicaciones de conmutación de paquetes, el término ingeniería de tráfico se refiere a los mecanismos de control de recursos de reserva en lugar de la calidad de servicio alcanzados. Otra definición [31] es que la “Calidad de servicio es la capacidad de ofrecer diferentes prioridades a las diferentes aplicaciones, los usuarios, o flujos de datos, o para garantizar un cierto nivel de rendimiento a un flujo de datos”. Por ejemplo, una alta tasa de bits puede estar siendo requerida, una baja latencia, jitter y probabilidad de paquetes perdidos y/o tasa de bits erróneos puede ser garantizada. Dichas garantías son muy importantes si la capacidad de la red es insuficiente, sobre todo en tiempo real para aplicaciones de *streaming* multimedia tales como voz sobre IP, juegos en línea e IPTV, ya

que a menudo requieren la tasa de bits fija y son sensibles a los retardos, sin olvidar que en las redes, la capacidad es un recurso limitado, por ejemplo en la comunicación de datos celular. La insuficiencia de dicha capacidad está ligada al nivel de *overbooking* ofrecido en una red [8].

La QoS se utiliza a veces como una medida de calidad del servicio que está siendo entregado, en vez de referirse a la capacidad de reserva de los recursos para un determinado fin. Una alta QoS se confunde a menudo con un alto nivel de rendimiento o calidad que se consigue el servicio, por ejemplo, la tasa de bits de alta, baja latencia y baja probabilidad de error de bits. La QoS es un área importante para el crecimiento exitoso de las redes inalámbricas. Las aplicaciones solicitan diferentes requisitos de la red de transporte en términos de retardo, ancho de banda y la tasa de error que ellos desean para un rendimiento óptimo y la experiencia del usuario. Esto plantea un reto para el despliegue de redes inalámbricas.



Figura 2.19: Cuatro niveles de la calidad de servicio.

2.6.1. RETARDO (DELAY)

Un paquete empieza su camino en un *host* (fuente), pasa a través de una serie de *routers*, y termina su viaje en otro *host* (destino). Como un paquete viaja desde un nodo (*host* o *router*) al nodo siguiente (*host* o *router*) a lo largo de su camino, el paquete sufre de varios tipos de retardos entre cada nodo que cruza en su camino [6]. Los tipos de retardo más importante son:

- Retardo de procesamiento
- Retardo de encolamiento
- Retardo de transmisión
- Retardo de propagación

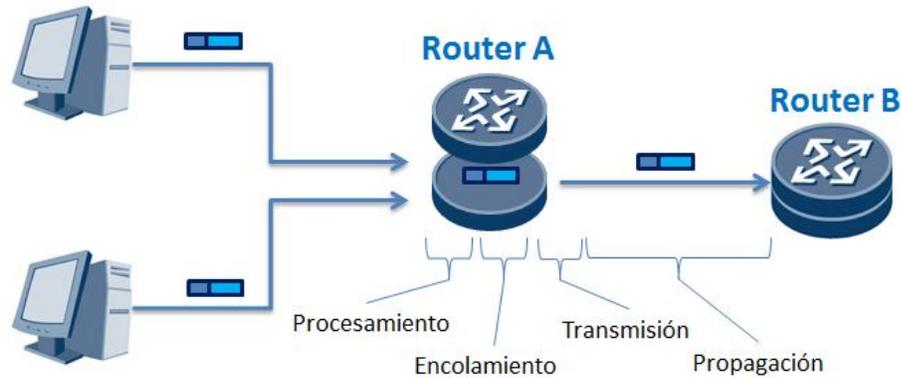


Figura 2.20: Retardo del Nodo para el Router A.

La acumulación de los retardos mencionados anteriormente, determinan un retardo total del nodo. En la figura anterior, se puede apreciar como un paquete es enviado a través de un *router* A a un *router* B. El objetivo es caracterizar el retardo del nodo para el *router* A. Cuando el paquete llega al *router* A, este examina la cabecera del paquete para determinar hacia donde debe dirigirlo, luego dicho paquete solo puede ser transmitido si no existe otro paquete actualmente siendo transmitido en el enlace o si hay otro paquete que lo precede en la cola, finalmente llegado su turno, el paquete es transmitido y se propaga hacia el *router* B.

2.6.1.1. RETARDO DE PROCESAMIENTO

El tiempo requerido para examinar la cabecera del paquete y determinar dónde dirigir el paquete es parte del retardo de procesamiento. El retardo de procesamiento puede también incluir otros factores, tales como el tiempo necesario para verificar errores a nivel de bit en los paquetes que son recibidos por el *router* A. Los retardos de procesamiento en *routers* de alta velocidad son típicamente del orden de microsegundo o incluso menores [6]. Luego de este procesamiento por parte del *router* A, este dirige el paquete hacia la cola que antecede al enlace de transmisión hacia el *router* B.

2.6.1.2. RETARDO DE ENCOLAMIENTO

En las colas, el paquete experimenta un retardo por encolamiento ya que este espera ser transmitido a través del enlace. El tamaño del retardo de encolamiento de un paquete en específico dependerá del número de paquetes que hayan llegado antes, que están encolados y esperando ser transmitidos. Si la cola está vacía y no existe otro paquete que esté siendo transmitido actualmente, entonces el retardo de encolamiento de nuestro paquete será cero. Por otro lado, si el tráfico está congestionado y muchos otros paquetes están también esperando a ser transmitidos, el retardo de encolamiento será grande. En la práctica, los retardos de encolamiento pueden ser del orden de los microsegundos a milisegundos [6].

2.6.1.3. RETARDO DE TRANSMISIÓN

Asumiendo que los paquetes son transmitidos por orden de llegada, como es común en las redes de conmutación de paquetes, nuestro paquete puede ser transmitido solo después de que todos los paquetes que hayan llegado antes sean transmitidos. Sea el tamaño de un paquete, L bits, y además la tasa de transmisión del enlace desde el *router* A hacia el *router* B esté dada

por R bps. Por ejemplo, para un enlace 10 Mbps Ethernet, $R = 10$ Mbps, para un enlace 100 Mbps Ethernet $R = 100$ Mbps. El retardo de transmisión es L/R , esta es la cantidad de tiempo requerido para transmitir todos los bits del paquete a través del enlace. En la práctica los retardos de transmisión son típicamente del orden de los microsegundos a milisegundos [6].

2.6.1.4. RETARDO DE PROPAGACIÓN

Una vez un bit es empujado hacia el enlace, este necesita propagarse hacia el *router* B. El tiempo requerido para propagarse desde el inicio del enlace hasta el *router* B es el retardo de propagación. El bit viaja a la velocidad de propagación del enlace, dicha velocidad depende del medio físico del enlace (fibra óptica, par trenzado, cable de cobre, etc.) el cual, en general, está en el rango de $2 \cdot 10^8$ m/s a $3 \cdot 10^8$ m/s, el cual es menor o igual a la velocidad de la luz. El retardo de propagación es la distancia entre dos *routers* dividido por la velocidad de propagación. Es decir, el retardo de propagación es d/s , donde d es la distancia entre los *router* A y B, y s es la velocidad de propagación del enlace. Una vez el último bit del paquete se propaga al nodo B, este y todos los bits que lo precedieron son almacenados en el *router* B. El proceso en su totalidad luego continúa con el *router* B realizando la transmisión. En una WAN, el retardo de propagación es del orden de los milisegundos [6].

2.6.2. LATENCIA (LATENCY)

La sección anterior (2.6.1) estaba enfocada en el retardo de un nodo en particular, es decir, de un solo *router*. Considérese ahora el retardo total desde la fuente de información hasta su destinatario. La latencia consiste en la suma de los retardos parciales del camino que debe recorrer la información entre un punto y otro de la red, propios de la propagación de la señal en el medio de transmisión y del tiempo de procesamiento y conmutación en su paso por los diferentes nodos de red [15].

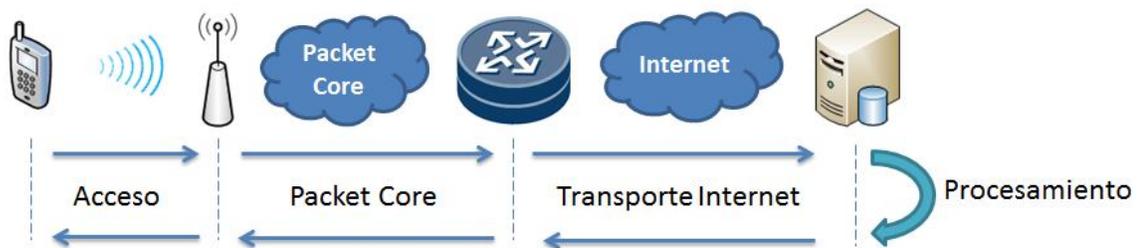


Figura 2.21: Latencia Extremo a Extremo en Internet Móvil.

La latencia es uno de los indicadores más utilizados para mostrar la calidad de una conexión. Esto se realiza habitualmente midiendo el *Round-Trip Time* (RTT), que equivale al doble de la latencia) hacia un *host* específico utilizando la aplicación ping [15]. Es importante recalcar que lo que se mide es la latencia del canal de comunicación y no incluye los tiempos de procesamiento de las aplicaciones que podría estar accediendo el usuario, es decir, se podría obtener una latencia baja hasta el servidor aun teniendo un gran retardo producto de una aplicación lenta (este último retardo no sería detectado en las mediciones). Luego, este indicador por sí solo no es capaz de entregar la percepción del servicio que experimenta el usuario.

2.6.3. PÉRDIDA DE PAQUETES (PACKET LOSS)

La pérdida de paquetes se produce cuando uno o más paquetes de datos que viajan a través de una red informática no llegan a su destino. La pérdida de paquetes se distingue como uno de los tres principales tipos de errores encontrados en las comunicaciones digitales, siendo los otros dos errores en los bits y los paquetes falsos originados debido al ruido.

La pérdida de paquetes puede ser causada por un gran número de factores que incluyen la degradación de la señal a través del medio de red debido al desvanecimiento multi-trayectoria (*Multi-path Fading*), descarte de paquetes debido a la congestión del canal, paquetes dañados o corruptos rechazados en tránsito, *hardware* de red defectuoso, controladores red defectuoso o las rutinas normales de enrutamiento [6].

Las pérdidas de paquetes pueden ocurrir en diferentes puntos de una conexión, lo habitual es que ellas sucedan en las colas de acceso a los *routers*. En la sección anterior (2.6.1.2.) se comentó la existencia de colas, pero en ningún momento se precisó la capacidad de estas. En la realidad una cola que precede un enlace tiene capacidad finita, aunque la capacidad de encolamiento depende en gran parte del diseño y costo del *router*. Dado que la capacidad de los *router* es finita, un paquete puede llegar y encontrar que la cola está llena. Sin lugar para ser almacenado, un *router* descartará ese paquete, es decir, el paquete se perderá [6].

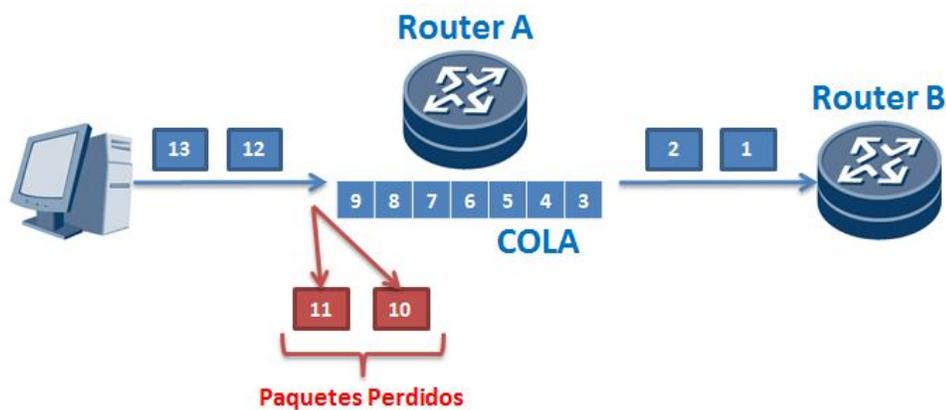


Figura 2.22: Pérdida de paquetes en el Router A.

Desde el punto de vista de un terminal, un paquete perdido será visto como un paquete que habiendo sido transmitido a la red, nunca salió de esta hasta su destino. La fracción de paquetes perdidos incrementa en relación a la intensidad de tráfico. Por lo tanto, el desempeño de un nodo a menudo no solo se mide en términos del retardo sino que también en términos de la probabilidad de pérdida de paquetes [6]. Un paquete perdido puede ser retransmitido en un sistema extremo a extremo o “*end-to-end*” con el objetivo de asegurar que toda la información sea eventualmente transferida desde el origen hasta el destinatario.

La pérdida de paquetes en TCP genera que el flujo de datos decrezca abruptamente y disminuya el *throughput* de una conexión y producto de la naturaleza del protocolo, la velocidad original se restablezca lentamente. Por ello, resulta relevante considerar el nivel de pérdida de paquetes que puede existir en una conexión, medirlo y controlarlo. En la práctica se prefiere

mantener la tasa de pérdidas en un nivel bajo de modo tal que los usuarios no vean afectado su servicio por la mala calidad del canal [6].

2.6.4. TASA DE DESCARGA DE DATOS (THROUGHPUT)

Junto con los retardos y la pérdida de paquetes, otra medida crítica de rendimiento en las redes de computadores es la Tasa de Descarga de Datos o *Throughput*. Para definir el *throughput*, considérese una transferencia de un archivo desde el *Host A* al *Host B* a través de una red de computadores. El *throughput instantáneo* en cualquier momento es la tasa (en bps) a la cual el *Host B* está recibiendo el archivo. Si el archivo está compuesto de F bits y la transferencia toma T segundos para que el *Host B* reciba los F bits, entonces el *throughput promedio* de la transferencia del archivo es de F/T bps [6].

Para algunas aplicaciones, tales como Telefonía IP, es deseable tener un bajo retardo y un *throughput instantáneo* que esté constantemente por sobre un cierto umbral (por ejemplo, sobre 24 kbps para aplicaciones de Telefonía IP y sobre 256 kbps para alguna aplicación en tiempo real) [6]. Para otras aplicaciones, incluyendo la transferencia de archivos, el retardo no es crítico, pero si es deseable tener el *throughput* más alto posible.



Figura 2.23: *Throughput para una transferencia de archivo entre un Cliente y un Servidor.*

La Figura 2.23 muestra una red con N enlaces, en donde R_1, R_2, \dots, R_N son las correspondientes tasas de transferencia de cada uno de los N enlaces. Supongamos que los únicos bits siendo transmitidos en toda la red son dichos bits que van desde el cliente al servidor. Luego, es posible establecer una analogía en la que los bits son un tipo de fluido y los enlaces de comunicación son las cañerías, en donde a un *router* no se le puede inyectar una cantidad de bits a una tasa mayor que la tasa de transferencia del enlace que lo precede, y de forma análoga, no puede inyectar una tasa de bits mayor que la del enlace que lo prosigue. La mínima tasa de transferencia de los enlaces R_i es la que introduce el cuello de botella. Por lo tanto el *throughput* extremo a extremo de una transferencia de un archivo de F bits estará limitado por $\min\{R_i\}_{i \in [1, N]}$ bps y a su vez el tiempo medio de transferencia será $F / \min\{R_i\}_{i \in [1, N]}$ segundos [6]. Si la tasa a la que llegan datos a un *router* es mayor que la tasa a la que este puede inyectarlos en el siguiente enlace, la cola de bits esperando a ser transmitidos, crecerá más y más, lo cual es una situación bastante indeseable ya que si se sobrepasa la capacidad del *buffer*, el *router* empezará a descartar paquetes [15].

En resumen, el *throughput*, o tasa de transferencia, es la razón de datos entregados a un destino, medido en términos de bits por segundo y considera no sólo los bytes transmitidos sino también los erróneos, retransmitidos e información de control propia de la conexión. Pero en una

red móvil el *throughput* máximo que puede percibir el cliente depende no sólo de las aplicaciones que está accedendo sino también de las condiciones de radio que el abonado tenga y de la utilización que están realizando el resto de los clientes que comparten su celda, viéndose directamente afectado su rendimiento cuando el resto de los abonados se vuelve más intensivo [15].

2.6.5. JITTER

Según [27], el *jitter* es el valor absoluto de la diferencia entre el retardo de envío de dos paquetes recibidos consecutivamente que pertenecen a la misma flujo de datos. La fluctuación del retardo entre dos paquetes consecutivos recibidos en un flujo de datos se reporta como *jitter*. El *jitter* puede ser expresado como,

$$|D(t) - D(t - 1)|$$

Donde D es igual al retardo de envío y t es el orden de recepción de los paquetes. Bajo condiciones de pérdida, el *jitter* se puede medir entre números de secuencia de prueba no consecutivos. Cuando los mecanismos de control del tráfico IP están descartando paquetes, se puede observar fluctuaciones en el retardo de los paquetes enviados. El *jitter* debe ser capaz de comparar la variación de los retardos independiente de la pérdida de paquetes [16].

El *jitter* está relacionado con la variación del retardo de IP (*IPDV*, *IP Packet Delay Variation*) tomando el valor absoluto de la *IPVD*. Las dos métricas producen diferentes valores medios. La media del *jitter* producirá siempre un valor positivo o cero, mientras que la media del *IPDV* es típicamente cero. Además, el *IPDV* no está definido cuando se pierde un paquete de un par. Los paquetes llegan al destino con diferentes retardos. Una demora de un paquete varía según su posición en las colas de los *routers* a lo largo de la ruta entre origen y destino y la posición puede variar de forma impredecible. Esta variación en el retardo se reconoce como una inestabilidad y puede afectar seriamente la calidad de *streaming* de audio y/o video. Cuando una red no introduce ninguna variabilidad, el *jitter* se aproximará a un valor cercano a cero [27].

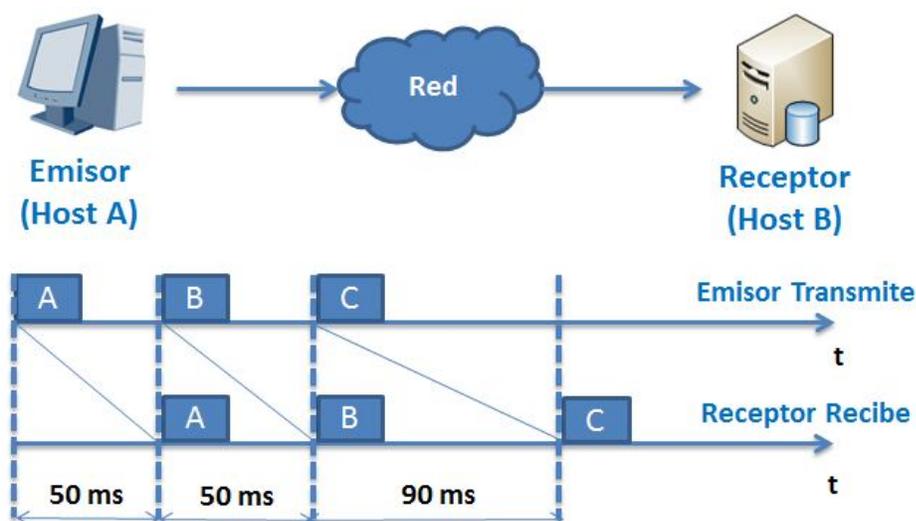


Figura 2.24: Representación gráfica del Jitter.

2.6.6. DISTANCIA A LA ANTENA

Adicionalmente a las pruebas de concepto realizadas, que buscan estudiar los efectos y repercusiones de parámetros y elementos de red en la calidad de servicio y el nivel de *throughput*, se realiza también una prueba que estudia un factor externo a la red en sí tremendamente gravitante al momento de evaluar un sistema de telecomunicaciones, el cual es la distancia a la antena. La distancia a la antena es la longitud que hay entre tu ubicación y la antena de la estación base de telefonía móvil a la que estás conectado. Influye en el nivel de cobertura y la velocidad de Internet móvil.

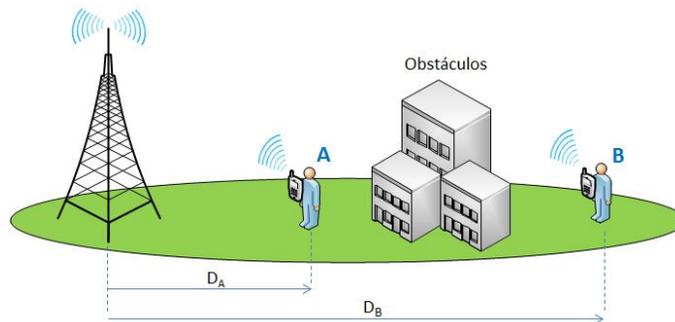


Figura 2.25: Distancia a la Antena de dos diferentes usuarios.

La señal de radio se atenúa por la resonancia con la materia, ya sea por obstáculos físicos como edificios y personas o incluso el aire. Además, las malas condiciones atmosféricas y meteorológicas, donde exista alta humedad (e.g. lluvia, neblina), causan que la señal se disperse o se difracte, lo que empeora las condiciones para realizar la comunicación. Tanto la antena como el módem calculan la relación entre la señal y el ruido de fondo para determinar la potencia de emisión y la modulación que utilizarán para garantizar la comunicación [9]. Como se puede ver en la Figura 2.25, los usuarios A y B están ubicados en las cercanías y al borde de la celda respectivamente, y por lo tanto expuestos a distintos niveles de señal radio ya que el camino hasta B presenta una mayor cantidad de obstáculos para la onda lo que en definitiva afecta la calidad de servicio percibida por B en contraste con la que percibe A.

A medida que aumenta la distancia, la velocidad de Internet móvil disminuye. Una mayor distancia a la antena también repercute en el consumo de la batería, ya que el teléfono o el módem USB deben emitir con más potencia para que la señal llegue a la antena con suficiente intensidad [9]. Cabe destacar que en las redes 3G se produce un fenómeno denominado *cell breathing*, el cual corresponde a un cambio constante en el rango de alcance de la zona geográfica cubierta por un transmisor de teléfono celular (o antena) basado en la cantidad de tráfico actualmente cursado por dicho transmisor. Cuando una celda se vuelve muy sobrecargada, esta se contrae [9].

Por otro lado para lidiar con los problemas de propagación y alcance de la celda, en el proceso de planificación de una red se realiza un presupuesto de la potencia con que se transmite, en donde se calculan las ganancias y pérdidas asociadas tanto al transmisor, al medio y al receptor, dicho proceso presupuestario es conocido como *link budget*. En el *link budget* se calculan las pérdidas para dos trayectorias: el enlace *uplink* (móvil hacia la antena), y *downlink*

(antena hacia el móvil). Se considera el peor caso, y en cuanto al balance de ambos enlaces, cuando es posible, se realizan ajustes de la potencia de salida de la antena. La máxima pérdida admisible será igual a la diferencia entre lo que se transmite y la sensibilidad del receptor [9].

2.6.7. CQI

En las redes UMTS una de las métricas más utilizadas corresponde al E_C/N_0 , en donde E_C corresponde a la energía recibida por *chip* del canal piloto y N_0 es la densidad de potencia del ruido. El E_C/N_0 es medido usualmente en el canal piloto. Dicha medida en redes de tercera generación como UMTS es usada para determinar capacidad y calidad, ya que provee información concerniente al relativo incremento de la interferencia y por lo tanto la carga de tráfico en la red. Sin embargo en HSDPA la métrica E_C/N_0 debe usarse cuidadosamente ya que puede proveer información errónea sobre la calidad de la red, debido a la cantidad de potencia de transmisión que se asigna a los diferentes canales [36].

Para medir la calidad de canal por sobre el cual se transmitirá los datos de alta velocidad de HSDPA, la 3GPP definió el indicador de calidad de canal, *Channel Quality Indicator* (CQI) [44]. Cabe destacar que, no existe allí una formulación determinista para este indicador, solo se especifica que el valor de CQI es tal que debe existir una probabilidad de al menos 0.9 para transmitir el bloque de datos correctamente, es decir, un BLER de hasta 10%.

Los beneficios asociados al uso del CQI, como ha sido definido, es que permite aceptar varias implementaciones de receptores y variaciones de ambiente y pese a ello entregar las mejores tasas de transferencia requeridas y aceptadas por el terminal. Esto remueve la necesidad de saber las condiciones específicas de la celda/sector en la que se encuentra el terminal. Por contraparte, al no existir una definición estándar se debe recurrir a aproximaciones pues cada fabricante puede tener su propia forma para determinar el valor de CQI que reportará, por lo tanto se puede dar que terminales de fabricantes distintos reporten valores de CQI distintos aun estando bajo condiciones de radio idénticas [36].

Debido a la falta de una definición estándar en términos de parámetros de transmisión digital, es que se debe recurrir a aproximaciones para entender cómo puede determinarse esta indicador que es clave en el desarrollo del modelo. En [37] se presenta la siguiente aproximación:

$$CQI = \begin{cases} 0 & \text{si } SNR \leq -16 \\ \frac{SNR}{1.02} + 16.62 & \text{si } -16 < SNR < 14 \\ 30 & \text{si } 14 \leq SNR \end{cases}$$

De la ecuación anterior, es fácil ver que la relación entre el valor de CQI y el valor del SNR siguen prácticamente en forma lineal. Según las distintas implementaciones, el valor del SNR podría calcularse de diversas formas y tomar valores diferentes [17].

Por otro lado en el caso de LTE, las mediciones y la retroalimentación que relaciona la configuración de transmisión es también conocida como CQI. En función de ese valor (índice CQI), el eNB toma la decisión de asignar un esquema de modulación y codificación (MCS) particular para un UE particular. Cuanto mayor sea el CQI (que van desde 0 hasta 15), mayor es

la modulación y el esquema de codificación y más alto es el rendimiento [2]. A continuación, a modo de ejemplo se presenta la tabla de características y parámetros utilizados para cada nivel de CQI informado por el terminal al eNB, donde cabe destacar que los CQI pueden ser transmitidos periódicamente o no, y pueden ser empleados por el eNB, o no.

CQI index	modulation	coding rate x 1024	efficiency
0	out of range		
1	QPSK	78	0.1523
2	QPSK	120	0.2344
3	QPSK	193	0.3770
4	QPSK	308	0.6016
5	QPSK	449	0.8770
6	QPSK	602	1.1758
7	16QAM	378	1.4766
8	16QAM	490	1.9141
9	16QAM	616	2.4063
10	64QAM	466	2.7305
11	64QAM	567	3.3223
12	64QAM	666	3.9023
13	64QAM	772	4.5234
14	64QAM	873	5.1152
15	64QAM	948	5.5547

Figura 2.26: Características de los niveles de CQI para LTE.

Capítulo 3

METODOLOGÍA

En el presente capítulo se describe la metodología utilizada para alcanzar los diversos objetivos propuestos en el trabajo de título, los cuales van desde la realización personal y profesional hasta la implementación del curso en sí. Para lograr lo anterior, se procedió inicialmente con una búsqueda y recopilación de información acerca de las tecnologías 3G y LTE, su evolución y en particular los tópicos relacionados con la QoS dentro de las redes 3G y LTE. Además se estudiaron diversas metodologías docentes las cuales permitieron un entendimiento acabado del diseño de cursos.

En el desarrollo del presente capítulo, en una primera parte, se describen las componentes docentes que crean el marco general en el cual se desarrollará el curso de QoS, es decir, definir formatos y elementos docentes a desarrollar en el curso tanto para la parte teórica como para la práctica, mientras que, en una segunda parte, se plantean las metodologías específicas relacionadas con el ciclo permanente de la gestión como proceso continuo y su relación con la calidad y la maduración de la docencia. Cabe destacar que, la Metodología Docente a utilizar se encuentra basada en el libro “Diseño de Cursos Universitarios”, Viola Soto Guzmán, 1978 y complementada por entrevistas a estudiantes de pedagogía que en estos momentos se encuentran representadas en la presente memoria, además, ya ha sido empleada en otras memorias tales como,

- “Diseño e implementación de un Curso para la Gestión/Tipificación de Proyectos en Telecomunicaciones”, Mauricio Cerda Espinoza, 2007.
- “Diseño e Implementación de un Curso de Servicios sobre Redes HFC de Nueva Generación”, Patricio Wolff Rojas, 2009.
- “Diseño e Implementación de un Curso y un Laboratorio de Servicios sobre acceso LTE y Packet Core IMS”, John Oliva Cuevas, 2012.

3.1. METODOLOGÍAS DOCENTES

En esta sección se muestra la metodología propuesta y aplicada para las fases de planificación curricular y diseño del curso. Dicha metodología se aplica en los diversos procesos de diseño tales como, la planificación curricular, la elaboración y planificación de módulos de instrucción o material docente, el diseño e implementación de laboratorios para experiencias prácticas, para terminar con una validación y revisión del proceso. Los procesos mencionados anteriormente se describen a continuación para más adelante profundizar en estos conceptos.

Planificación Curricular: Este proceso tiene por objetivo definir el programa y el formato de un curso genérico, compuesto por un conjunto de unidades programáticas con los correspondientes objetivos asociados. Además se definen los recursos y estrategias a utilizar a lo largo del curso que garanticen el éxito de este mismo.

Módulos de Instrucción: Estos módulos cubren las áreas temáticas abarcadas por la totalidad del curso, las cuales pueden ser divididas en dos grandes tópicos tales como redes 3G y LTE, y QoS en dichas redes, los cuales se tocan por separado en primera instancia para finalmente converger en el tema central, QoS en redes 3G y LTE.

Experiencias Prácticas: El proceso de construcción de las experiencias se basa en que estas son un reflejo de los contenidos que se desean cubrir, es decir, existirán laboratorios con servicios montados en 3G y LTE sobre los cuales se realizarán pruebas de QoS.

Revisión y Validación: Este proceso está compuesto por un método básico iterativo de revisión y retroalimentación con expertos en el área de la docencia y las telecomunicaciones, con el objetivo de validar los procesos anteriores y realizar los ajustes pertinentes.

3.1.1. PLANIFICACIÓN CURRICULAR

La planificación curricular tiene como objetivo principal generar un programa de curso. Éste está compuesto por: los objetivos generales y específicos; el contenido, la estructura, las unidades programáticas y los módulos de instrucción; y los recursos, en que se describen las estrategias y los medios disponibles. Esta metodología se aplica especialmente a la planificación la componente teórica del curso y consta de ocho procesos fundamentales, los cuales se pueden dividir en 2 grupos. El primer grupo consta de los cinco primeros puntos correspondientes a la etapa de planificación, mientras que el segundo grupo consta de los tres puntos restantes los cuales corresponden a la etapa de desarrollo. Dichos procesos son:

- **Etapa de Planificación**
 1. Búsqueda y Recolección de Información
 2. Formulación del Objetivo Principal y Sub-Objetivos Generales del Curso
 3. Diseño del Programa de Curso
 4. Diseño del Programa de Módulos de Instrucción
 5. Diseño del Programa de Evaluación
- **Etapa de Desarrollo**
 6. Implantación del Diagnóstico
 7. Clase Directa y Evaluación Formativa
 8. Evaluación Acumulativa

Los ocho procesos listados anteriormente constituyen el “Sistema Curso”, y estos se relacionan entre sí mediante entradas y salidas, tal como se muestra en la Figura 3.1:

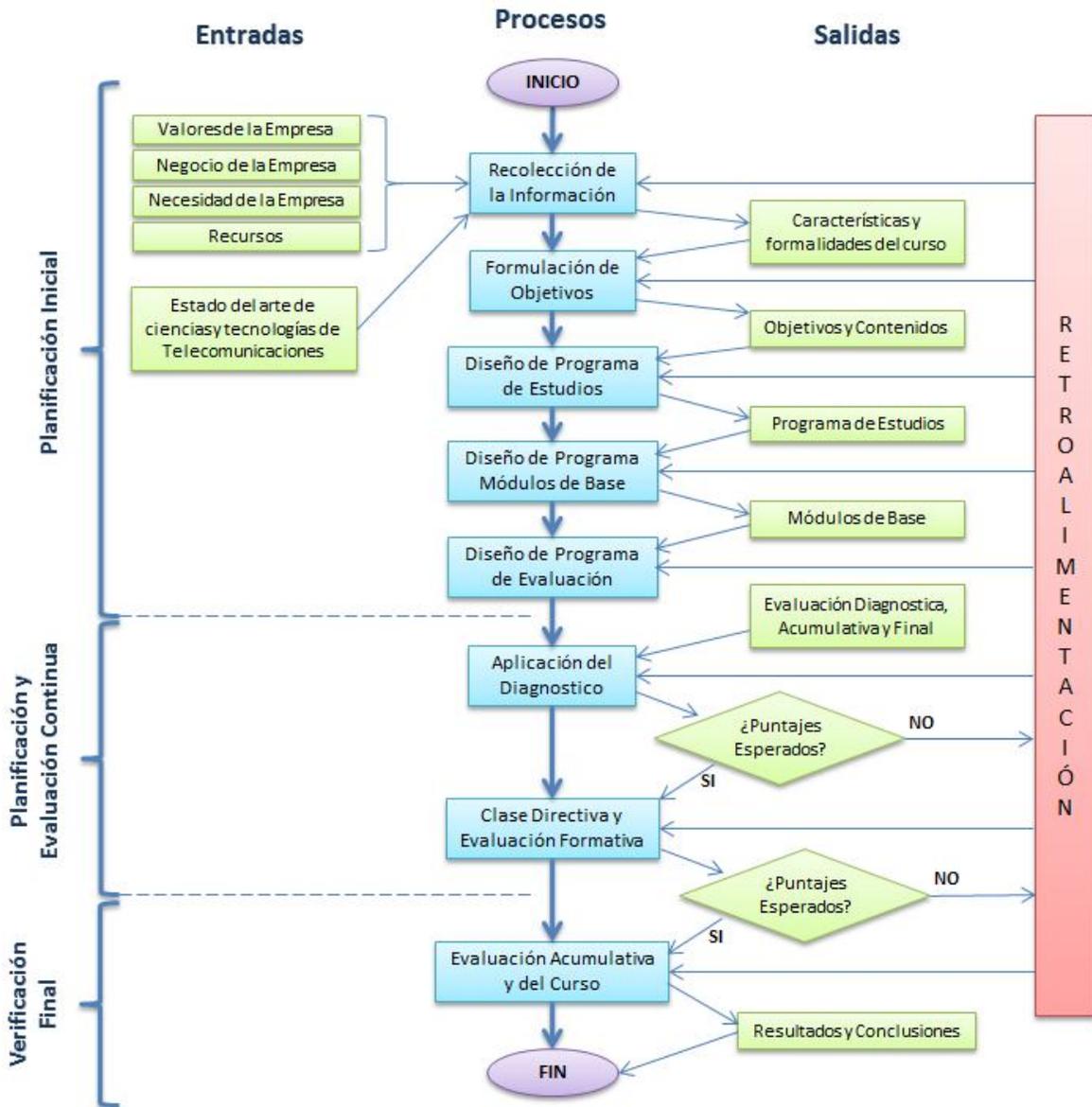


Figura 3.1: Procesos del Sistema Curso.

3.1.1.1. BÚSQUEDA Y RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

A partir de los objetivos planteados se realiza en primera instancia una búsqueda gruesa de información sobre el o los temas a tratar, es decir, QoS en redes 3G y LTE, además de otros tópicos relacionados. Luego de la búsqueda gruesa, se realiza un proceso de selección y recolección del material más afín al tema y a cada una de las unidades docentes. Por otro lado, en este proceso se identifican los siguientes puntos:

- Búsqueda y recolección de antecedentes técnicos sobre: redes 3G y LTE, además de QoS en las redes anteriormente nombradas

- Definir la estructura del plan de docencia para el Curso
- Identificar el público objetivo a quienes de preferencia iría dirigido el Curso
- Determinar la duración temporal para el desarrollo y la ejecución del Curso
- Definir los prerrequisitos y conocimientos previos que caracterizan al futuro alumnado
- Dimensionar el número de alumnos a los que iría dirigido el Curso
- Determinar la disponibilidad de los recursos, tales como, sala de clases, laboratorios, multimedios, elementos de *hardware* y de *software* y la capacidad que cada uno de ellos puede abarcar

3.1.1.2. FORMULACIÓN DEL OBJETIVO FINAL Y SUB-OBJETIVOS DEL CURSO

En este proceso se elabora un objetivo final, con respecto a lo que el alumno finalmente debería saber, hacer y valorar del curso. Posteriormente se definen las directrices bajo las cuales el alumno alcanzará los sub-objetivos que le permitirán finalmente y paso a paso alcanzar el objetivo final. Las principales actividades y criterios, para la formulación de los objetivos, son los siguientes:

- Definir la habilidad y conducta final, de tal forma que haga posible su evaluación
- Establecer en una estructura de tabla, los contenidos del curso junto con las habilidades y herramientas que se pretende entregar al alumno
- Definir una formulación funcional
- Definir una formulación operacional en el caso de los objetivos específicos
- Definir una formulación unitaria y secuencial
- Finalmente la formulación de los objetivos debe ser afín a la misión, los valores y los requerimientos de la Universidad de Chile. Es posible lograr lo anterior a través de una validación de objetivos con autoridades docentes de la misma Universidad.

3.1.1.3. DISEÑO DEL PROGRAMA DE CURSO

El programa de curso es un instrumento de análisis y síntesis, en donde se explican las relaciones que debiesen existir entre los sub-objetivos y como el logro sistemático de estos conllevan el alcance de objetivos Finales. El Programa posee una estructura en la cual cada unidad programática o lección debe tener una directa relación con alguno de los sub-objetivos. Lo anterior se representa gráficamente en la Figura 3.2.

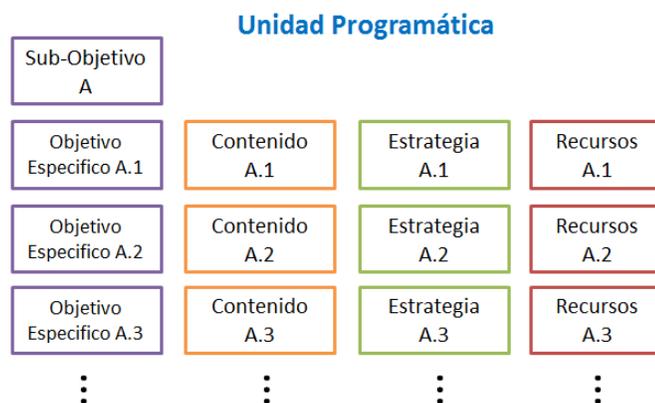


Figura 3.2: Componentes de una Unidad Programática

3.1.1.4. DISEÑO DEL PROGRAMA DE MÓDULOS DE INSTRUCCIÓN

Este proceso consiste en el diseño de un programa estrictamente ligado con el programa de curso, elaborado detalladamente cada uno de los módulos del proceso de enseñanza de tal forma de cumplir con los objetivos propuestos. Cada una de las partes del programa es analizada, ya sean, los sub-objetivos, contenidos, estrategias y recursos, para gestionar los programas de evaluación y módulos o unidades.

Un modelo general de un programa de módulos de instrucción contiene:

- **Introducción:** Se describen las tareas a realizar, los conceptos o procedimientos claves y su vinculación con los temas tratados en módulos anteriores o que se tratarán posteriormente.
- **Objetivo General del Módulo:** Se describe el objetivo principal de cada unidad programática a la que pertenece el módulo.
- **Objetivos Específicos:** Se desprenden los objetivos específicos o sub-objetivos de la sección correspondiente del programa, involucrados en el objetivo general.
- **Actividades:** Expresiones creativas y operacionales de las estrategias enunciadas en las unidades programáticas.
- **Síntesis:** Se hace hincapié en los objetivos que se pretendió que el alumno cumpliera a través de las actividades de la unidad programática.
- **Bibliografía:** Finalmente se exponen las fuentes de donde se ha recopilado la información con el objetivo de que el alumno profundice por su cuenta en los temas de mayor interés.

3.1.1.5. DISEÑO DEL PROGRAMA DE EVALUACIÓN

Este proceso corresponde al diseño del control de cumplimiento de los objetivos que se implementarán en la etapa inicial, durante y en la etapa final de cada módulo de instrucción del curso. Este proceso debe hacer entrega de datos medibles de la efectividad del aprendizaje estando focalizado hacia el objetivo principal.

Se realizará una prueba de diagnóstico al inicio del curso a modo de evaluar y medir el cumplimiento de los prerrequisitos fijados inicialmente en el programa de curso. Dicha medición tiene por objetivo documentar la distancia entre los prerrequisitos y el objetivo final del curso. Por otro lado, la prueba de diagnóstico también es un punto de comparación para medir la superación del alumno hacia el final del curso.

Durante el desarrollo del curso se realizaran test de “Autoevaluación”, los cuales estarán referidos a cada una de las unidades temáticas del curso. Finalmente, al término de cada unidad temática se realizará una prueba que mida los contenidos y objetivos alcanzados y asimilados por el alumnado para dicha unidad.

3.1.1.6. IMPLANTACIÓN DEL DIAGNÓSTICO

El objetivo de este proceso es determinar con exactitud los requisitos y habilidades previas necesarias para abordar cada módulo, con el fin de tomar precauciones y acciones tempranas en concordancia a los resultados en forma retroalimentada, y con ello modificar de forma más eficiente los contenidos específicos. Dichas acciones consisten básicamente en;

reforzar, enfatizar, desvalorizar, agregar, crear, eliminar y modificar contenidos del curso. Luego de definir los prerrequisitos, se procede a adaptar los programas a las necesidades del curso respondiendo un conjunto de preguntas como por ejemplo:

- ¿Es necesario reforzar ciertos requisitos previos? ¿Qué prerrequisitos reforzar?
- ¿Es necesario destacar o enfatizar contenidos del programa de diseño, debido a falencias del alumnado con algunos prerrequisitos? ¿Cuáles?
- ¿Es necesario agregar o eliminar contenidos del programa de diseño, debido a falencias del alumnado con algunos prerrequisitos? ¿Cuáles?
- ¿Es necesario crear un programa de nivelación donde agrupar contenidos en las cuales se presenten falencias por parte del alumnado?

3.1.1.7. CLASE DIRECTIVA Y EVALUACIÓN FORMATIVA

Luego de recorridos los puntos anteriores con las correspondientes modificaciones y actualizaciones en el programa, el profesor imparte las clases tanto teóricas como prácticas, orientando el curso de acuerdo a la planificación de los módulos y los instrumentos de evaluación diseñados. Las clases, serán apoyadas con material visual y serán interactivas, en el sentido que serán permitidas las preguntas y sugerencias de los alumnos a tratar en mayor o menos profundidad un tema.

3.1.1.8. EVALUACIÓN ACUMULATIVA

Este proceso evalúa el cumplimiento final de los objetivos al término del proceso de enseñanza y aprendizaje del curso. Además permite evaluar la eficiencia y efectividad del programa y así obtener la información necesaria para realizar las correcciones pertinentes en nuevas y futuras implementaciones del sistema y del curso en sí. El proceso de evaluación es un conjunto de unidades operacionales específicas, en donde cada evaluación desarrolla niveles de mayor profundidad y es referida a aspectos definidos dentro de cada unidad del programa de curso. Por otro lado, los módulos y sus correspondientes evaluaciones se presentan como elementos independientes que pueden ser identificados y organizados de diversas maneras con el fin de satisfacer las necesidades del curso y/o las del alumnado.

3.1.2. DISEÑO CURRICULAR POR COMPETENCIAS

El modelo curricular basado en competencias se preocupa de enfocar los problemas con los que lidiarán los profesionales como eje principal para el diseño. Dicho modelo tiene por características el hecho de utilizar recursos que sean lo más parecido a la vida real (o al menos la simulen), que ofrece diferentes tipos de recursos para que los alumnos realicen un completo análisis que les permita resolver los problemas y por último, que enfatiza el trabajo grupal en equipos apoyados por el profesor correspondiente con el que se abordan de forma integral y secuencial un problema a la vez. Las principales características y ventajas de un programa curricular por competencia son:

- El conjunto de competencias que los alumnos deberán cumplir son meticulosamente identificadas y verificadas por los diseñadores y expositores del curso.
- Los contenidos y las evaluaciones tienen por objetivo cada una de las competencias por separado.

- El avance de los alumnos a través del desarrollo del curso es a la velocidad que ellos mismos fijan, en base a las competencias demostradas.
- El método de enseñanza debe estar enfocada al aprendizaje como un proceso de cada estudiante y no a la simple exposición de las temáticas del curso
- Un programa curricular por competencias pareciera responder de mejor manera a los problemas de compatibilidad entre el mundo de la educación y el mundo laboral.

Según [50], se define la competencia de los individuos como “la resultante de un conjunto de atributos (conocimientos, habilidades, actitudes, valores, etc.) que se organizan en combinaciones diversas para llevar a cabo tareas específicas. En consecuencia, el sujeto competente es aquél que posee ciertos atributos necesarios para desempeñar una actividad de acuerdo con una norma apropiada”.

3.1.3. PLANIFICACIÓN Y DISEÑO DE MÓDULOS TEÓRICOS Y EXPERIENCIAS PRÁCTICAS

3.1.3.1. PLANIFICACIÓN DE MÓDULOS Y EXPERIENCIAS

La planificación se realiza en una primera etapa del proyecto de construcción de los módulos, tanto teóricos como prácticos, tomando en cuenta los procesos de planificación curricular, y de esta forma se crean grupos temáticos abstractos y relacionados. Por una parte se tienen los grupos de contenido teórico los cuales se desarrollarán a través de clases expositivas realizadas por el profesor y acompañadas de apoyo visual en formato de diapositivas, mientras que, por otro lado, se tienen los grupos de experiencias prácticas o de laboratorio las cuales serán el resultado del mapeo entre las temáticas teóricas y las actividades prácticas a realizar, de manera de identificar los contenidos cubiertos por cada una de ellas.

3.1.3.2. DISEÑO DE MÓDULOS Y EXPERIENCIAS

A continuación son presentados los elementos básicos que constituyen la estructura de los módulos de instrucción, es decir, cada uno de los módulos seguiría la siguiente pauta:

- **TÍTULO:** Se presenta un Título de Módulo de instrucción breve y que describa y englobe de la mejor forma los contenidos a tratar en cada uno de los módulos en particular.
- **ÍNDICE:** Se presenta un Índice General del documento, claramente detallado con hasta cuatro niveles de profundidad en temas cada vez más específicos.
- **RESUMEN:** Se presenta un resumen al inicio de cada módulo el cual debe contener de manera breve las principales ideas y conceptos claves del correspondiente módulo.
- **OBJETIVOS:** Se describen en este apartado las habilidades y conocimientos que se desean que el alumno maneje con claridad al final de cada módulo.
- **CUERPO:** Corresponde al desarrollo en sí de los temas a tratar en cada módulo. Esta es la sección más extensa del documento y es donde se presentan los antecedentes teóricos de cada módulo.
- **ANEXOS:** De forma opcional, se puede incluir una sección que contenga material de estudio que por extensión no pueda ser abordada en el curso pero que sean necesarias para comprender de manera más acabada el funcionamiento o estructura del contenido expuesto.

- **BIBLIOGRAFÍA:** Se presenta un listado con las principales fuentes de información que permiten al alumno profundizar por voluntad propia en los temas de mayor interés.

3.1.4. METODOLOGÍA DE LABORATORIOS

Un equipo de laboratorio es un conjunto de instrumentos con funciones específicas, útiles para desarrollar un trabajo de diagnóstico o investigación. En este caso, el laboratorio a utilizar es el Laboratorio LTE ubicado en el 5to piso del DIE. Al comienzo de cada laboratorio se dictara una pequeña charla a modo de introducción y motivación a las temáticas que serán abordadas, se espera que en gran medida el alumno esté familiarizado con los conceptos ya que cuando las experiencias de laboratorio se lleven a cabo. Dichos conceptos teóricos ya habrán sido tratados anteriormente en la parte teórica del curso. Luego de la charla introductoria, se le señalará al alumnado las normas básicas de higiene y seguridad requeridas para que las experiencias prácticas resulten de la forma más expedita y segura posible.

Las experiencias de laboratorio, basadas en prototipos de prueba, serán realizadas por los alumnos en grupos de 3 a 4 personas, lo que fomentará la discusión y el análisis de las problemáticas enfrentadas y los resultados obtenidos a través de las diversas pruebas realizadas. El trabajo de laboratorio tiene por objetivo validar y consolidar los conocimientos teóricos obtenidos en la primera mitad del curso, por lo tanto, el expositor o profesor, tendrá el deber de asociar la mayor cantidad de elementos teóricos con los elementos encontrados en la práctica.

Cada grupo será dotado de una guía de laboratorio o módulo de instrucción en la que se les detallará claramente los pasos a seguir para lograr los objetivos de cada experiencia, objetivos que también estarán explícitos en la guía de laboratorio junto con un esquema del laboratorio y de los elementos que jugarán roles fundamentales durante el desarrollo de los prototipos de prueba. El módulo de instrucción, en sus partes finales, tendrá tablas que el alumno podrá rellenar según se vayan dando los resultados para las diferentes pruebas. Finalmente la guía de laboratorio exigirá explícitamente a los alumnos, responder ciertas preguntas, analizar y concluir respecto de los resultados obtenidos en los prototipos de prueba.

3.1.5. VALIDACIÓN DE RESULTADOS

En una búsqueda por la eficiencia y la optimización de los procesos de planificación curricular y elaboración de actividades se hace necesario construir un sistema que me permita realizar la validación de los resultados. Básicamente, dicho sistema consiste en la implementación del curso orientado hacia un grupo de personas que cumplan los prerrequisitos establecidos con el fin de lograr una muestra que debiera reflejar características muy similares de los alumnos a quienes en verdad debiera ir dirigido el curso.

La Figura 3.3 muestra a través de un diagrama de flujos el proceso de estructuración que se retroalimenta de forma iterativa, y que a su vez, entrega información de las modificaciones y ajustes a la planificación curricular, planificación de actividades y medición de los tiempos de ejecución.



Figura 3.3: Diagrama de Flujos de los Procesos de Validación de Resultados.

Tal como se logra apreciar en la Figura 3.3 en primera instancia el Profesor **Asigna la Actividad** explicando el propósito de esta misma y entregando instrucciones detalladas junto con la metodología correspondiente. Luego, el alumno se propone a **Ejecutar un paso de la Actividad** para posteriormente **Verificar los Resultados** obtenidos, si estos están correctos, el alumno continúa con el paso siguiente, mientras que si los resultados no son correctos, el alumno intenta **Solucionar el Problema** y vuelve a verificar los nuevos resultados obtenidos. Posteriormente, el alumno realiza una **Revisión General** del proceso, con el objetivo de incorporar de forma íntegra los pasos ejecutados a lo largo de la actividad. Finalmente, el profesor **Califica a los Participantes** de acuerdo a los resultados generales obtenidos al término de la actividad.

3.2. METODOLOGÍA DE PROTOTIPOS DE PRUEBA

En esta sección se detalla la metodología a seguir para la concreción de los objetivos planteados en el primer capítulo. Se parte por señalar al lector el diseño de las pruebas de concepto, considerando las redes y servicios en estudio. También, se describen aspectos técnicos de los servicios que serán montados sobre esta arquitectura y, por último, se indica el procedimiento para la toma de datos de QoS.

Se considera como objetivo final de la metodología la obtención de indicadores de QoS en servicios de transferencia de datos, principalmente basado en FTP, montados en el Laboratorio LTE y evaluados en una red 3.95G LTE que permitan comprender la repercusión de los diferentes factores que afecta la QoS. Para esto, se entregan métodos, a modo de prototipos de prueba, que son puestos en marcha, tanto en una red de área local LTE, como en una red 3G con acceso a Internet desplegada por alguno de los actuales operadores de telecomunicaciones.

Los prototipos de prueba se realizan para un caso patrón, tanto para la red LTE como para la red 3G. Luego se varía entre diversos escenarios, basados en la modificación de los factores que afectan la QoS definidos en el Capítulo II (sección 2.6), con el objetivo de identificar las reales consecuencias, sobre el nivel de QoS, que provocan dichos factores en los diversos escenarios propuestos.

3.2.1. DISEÑO DE PROTOTIPOS DE PRUEBA

En este apartado se encuentran los parámetros de diseño a considerar en los prototipos de prueba asociado a cada factor que afecta la calidad, teniendo siempre como base el Caso Patrón, la elección de los servicios a medir y las redes utilizadas. Para el diseño de los prototipos de prueba se define un caso patrón el cual será comparado con otros escenarios bajo el criterio de *ceteris paribus*, es decir, basándose en el caso patrón, se modificará uno de los factores definidos a continuación sin alterar los demás, con el objetivo de precisar los efectos reales causados específicamente por la variación de uno y solo uno de los factores anteriormente mencionados. Para cada prototipo de prueba será medido el *throughput* a medida que los factores que afectan la QoS se van variando, esto nos otorgará un indicador de cómo la calidad de servicio percibida por el usuario se va empeorando a medida que se modifican ciertos parámetros de red.

3.2.1.1. FACTORES SELECCIONADOS

Existen muchos factores y parámetros que pueden definir o caracterizar una red, en particular para la realización de los prototipos de prueba, se han considerado los más fundamentales y de considerable incidencia en la QoS percibida por el usuario final. En el Capítulo II se describieron una serie de factores que afectan la QoS percibida por el usuario de las cuales las siguientes fueron seleccionadas para realizar los prototipos de prueba detallados posteriormente:

- a) Terminales
- b) Latencia (*Latency*)
- c) Variación de latencia (*Jitter*)
- d) Pérdida de paquetes (*Packet Loss*).

- e) Tecnologías de Acceso
- f) Protocolos de Transporte
- g) Distancia a la Antena
- h) Control de Congestión
- i) CQI

Cabe destacar que las pruebas *Protocolos de Transporte* y *Distancia a la Antena* se hacen inviábiles realizarlos para los prototipos de prueba asociados a las redes 3G, no así para LTE. Lo anterior se debe a que por una parte no existen herramientas que permitan realizar transferencias de datos UDP para *smartphones*, y por otro lado, el control sobre la distancia a la antena en redes 3G es complejo ya que se desconoce los métodos de asignación a antenas asociado a los operadores de telecomunicaciones.

3.2.1.2. CASO PATRÓN 3G

El caso patrón para 3G se define como la transmisión de un archivo desde un servidor FTP situado en Chile y montado sobre una maquina con sistema operativo Windows 7, a través de Internet, al cual se accesa mediante tecnología de acceso HSDPA desplegada por algún operador nacional, utilizando un Smartphone *Samsung Galaxy Ace S5830* como terminal con sistema operativo *Android 2.3* y bajo los criterios de un plan de datos que restringe la velocidad máxima de bajada a 2 Mbps. Dichos detalles del Caso Patrón se resumen en la siguiente figura.

Terminal	<ul style="list-style-type: none"> • Samsung Galaxy Ace S5830 • Android 2.3
Tecnología de Acceso	<ul style="list-style-type: none"> • HSDPA
Protocolo de Transporte	<ul style="list-style-type: none"> • TCP
Efectos del Jitter	<ul style="list-style-type: none"> • Sin Variación
Efectos Packet Loss	<ul style="list-style-type: none"> • Sin Variación
Efectos Delay	<ul style="list-style-type: none"> • Sin Variación
Plan Contratado	<ul style="list-style-type: none"> • Plan de Datos de 2 Mbps
Aplicaciones y Servidores	<ul style="list-style-type: none"> • Servidor FTP sobre Windows 7

Figura 3.4: Resumen de Parámetros del Caso Patrón 3G.

3.2.1.3. CASO PATRÓN LTE

El caso patrón para LTE se define como una transmisión de archivo desde un servidor FTP sobre Windows 7, ubicado en el Laboratorio LTE, a través de red LAN con una tecnología de acceso LTE montada en el Laboratorio LTE del DIE de la FCFM de la Universidad de Chile, utilizando un *Modem Huawei E398* como terminal y bajo una restricción de 5 Mbps de velocidad máxima de bajada para agregar una cuota mayor de realismo al prototipo. Dichos detalles del Caso Patrón se resumen en la siguiente figura.

Terminal	• Modem Huawei E398
Tecnología de Acceso	• LTE
Protocolo de Transporte	• TCP
Efectos del Jitter	• Sin Variación
Efectos Packet Loss	• Sin Variación
Efectos Delay	• Sin Variación
Aplicaciones y Servidores	• Servidor FTP sobre Windows 7

Figura 3.5: Resumen de Parámetros del Caso Patrón LTE.

3.2.2. METODOLOGÍA DE SIMULACIÓN

En los prototipos de prueba se plantean ciertos escenarios de red variables, es decir, se forzará que la conexión Cliente-Servidor presente parámetros de red modificables fácilmente con el fin de cuantificar el impacto de los factores seleccionados (ver 3.2.1.1) en la QoS. Para ello es necesario emular condiciones de red para lo cual se ha seleccionado la siguiente herramienta, descrita a continuación.

Se establece para la simulación de condiciones de red, el uso del programa de Microsoft *Network Emulator for Windows Toolkit* (NEWT). Esta herramienta permite la adición del elemento de control en la interfaz de red a ser usada para la comunicación del cliente con el servidor FTP. La implementación nada más requiere de la instalación del programa en S.O. Windows 7 y de los permisos de administrador. Una vez ejecutado, establece una búsqueda de las interfaces de red existentes en la máquina y entre los parámetros de red ajustables se encuentran:

- Ancho de banda
- Latencia
- Pérdidas de Paquete
- Errores
- Inyección de tráfico

Para empezar la simulación, el primer paso consiste en la elección de la interfaz de red. Aquí se distinguen las interfaces conectadas a la máquina vía dirección MAC. Para reconocer la dirección MAC de la interfaz a utilizar se debe ejecutar el siguiente comando en la consola de Windows (CMD): *ipconfig/all*.

Una vez ejecutado, se mostrarán en la consola todas las interfaces y túneles habilitados. Se debe buscar la interfaz a controlar (LAN o Wireless LAN) y en la sección “Dirección Física” se encontrará la dirección MAC. Con la interfaz ya reconocida, se procede al segundo paso: agregación de un filtro (new filter) [16]. En la pestaña “Configuration” se especifica la acción “New Filter”, según lo mostrado en la siguiente ilustración:

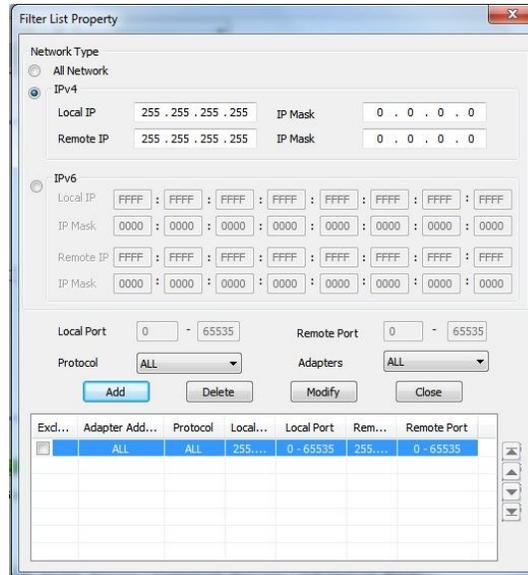


Figura 3.6: Configuración de un filtro en NEWT.

Para el uso, en esta metodología, se utiliza:

- Network Type: IPv4
 - IP local y remota 255.255.255.255 con máscara 0.0.0.0
- Puertos:
 - Tanto local como remoto: todos
- Protocolo: Todos
- Adaptadores: la dirección física del puerto LAN

Para finalizar basta con presionar “Add” y “Close”. Una vez hecho esto, se genera la siguiente ilustración en la interfaz gráfica del programa:

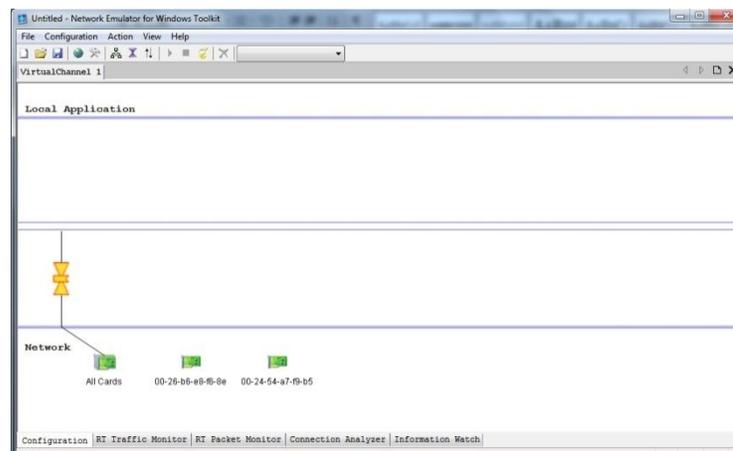


Figura 3.7: Interfaz de usuario de NEWT.

El siguiente paso consiste en la adición de un nuevo enlace. Para esto, se debe presionar “New link” en la pestaña “Configuration”. Al hacer esto, la interfaz gráfica del usuario queda como sigue:

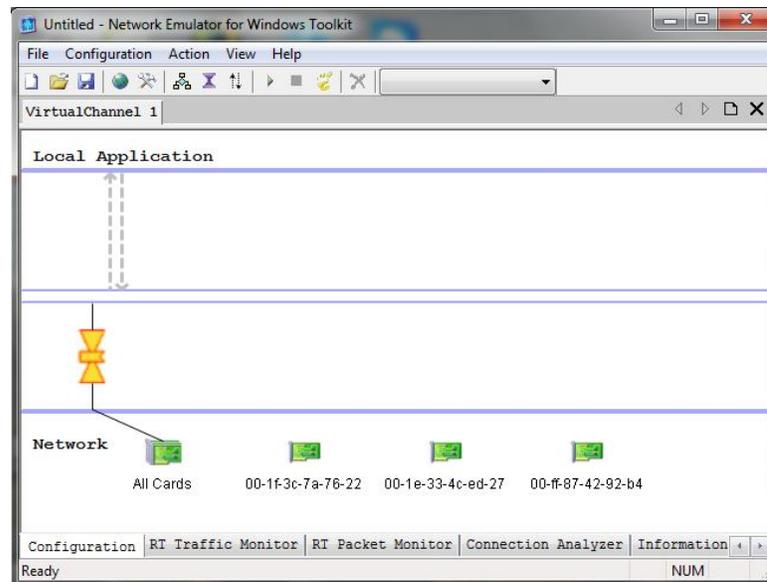


Figura 3.8: Configuración Final de NEWT.

Para finalizar, se debe configurar las condiciones de congestión que se quieran simular. Se realiza click derecho sobre el enlace agregado y se seleccionan:

- UpStream (Enlace de Subida)
- DownStream (Enlace de Bajada)

Es decir, se deben configurar las reglas para los enlaces de subida y bajada por separado. Esta será seleccionada de acuerdo a la prueba específica. Por ejemplo, en el caso de una descarga de archivo a través de un servidor FTP no es necesario establecer condiciones sobre el enlace de subida ya que para el tráfico de interés está en el de bajada. En caso de desconocimiento de cómo opera el servicio a congestionar, se pueden repetir las configuraciones para ambos enlaces [16]. Los parámetros posibles de controlar son:

- Pérdidas
- Errores
- Latencia
- Ancho de banda y Manejo de Colas
- Agregación de tráfico
- Reordenamiento de Paquetes
- Escenarios de desconexión

Una vez configurados, se presiona la pestaña “Action” y luego “Run” o, alternativamente, se puede presionar el icono verde de “play”.

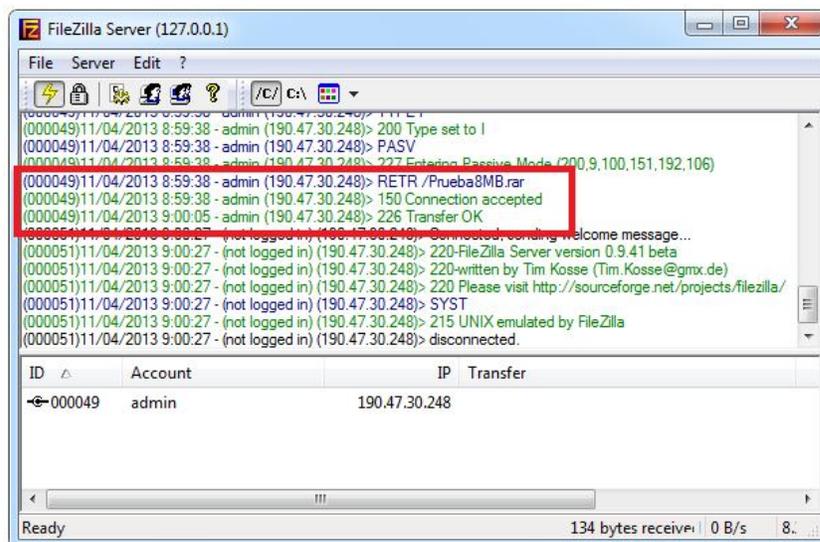
3.2.3. METODOLOGÍA DE MEDICIÓN

Para el diseño y la ejecución de los diversos prototipos de prueba es necesario realizar mediciones de los parámetros que identifican una red, tales como, la latencia (*Latency*), tasa de descarga de datos (*throughput*), variación de latencia (*jitter*) y pérdida de paquetes (*Packet Loss*), es por ello que se ha elegido un conjunto de herramientas encargadas de medir dichos parámetros de forma de ejemplificar numéricamente las alteraciones en la red. Las mediciones de calidad deben ser obtenidas en diversas condiciones de congestión de red o escenarios los cuales serán detallados posteriormente. Se presentan a continuación las metodologías de medición adoptadas en el contexto de este trabajo de título, para ser utilizadas cuando sea necesario.

3.2.3.1. MEDICIÓN DE THROUGHPUT

Existe un sinnúmero de *software* que miden la tasa de transferencia de datos instantánea o *throughput instantáneo*, en la web. Dichas herramientas cuentan con diversas opciones que permiten precisar ciertos parámetros de medición, ya sea, las unidades de medición, el puerto donde se mide y la dirección IP de origen o destino en la que se requiere realizar la medición. Por otro lado, algunos medidores cuentan con interfaces gráficas donde queda representado en el tiempo los valores de *throughput* tanto de subida como de bajada. En esta ocasión, la variable de interés es más bien el *throughput promedio*, es decir, la tasa de datos promedio a la que se ve sometida una descarga de archivo.

Para realizar la medición de *throughput promedio*, se mide el tiempo total que demora en realizarse una descarga desde el Servidor FTP, dicho tiempo puede ser fácilmente calculado a través de un cronometro o gracias a los datos entregados por el Servidor FTP FileZilla, el cual nos indica la hora exacta en que se inicia y se completa la descarga por lo que la diferencia entre ambos tiempos sería el tiempo total de descarga. Finalmente, al tamaño total del archivo descargado se le divide en el tiempo de descarga para obtener el *throughput promedio* de la transmisión de datos FTP.



```

FileZilla Server (127.0.0.1)
File Server Edit ?
[C:/] C:\
(000049)11/04/2013 8:59:38 - admin (190.47.30.248)> PWD /
(000049)11/04/2013 8:59:38 - admin (190.47.30.248)> 200 Type set to I
(000049)11/04/2013 8:59:38 - admin (190.47.30.248)> PASV
(000049)11/04/2013 8:59:38 - admin (190.47.30.248)> 227 Entering Passive Mode (200,9,100,151,192,106)
(000049)11/04/2013 8:59:38 - admin (190.47.30.248)> RETR /Prueba8MB.rar
(000049)11/04/2013 8:59:38 - admin (190.47.30.248)> 150 Connection accepted
(000049)11/04/2013 9:00:05 - admin (190.47.30.248)> 226 Transfer OK
(000051)11/04/2013 9:00:05 - (not logged in) (190.47.30.248)> Connected, sending welcome message...
(000051)11/04/2013 9:00:27 - (not logged in) (190.47.30.248)> 220-FileZilla Server version 0.9.41 beta
(000051)11/04/2013 9:00:27 - (not logged in) (190.47.30.248)> 220-written by Tim Kosse (Tim.Kosse@gmx.de)
(000051)11/04/2013 9:00:27 - (not logged in) (190.47.30.248)> 220 Please visit http://sourceforge.net/projects/filezilla/
(000051)11/04/2013 9:00:27 - (not logged in) (190.47.30.248)> SYST
(000051)11/04/2013 9:00:27 - (not logged in) (190.47.30.248)> 215 UNIX emulated by FileZilla
(000051)11/04/2013 9:00:27 - (not logged in) (190.47.30.248)> disconnected.

ID  Account      IP      Transfer
--  -
000049  admin          190.47.30.248

```

Figura 3.9: Visualización de tiempo de descarga en FileZilla.

Por ejemplo, en la figura anterior se descargó un archivo de 8 MB. La descarga empezó a las 8:59:38 y terminó satisfactoriamente a las 9:00:05, por lo que demoró 27 segundos, lo cual implica que el *throughput promedio* de la descarga fue de 303 kBps o 2,4 Mbps.

Por otro lado, para la medición del *throughput instantáneo* se puede utilizar el programa **DU METER desde el lado del Servidor**. Luego de descargar e instalar *DU Meter*, se desplegará una pequeña viñeta en nuestro escritorio la cual resume los valores de *throughput* en la subida y en la bajada para todo el tráfico cursado por el equipo donde se encuentre instalado el programa.

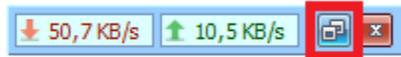


Figura 3.10: Viñeta desplegada por *DU Meter* al Iniciar.

Dicha viñeta se puede ampliar, seleccionando el botón de maximización mostrado en la imagen anterior, generando un gráfico en tiempo real de las velocidades de descarga (en rojo) y subida (en verde) tal como se muestra en la siguiente figura.



Figura 3.11: Interfaz gráfica de *DU Meter* para la medición de *Throughput*.

Como fue mencionado anteriormente, una de las opciones ofrecidas por el programa es la de realizar mediciones de tráfico proveniente de direcciones IPs o redes en particular. Es posible filtrar en el Servidor, que la medición sea hecha para el tráfico proveniente solo desde el terminal del usuario en el caso de que el usuario tenga una IP pública, tal como se muestra en la siguiente figura, para lo cual hay que hacer *click* derecho en la interfaz gráfica y seleccionar “Opciones”. De otra forma si el usuario no posee una IP pública, solo se podrá analizar el tráfico de subida en el Servidor a modo de determinar el *throughput instantáneo* de la transmisión de archivos FTP.

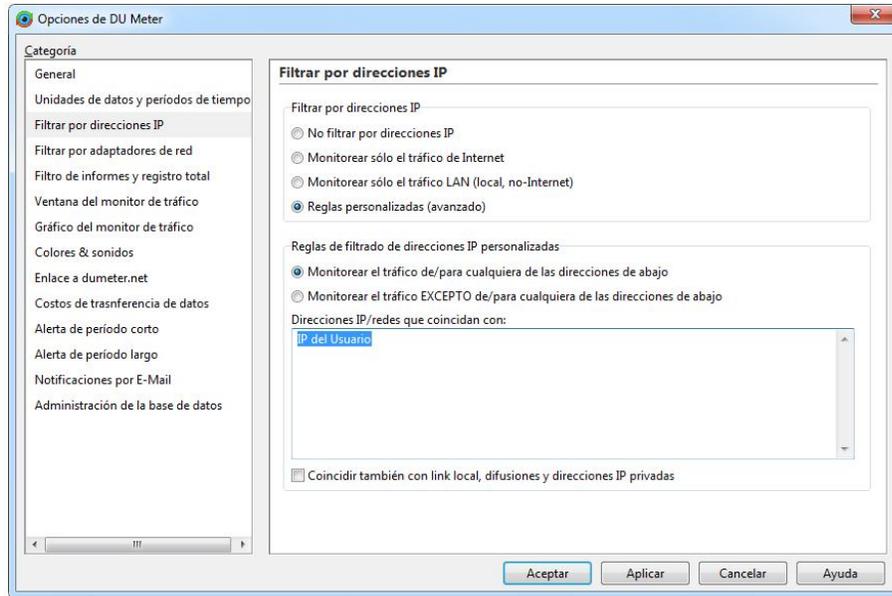


Figura 3.12: Interfaz gráfica de DU Meter para filtrar tráfico por IP.

3.2.3.2. MEDICIÓN DE LATENCIA

3.2.3.2.1. MEDICIÓN DE LATENCIA PARA 3G

Para medir la latencia desde el terminal *smartphone*, se utilizará una aplicación llamada “*Fing – Network Tools*” [25] disponible en *Play Store* a través de la cual se pueden realizar pruebas de ping hacia la dirección del Servidor, obteniendo los datos correspondientes a la latencia. Una vez descargada e instalada la aplicación “*Fing – Network Tools*”, esta se ejecuta y se selecciona el botón de la esquina superior derecha con forma de tuerca, este despliega un menú de opciones entre las cuales se encuentre “*Ping*”, al seleccionar esta opción se nos solicita la dirección IP del Servidor, la cual ingresamos para que luego la aplicación realice el *Ping* y nos entregue los resultados. El proceso enunciado se muestra en la siguiente figura.

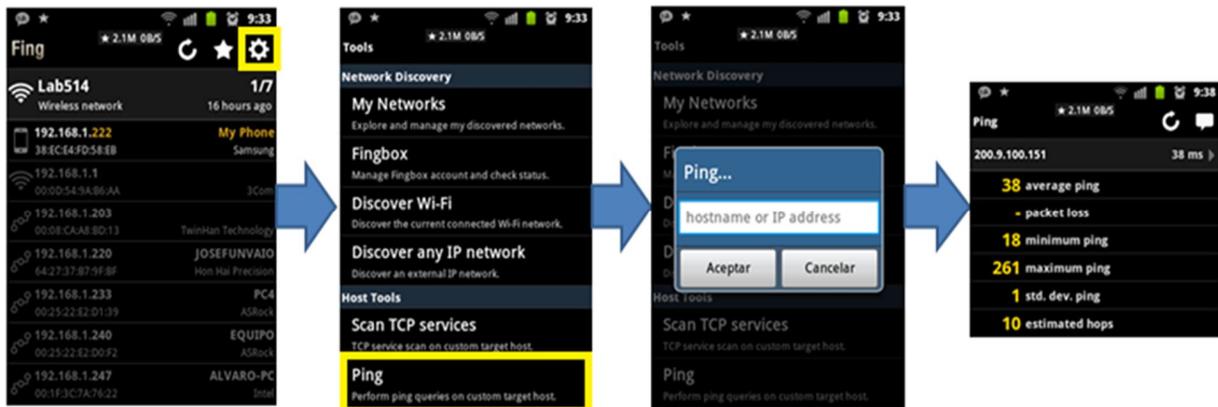


Figura 3.13: Como medir Latencia a través de “*Fing – Network Tools*”.

3.2.3.2.2. MEDICIÓN DE LATENCIA PARA LTE

Para medir el retardo y/o latencia en LTE, basta con realizar una prueba PING desde el Cliente en la línea de comandos del sistema operativo entre los puntos que se quiere realizar la medición. Esta aplicación del protocolo ICMP realiza un echo *request* hacia la IP de destino empezando a registrar la latencia una vez recibe el primer *Acknowledgement* (ACK). Con la única salvedad de que RTT es el tiempo de ida y vuelta que demora la solicitud en ser contestada.

Para realizar las mediciones de latencia se utilizará el comando *ping* desde la línea de comandos del sistema operativo entre los puntos que se quiere realizar la medición, es decir, desde el terminal del usuario al Servidor. Lo anterior se logra ingresando a la consola del sistema operativo del usuario e ingresando el comando:

PING 200.9.100.151

Donde, 200.9.100.151 es la IP del Servidor. Luego se rescata el valor medio de las estadísticas desplegadas por el comando *ping* y se almacena como el valor de latencia para el prototipo de prueba en que se esté midiendo. En la siguiente figura se muestra como la consola de comandos de Windows despliega las estadísticas de los tiempos aproximados de ida y de vuelta en milisegundos.

```

Administrador: C:\Windows\system32\cmd.exe
Microsoft Windows [Versión 6.1.7600]
Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

C:\Users\Alvaro>ping 200.9.100.151

Haciendo ping a 200.9.100.151 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 200.9.100.151: bytes=32 tiempo=22ms TTL=119
Respuesta desde 200.9.100.151: bytes=32 tiempo=26ms TTL=119
Respuesta desde 200.9.100.151: bytes=32 tiempo=32ms TTL=119
Respuesta desde 200.9.100.151: bytes=32 tiempo=40ms TTL=119

Estadísticas de ping para 200.9.100.151:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
              (0% perdidos)
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 22ms, Máximo = 40ms, Media = 30ms

C:\Users\Alvaro>

```

Figura 3.14: Interfaz gráfica del CMD para la medición de Latencia en Windows.

3.2.3.3. MEDICIÓN DE JITTER

Para realizar las mediciones de *jitter* se utiliza un *software* denominado “**IPerf**”, el cual corresponde a un programa basado en herramientas de código abierto, a través de comandos, y una mirada cliente-servidor para la obtención de parámetros de red en el enlace que los une. Estas pruebas requieren como entrada la dirección IP del cliente y el servidor; el puerto del cliente; el protocolo de transporte usado para el envío de tráfico (TCP o UDP); los tamaños de *buffer*, paquetes y ancho de banda de la conexión en el caso de una prueba UDP y el tamaño de ventana y *buffer* en la prueba TCP.

Alternativamente, existe una implementación paralela de este programa con una interfaz gráfica llamada JPERF, la cual genera los comandos de configuración automáticamente tan sólo entregando la configuración deseada de la prueba. A parte de esto, también cambia la manera de presentar los datos ya que si bien IPERF los arroja desde la línea de comandos, JPERF entrega un gráfico en tiempo real de la tasa de transmisión de datos y variación de latencia.

Para medir la variación de la latencia o *Jitter*, se utiliza la herramienta JPERF 2.0.2, la cual se ejecuta tanto en el Servidor como el Cliente. Ya dentro de JPERF se selecciona la opción de transmisión UDP para registrar los valores promedio de *jitter* en dicha transmisión. Cabe destacar que dichos valores de *jitter* son desplegados solo en la interfaz del Servidor, como se verá a continuación.

En el Servidor se procede a realizar la siguiente configuración y se le da *click* al botón que dice “**Run IPerf!**”:

- Listen Port: 5001
- Num Connections: 1
- Transport Layer Options
 - UDP

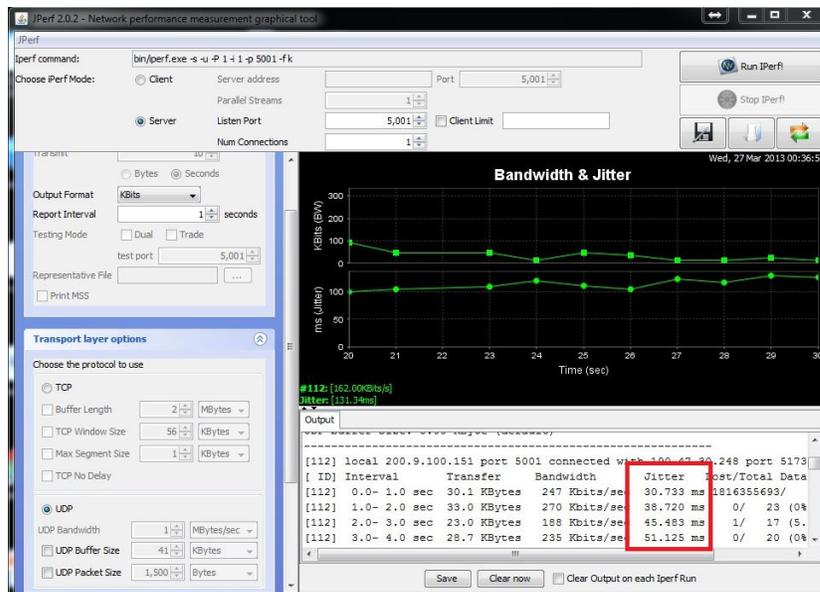


Figura 3.15: Interfaz gráfica de JPERF para la medición de Jitter en el Servidor.

Inmediatamente después de configurar el Servidor, este estará abierto a las conexiones para la transmisión de tráfico UDP a través del puerto 5001, por lo que ahora solo se debe configurar el cliente para que inyecte tráfico UDP hacia la dirección del Servidor 200.9.100.151 y hacia el puerto 5001. Por lo tanto, luego de realizar la siguiente configuración, se le da al botón que dice “**Run IPerf!**”:

- Server Address: 200.9.100.151
- Port: 5001
- Parallel Streams: 1
- Transport Layer Options
 - UDP
 - UDP Bandwidth: 100 Mbps

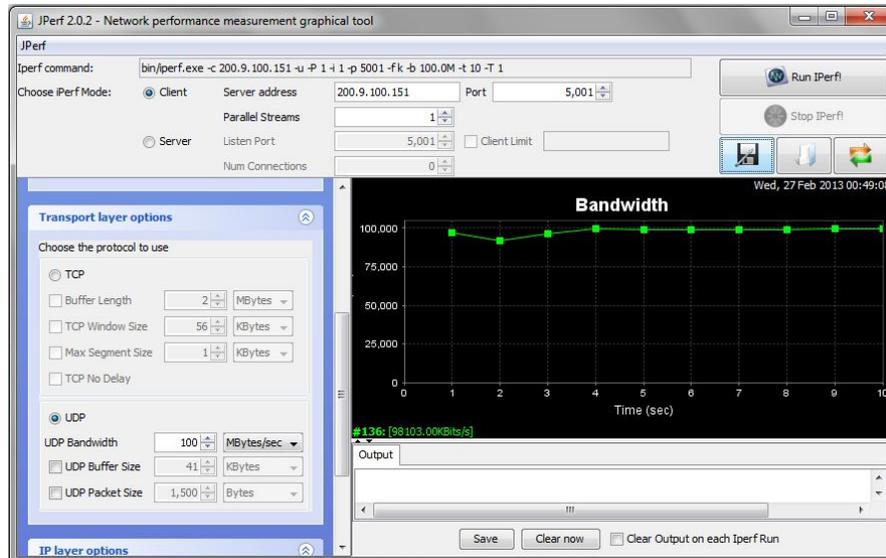


Figura 3.16: Interfaz gráfica de JPERF para la medición de Jitter en el Cliente.

Cabe destacar que no es de mayor importancia la cantidad de tráfico enviada, dado que es tráfico UDP, el cual no utiliza retransmisiones en caso de perder paquetes debido a una sobrecarga y congestión del enlace, es más, conviene enviar una gran cantidad de datos, ya que al visualizar el volumen de información recibida en la interfaz del Servidor, es posible determinar la capacidad del enlace entre el Cliente y el Servidor.

3.2.3.4. MEDICIÓN DE PERDIDA DE PAQUETES

3.2.3.4.1. MEDICIÓN DE PÉRDIDA DE PAQUETES PARA 3G

Para medir el la pérdida de paquetes desde el terminal *smartphone*, una vez descargada e instalada la aplicación “*Fing – Network Tools*”, esta se ejecuta y se selecciona el botón de la esquina superior derecha con forma de tuerca, este despliega un menú de opciones de entre las cuales se encuentre “*Ping*”, al seleccionar esta opción se nos solicita la dirección IP del Servidor, la cual ingresamos para que luego la aplicación realice el *Ping* y nos entregue los resultados. El proceso enunciado se muestra en la siguiente figura.

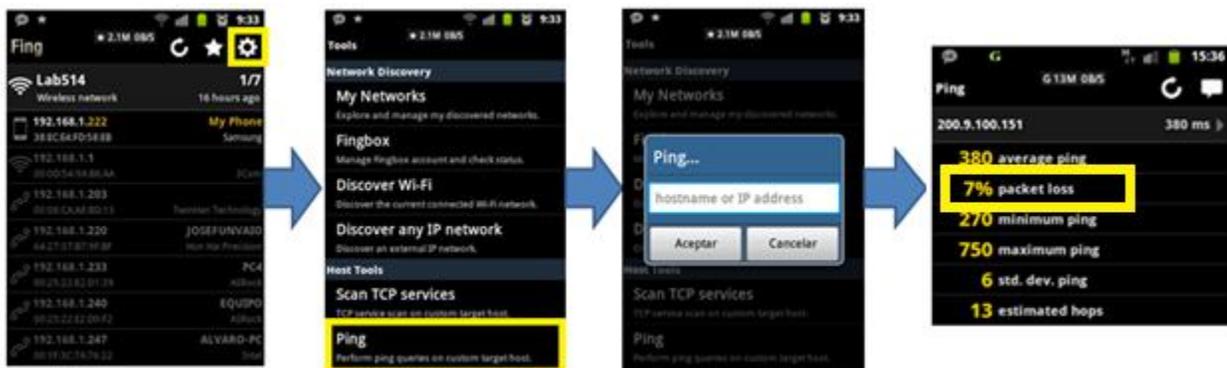


Figura 3.17: Como medir Pérdida de Paquetes a través de “*Fing – Network Tools*”.

3.2.3.4.2. MEDICIÓN DE PÉRDIDA DE PAQUETES PARA LTE

Las medidas de la pérdida de paquetes se rescatan de la misma forma en que se mide la latencia, es decir, a través del comando PING en la consola del S.O en uso. Luego de abrir la consola, se procede a ejecutar el comando PING ejecutando sobre la consola de comandos del sistema operativo utilizado, como bien se mencionó para las medidas de latencia, el comando PING debe ser dirigido a la IP del Servidor (200.9.100.151)

PING 200.9.100.151

Cabe destacar que las pruebas de PING perfectamente pueden ser ejecutadas paralelamente a la transferencia de archivo sin entorpecer en mayor medida los parámetros y condiciones de la red de prueba. Luego de ejecutar el comando PING, se despliega en la línea de comandos las estadísticas de los paquetes recibidos de forma exitosa y los que se perdieron, calculando, a su vez, el porcentaje de paquetes perdidos por sobre la totalidad de paquetes enviados. En la siguiente figura se muestra como la consola de comandos de Windows despliega las estadísticas de los paquetes enviados, recibidos y perdidos, con el respectivo porcentaje de paquetes perdidos respecto de los enviados.

```

ca. Administrador: C:\Windows\system32\cmd.exe
Microsoft Windows [Versión 6.1.7600]
Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.
C:\Users\Alvaro>ping 200.9.100.151

Haciendo ping a 200.9.100.151 con 32 bytes de datos:
Tiempo de espera agotado para esta solicitud.
Tiempo de espera agotado para esta solicitud.
Tiempo de espera agotado para esta solicitud.
Respuesta desde 200.9.100.151: bytes=32 tiempo=19ms TTL=119

Estadísticas de ping para 200.9.100.151:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 1, perdidos = 3
    (75% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
    Mínimo = 19ms, Máximo = 19ms, Media = 19ms

C:\Users\Alvaro>
  
```

Figura 3.18: Interfaz gráfica del CMD para la medición de Pérdida de Paquetes en Windows.

3.2.4. SERVIDOR

En el extremo del Servidor se utilizará un *software* para crear un servidor FTP, el cual se utiliza en la mayoría de los prototipos de prueba ya que forma parte del caso patrón, sin embargo, para modificar los protocolos de transporte, es necesario realizar una transferencia basada en UDP, por lo que el servidor FTP debiera ser reemplazado ya que este se basa en TCP. Es por ello que además se agrega un servidor y un cliente a través de JPERF que realicen una transferencia basada en UDP.

3.2.4.1. SERVIDOR FTP (FILEZILLA)

FileZilla es un cliente FTP multiplataforma de código abierto y *software* libre, licenciado bajo la licencia pública general de GNU. Soporta los protocolos FTP, SFTP y FTP sobre SSL/TLS (FTPS). FileZilla es un *software* libre y gratuito el cual se puede descargar desde su Web Oficial (<http://filezilla-project.org/>).

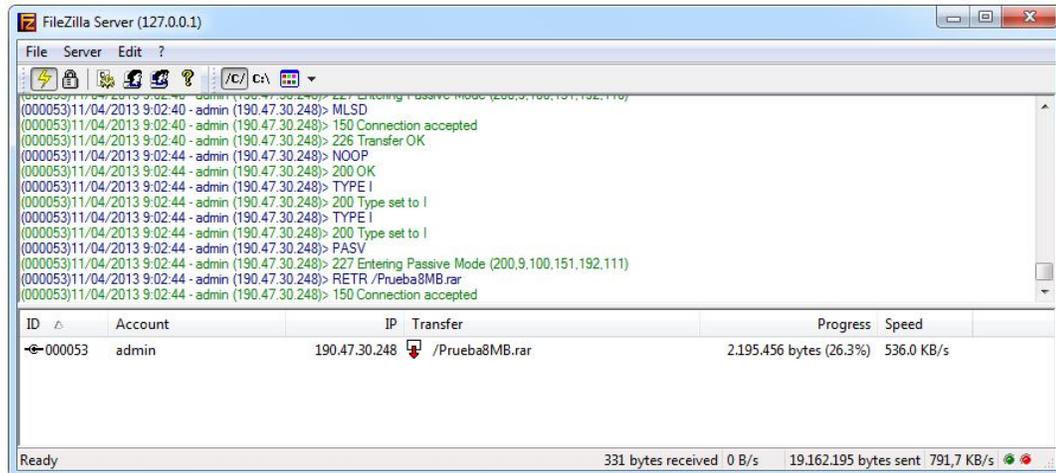


Figura 3.19: Interfaz gráfica de FileZilla para la transferencia de archivos TCP.

Una vez instalado FileZilla, se ejecuta y aparecerá la siguiente pantalla.



Figura 3.20: Ventana Inicial de FileZilla con valores por defecto.

Se mantienen los valores por defecto, tanto de “Server Address”, como de “Port” dejando como opcional la elección de un Clave de Administrador o “Administration Password” (para efecto de los prototipos este parámetro se dejará en blanco), luego se presiona “OK” y aparecerá la siguiente pantalla.

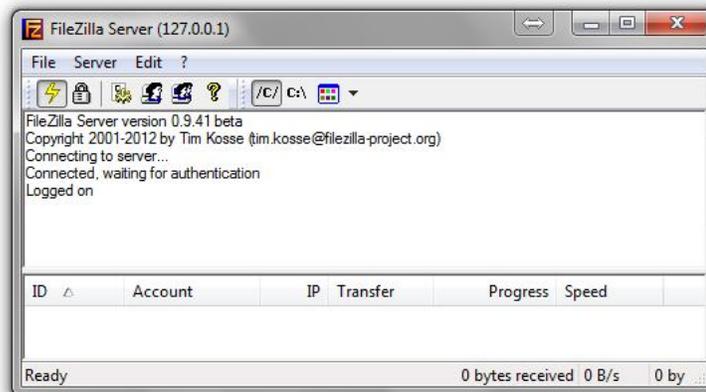


Figura 3.21: Ventana principal de FileZilla.

El servidor FTP está creado, pero no se tiene configurado ningún tipo de usuario ni los directorios que se pretenden compartir. Para crear un usuario se debe ir a “Edit” → “Users”, lo cual desplegará la siguiente pantalla.

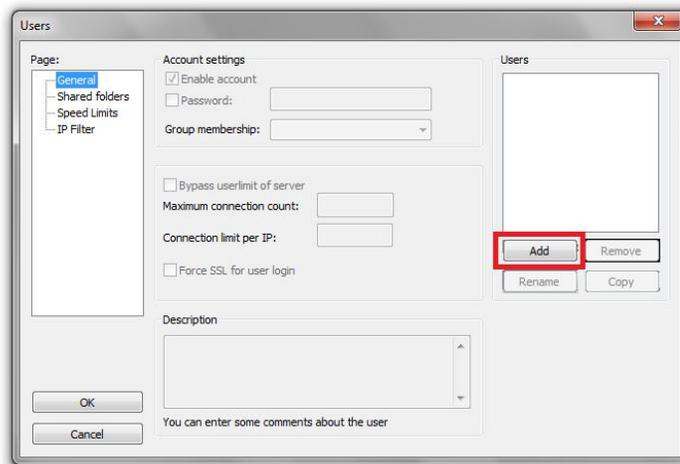


Figura 3.22: Ventana para la gestión de usuarios de FileZilla.

En esta ventana se presiona el botón “Add” y se ingresa el nombre de una cuenta de usuario, por ejemplo “admin”, dejando todo lo demás por defecto y avanzando a través del botón “OK”. Se debe verificar que la casilla “Enable account” esté seleccionada, además bajo esta última, por medio de la casilla “Password”, es posible, de forma opcional asociar una clave al usuario creado, por ejemplo, “alumno”, lo cual debería verse según la siguiente Figura:

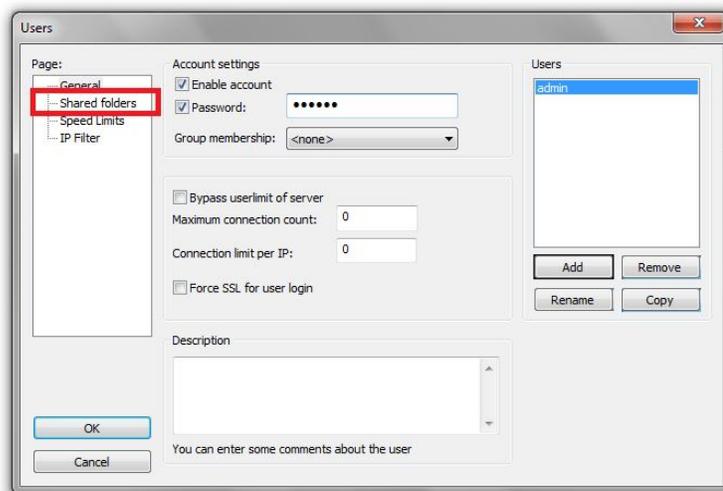


Figura 3.23: Ventana para la gestión de usuarios de FileZilla (Usuario creado).

Una vez creada la cuenta de usuario, se procede a configurar un directorio al que dicho usuario pueda acceder. Para ello se accede a la sección “Shared Folder” marcada en rojo en la Figura anterior desplegándose la siguiente ventana.

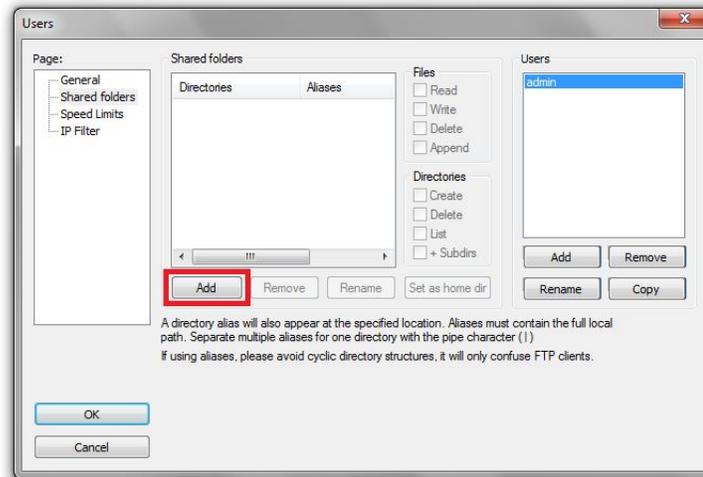


Figura 3.24: Ventana para la gestión de directorio de usuarios de FileZilla.

Se procede a agregar un directorio a través del botón “Add” marcado en rojo en la figura anterior, lo que da paso a la selección del directorio al que el usuario admin podrá acceder, una vez elegido el directorio, este se agregará a la lista “Directories” y se podrán establecer los permisos del usuario respecto del directorio, tal como se destaca en la siguiente Figura.

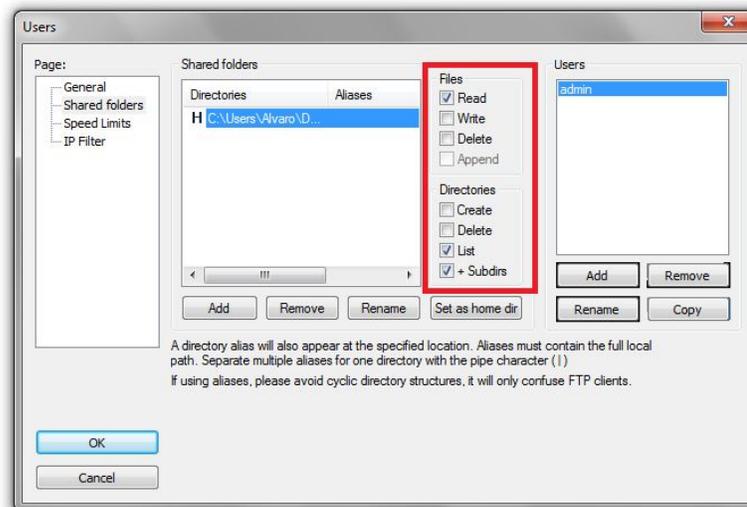


Figura 3.25: Ventana para la gestión de permisos de directorio de usuarios de FileZilla.

Finalmente, se selecciona el botón “OK” del sector inferior-izquierdo para que tanto el usuario como el directorio sean inmediatamente válidos y accesibles.

3.2.5. CLIENTE

Se requiere de dos diferentes clientes, uno para el *smartphone* que se utilizará como terminal en los prototipos de prueba de 3G y otro para las pruebas a realizar en el marco de las redes LTE. El primero corresponde a una aplicación descargada desde *Play Store*, mientras el segundo es el *software* Cliente asociado al Servidor FTP *FileZilla*.

3.2.5.1. CLIENTE FTP PARA 3G

El Cliente FTP utilizado en *Android* se obtiene a través de la aplicación “*AndFTP*” [26], disponible en *Play Store* de forma gratuita. *AndFTP* es un cliente FTP/SFTP/SCP/FTPS para dispositivos *Android*, el cual permite administrar varios servidores FTP. Viene con un navegador de dispositivos y de archivos FTP. Como complemento para descargar y enviar archivos estos pueden ser renombrados, eliminados y otras características disponibles en el menú del dispositivo. *AndFTP* provee *File Transfer Protocol* (FTP), *SSH Secure FTP* (SFTP), *SSH Secure Copy Protocol* (SCP) y *Explicit FTP over TLS/SSL* (FTPS). Luego de descargar e instalar la aplicación desde el terminal *smartphone*, esta se ejecuta con la siguiente pantalla inicial.



Figura 3.26: Pantalla Inicial de AndFTP.

Luego, se selecciona el botón “*Agregar*” y se rellenan los campos. En “*Hostname*” se escribe la dirección Web o dirección IP en donde está alojado el servidor, en nuestro caso, el servidor FTP posee la dirección IP 200.9.100.151. En “*Tipo*” se mantiene la elección por defecto de FTP al igual que en el “*Puerto*”. En “*Usuario*” y “*Contraseña*” se agrega el nombre de usuario y su correspondiente contraseña configuradas en el Servidor FTP, mientras que los demás parámetros se mantienen por defecto para luego seleccionar “*Salvar*”.



Figura 3.27: Rellenar los campos de configuración de AndFTP.

Finalmente se selecciona el botón “Conectar” para visualizar el directorio que el Servidor FTP le comparte a la cuenta de usuario con que se registró el Cliente FTP, es en esta última ventana donde se pueden seleccionar archivos del Servidor FTP que deseen ser descargados



Figura 3.28: Conectarse y descargar un archivo a través de AndFTP.

3.2.5.2. CLIENTE FTP PARA LTE

Como Cliente FTP, se utilizará para el terminal LTE el *software FileZilla Client*, el cual es un Cliente FTP desarrollado por los mismos creadores del Servidor FTP que se utilizará, por lo que se cuenta con una alta compatibilidad entre los dos extremos del *software* de transmisión. Para configurar la conexión del cliente al servidor, se debe tener el Servidor FTP configurado con anterioridad, luego, basta con ejecutar el programa del lado del cliente, el cual desplegará una ventana como la de la Figura 3.29 en donde es necesario rellenar los campos con la dirección IP del Servidor, el nombre de usuario y la contraseña, parámetros previamente configurados del lado del Servidor. Finalmente en la pestaña “Sitio Remoto” de la derecha de la ventana principal, se desplegarán los diversos archivos contenidos en el Servidor FTP disponibles para descargar desde el terminal LTE.

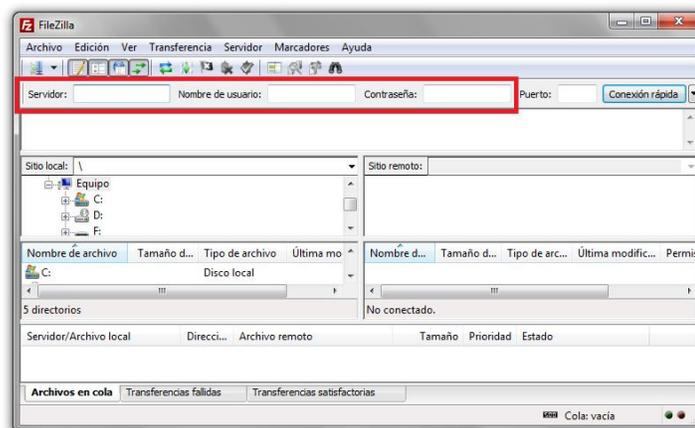


Figura 3.29: Ventana de FileZilla Client para configurar la conexión.

3.2.6. PROTOTIPOS DE PRUEBA

3.2.6.1. PRUEBA DE CASO PATRÓN

Se definió en la sección 3.2.1.2 las características y componentes del caso patrón las cuales están representadas en la Figura 3.30, tanto para el caso 3G como para el caso LTE, con todos los elementos anteriormente descritos incluyendo el flujo de la petición de información desde el Usuario hacia el Servidor. Cabe destacar que esta prueba es una de las más importantes ya que es sobre este mismo prototipo de pruebas sobre el cual se basan las demás pruebas de conceptos según el criterio *ceteris paribus*

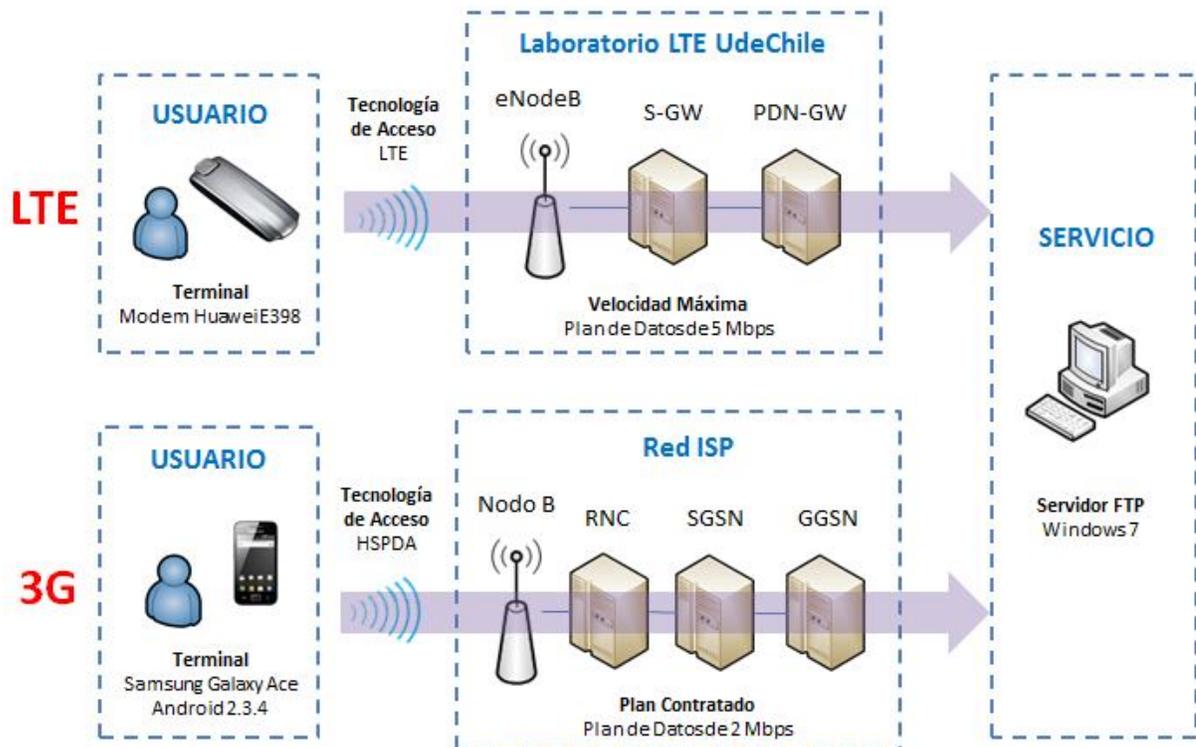


Figura 3.30: Diagrama de Prueba de Caso Patrón.

Bajo la óptica del caso patrón se realizan las mediciones de parámetros técnicos de QoS, los cuales corresponden a la latencia (*latency*), tasa de descarga de datos (*throughput*), variación de latencia (*jitter*) y pérdida de paquetes (*packet loss*), basándose en la metodología y las herramientas ya presentadas en la sección 3.2.2. Las mediciones para el caso patrón resultan ser de suma importancia ya que estas serán las medidas contra las que se comparen los resultados obtenidos en los demás prototipos de prueba con el fin de determinar el real impacto de los factores que afectan la QoS que a través de las pruebas serán estudiados de forma práctica.

3.2.6.2. PRUEBA DE TERMINALES

En la presente prueba se pretende determinar el impacto sobre la calidad de servicio que presenta el uso de diversos terminales en el usuario, en particular se utilizarán 2 tipos de terminales, los cuales serán conectados al terminal (computador) utilizado por el usuario,

manteniendo constante la configuración del caso patrón y realizando la medición de parámetros de red tales como, *throughput*, latencia y pérdida de paquetes. Se detallan a continuación los tipos y las principales características de los terminales utilizados para esta prueba.

El primer terminal es el **Modem USB Huawei E398**, el cual es un módem de categoría 3 (2x2 MIMO + 64 QAM) por lo que soporta un máximo de 100 Mbps de descarga y 50 Mbps de subida. Puede trabajar en modo GPRS, EDGE, HSDPA, HSPA, HSPA+, con MIMO y con *dual carrier*, además de LTE. El segundo terminal es **4G LTE CPE Router HUAWEI B593**, es el primer *router* inalámbrico de banda ancha del mundo, soporta LTE TDD/FDD 800/1800/2300/2600MHz, hasta 100 Mbps de velocidad de descarga y tiene capacidad para mantener hasta 32 dispositivos WiFi.

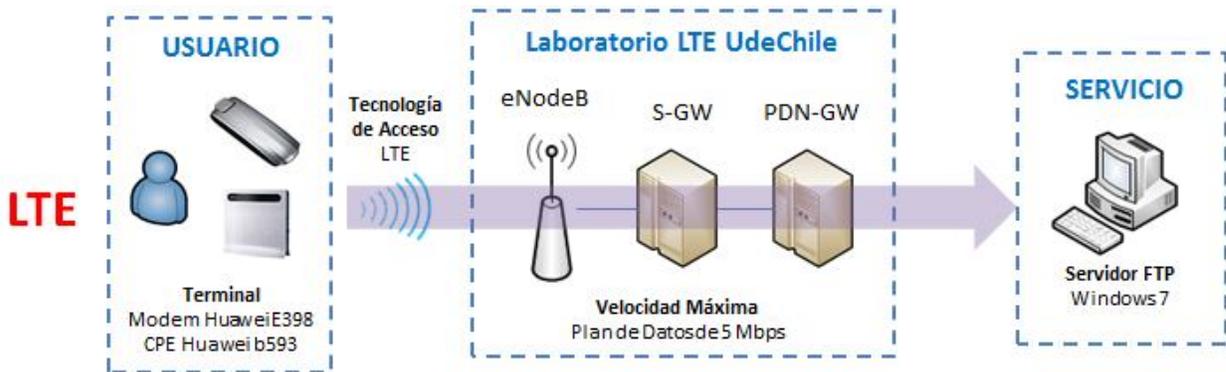


Figura 3.31: Diagrama de Prueba de Terminales.

3.2.6.3. PRUEBA DE TECNOLOGÍAS DE ACCESO

La prueba de tecnologías de acceso se realizará para las tecnologías EDGE de Segunda Generación, HSPDA de Tercera Generación, LTE y WiFi. Se medirán parámetros de red tales como, *throughput*, latencia y pérdida de paquetes. La prueba sobre LTE y 3G corresponden a las del caso patrón, por lo que en esta oportunidad se realizarán las pruebas para 2G EDGE y W-Fi. Cabe destacar que para recrear el acceso inalámbrico a las redes 2G y WiFi se utilizará un *smartphone*, *Samsung Galaxy Ace* cargado con la versión de *Android 2.3.4* y también con la aplicación *andFTP*, disponible en *Play Store*, la cual permite configurar el terminal como un Cliente FTP que se conecta con el Servidor ya instalado.

El terminal utilizado se conecta automáticamente a la red 3G HSPDA activando la conexión de datos en el menú de Configuraciones de red e Inalámbricas. En el submenú de Redes Móviles, es posible activar la conexión a la red 2G EDGE, seleccionando la opción “Utilizar sólo redes 2G”, lo que nos permite hacer el cambio en el terminal de 3G a 2G y viceversa. Por último al activar la conexión WiFi, el *smartphone* prioriza esta conexión por sobre las de 3G y 2G, por lo que solo bastaría seleccionar dicha opción para realizar las pruebas a través de WiFi.

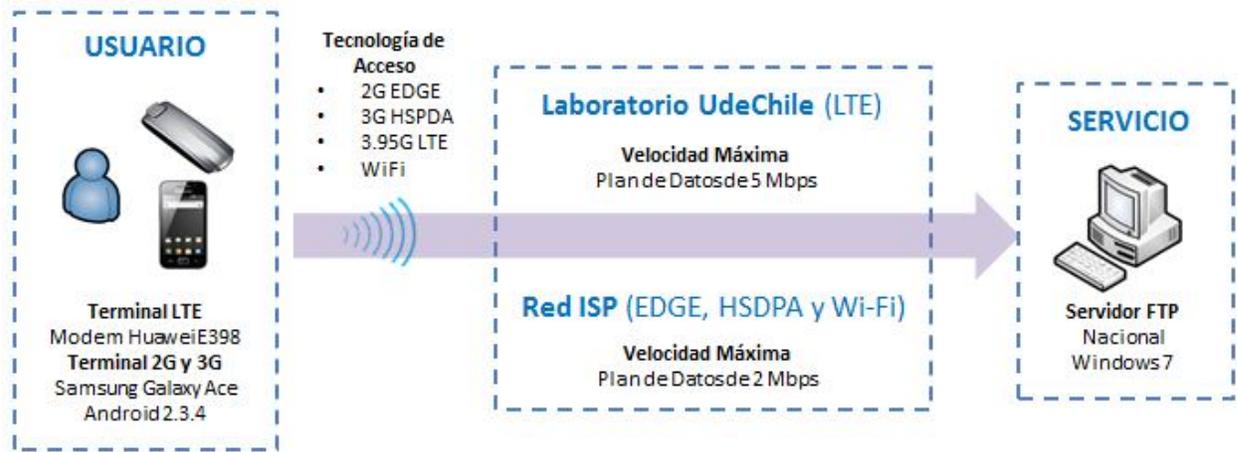


Figura 3.32: Diagrama de Prueba de Tecnologías de Acceso.

3.2.6.4. PRUEBA DE PROTOCOLOS DE TRANSPORTE

Los dos protocolos de transporte incluidos en la presente prueba de concepto son el protocolo TCP y el protocolo UDP. Se medirán parámetros de red tales como, *throughput*, latencia y pérdida de paquetes. La prueba consta del mismo sistema empleado en el caso patrón, pero esta vez el servidor FTP que transmitía según el protocolo TCP es alternado con un servidor JPERF, el cual puede ser utilizado para cursar tráfico UDP entre los extremos Cliente-Servidor. Ambos servidores son instalados sobre máquinas con sistema operativo Windows 7, mientras que en el terminal del usuario se utilizan las herramientas de medición descritas en la sección 3.2.2.1 con el fin de visualizar el real impacto que tienen los protocolos de transporte en una transmisión realizada a través de Internet, utilizando una tecnología de acceso LTE.

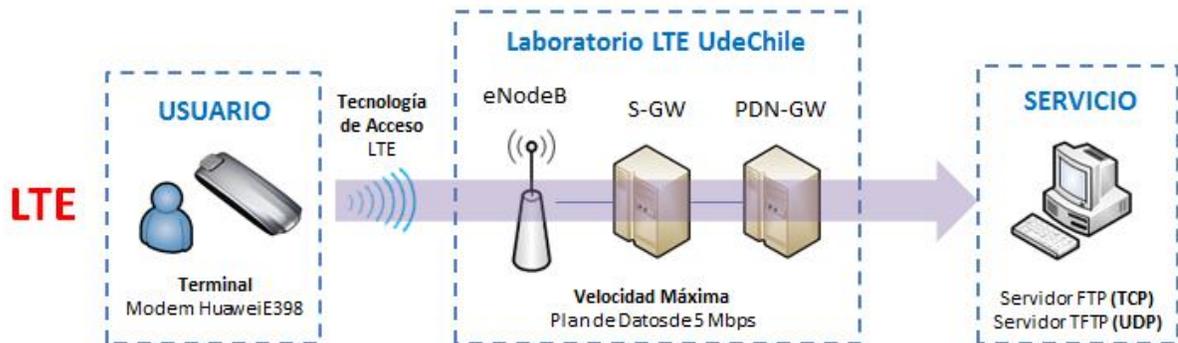


Figura 3.33: Diagrama de Prueba de Protocolos de Transporte.

3.2.6.5. PRUEBA DE LATENCIA

Tal como se mostró en la sección 3.2.2.2, existe un emulador de red que permite modificar los parámetros de la red del caso patrón. La modificación de los parámetros de red no incluye el recambio de elementos del sistema original, tan solo, mediante un *software*, modificamos en este caso la latencia del enlace entre el usuario y el servidor, con el fin de cuantificar los deterioros de la calidad de servicio en relación con dicho parámetro modificable

gracias a la herramienta NEWT. Se medirán parámetros de red tales como, *throughput*, latencia y pérdida de paquetes. Los pasos a seguir para emular la latencia fueron descritos en la sección 3.2.2.2 basándose en la herramienta computacional NEWT la cual nos ofrece una variedad de distribuciones estadísticas en la que se puede variar la latencia, en este caso se utilizará una variación de latencia determinística y constante la que se sumará a la latencia original medida en el caso patrón.

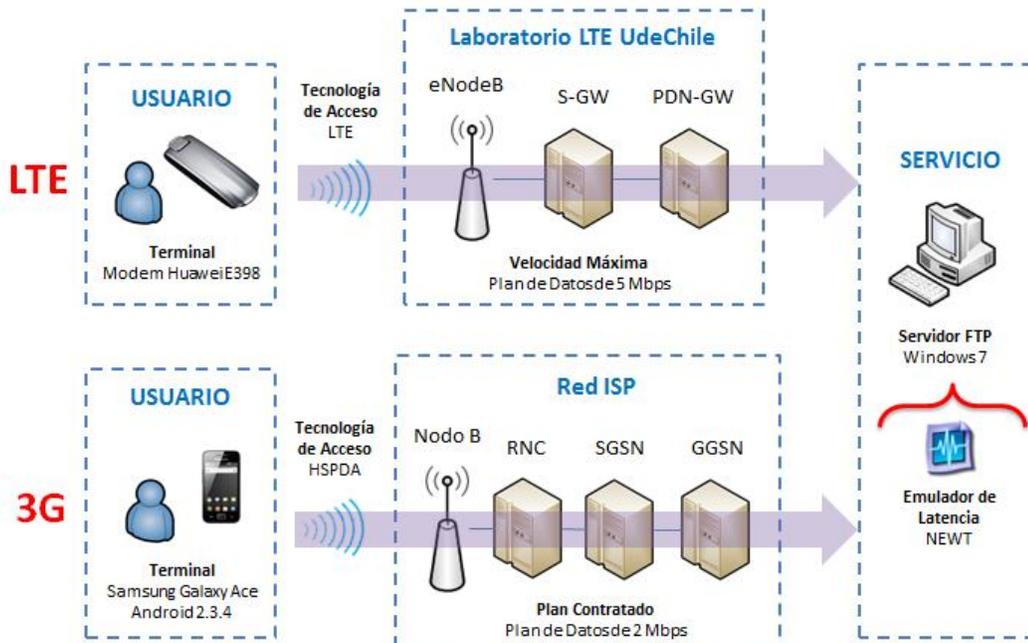


Figura 3.34: Diagrama de Prueba de Latencia.

3.2.6.6. PRUEBA DE PÉRDIDA DE PAQUETES

Al igual que para la Prueba de Latencia, para realizar las modificaciones del parámetro de red de pérdida de paquetes se utilizará la herramienta NEWT, la cual nos permite incorporar un porcentaje adicional de pérdida de paquetes al caso patrón, es decir, este porcentaje se adiciona al original. Se medirán parámetros de red tales como, *throughput*, latencia y pérdida de paquetes. Para diversos valores de porcentaje de pérdida de paquetes se miden los parámetros de red ya señalados en el terminal del usuario para determinar el impacto que tiene el empeoramiento de la red sobre esta calidad de servicio percibida por el usuario.

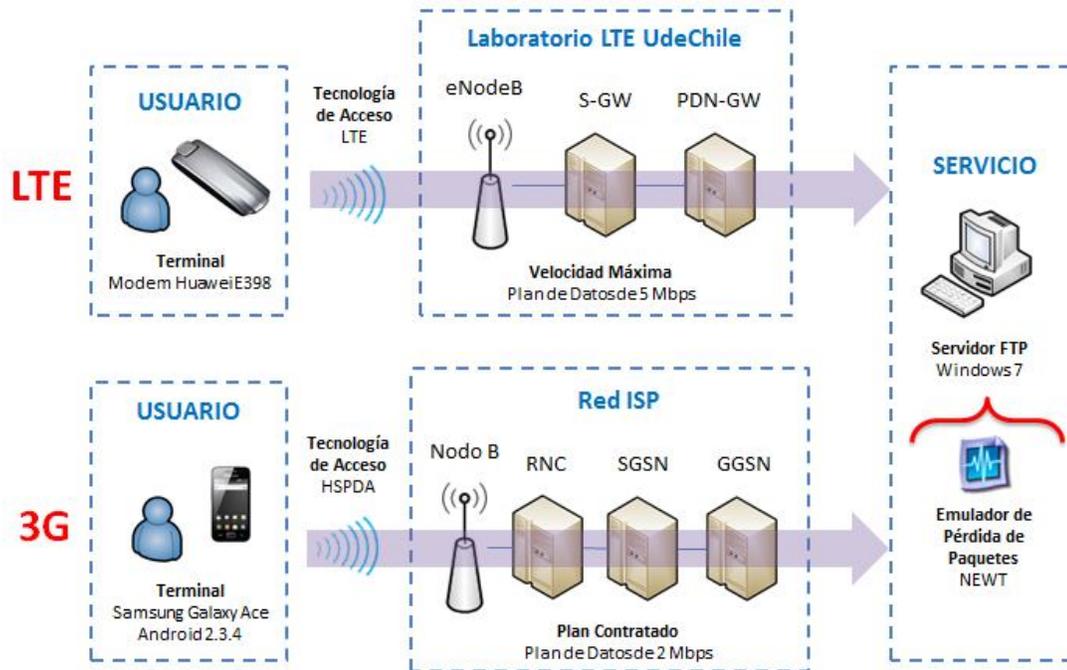


Figura 3.35: Diagrama de Prueba de Pérdida de Paquetes.

3.2.6.7. PRUEBA DE JITTER

El *jitter* es la variación de latencia en el tiempo, es en cierta forma una medida de desorden de la red. No es posible simular de forma directa un valor fijo de *jitter*, ya que la desviación entre los tiempos de llegada de los paquetes no es determinística. Sin embargo, el emulador de condiciones de red utilizado, NEWT, permite manejar la adición de latencia de forma estocástica, por lo que bajo diversas condiciones probabilísticas de adición de latencia, se realizan medidas de *jitter*, con el objetivo asociar los perfiles de latencia a valores promedio de *jitter*. Luego de realizar varias pruebas, se logra diseñar un perfil de adición probabilística de latencia a un valor fijo de *jitter* que es finalmente el utilizado para realizar este prototipo de pruebas. Se medirán parámetros de red tales como, *throughput*, latencia y pérdida de paquetes.

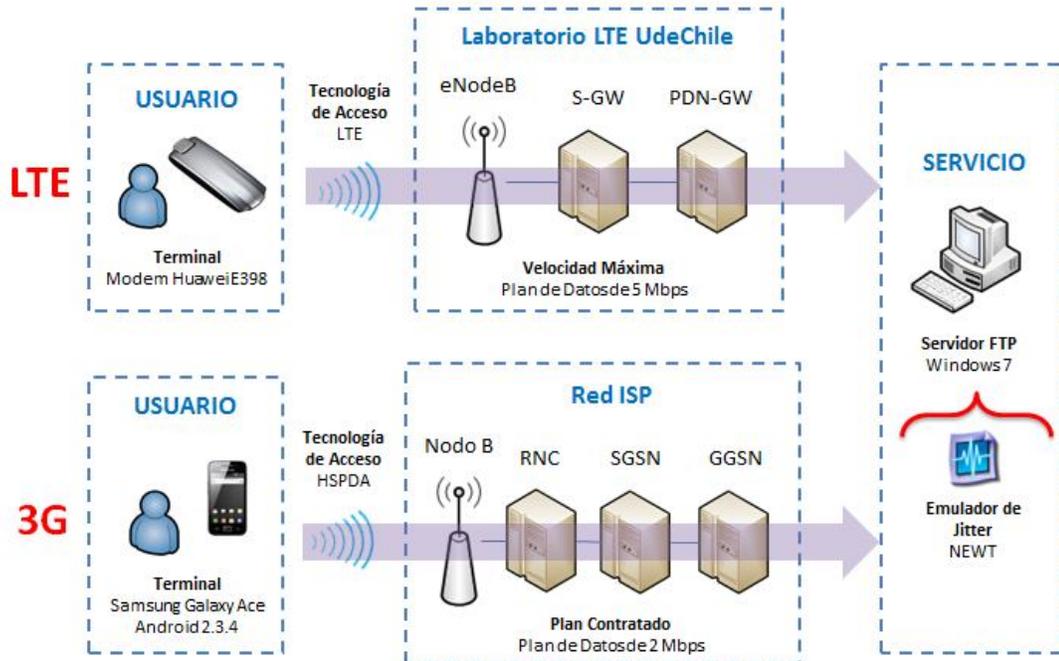


Figura 3.36: Diagrama de Prueba de Jitter.

3.2.6.8. PRUEBA DE CONTROL DE CONGESTIÓN

El control de congestión de TCP fue abordado en la sección 2.5.2.2, en donde se pudo apreciar lo fundamental que es este tópico para las velocidades alcanzadas por el protocolo TCP. En general, en sistemas operativos como Windows y Linux, el control de congestión utilizado es fijo y no se consulta al usuario sobre cual desea utilizar. En Linux, la elección del control de congestión utilizado es mucho más directa que en Windows, es por ello que para esta prueba, de forma excepcional, se utilizará como sistema operativo Ubuntu 11.10 en el Servidor.

Bajo las mismas condiciones del caso patrón, se realiza la transferencia de un archivo desde un Servidor FTP instalado en Ubuntu 11.10, variando entre los siguientes tipos de control de congestión: Reno, Cubic, HSTCP, Vegas y Westwood. Para cada tipo de control de congestión se modificará también el parámetro de latencia para determinar el rendimiento que cada control de congestión tiene ante escenarios de alta y baja latencia, y como esto a su vez influye en el grado de calidad de servicio percibido por el usuario. Se medirán parámetros de red tales como, *throughput*, latencia y pérdida de paquetes.

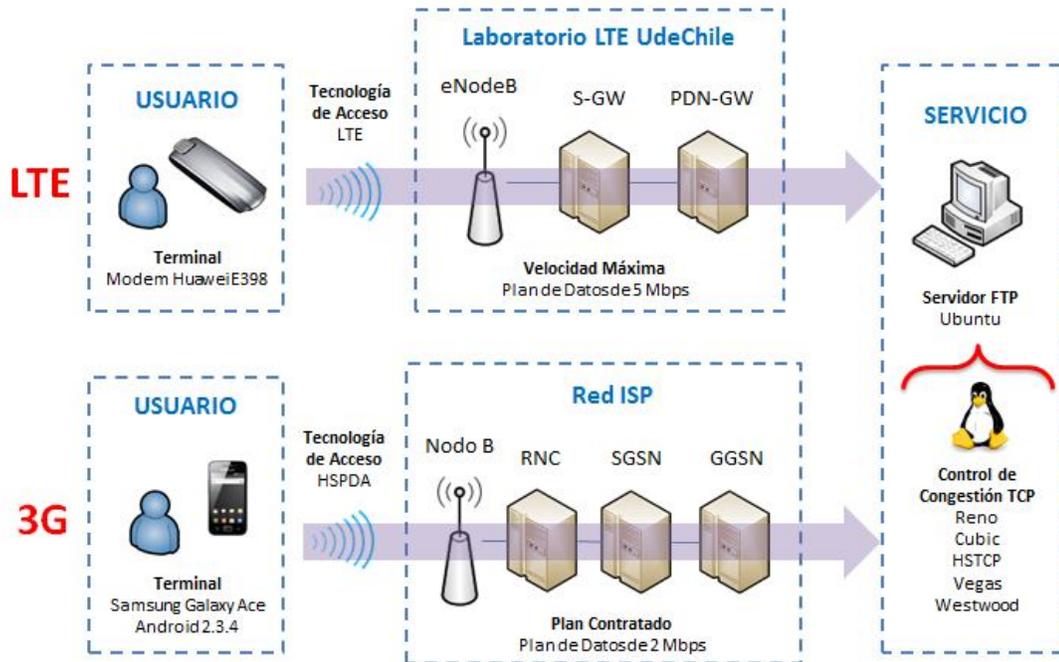


Figura 3.37: Diagrama de Prueba de Control de Congestión.

3.2.6.9. PRUEBA DE DISTANCIA A LA ANTENA

Las pruebas anteriores son realizadas en un entorno de laboratorio iluminado con señal LTE a través de antenas *indoor* ubicadas dentro del mismo laboratorio a menos de 5 metros de distancia del terminal que capta la señal LTE, es por ello que utilizando el **Modem USB Huawei E398** y un computador portátil, se procede a realizar mediciones de Intensidad de señal, *throughput*, latencia y pérdida de paquetes, a medida que dicho terminal se va alejando de la antena *indoor* del laboratorio.

Cabe destacar, que se utiliza el *Modem USB Huawei E398* y no el *CPE Huawei*, debido a que dicho CPE necesita estar alimentado de la corriente eléctrica, por lo cual no resulta viable movilizarse con dicho terminal sin desconectarse de la antena, es por ello que se prefiere el modem USB ya que este no requiere alimentación más que del computador portátil y brinda una mayor movilidad. Las pruebas se basarán en el caso patrón y gradualmente se irá alejando el terminal de la antena a través de muros y pisos del DIE e incluso al exterior.

3.2.6.10. PRUEBA DE CQI

Como se mencionó en la sección 2.6.7, para realizar mediciones de la calidad de canal por sobre el cual se transmitirá los datos de alta velocidad, la 3GPP definió el indicador de calidad de canal, *Channel Quality Indicator* (CQI) [44]. No obstante, no existe allí una formulación determinista que permita caracterizar este indicador, sino que tan solo se especifica que el valor de CQI es tal que debe existir una probabilidad de al menos 0.9 para transmitir el bloque de datos correctamente, es decir un BLER de hasta 10%.

El valor de CQI reportado por el terminal se basa en mediciones tales como el E_C/N_0 o al SNR que el terminal experimenta. Según sea la implementación, se toma en cuenta una serie de factores, tales como: ambiente *multipath*, tipo de receptor, radio de interferencia de la propia estación base y potencia estimada disponible en la estación base [46]. No sólo toma en cuenta la calidad del canal si no que características propias de cada terminal, por ejemplo el número máximo de códigos que puede soportar, si soporta 16-QAM, 64-QAM, etc. Finalmente, esta prueba busca someter al terminal a una transmisión de datos FTP basada en el caso patrón, bajo diversos valores de CQI, lo que permitirá determinar las influencias que tiene dicho factor sobre la calidad de servicio percibida por el usuario. Se medirán parámetros de red tales como, *throughput*, latencia y pérdida de paquetes.

Capítulo 4

RESULTADOS

En el presente capítulo se presentan los resultados obtenidos a través del desarrollo de este trabajo de memoria para la metodología descrita en el Capítulo 3 y los objetivos planteados en el Capítulo 1. Los resultados se pueden dividir en dos grupos, el primero consiste en los resultados docentes, los cuales se ordenan en base a la planificación curricular, unidades programáticas, desarrollo de material o módulos de instrucción teóricos y prácticos, mientras que el segundo consiste en los resultados de los prototipos de prueba enunciados en el Capítulo 3, para las diversas tecnologías abarcadas según corresponda en cada caso. Además, este capítulo mostrará los resultados de la metodología docente y de laboratorio, la cual se apoya en material docente, lo que constituye el principal aporte que la presente memoria hace al Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Chile

4.1. RESULTADOS DOCENTES

Como se mencionó, los resultados son divididos en dos grandes grupos, y este corresponde al primero de ellos, el cual se relaciona con los resultados obtenidos a partir de la metodología docente implementada y descrita en el capítulo anterior. A continuación se detallan los resultados obtenidos, indicando: El objetivo general del curso y los objetivos de cada unidad programática y de cada módulo, además de los contenidos de cada unidad y el material desarrollado para cada una de ellas.

4.1.1. PRERREQUISITOS BÁSICOS DEL CURSO

Los prerrequisitos básicos exigidos a los futuros alumnos del curso son los siguientes:

- Conceptos básicos de telecomunicaciones digitales inalámbricas
 - Conceptos básicos de redes 3G
 - Conceptos básicos de Internet móvil
 - Conceptos básicos de Procesamiento de Señales.
- Arquitectura de redes
 - Conocimiento de elementos de red (*router, switch, firewall, etc.*)
- Conceptos de Modelo OSI y Modelo TCP/IP
 - Conocimientos de IP
- Conocimientos en Tecnologías de la Información y Comunicación (TICs)
- Conocimientos básicos de Linux

4.1.2. POTENCIAL AUDIENCIA O ALUMNOS

La potencial audiencia o futuros alumnos pertenecen principalmente a los siguientes grupos:

- Alumnos de pregrado del Departamento de Ingeniería Eléctrica, pertenecientes al área de tecnologías de la información y comunicación o con interés en esta rama.

- Profesionales y técnicos de los operadores de telecomunicaciones interesados en nuevas tecnologías como LTE o sus antecesoras y en los parámetros de QoS asociados a ellas.
- Profesionales independientes o consultores asociados a áreas afines con las temáticas de calidad de servicio en redes.

4.1.3. PERIODO DE DURACIÓN DEL CURSO

Para determinar el periodo de duración del curso desarrollado se calculan las horas pedagógicas totales, tal que se realicen 2 clases semanales de 2 horas pedagógicas cada una (una hora pedagógica corresponde a 45 minutos). Por lo tanto para un total de 15 semanas, las horas del curso suman un total de 60 horas pedagógicas, que es la duración que se considera en la FCFM de la Universidad de Chile para un semestre académico. Cabe destacar que, dicho tiempo puede ser ajustado según las características de la audiencia

4.1.4. OBJETIVO GENERAL DEL CURSO

Si bien, hay muchos objetivos que se persiguen en la presenta memoria de título, existe uno que sobresale por encima de todos y marca las directrices para la correcta implementación del proyecto. El objetivo general de curso, es que al término del curso, que consta de una parte teoría y una práctica, el alumno sea capaz de comprender, analizar y describir los principales parámetros de QoS asociados a las tecnologías 3G actuales, a la tecnología LTE, cada vez más cercana a la actualidad del país, y extrapolar a otras tecnologías basadas en IP.

4.1.5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

4.1.5.1. UNIDAD INTERNET MÓVIL

- **Módulo 1: Evolución de las Telecomunicaciones.**
 - El objetivo específico de este módulo es que el alumno se interiorice en los antecedentes históricos que han llevado a las tecnologías de las telecomunicaciones a ser lo que son hoy en el mundo, estudiando aspectos generales de las generaciones 1G, 2G, 3G y 4G junto con los principios que motivan su desarrollo.
- **Módulo 2: Actualidad de las Telecomunicaciones en Chile.**
 - El objetivo específico buscado en este módulo es que el alumno se informe acerca de la contingencia del país respecto de los sistemas de telecomunicaciones desplegados por los actuales operadores y por los sistemas prontos a desplegar, como es el caso de LTE.
- **Módulo 3: Internet.**
 - En este caso el objetivo específico del módulo es que el alumno comprenda el funcionamiento de la red más importante a nivel global como lo es el Internet, junto con la arquitectura de éste, los diversos métodos de acceso que existen y los protocolos por los que se rige.
- **Módulo 4: Internet Móvil.**
 - El objetivo específico de este módulo es que el alumno adquiera los conocimientos necesarios para la comprensión de sistemas de internet basados en un acceso móvil, poniendo especial énfasis en las redes 3G desplegadas

actualmente por los operadores de telecomunicaciones que son las que proveen de Internet móvil al país.

- **Módulo 5: Servicios de Internet Móvil.**
 - El objetivo específico de este módulo es que el alumno se interiorice en los diversos tipos de servicios ofrecidos a través de Internet móvil, y cuáles son los principales parámetros de red que los afectan en términos de calidad de servicio.

4.1.5.2. UNIDAD LTE

- **Módulo 1: Antecedentes Generales de LTE.**
 - El objetivo específico del módulo es que el alumno adquiera conocimientos básicos acerca de LTE y su funcionamiento a grandes rasgos, es decir, sus antecedentes generales, tales como tipos de modulación utilizadas, máximas tasas de datos de subida y de bajada, rendimiento, eficiencias, etc.
- **Módulo 2: Arquitectura y Equipamiento de LTE.**
 - En este caso el objetivo específico buscado es que el alumno comprenda la arquitectura del sistema LTE, desde la red de acceso, hasta el núcleo de la red, junto con todo el equipamiento y el rol que juegan en dentro de la tecnología LTE.
- **Módulo 3: LTE en la FCFM de la Universidad de Chile.**
 - El objetivo específico de este módulo es que el alumno pueda enlazar los conocimientos teóricos del módulo LTE, a la realidad del laboratorio a través de una visita a este mismo en la que se identificará los equipos detallados en módulos anteriores además de poner en marcha una experiencia demostrativa.

4.1.5.3. UNIDAD CALIDAD DE SERVICIO

- **Módulo 1: Calidad de Servicio.**
 - El objetivo específico de este módulo es que alumno comprenda la definición de calidad de servicio y que a pesar de ser una definición algo abstracta e interpretable, entender que existen factores o parámetros de red que la afectan de diferente forma dependiendo de los servicios solicitados a la red.
- **Módulo 2: Factores que afectan la Calidad de Servicio.**
 - El objetivo específico de este módulo es que el alumno sea capaz de ahondar en los parámetros descritos en el módulo anterior, es decir, definir y caracterizar factores tales como; retardo, latencia, pérdida de paquetes, *jitter*, *throughput*, etc.
- **Módulo 3: Prototipos de Prueba**
 - El objetivo específico en este módulo es que el alumno consolide todo lo aprendido durante el curso, a través de experiencias prácticas, las cuales evaluarán a qué nivel se ve afectada la calidad de servicios en redes 3G y LTE al modificar los parámetros de red especificados en el módulo anterior.

4.1.6. DURACIÓN DE UNIDADES TEMÁTICAS

El desarrollo del calendario del curso consideró la elaboración de una primera mitad del curso en forma teórica constituida por tres unidades; Internet Móvil, LTE y Calidad de Servicio, en donde dentro de la última unidad, Calidad de Servicio, se incluye un set de 9 prototipos de

prueba o experiencias prácticas, las cuales configuran la segunda mitad del curso. Por otro lado en la Tabla 4.1 se detalla la duración de cada una de las unidades en horas pedagógicas.

Unidad Temática	Módulo	Clase	Abreviatura	Horas Estimadas	
1	Internet Móvil	1	Teórica	Evolución	4
		2	Teórica	Actualidad	2
		3	Teórica	Internet	4
		4	Teórica	Internet Móvil	6
		5	Teórica	Servicios	2
2	LTE	1	Teórica	LTE	4
		2	Teórica	Arquitectura LTE	4
		3	Teórica	LTE en la FCFM	4
3	Calidad de Servicio	1	Teórica	QoS	4
		2	Teórica	Factores afectantes	6
		3	Práctica	Pruebas	20
TOTAL DE HORAS				60	

Tabla 4.1: Duración estimada en Horas Pedagógicas de cada módulo.

4.1.7. CONTENIDOS Y RECURSOS DE UNIDADES TEMÁTICAS

4.1.7.1. UNIDAD INTERNET MÓVIL

Módulos	Recursos	Contenidos
Evolución de las Telecomunicaciones	Clase Expositiva	Principio de Evolución
		Primera Generación
		Segunda Generación
		Tercera Generación
		Cuarta Generación
Actualidad de las Telecomunicaciones	Clase Expositiva	Operadores Actuales
		Tecnologías utilizadas por los Actuales Operadores
		Bandas utilizadas por los Actuales Operadores
		Licitación LTE
		Operadores Convergentes
Internet	Clase Expositiva	Arquitectura del Internet
		Modelo de capas OSI y TCP/IP
		Principales Protocolos
		Protocolos de Transmisión
		Control de Congestión TCP

Internet Móvil	Clase Expositiva	Redes 3G
		Aspectos Generales de Redes 3G
		Arquitectura de Redes 3G
		Tecnologías utilizadas en 3G
Servicios de Internet Móvil	Clase Expositiva	Protocolos utilizados en 3G
		Streaming y Flash Video
		Web Browsing
		P2P
		Network Storage
		Redes Sociales

Tabla 4.2: Recursos y Contenidos de la Unidad “Internet Móvil”.

4.1.7.2. UNIDAD LTE

Módulos	Recursos	Contenidos
Antecedentes Generales de LTE	Clase Expositiva	Motivaciones para crear LTE
		Detalles Técnicos de LTE
		Tecnologías utilizadas por LTE
		Modulaciones utilizadas por LTE
Arquitectura y Equipamiento LTE	Clase Expositiva	Rendimiento y Eficiencia LTE
		Arquitectura LTE
		Red de Acceso E-UTRAN
LTE en la FCFM de la Universidad de Chile	Clase Demostrativa	Core EPC
		Equipos LTE del Laboratorio
		Visita al Laboratorio
		Experiencia Demostrativa

Tabla 4.3: Recursos y Contenidos de la Unidad “LTE”.

4.1.7.3. UNIDAD QOS

Módulos	Recursos	Contenidos
Calidad de Servicio	Clase Expositiva	Definiciones
		Calidad de Servicio 3G
		Calidad de Servicio LTE
Factores que afectan la Calidad de Servicio	Clase Expositiva	Retardo
		Latencia
		Pérdida de Paquetes
		Jitter
Prototipos de Prueba	Clase Práctica	Throughput
		Pruebas 3G
		Pruebas LTE

Tabla 4.4: Recursos y Contenidos de la Unidad “Calidad de Servicio”.

4.1.8. MODELO CURRICULAR BASADO EN COMPETENCIAS

Las bases del diseño curricular están en la caracterización de la industria de las telecomunicaciones y de la Universidad de Chile. Se sustenta el diseño sobre la concepción de formar al profesional del área de las telecomunicaciones para que sea un agente con visión de futuro, productivo y un aporte para la sociedad, con los valores humanos que debe poseer un individuo en el contexto del proceso de aprendizaje y futuro laboral, con una concepción científica del mundo, que se consagre a su trabajo con sencillez, modestia y dedicación, preocupado de los problemas humanos, éticos y ambientales que demanda el sector de las telecomunicaciones. La propuesta del diseño curricular por competencias laborales para el profesional del área de las Telecomunicaciones está conformada por 8 competencias laborales.

1. Analizar física y matemáticamente los procesos y las variables involucradas.
2. Medir con los diferentes instrumentos y *software* habilitados.
3. Preparar prototipos para diferentes pruebas de concepto.
4. Manipular los diferentes equipos del Laboratorio LTE.
5. Interpretar los resultados de los análisis y verificar si se ajustan a las especificaciones del proceso para asegurar la QoS.
6. Diseñar redes basadas en diversas tecnologías y servicios.
7. Controlar los diferentes equipos e instrumentos en el proceso, según las normas.
8. Cumplir las normas de seguridad industrial.

4.1.8.1. MODELO DEL PROFESIONAL DE LAS TELECOMUNICACIONES

El profesional del sector de las telecomunicaciones trabaja en tanto en terreno como en oficinas de empresas del rubro, centros y áreas de investigación y desarrollo de tecnologías. Dicho profesional realiza análisis físicos y matemáticos, se preocupa del diseño, la operación y el mantenimiento de equipos de red del proceso de comunicación entre dos extremos. Se establecen cinco funciones principales para el profesional o futuro profesional: operario y mantenedor de equipos de diversas tecnologías; controlador de la calidad de servicio ofrecida al cliente; elaborador de propuestas que promuevan la eficiencia; realiza análisis de tecnologías y parámetros de red y participa en proyectos de investigación en el desarrollo de nuevas tecnologías.

4.1.8.2. FORMACIÓN POR COMPETENCIAS LABORALES

En la formación por competencias laborales, se tiene en cuenta para el modelo, la dinámica entre los componentes académico, investigativo y laboral. Las formas de organización del proceso de educación técnica y profesional están en función de cada elemento de competencia, que le aportan su especificidad. La evaluación se realiza empleando instrumentos multidimensionales en los que a través de una red de observación se mida el desempeño de los estudiantes, con la participación activa de la industria en todo el proceso de educación profesional y no sólo en la determinación de las competencias laborales.

Competencias Generales	Comunicarse oralmente y por escrito	Comunicarse oralmente y por escrito en español
		Interpretar textos científico-técnicos en español
		Interpretar textos científico-técnicos en inglés

	Realizar procesos y mediciones en el laboratorio	Aplicar bases teóricas a los procesos Realizar mediciones en el Laboratorio Resumir y sintetizar resultados
	Utilizar la computadora y programas básicos	Desempeño eficiente en el área informática
Competencias Específicas	Asegurar la Calidad de Servicio	Identificar perfiles de usuario y uso de servicios Aplicar normas de seguridad en el trabajo Aplicar normas de aseguramiento de la QoS
	Realizar análisis de mediciones	Realizar análisis físico y matemático de mediciones Realizar análisis de factibilidad Aplicar métodos de cálculo y estadística
	Operar equipos de las diversas tecnologías	Aplicar principios de teóricos de las Telecomunicaciones Operar y mantener equipos Diseño y compresión de redes
	Elaborar propuestas	Analizar y concluir a partir de resultados
	Realizar proyecto profesional	Resolver problemas Diseñar proyecto profesional Encargarse del proyecto profesional final

Tabla 4.5: *Tabla de Formación por Competencias Laborales.*

4.1.9. EVALUACIONES

Se determinó un sistema de evaluación de 3 controles teóricos correspondientes a las 3 unidades a lo largo del curso (C1, C2 y C3), la nota de control (NC), se calcula como el promedio aritmético de las notas obtenidas por el alumno en los 3 controles parciales de la siguiente forma:

$$NC = \frac{C1 + C2 + C3}{3}$$

Por otro lado las experiencias prácticas o de laboratorio también serán evaluadas existiendo para cada una de ellas una nota (L1,..., L9), la nota de laboratorio (NL), se calcula como el promedio aritmético de las notas obtenidas por el alumno en la totalidad de las notas de las experiencias prácticas:

$$NL = \frac{L1 + \dots + L9}{9}$$

Luego, la aprobación del curso requiere que tanto la nota de control, NC, como la nota de laboratorio, NL, sean iguales o superiores a 4.0. Si el promedio aritmético de ambas notas mencionadas anteriormente es igual o superior a 5.5, el alumno queda eximido de rendir el Examen y mantiene la nota anterior como Nota Final, pero si por el contrario, dicha nota está entre 4.0 y 5.5, el alumno se encuentra en la obligación de rendir examen.

Finalmente, se calcula la Nota Final del curso como un 60% del promedio aritmético de la nota de controles y la nota de Laboratorio y un 40% de la nota de Examen (NE), es decir,

$$NF = 0.6 * \left(\frac{NC + NL}{2} \right) + 0.4 * NE$$

Si $NF \geq 4.0 \Rightarrow$ Alumno Aprobado

Si $NF < 4.0 \Rightarrow$ Alumno Reprobado

En resumen,

$$\text{Situación del Alumno} = \begin{cases} NC < 4.0 \text{ o } NL < 4.0 \Rightarrow \text{Reprobado} \\ \left(\frac{NC + NL}{2} \right) \geq 5.5 \Rightarrow \text{Aprobado} \\ \left(\frac{NC + NL}{2} \right) < 5.5 \begin{cases} NF \geq 4.0 \Rightarrow \text{Aprobado} \\ NF < 4.0 \Rightarrow \text{Reprobado} \end{cases} \end{cases}$$

4.1.10. MATERIAL DESARROLLADO

En esta sección se presentan los detalles del material generado y que será utilizado como apoyo a las clases tanto expositivas como prácticas, entre el material desarrollado se encuentran, en formato de diapositivas (.pptx) las clases expositivas y en formato de texto (.docx) las guías de laboratorio. A continuación se presentan ambos materiales y se describe la forma en que fueron generados, además de mostrar, a través de las Figuras 4.1 y 4.2, el diseño y formato que tienen.

4.1.10.1. CLASES EXPOSITIVAS

Las presentaciones desarrolladas representan un aporte importante a la ejecución del curso, permitiéndole al profesor abarcar gráficamente los contenidos, de forma de hacer las clases más interactivas y mantener la atención del alumno. Las presentaciones contienen la materia que se cubre en las clases de manera estructurada y gráfica. Para la elaboración de las presentaciones se utiliza el programa Microsoft PowerPoint 2010, eligiendo un fondo de diapositivas no muy llamativo de manera que no distraiga ni perturbe la atención del alumno.

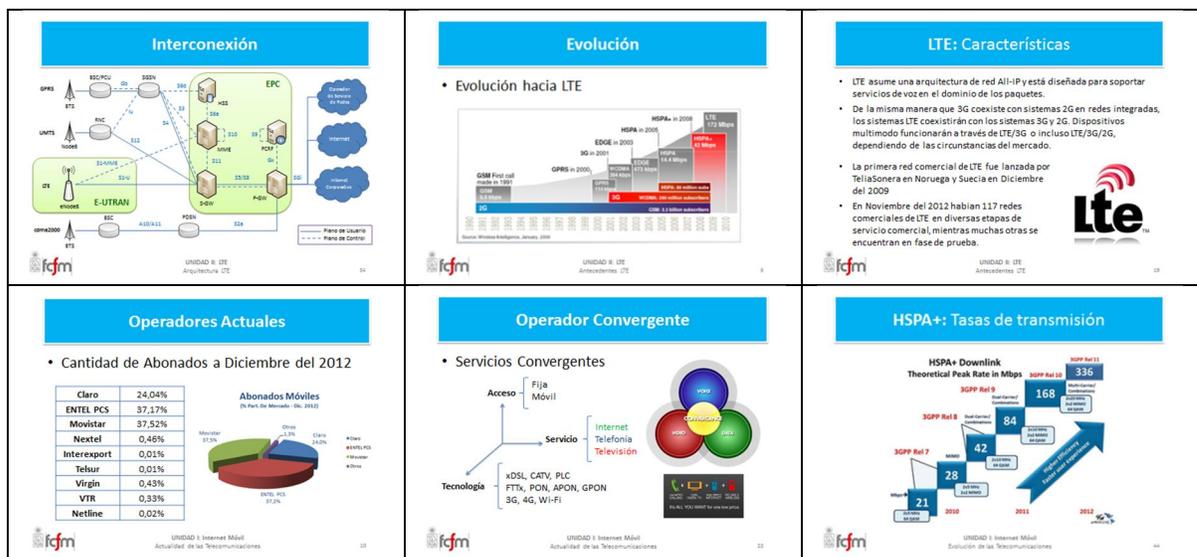


Figura 4.1: Diapositivas de Clases Expositivas.

4.1.10.2. GUÍA DE LABORATORIO

Como apoyo y guía para que los alumnos lleven a cabo las experiencias prácticas de manera correcta y expedita es que se realizaron Guías de Laboratorio, confeccionadas utilizando el programa Microsoft Word 2010. Dichas guías están diseñadas para experiencias realizables en su totalidad en el Laboratorio LTE ubicado en el 5to piso del Edificio de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Chile, sala de Laboratorio de Postítulo. Las guías de Laboratorio se presentan en un solo documento, el cual posee las siguientes estructuras:

1. Introducción
2. Objetivos
3. Esquema de Conexiones
4. Componentes y Herramientas
5. Desarrollo
6. Resultados y Conclusiones

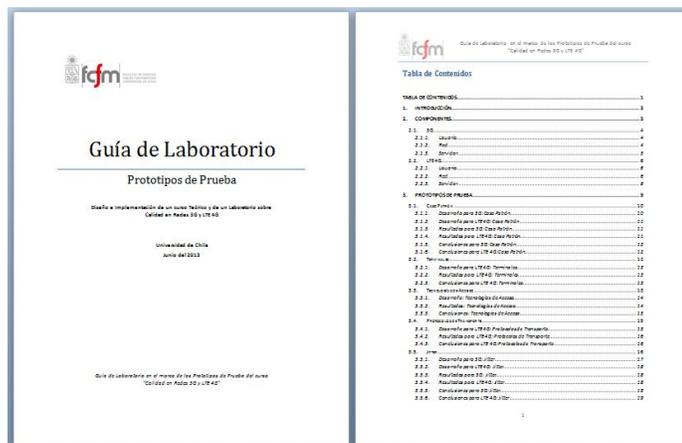


Figura 4.2: Guía de Laboratorio.

4.2. RESULTADOS DE PROTOTIPOS DE PRUEBA

Los resultados fueron obtenidos a partir de los prototipos de pruebas realizados para las redes 3G de una compañía de telecomunicaciones como para la red del Laboratorio LTE. Lamentablemente, muchas de los prototipos de prueba diseñados para LTE (los 9 en total) fueron imposibles de realizar debido a que las licencias de las bandas en que trabajan los eNB del Laboratorio LTE habían caducado. Solo se haya registro de algunos valores de mediciones para casos particulares como el caso patrón. A continuación se presenta una tabla con el resumen de los prototipos de prueba realizados y los que no fueron llevados a cabo junto con la razón de estos.

Prototipos de Prueba	Tecnología		Observación
Caso Patrón	3G	✓	
	LTE	✓	
Terminales	3G	✗	No disponibilidad de Terminales
	LTE	✓	
Tecnologías de Acceso	Todas	✓	
Protocolos de Transporte	3G	✗	Infactibilidad de aplicación UDP
	LTE	✗	Licencias de eNB caducadas
Latencia	3G	✓	
	LTE	✗	Licencias de eNB caducadas
Pérdida de Paquetes	3G	✓	
	LTE	✗	Licencias de eNB caducadas
Jitter	3G	✓	
	LTE	✗	Licencias de eNB caducadas
Distancia a la Antena	3G	✗	Infactibilidad técnica
	LTE	✗	Licencias de eNB caducadas
Control de Congestión	3G	✓	Muestras no representativas
	LTE	✗	Licencias de eNB caducadas
CQI	3G	✗	Terminal sin información de CQI
	LTE	✗	Licencias de eNB caducadas

Tabla 4.6: Resumen de resultados disponibles para los Prototipos de Prueba.

4.2.1. PRUEBA DE CASO PATRÓN

4.2.1.1. PARA 3G

Parámetros de Red	Resultados
Latencia[ms]	157 [ms]
Pérdida de Paquetes [%]	0 %
Jitter [ms]	5 [ms]
Throughput [kbps]	410 [kbps]

Tabla 4.7: Resultados del Caso Patrón para 3G.

4.2.1.2. PARA LTE

Parámetros de Red	Resultados
Latencia[ms]	13 [ms]
Pérdida de Paquetes [%]	0
Jitter [ms]	0 [ms]
Throughput [kbps]	4982 [kbps]

Tabla 4.8: Resultados del Caso Patrón para LTE.

4.2.2. PRUEBA DE TERMINALES

4.2.2.1. PARA LTE

Terminales	Latencia[ms]	Packet Loss [%]	Throughput [kbps]
CPE Huawei b593	13 [ms]	0	5003
Modem Huawei E398	13 [ms]	0	4982

Tabla 4.9: Resultados de la Prueba de Terminales para LTE.

4.2.3. PRUEBA DE TECNOLOGÍAS DE ACCESO

Tecnologías de Acceso	Latencia[ms]	Packet Loss [%]	Throughput [kbps]
EDGE 2G	328	0	44
HSPDA 3.5G	157	0	410
LTE 3.95G	13	0	4982
WiFi	38	0	5440

Tabla 4.10: Resultados de la Prueba de Tecnologías de Acceso.

4.2.4. PRUEBA DE LATENCIA

4.2.4.1. PARA 3G

Latencia simulada [ms]	Latencia medida [ms]	Packet Loss [%]	Peso del Archivo [KB]	Tiempo [seg]	Throughput [kbps]
10	140	0	3200	16	1600,00
20	155	0	3200	16	1600,00
30	160	0	3200	16	1600,00
40	174	0	3200	16	1600,00
50	181	0	3200	16	1600,00
60	191	0	3200	16	1600,00
70	204	0	3200	18	1422,22
80	211	1	3200	18	1422,22
100	233	0	3200	18	1422,22
150	285	0	3200	21	1219,05
200	334	0	3200	25	1024,00
250	382	0	3200	26	984,62
300	423	1	3200	28	914,29
400	522	1	3200	37	691,89
500	742	1	3200	39	656,41
600	866	1	3200	49	522,45
700	987	1	3200	58	441,38
800	1075	2	3200	65	393,85
900	1150	3	3200	70	365,71
1000	1293	17	3200	84	304,76

Tabla 4.11: Resultados de la Prueba de Latencia para 3G.

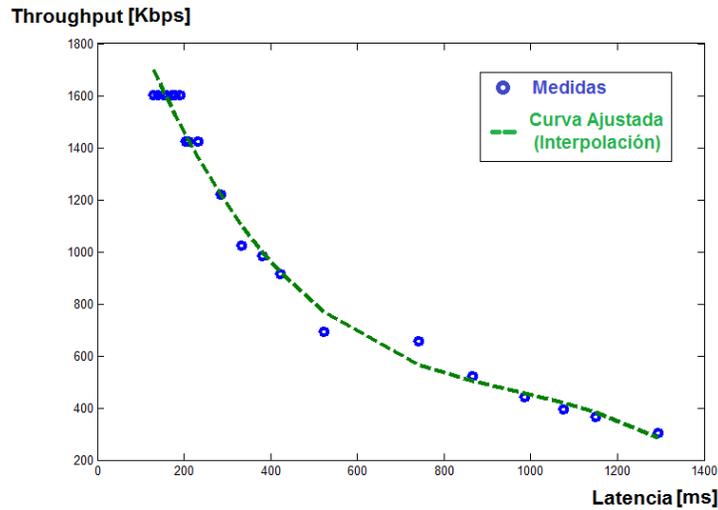


Figura 4.3: Resultados graficados de la Prueba de Latencia para 3G.

4.2.5. PRUEBA DE PÉRDIDA DE PAQUETES

4.2.5.1. PARA 3G

Packet Loss emulado [%]	Latencia[ms]	Packet Loss medido [%]	Throughput [kbps]
Caso Patrón	157	1	410
5 %	346	5	211,2
10 %	380	7	140
15 %	361	14	90,4
20 %	319	20	84
25 %	328	23	71,2

Tabla 4.12: Resultados de la Prueba de Packet Loss para 3G.

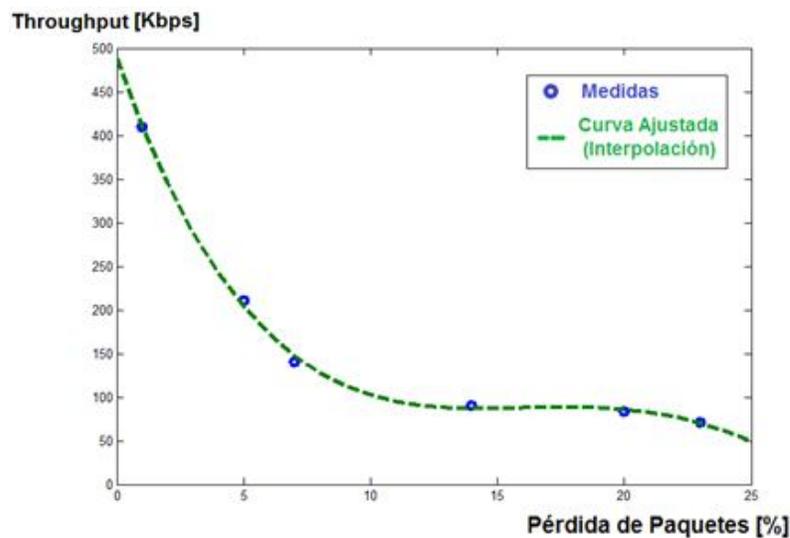


Figura 4.4: Resultados graficados de la Prueba de Pérdida de Paquetes para 3G.

4.2.6. PRUEBA DE JITTER

4.2.6.1. PARA 3G

Jitter emulado [ms]	Packet Loss [%]	Throughput [kbps]
0,9	0	729
2,2	0	283
4,2	0	242
5,8	0	236
8	0	242
9,5	0	152
11	0	248
12,5	0	207
14,2	0	248
15,4	0	162
18	0	215
20	0	191
25	0	184
27,5	0	174
32,5	0	146
35	0	148
50	0	150

Tabla 4.13: Resultados de la Prueba de Jitter para 3G.

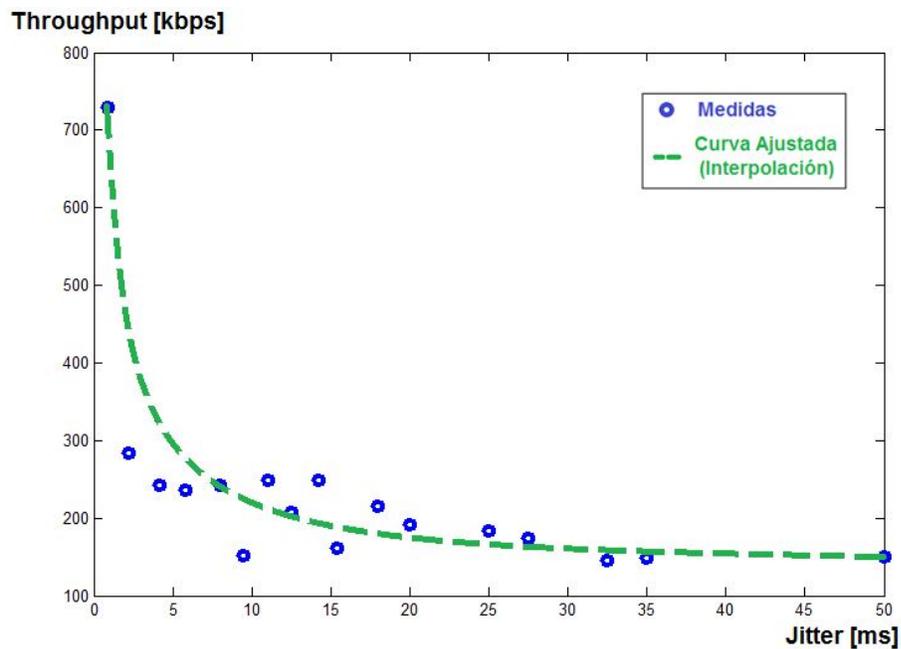


Figura 4.5: Resultados graficados de la Prueba de Jitter para 3G.

Capítulo 5

DISCUSIÓN

En este capítulo se analiza la aplicación de la metodología docente, la validación de los prototipos de prueba basados en experiencias prácticas, alcance e impacto de los resultados obtenidos. Junto con analizar la aplicabilidad del método docente empleado para la planificación estratégica de los módulos y los contenidos de estos.

5.1. DISCUSIONES DOCENTES

5.1.1. METODOLOGÍA Y PLANIFICACIÓN CURRICULAR

A continuación se presenta la discusión de los pasos seguidos a través de la metodología presentada en el Capítulo de Metodología. La formulación de objetivos llevo a la búsqueda de información con la cual se diseñó el programa de curso conformado por Módulos y Laboratorios los cuales son evaluados.

5.1.1.1. FORMULACIÓN DE OBJETIVOS

La formulación de objetivos se realizó en una primera instancia ya que es este punto el que genera las directrices y los caminos a seguir. Se plantea un curso compuesto fuertemente de una gran parte práctica y de pruebas de laboratorio. En su parte teórica se establece una presentación de contenidos desde lo más general a lo más específico lo que facilitó los posteriores pasos.

5.1.1.2. BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN

La búsqueda de información es un proceso clave, ya que conforma la materia prima de los posteriores desarrollos por lo cual es uno de los puntos que más tiempo demandó. En su parte teórica, la información fue extraída mayoritariamente de libros de Telecomunicaciones, los antecedentes asociados a la contingencia nacional se obtuvieron de la SUBTEL, las metodologías docentes se estudiaron de memorias anteriores en la misma línea, mientras que las experiencias de laboratorios son de creación propia.

5.1.1.3. DISEÑO DEL PROGRAMA DE CURSO

Con la información obtenida y los objetivos planteados se diseña el programa de curso, el cual es muy importante para determinar qué grado de profundidad tendrán las materias cubiertas. Se realizaron pequeñas modificaciones más de forma que de fondo, con el objetivo de que temáticas de calidad de servicio fueran potenciadas.

5.1.1.4. DISEÑO DEL PROGRAMA DE MÓDULOS

Los módulos de Instrucción corresponden a la presentación teórica de los tópicos tratados a través del curso. Muchos de los contenidos que son explicados en los primeros módulos de instrucción son cubiertos sin profundizar, esto es debido a que entre los prerrequisitos de los

alumnos, se estipula que deben contar con un conocimiento básico de los temas vistos en estas páginas.

5.1.1.5. DISEÑO DEL PROGRAMA DE LABORATORIOS

El programa de Laboratorios es en cierta forma el “plato fuerte” del curso, ya que está compuesto en gran medida de una componente práctica a modo de pruebas de concepto que permiten reflejar de mejor manera aquellos conocimientos teóricos derivados de los módulos anteriores y más aún se focaliza en la tecnología de telecomunicaciones del futuro del país, LTE. Cabe destacar que, debido a la nula factibilidad técnica, se bajan ciertos prototipos de prueba, mayoritariamente para el caso de las redes 3G.

5.1.1.6. DISEÑO DEL PROGRAMA DE EVALUACIÓN

Una vez finalizados los pasos anteriores se procede a cerrar el ciclo que retroalimenta el proceso a través de un programa de evaluaciones, las cuales toman en cuenta una ponderación igualitaria entre las partes teóricas y prácticas del curso ya que ambas están totalmente correlacionadas. Las evaluaciones de la parte teórica se dejan abiertas mientras que las evaluaciones de la parte práctica se consideran de forma guiada.

5.1.2. METODOLOGÍA CURRICULAR POR COMPETENCIA

Se utilizó en parte una metodología curricular por competencia, la cual trajo muy buenos resultados ya que esta permite extraer lo mejor del alumno de acuerdo a sus capacidades y competencias, por otro lado, también promueve competencias que no se encuentran en primera instancia como parte del alumnado pero que a través del curso se pueden ir desarrollando en gran parte gracias al trabajo en equipo que promueven los laboratorios y experiencias prácticas. La metodología curricular por competencia corresponde a un elemento complementario dentro de la metodología curricular en general, ya que en estricto rigor no es mandatoria, pero como se mencionó, tuvo muy buenos resultados ya que aprovecha lo mejor de cada individuo.

5.1.3. VALIDACIÓN DE LAS EXPERIENCIAS DE LABORATORIO

La validación de las experiencias de laboratorio se logró a través de la realización de estas mismas. Las pruebas realizadas para redes 3G fueron presentadas como parte de un proyecto para ATELMO, mientras que las prototipos de prueba para LTE se validaron mediante pruebas internas dentro del laboratorio con claras posibilidades de ser incluidas en proyectos futuros que busquen ejemplificar los factores que afectan la QoS en las futuras redes que verán la luz en nuestro país.

5.1.4. PROYECCIONES DEL CURSO

Por una parte, el curso tiene proyecciones de ser dictado tanto en cursos de pregrado en el DIE, como cursos para operadores de telecomunicaciones en su parte más ligada a LTE. Además, es importante mencionar que el trabajo de título tiene amplias proyecciones en el plano investigativo (Magíster), pues la habilitación del Laboratorio LTE constituye una excelente plataforma para nuevos trabajos de magíster.

En conjunto con los profesores del Magíster en Ingeniería de Redes de Comunicaciones (MIRC) del DIE se plantea la posibilidad de incorporar los contenidos y experiencias en las futuras versiones del Magíster. En resumen, el trabajo de título es un aporte importante a los alumnos, futuros ingenieros eléctricos y actuales operadores de telecomunicaciones que deseen profundizar en las actuales y nuevas tecnologías LTE, además de los servicios soportados por ellas y los factores que afectan la calidad de dichos servicios.

5.2. DISCUSIONES DE PROTOTIPOS DE PRUEBA

5.2.1. PRUEBA DE TERMINALES

En el caso de LTE los dos terminales propuestos; el *Modem USB Huawei E398* y el *LTE CPE Router Huawei B593*, son ambos terminales de categoría 3, lo que quiere decir poseen las mismas características de descarga y de subida, las cuales se detallan a continuación.

Peak Rate DL	Peak Rate UL	RF Bandwidth	Modulation DL	Modulation UL	MIMO DL
100 Mbps	50 Mbps	20 MHz	64 QAM	16 QAM	2x2

Es por ello que las pruebas, tal como era de esperar, presentan valores muy similares para las mediciones de tasas de descarga, latencia y pérdida de paquetes lo que se condice con los resultados esperados. Probablemente el *throughput* ofrecido por el CPE se vea afectado en tanto se agreguen más usuarios conectados directamente a él ya que en el fondo es un *router* y debiera comportarse como tal, pero dado que el Modem USB solo puede abastecer de conexión a un solo equipo, esta prueba no sería comparable. Es posible realizar esta prueba en el caso de redes 3G, pero debiera contarse con terminales móviles o *smartphones* de diversas características y realizar la prueba del Caso Patrón con cada uno de ellos.

5.2.2. PRUEBA DE TECNOLOGÍAS DE ACCESO

Los planes de datos actuales ofrecidos por las empresas de telecomunicación tienen un máximo de 2 Mbps aprox. de tasa de descarga, mientras que el sistema LTE presenta un máximo de 5 Mbps aprox. y el WiFi utilizado es con un plan de 6 Mbps de internet ofrecido por el ISP, por lo que se tendrán que hacer los correspondientes reparos al momento de comparar las tecnologías de acceso 2G y 3G con LTE.

De todas formas se logra apreciar la gran diferencia existente entre dichas tecnologías de acceso. Por una parte los *throughput* medidos se diferencian casi en un factor 10 entre EDGE 2G y HSPDA 3G, mientras que a su vez, este último también difiere casi en un factor 10 con la tasa de descarga de datos de LTE, lo cual se condice totalmente con la teoría. Por otro lado el WiFi, posee una *throughput* cercano a su límite fijado por el ISP, por lo que se supone que en cuanto este límite sea relajado, la tasa de descarga de datos podrá seguir subiendo.

Además, otro factor relevante son las latencias, siendo la de las tecnologías EDGE 2G de casi un tercio de segundo, mientras que estas mejoran, bajando a casi la mitad para sistemas HSPDA 3G, latencia que por lo demás es relativamente aceptable. Por otro lado, la latencia de la red LTE es significativamente baja, debido a que la prueba se realiza en un ambiente de laboratorio, con conexiones casi directas y sin otro tráfico de por medio, es decir, condiciones

ideales. Finalmente la latencia para el WiFi, es la esperada para conexiones de internet de este tipo hacia servidores nacionales.

5.2.3. PRUEBA DE PROTOCOLOS DE TRANSPORTE

Los protocolos de transporte utilizados, son el protocolo TCP y el protocolo UDP. Respecto al *packet loss*, el protocolo TCP, a diferencia del UDP, tiene un sistema de acuse de recibo o ACK, por lo que es posible que el sistema detecte la pérdida de uno o más paquetes, es decir el *packet loss* puede presentarse en el intervalo de 0 a 100%, mientras que UDP al no estar orientado a la conexión transmite paquetes de forma unidireccional, no importándole y no informando la tasa de pérdida de paquetes. En este sentido TCP tiene ventaja sobre UDP, ya que TCP garantiza que los datos enviados lleguen correctamente a su destinatario.

Por otro lado, en el caso del *throughput*, el protocolo UDP supera al TCP, principalmente debido a la inexistencia en UDP de control de flujo y corrección de errores (que si existen en TCP). El *overhead* en TCP es mayor por lo que los datos reales son proporcionalmente menos que en UDP. Para el proveedor de servicio a internet, los paquetes UDP pueden no ser muy deseados ya que al no existir control de flujo pueden congestionar rápidamente una red, además, diversos hackers han implementado *troyanos* sobre UDP con el objetivo de enmascarar sus actividades. Paquetes UDP también son utilizados para ataques de Denegación de Servicio (DoS, *Denial of Service*).

5.2.4. PRUEBA DE LATENCIA

La Latencia es el tiempo requerido para que un paquete atraviese una red, el cual puede ser medido de diferentes formas: *Round Trip Time* (RTT), *one way*, etc. La latencia puede ser impactada por cualquier elemento en el camino que los datos recorren, ya sea, estaciones de trabajo, enlaces WAN, *routers*, LAN, servidores y para redes de gran alta velocidad y capacidad está limitada por la velocidad de la luz.

El empeoramiento de la red debido a la adición de latencia, simula una conexión Cliente-Servidor lejana, es decir, que los paquetes de datos toman una mayor cantidad de tiempo en llegar desde el servidor al cliente. Es posible apreciar, según el gráfico de la Figura 4.3 que para este caso se presenta una disminución sostenida en el nivel de *throughput*. La disminución en la tasa de descarga de datos se acentúa de mayor manera en los primeros valores de latencia, teniendo una disminución de hasta un 50% en los primeros 400 [ms] de latencia medida, mientras que a medida que la latencia sigue aumentando, las bajas de *throughput* van siendo menores.

Dicho fenómeno puede ser explicado gracias a los mecanismos de control de la ventana de congestión de TCP. Bajo la hipótesis de que no existe pérdida de paquetes, la que se cumple en gran medida según las mediciones, el transmisor enviará el primer conjunto de paquetes (correspondientes a la ventana de congestión TCP) y cuando reciba de vuelta los ACK correspondientes, incrementará el tamaño de la ventana de congestión y progresivamente el número de paquetes que pueden ser enviados en un periodo de tiempo (*throughput*) aumentará. La latencia provoca que la demora en la recepción de los ACK sea mayor, por lo que la rapidez con que crece la ventana de congestión de TCP es menor, lo que finalmente se manifiesta en una

disminución del *throughput* a medida que la latencia aumenta, tal como lo expone la siguiente relación.

$$Throughput_{TCP} \propto \frac{TCP\ Windows\ Size\ [bits]}{Latencia\ [seg]}$$

5.2.5. PRUEBA DE PÉRDIDA DE PAQUETES

El empeoramiento de la red debido a la pérdida de paquetes simula una red congestionada en donde nodos intermedios comienzan a perder información debido a la sobrecarga de sus *buffers*, una situación bastante cercana a la realidad y un problema real para los ISPs. En el gráfico de la Figura 4.4 es posible apreciar como el nivel de *throughput* se ve disminuido ante el incremento de la proporción de paquetes perdidos. La tasa de transmisión de datos se ve gravemente afectada con los primeros aumentos de *packet loss*, mientras que una vez, dicho parámetro alcanza un 15%, el nivel de *throughput* presenta leves bajas a medida que se sigue incrementando el porcentaje de pérdida de paquetes.

Los mecanismos de ventana de congestión de TCP deben lidiar con la pérdida de paquetes de la siguiente manera. Si un ACK se da por perdido luego de un periodo de tiempo, el paquete enviado, correspondiente al ACK mencionado, también se dará por perdido y la ventana de congestión de TCP se verá reducida a la mitad (por lo tanto el *throughput* también). El tamaño de la ventana TCP puede empezar a crecer nuevamente si los siguientes ACK son recibidos satisfactoriamente. La Pérdida de Paquetes tendrá dos efectos sobre la velocidad de transmisión de datos,

- Los paquetes perdidos deberán ser retransmitidos (incluso si solo el ACK se perdió pero el paquete llegó al otro extremo apropiadamente).
- Las constantes reducciones en la ventana de congestión TCP no permitirán un grado de *throughput* lo suficientemente alto.

Por otra parte, dicho fenómeno puede ser explicado basándose en la formulación teórica expuesta en [24] la cual estipula la siguiente relación indirecta entre *throughput*, la pérdida de paquetes y el RTT:

$$Throughput_{TCP} = \frac{1}{Round\ Trip\ Time} \cdot \sqrt{\frac{3}{4 \cdot Packet\ Loss}}$$

5.2.6. PRUEBA DE JITTER

El *jitter* es una medida de la variación de la latencia de los paquetes en una red. La modificación del *jitter* de una red implica el desordenamiento de los paquetes lo cual es algo propio de las redes IP, dado que los paquetes no siempre son ruteados utilizando los mismos caminos y pueden estar propensos a tener un orden de llegada diferente del de salida. Es por lo anterior que las redes IP en general presentan problemas en la entrega de servicios en tiempo real, como lo es por ejemplo una comunicación telefónica de voz, o una video llamada, es por ello que

LTE de momento no está diseñado para ser utilizado en comunicaciones telefónicas de voz, pero si se está trabajando en ello, precisamente para integrar todos los servicios a IP.

El empeoramiento del *jitter* mostrado en la Figura 4.5 deja en evidencia que el daño causado por este fenómeno es incluso más grave que la adición de latencia en la misma magnitud. La gráfica presenta una fuerte caída en los primeros valores de *jitter*, para los que luego se estabiliza presentado ciertas variaciones debido a que la fijación del *jitter* se basa en eventos probabilísticos de adición de latencia y por lo tanto el *jitter* no es un valor determinístico. Por otro lado, se corrobora que la adición de *jitter* no afecta a la pérdida de paquetes como era de esperarse.

5.2.7. PRUEBA DE DISTANCIA A LA ANTENA

La distancia a la antena presenta en la QoS percibida un factor clave dado que esto influye en el tipo de modulación utilizada por el terminal, la cual puede ser menos eficiente, pero más robusta al ruido, ya que el SNR va bajando a medida que el usuario se va alejando de la antena transmisora. La potencia de la señal se va atenuando en la medida en que recorre más espacio o traspasa más obstáculos, es por ello que el sistema necesita gastar más recursos en suplir la falta de potencia, ofreciendo a cambio una disminución del *throughput* y por lo tanto una disminución en la QoS percibida por el usuario. Es importante destacar que esta prueba está muy ligada a la prueba de CQI ya que precisamente la forma que tiene el terminal para informar al Nodo B o eNB, del estado del canal de transmisión, es a través del CQI.

5.2.8. PRUEBA DE CONTROL DE CONGESTIÓN

El control de congestión es un procedimiento implementado por el protocolo TCP con el objetivo de reaccionar frente a la congestión de la red, de forma de descongestionarla de la forma más eficiente posible. Existen muchos tipos de control de congestión ya que las variables dentro del control de congestión son muy manejables, por ejemplo, la velocidad de crecimiento de la ventana TCP o la penalización por paquete perdido, lo que puede llevar a que ciertos métodos de control de congestión sean eficientes bajo ciertas condiciones pero ineficiente bajo otras circunstancias.

En esta ocasión se estudiaron 5 métodos de congestión, seleccionados por renombre e historia, dichos algoritmos son; Reno, Cubic, HSTCP, Vegas y Westwood. Las pruebas realizadas para el caso 3G no mostraron grandes diferencias entre los diversos controles de congestión y básicamente no se podía concluir nada, excepto que las diferencias son tan pequeñas en comparación con otras variables implícitas y los fenómenos de la red que no se hacen notar claramente en pruebas donde influyen muchos otros factores o ruido. Con el fin de medir el efecto del control de congestión en TCP, es que solo a modo de ejemplo se realizan las pruebas para una conexión Ethernet de Laboratorio donde variables tales como la latencia, la congestión, la pérdida de paquetes y el *jitter* son muchos más manejables que en una red 3G, obteniendo los siguientes resultados. Finalmente, de la Figura 5.1 se puede apreciar que el método de control de congestión que posee el mejor desempeño es el **Cubic** y es por ello que es dicho método el que es implementado por defecto en muchos sistemas operativos.

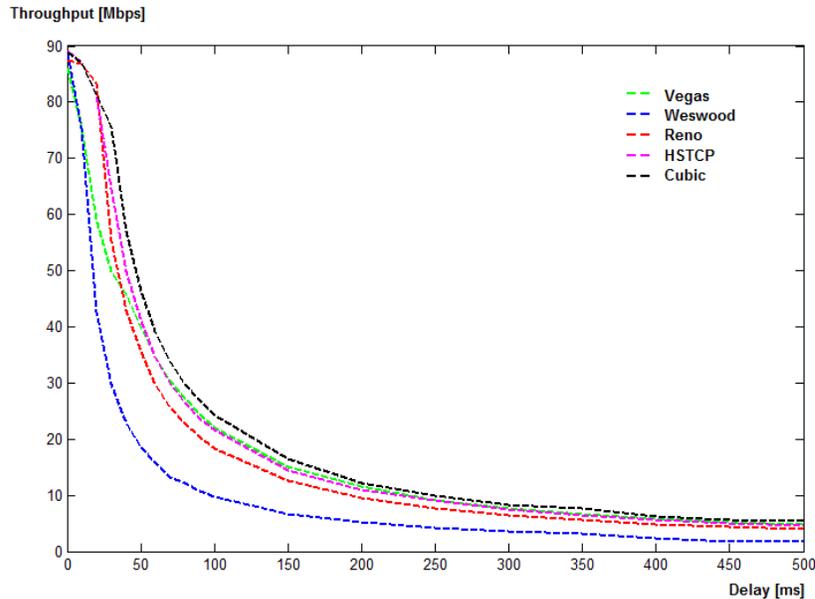


Figura 5.1: Prueba extra de Control de congestión en enlace Ethernet de Laboratorio.

5.2.9. PRUEBA DE CQI

El CQI es uno de los parámetros fundamentales para determinar la QoS ofrecida al usuario, ya que es este parámetro el que va a caracterizar la calidad del canal al que se está viendo expuesto un usuario y por consiguiente las garantías de calidad que se le pueden ofrecer de acuerdo a su situación. En la Figura 2.26 se logra apreciar la eficiencia y el tipo de modulación proporcionado por el eNB al terminal del usuario en dependencia del nivel de CQI, el cual a su vez depende de la condición del canal. Utilizando los terminales de LTE junto con un programa llamado *HiStudio* se puede monitorear el CQI que informa el terminal al eNB, por lo que en diversas condiciones de CQI se realizan transferencias las cuales demuestran que a medida que el CQI baja, también baja el *throughput* y por ende la calidad de servicio percibida por el usuario. Cabe destacar que el reporte de los CQI por parte de los UE a los eNB permite la estimación de la calidad del canal, y la implementación del mecanismo *Adaptive Modulation and Coding* (AMC).

5.2.10. COMPARATIVA DE TECNOLOGÍAS 3G Y LTE

Los resultados dejaron en evidencia las consecuencias de la variación de ciertos parámetros de red y situaciones de usuario tanto para la tecnología 3G como para la tecnología LTE. La teoría nos indica las muchas mejoras que propone LTE por sobre las actuales tecnologías 3G, teoría que se ve reflejada en los resultados obtenidos principalmente en la prueba de Tecnologías de Acceso, en donde se puede apreciar los bajos tiempos de latencia de LTE los cuales son 90% más bajos que los presentados en las actuales tecnologías 3G, mientras que el *throughput* aumenta en casi un factor 10 a la velocidad alcanzada por las redes 3G de hoy en día.

Tiempos de latencia notablemente más bajos y velocidades de transmisión de datos o *throughput* diez veces más altos que los actuales, abren las puertas hacia nuevas aplicaciones y servicios sobre la red LTE que con 3G no eran factibles. Algunos de los servicios más destacados fomentados por la inserción de la tecnología LTE son:

- *Cloud Computing*. Consiste en la posibilidad de reducir costos de almacenamiento de datos, pudiendo alojarlos en la “nube” y por otro lado realizar complejos cálculos a distancia sin la necesidad de tener un gran procesador, sino que consultándolo con uno de la “nube”.
- *M2M*. LTE permitirá desarrollar un sin fin de proyectos relacionados con el control, monitoreo de maquinarias de todo tipo como; automóviles con centrales para control de tráfico, medidores de energía o agua, y muchas más posibilidades. Se estima que en el mundo existen aproximadamente 90.000 millones de máquinas aplicables a sistemas de monitoreo o trabajo en paralelo.
- Además de juegos online y televisión móvil HD, entre otros.

Capítulo 6

CONCLUSIONES

La metodología docente utilizada en este proyecto, basada en un diseño curricular por competencias, presentó muy buenos resultados en la confección del programa de estudios del curso el cual permite entregar los conocimientos necesarios para el entendimiento del concepto clave de QoS y los factores que la afectan tanto para redes 3G como para redes LTE. El material docente desarrollado se presenta como prueba del cumplimiento del objetivo de establecer directrices que guíen al alumno a la obtención de conocimientos avanzados en redes de tercera y cuarta generación junto con la importante noción de QoS sobre dichas redes.

Se logró diseñar e implementar una metodología para la medición de *throughput* y una metodología para simular condiciones de red y situaciones de usuario las cuales impactan directamente en la QoS percibida por el usuario final de servicios BAM. Lo anterior, gracias a la implementación de un servicio de transferencia de archivos FTP, al levantamiento de la red LTE del laboratorio del DIE y a la satisfactoria elección de las herramientas de simulación, las cuales tuvieron un funcionamiento destacable, que permitió una efectiva y eficiente implementación.

Se consiguió diseñar un conjunto de prototipos de prueba que permiten medir el estado de una red y, en particular, la QoS percibida por un usuario de los servicios conectados a través de la misma. Los prototipos de prueba se diseñaron bajo el criterio *ceteris paribus*, el cual posteriormente, en la implementación, logró aislar de satisfactoriamente el efecto del parámetro de red o condición de usuarios de interés, llegando a las siguientes conclusiones para cada uno de los prototipos de prueba:

- De la prueba de *Terminales* se puede concluir que efectivamente, diferentes terminales LTE, pero con igual categoría, entregan una calidad de servicio casi idéntica.
- De la prueba de *Tecnologías de Acceso*, en cuanto a *throughput* y latencia, las tecnologías 3G sobrepasan con creces a las 2G, mientras que a su vez, LTE supera ampliamente a 3G en términos de velocidad de transferencia y tiempos de latencia, los cuales son solo comparables con las tecnologías WiFi.
- De la prueba de *Protocolos de Transporte* se concluye que si bien el protocolo UDP logra mayores velocidades de datos que TCP, este no garantiza el correcto arribo de la información y que carecer de métodos de control de congestión lo hace más veloz, pero a costa de congestionar la red, lo cual es un arma de doble filo.
- De la prueba de *Latencia* se concluye que efectivamente, tal como la teoría lo predecía, un aumento en la latencia disminuye el *throughput* y por ende la QoS percibida por el usuario, es por ello que muchos de los servidores internacionales con los contenidos más visitados son instalados localmente en países como el nuestro para reducir la latencia.
- De la prueba de *Jitter* se concluye que este efecto es incluso más perjudicial que el de la latencia y simula en cierto sentido una red inestable lo cual es mucho más nocivo que una red con un nivel de retardo fijo o relativamente constante.
- De la prueba de *Pérdida de Paquetes* se puede concluir que, tal como dice la teoría, la calidad de servicio disminuye debido a las constantes pérdidas de paquetes ya que, con

cada pérdida, el protocolo TCP baja el nivel de *throughput*. Esta prueba simula una red congestionada en la que los *buffers* de los *router* se llenan y estos empiezan a descartar paquetes.

- De la prueba de *Distancia a la Antena* se concluye que efectivamente la distancia afecta a la calidad de servicio, ya que al ser la señal recibida por el terminal cada vez más baja, la estación base utilizará para ese usuario codificaciones menos eficientes para suplir el deterioro de la razón señal a ruido.
- De la Prueba de *Control de Congestión* se logra concluir que los efectos de este parámetro son mínimos para comunicaciones móviles, incluso muy bajos y poco percibibles para comunicaciones fijas, aun así el algoritmo “Cubic” logra los mejores desempeños.
- De la Prueba de CQI se concluye que este es uno de los indicadores más relevantes dado que informa la calidad del canal, lo cual lleva a la estación base a determinar al fin y al cabo que velocidad será capaz de alcanzar el terminal, siendo esta menor (y menor la QoS) mientras más bajo sea el nivel de CQI.

El desarrollo de Prototipos de Prueba y de una guía de laboratorio que los describa, sienta un precedente para futuros trabajos que quieran profundizar en temáticas relacionadas con QoS y/o redes LTE, ya sea con la incorporación de nuevos prototipos de prueba, o con la realización de los prototipos en esta memoria expuestos, pero sobre otras tecnologías de acceso a Internet, o bien, incluir pruebas internacionales con servidores en el extranjero.

El Trabajo de Título posee grandes proyecciones en los diversos escenarios en que puede ser impartido el curso, es decir, en cursos de capacitación a empresas u operadores de telecomunicaciones interesados en mejorar la QoS ofrecida a los usuarios, en cursos electivos de pregrado de la malla curricular del DIE, en cursos de la malla del Magister en Ingeniería de Redes de Comunicaciones (MIRC) y también puede ser utilizado en el plano investigativo. En particular, dentro de los planos investigativos, uno de los temas sugeridos, es implementar los prototipos de prueba sobre una arquitectura LTE+IMS. Además, basado en el presente Trabajo de Título se sugieren, entre otros, los siguientes trabajos futuros:

- Crear y desarrollar más prototipos de prueba, en donde se evalúen otros factores que afecten la QoS percibida por el usuario, tales como horario cargado de la red, fechas importantes (navidad o año nuevo), tipo de entorno (urbano o rural), etc.
- Diseñar e implementar prototipos de prueba que pongan a prueba otros servicios, como por ejemplo, el servicio de voz, video *streaming*, IPTV HD, etc.
- Realizar los prototipos de prueba de LTE, fuera de un ambiente de laboratorio, ya sea con un servidor conectado a través de Internet o con alguna de las futuras redes LTE desplegadas por los operadores de telecomunicaciones.
- Implementar las pruebas aquí contenidas u otras utilizando servidores fuera del territorio nacional, es decir, a través de enlaces internacionales, que es por donde mayoritariamente se va el tráfico generado por un usuario promedio.

Capítulo 7

BIBLIOGRAFÍA

- [1] **Ajay R. Mishra** “Cellular Technologies for Emerging Markets 2G, 3G, and Beyond” (Libro). Wiley, 2010.
- [2] **Agusti Ramón (y otros)** “LTE Nuevas Tendencias en Comunicaciones Móviles” (Libro). Fundación Vodafone España, 2010.
- [3] **Cox Christopher** “An Introduction to LTE: LTE, LTE-advanced, SAE and 4G mobile communications” (Libro). Wiley, 2012.
- [4] **Gralla Preston, Troller Michael** “How the Internet Works” Eighth Edition (Libro). Que, 2006.
- [5] **Fall Kevin R., Stevens Richard W.** “TCP/IP Illustrated, Volume 1” Second Edition (Libro). Addison-Wesley, 2012.
- [6] **Kurose James F., Ross Keith W.** “Computer Networking A Top-Down Approach” Fifth Edition (Libro). Addison-Wesley, 2010.
- [7] **Tanenbaum Andrew S., Wetherall David J.** “Computer Networks” Fifth Edition (Libro). Prentice Hall, 2011.
- [8] **G. Gomez, R. Sanchez** “End to End Quality of Service over Cellular Networks” (Libro). Wiley, 2005.
- [9] **Jukka Lempiäinen, Matti Manninen** “UMTS Radio Network Planning, Optimization and QoS Management” (Libro). Kluwer Academic Publishers, 2003.
- [10] **Oliva John** Diseño e Implementación de un curso y laboratorio de servicios sobre acceso LTE y Packet Core IMS - Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Electricista. 2012.
- [11] **Lapin Nicolai Tchernitchin,** Diseño e Implementación de una IP-Contact Center distribuida económica y con fines docentes [Libro]. - Santiago : Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, 2007.
- [12] **Rojas Patricio Antonio Wolff** Diseño e Implementación de un Curso de Servicios Sobre Redes HFC de Nueva Generación - Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Electricista [Informe]. - 2009.
- [13] **Espinoza Mauricio Alexis Cerda** Diseño e Implementación de un curso para la Gestión/Tipificación de Proyectos en Telecomunicaciones - Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Electricista [Informe]. - 2007.

- [14] **Casals Andrés** Desarrollo de plataforma para monitoreo de servicio de Banda Ancha Móvil - Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Electricista. 2009.
- [15] **Sandoval Jorge**. Calidad de Experiencia en el servicio de Banda Ancha Móvil – Tesis para optar al grado de Magíster en Ingeniería de Redes de Comunicaciones. 2011.
- [16] **Segura Cristian**. Diseño e Implementación de una metodología para la medición de QoS/QoE en servicios OTT montados sobre una plataforma LTE/IMS. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Electricista. 2012.
- [17] **Fernandez Carlos**. Modelo de Capacidad en Acceso a una red HSPA en un Escenario Básico de una Celda. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Electricista. 2010.
- [18] **UGW9811** <http://www.huawei.com/us/products/core-network/singleepc/ugw/>
- [19] **USN9810** <http://www.huawei.com/en/products/core-network/singleepc/usn/index.htm>
- [20] **HSS9820** <http://www.huawei.com/en/products/core-network/singlesdb/hss9820/index.htm>
- [21] **iManager M2000** <http://www.huawei.com/en/products/oss/mbb-om-product/imanagem2000/index.htm>
- [22] **Boletín Informativo N°16 de la SUBTEL**, Santiago, 13 de Agosto de 2012. http://www.subtel.gob.cl/boletines/descargables/Boletin_N26.pdf
- [23] **Licitación 4G: se definen frecuencias para Entel, Movistar y Claro**, Santiago, 30 de julio de 2012. http://www.subtel.gob.cl/?option=com_content&view=article&id=3064
- [24] **J. Padhye, V. Firoiu, D. Towsley, and J. Kurose**, “Modeling TCP throughput: A simple model and its empirical validation,” in Proc. ACM SIGCOMM’98, 1998.
- [25] **Play Store**. “Fing – Network Tools” <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.overlook.android.fing&hl=es>
- [26] **Play Store**. “AndFTP” <https://play.google.com/store/apps/details?id=lysesoft.andftp&hl=es>
- [27] **RFC 4689 “Terminology for Traffic Control Mechanisms”**, Octubre 2006 <http://tools.ietf.org/html/rfc4689#section-3.2.5>
- [28] **Postel, Jon “Transmission Control Protocol”. RFC 793**, Septiembre, 1981. <http://www.faqs.org/rfcs/rfc793.html>
- [29] **Postel, Jon “User Datagram Protocol”. RFC 768**, Agosto, 1980. <http://www.faqs.org/rfcs/rfc768.html>
- [30] **RFC 5681 “TCP Congestion Control”**, September 2009. <http://tools.ietf.org/html/rfc5681>

- [31] **ITU-T E.800 Recommendation**. “Definitions of terms related to quality of service”. International Telecommunication Union. Septiembre 2008. <http://www.itu.int/rec/T-REC-E.800-200809-I/es>
- [32] **Área de Comunicaciones, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas**
http://ingenieria.uchile.cl/decano_de_la_fcfm_firma_convenios_de_cooperacion_con_china
- [33] **3GPP TS 23.203**, “Policy and charging control architecture”.
- [34] **3GPP TS 32.240**, “Telecommunication management; Charging management; Charging architecture and principles”.
- [35] **G. Miller**. ‘The Nature of the Beast: Recent Traffic Measurements from an Internet Backbone’, Abril 1998, <http://www.caida.org/outreach/papers/1998/Inet98/Inet98.html>.
- [36] **Tapia, Pablo, Liu, Jun and Karimli, Yasmin**. “HSPA Performance and Evolution. A Practical Perspective”. Wiley, 2009.
- [37] **Haider, Aun and Harris, Richard**. “A novel Proportional Fair Scheduling Algorithm for HSDPA in UMTS Networks”. IEEE, 2007.
- [38] **SUBTEL** “Detalles Legales y técnicos de Internet y Neutralidad de la Red”. http://www.subtel.gob.cl/index.php?option=com_content&view=article&id=3034&Itemid=1706&lang=es
- [39] **Recommendation ITU-R M.1645**, “Framework and overall objectives of the future development of IMT-2000 and systems beyond IMT-2000”.2003.
- [40] **Resolution ITU-R 57**, “Principles for the process of development of IMT-Advanced”. 2007.
- [41] **ITU-R Circular Letter 5/LCCE/2**, “Invitation for submission of proposals for candidate radio interface technologies for the terrestrial components of the radio interface(s) for IMT-Advanced and invitation to participate in their subsequent evaluation”.
- [42] **ITU-R, Revision 1 to Document IMT-ADV/2-E**, “Submission and evaluation process and consensus building”.
- [43] **3GPP TR 36.912 v9.0.0**, “Feasibility study for Further Advancements for EUTRA (LTE Advanced) (Release 9)”.
- [44] **3GPP., TS 25.214 V6.11.0**, “Physical layer procedure”. 2006.
- [45] **3GPP TR 36.913**, “Requirements for further advancements for E-UTRA (LTE-Advanced)”.
- [46] **Holma, Harri and Toskala, Antti**. “HSDPA/HSUPA for UMTS: High speed radio access for mobile communications”. Wiley, 2006.
- [47] **Ley N°20453** “Neutralidad de la Red”. <http://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1016570>

[48] **SUBTEL** “SUBTEL inicia fiscalización a planes de internet y llama a usuarios a informarse sobre sus nuevos derechos”
http://www.subtel.gob.cl/?option=com_content&view=article&id=1944

[49] **RFC 5681 “TCP Congestion Control”**. Septiembre, 2009. <http://tools.ietf.org/html/rfc5681>

[50] **El enfoque por competencias llega a las aulas**. Entrevista con Ofelia Ángeles, Profesora-investigadora de la UPN Ajusco. 2005.

[51] **Guía de Instalación OpenIMScore**. Open Source implementation of IMS Core
<http://www.openimscore.org/node/143>

ANEXOS IMS

Se realizó el levantamiento de la plataforma IMS a través de los siguientes pasos [51]:

Paso 1: Instalación de Ubuntu y librerías

- Instalar Ubuntu 11.10 en una Máquina Virtual
- Tamaño Fijo de 15 GB
- 1 GB de RAM
- Adaptador de Red NAT
- Se realiza la actualización de todas las librerías de LINUX
 - `sudo apt-get update`
- Se instalan las librerías de IMS
 - `sudo apt-get install openjdk-6-jdk mysql-server ant flex bison build-essential libxml2 libxml2-dev libmysqlclient18 libmysqlclient-dev ipsec-tools libcurl3 libcurl4-gnutls-dev bind9 subversion`

Paso 2: Obtener el código fuente

- ¿Dónde? - Código reciente en <http://svn.berlios.de/svnroot/repos/openimscore> (necesitarás tener instalado Subversión).
En esta página (<http://www.openimscore.org/sources/index.html>) se puede encontrar mucha más información acerca de las fuentes.
- ¿Qué?
 - Los CSCFs: `ser_ims/trunk`
 - El HSS: `FHoSS/trunk`
- ¿Cómo? - El código fuente se encuentra pre-configurado para trabajar desde una ruta de ficheros estándar:
 - Se crea el directorio `/opt/OpenIMSCore` y entra ahí
 - `mkdir /opt/OpenIMSCore`
 - `cd /opt/OpenIMSCore`
 - Se crea un nuevo directorio `ser_ims` e incorpora ahí los CSCFs:
 - `mkdir ser_ims`
 - `svn checkout`
 - `http://svn.berlios.de/svnroot/repos/openimscore/ser_ims/trunk`
 - `ser_ims`
 - Se crea un nuevo directorio `FHoSS` e incorpora ahí el HSS:
 - `mkdir FHoSS`
 - `svn checkout`
 - `http://svn.berlios.de/svnroot/repos/openimscore/FHoSS/trunk`
 - `FHoSS`
 - Si prefirieras otra ruta de ficheros, hay que prepararse para editar los ficheros de configuración

Paso 3: Compilar

- ser_ims
 - Se ejecuta "make install-libs all" dentro de ser_ims
 - cd ser_ims
 - make install-libs all
 - cd ..
 - Si algo falla, probablemente no se cuenta con todos los requisitos previos.
- FHoSS
 - Si no se tiene un JDK ≥ 1.5 , se debe conseguir uno antes de continuar
 - Asegúrate de que la versión del JDK que estás utilizando es ≥ 1.5
 - # java -version
 - java version "1.5.0_07"
 - Java(TM) 2 Runtime Environment, Standard Edition (build 1.5.0_07-b03)
 - Java HotSpot(TM) Client VM (build 1.5.0_07-b03, mixed mode)
 - A menudo se da el caso de que los usuarios acaban de instalar un JDK 1.5 pero aún siguen utilizando su antiguo JDK instalado. Si se ven muchos errores, se debe revisar esto.
 - Ejecuta "ant compile deploy" dentro de FHoSS
 - cd FHoSS
 - ant compile
 - ant deploy
 - cd ..

Paso 4: Configurar el entorno

- Notas:
 - Todos los ejemplos de instalación están configurados para trabajar únicamente en el loopback local y el dominio por defecto es "open-ims.test".
 - Los derechos de acceso de MySQL están configurados para acceso local únicamente
 - Recomendamos que primeros intentes de esta manera y posteriormente realices tus cambios.:
 - Reemplaza 127.0.0.1 con tu dirección IP en donde sea requerido
 - Reemplaza el dominio local (open-ims.test) con el tuyo propio
 - Cambia las contraseñas de la base de datos
 - Para esta operación, ser_ims/cfg/configurator.sh puede ayudarte.
- DNS
 - Un fichero de zona DNS puede encontrarse dentro de ser_ims/cfg/open-ims.dnszone
 - Cópialo a tu directorio de configuración de bind (servidor de nombres)
 - Edita el fichero named.conf e inserta el anterior fichero ahí (Sería grandioso agregar también entradas de DNS inversas)
 - Reinicia el servidor de nombres
 - Prueba que los nombres sean resueltos correctamente (no olvidar que el fichero /etc/resolv.conf apunte hacia el nuevo servidor DNS)

- MySQL
 - `mysql -u root -p -h localhost < opt/OpenIMSCore/ser_ims/cfg/icscf.sql`
 - `mysql -u root -p -h localhost < opt/OpenIMSCore/FHoSS/scripts/hss_db.sql`
 - `mysql -u root -p -h localhost < opt/OpenIMSCore/FHoSS/scripts/userdata.sql`
- Configuración del Núcleo IMS
 - `cp /opt/OpenIMSCore/ser_ims/cfg/*.cfg /opt/OpenIMSCore`
 - `cp /opt/OpenIMSCore/ser_ims/cfg/*.xml /opt/OpenIMSCore`
 - `cp /opt/OpenIMSCore/ser_ims/cfg/*.sh /opt/OpenIMSCore`
 - `cp /opt/OpenIMSCore/ser_ims/cfg/fhoss.sh /opt/OpenIMSCore`
- Tomar el archivo `open-ims.dnszone` y copiarlo en `/etc/bind`
 - `cp open-ims.dnszone /etc/bind`
- Modificar `named.conf.local` ubicado en `/etc/bind` y agregar las siguientes líneas
 - `gedit named.conf.local`
 - `zone "open-ims.test" {`
 - `type master;`
 - `file "/etc/bind/open-ims.dnszone";`
 - `};`
- Reiniciar el DNS
 - `/etc/init.d/bind9 restart`
- Modificar en `/etc/bind` el archivo `open-ims.dnszone` y cambiar las IPs dentro de él por `200.9.100.154`
 - `nano open-ims.dnszone`
- Editar el archivo **resolv.conf** ubicado en la carpeta `/etc/` y agregar:
 - `gedit resolv.conf`
 - `nameserver 200.9.100.154`

Paso 5: Ejecutar el FHoSS

- Antes de ejecutar el FHoSS
 - `export JAVA_HOME=/usr/lib/jvm/java-6-openjdk/`
 - `./startup.sh`
- Ingresar al FHoSS
 - Usuario: `hssAdmin`
 - Pass: `hss`