

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
ELECTRONICA**



**OPTIMIZACION DE DATA CENTER MOVILES PARA
ACCESIBILIDAD Y CAPACIDADES DE
PROCESAMIENTO EN LUGARES URBANOS**

TESIS

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO ELECTRONICO**

PRESENTADO POR:

**Bach. PEZO CASTAÑEDA, RONALD PAUL
Bach. DE LA CRUZ NINAPAITAN, STEVE JASSON
Bach. TORRES ROZAS, BRUNO ALEXIS**

ASESOR: Ing. CUADRADO LERMA, LUIS

**LIMA – PERÚ
AÑO: 2015**

DEDICATORIA

Esta Tesis va dedicada a Dios que nos da fuerzas y voluntad para poder cumplir con nuestro Proyecto, a nuestras familias por su incondicional apoyo y comprensión durante este trayecto, y a nuestros profesores por su apoyo brindado durante el desarrollo del mismo.

PEZO CASTAÑEDA, RONALD PAUL
DE LA CRUZ NINAPAITAN, STEVE JASSON
TORRES ROZAS, BRUNO ALEXIS

Dedico la presente Tesis a mis padres Carlos Torres y Marina Rozas por su incondicional apoyo y comprensión durante todo el trayecto que ha significado el resultado de este trabajo.

A mis hermanos Karla y Jesús por su apoyo durante todo momento, y a nuestros profesores por su aporte durante todo el desarrollo del trabajo.

TORRES ROZAS, BRUNO ALEXIS

AGRADECIMIENTO

Queremos agradecer a Dios por ser nuestro motor de vida y acompañarnos siempre en nuestras vidas y de manera especial también a nuestras familias que han sido nuestro apoyo incondicional para el cumplimiento de nuestras metas académicas.

INDICE

Resumen	xiii
Abstract	xiv
Introducción	1
Capítulo I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1 Fundamentación y formulación del problema	2
1.1.1 Descripción del estudio	2
1.1.2 Fundamentación y formulación del problema	2
1.1.2.1 Problema principal	2
1.1.2.2 Problema secundario	2
1.2 Objetivo principal y objetivos secundarios	3
1.2.1 Objetivo principal	3
1.2.2 Objetivos secundarios	3
1.3 Justificación del estudio e importancia	3
1.4 Fundamentación y formulación de las hipótesis	4
1.4.1 Hipótesis principal	4
1.4.2 Hipótesis secundaria	4
1.5 Identificación y clasificación de las variables	4
Capítulo II: MARCO TEORICO	
2.1 Antecedentes del estudio de investigación	5
2.2 Bases teóricas vinculadas al problema	5
2.2.1 Redes Móviles	5
2.2.1.1 Resumen de Evolución	5
2.2.1.2 Detalle Evolutivo	7
2.2.1.2.1 Tecnología 1G	7
2.2.1.2.2 Tecnología 2G	8
2.2.1.2.3 Tecnología 3G	8
2.2.1.2.4 Tecnología 4G	9

2.2.1.3 Tecnología 3G	10
2.2.1.3.1 Definición	10
2.2.1.3.2 Arquitectura	11
2.2.1.4 LTE: Tecnologías Inalámbricas	15
2.2.1.4.1 Antecedentes	15
2.2.1.4.2 Tecnologías Inalámbricas	16
2.2.1.4.2.1 Tecnologías 3GPP	16
2.2.1.4.2.2 Tecnologías competidoras	21
2.2.1.4.2.3 Comparación de Tecnologías Inalámbricas	26
2.2.1.4.2.3.1 Latencia	26
2.2.1.4.2.3.2 Eficiencia espectral	27
2.2.1.4.2.4 Costos y volumen de mercado	32
2.2.1.5 Técnicas de acceso al medio	34
2.2.1.5.1 Sistemas de Transmisión	34
2.2.1.5.1.1 OFDM	34
2.2.1.5.1.2 SC-FDMA	40
2.2.1.5.2 Programación del canal y adaptación de la velocidad de datos	43
2.2.1.5.2.1 Programación del enlace descendente	44
2.2.1.5.2.2 Programación del enlace ascendente	47
2.2.1.5.2.3 Interferencia intercelda	48
2.2.1.5.3 Esquemas de retransmisiones selectivas	49
2.2.1.5.4 Múltiples Antenas	51
2.2.1.5.5 Soporte Multicast y Broadcast	54
2.2.1.5.6 Flexibilidad del espectro	55
2.2.1.5.6.1 Flexibilidad en el sistema dúplex	55
2.2.1.5.6.2 Flexibilidad en la frecuencia de banda de operación	58
2.2.1.5.6.3 Flexibilidad del ancho de banda	59
2.2.1.5.7 Esquemas de modulación	60
2.2.1.6 Arquitectura de red y protocolos	62

2.2.1.6.1 Antecedentes	63
2.2.1.6.2 División de funciones entre RAN y CN	64
2.2.1.6.3 Arquitectura RAN	67
2.2.1.6.3.1 Red de acceso radio de WCDMA/HSPA	67
2.2.1.6.3.2 Red de acceso de radio de LTE	72
2.2.1.6.4 Arquitectura CN	75
2.2.1.6.4.1 Núcleo de red GSM utilizado por WCDMA/HSPA	75
2.2.1.6.4.1.1 MBMS, Multicast y Broadcast	77
2.2.1.6.4.1.2 Roaming	78
2.2.1.6.4.1.3 Control de políticas y de tarificación	79
2.2.1.6.4.2 Núcleo de Red SAE: Evolved Packet Core	80
2.2.1.6.4.2.1 SAE Gateway	82
2.2.1.6.4.2.2 MME	84
2.2.1.6.4.2.3 SI Flex	84
2.2.1.6.4.2.4 Roaming	85
2.2.1.6.4.2.5 Control de políticas y de tarificación	86
2.2.1.6.4.3 WCDMA/HSPA conectado al Evolved Packet Core	87
2.2.1.6.5 Arquitectura de Protocolos de la Interfaz Radio	88
2.2.1.6.5.1 RLC: Radio Link Control	89
2.2.1.6.5.2 MAC: Medium Access Control	91
2.2.1.6.5.2.1 Canales lógicos y de transporte	91
2.2.1.6.5.2.2 Programación Downlink y Uplink	94
2.2.1.6.5.2.3 Protocolo HARQ	95
2.2.1.6.5.3 PHY: Physical Layer	96
2.2.1.6.5.4 Estados LTE	97
2.2.1.6.5.5 Flujo de datos	98
2.2.1.6.5.6 Interfaz Radio	99
2.2.1.6.6 QoS: Calidad de servicio	100
2.2.2 Data Center	102
2.2.2.1 Definición	102
2.2.2.2 Estándares del Data Center	103

2.2.2.2.1 Niveles de Fiabilidad	103
2.2.2.2.2 Normas para implementación de Data Center	105
2.2.2.3 Fases para implementación de Data Center	106
2.2.3 Seguridad IP	109
2.2.3.1 Arquitectura de seguridad IP	109
2.2.3.2 Elementos de seguridad de Red a usar en la topología del Data Center Móvil	111
2.2.3.2.1 Firewall	111
2.2.3.2.2 Equipo VPN	111
2.3 Glosario de términos	111

Capitulo III: DISEÑO METODOLOGICO

3.1 Tipificación de la investigación	113
3.2 Operacionalizacion de las variables	113
3.3 Estrategia para la prueba de hipótesis	113
3.4 Población y muestra	115
3.4.1 Zonas urbanas con cobertura móvil	115
3.4.1.1 Estaciones Base 3G de los operadores móviles	116
3.4.1.2 Cobertura 4G	120
3.4.2 Velocidad de transmisión de datos	122
3.4.3 Bandas de Frecuencias	125
3.4.4 Muestra de empresas medianas	125
3.5 Instrumentos de recolección de datos	131

Capitulo IV: PRESENTACION Y ANALISIS DE LA INVESTIGACION

4.1 Presentación, análisis e interpretación de los datos obtenidos	132
4.1.1 Análisis sobre la implementación de Data Center	132
4.1.1.1 Participantes	133
4.1.1.2 Descripción general	134
4.1.1.3 Diseño de Data Center	137
4.1.1.4 Acondicionamiento de terreno	138
4.1.1.5 Sistema de aire acondicionado	139

4.1.2 Diseño de la red de telecomunicaciones del data center	139
4.1.2.1 Elementos de Red	140
4.1.2.2 Consideraciones de Red	151
4.1.2.3 Costo de Implementación de Red	152
4.2 Prueba de Hipótesis	153
4.2.1 Presentación de resultados	153
4.2.1.1 Presentación de resultados de Velocidades y Consumo de las empresas analizadas	154
4.2.1.2 Presentación de resultados de análisis económico con otros medios de transmisión	157
4.2.1.3 Presentación de resultados de comparación con otros medios de transmisión	160
4.3 Análisis y discusión de los resultados	160
CONCLUSIONES	162
RECOMENDACIONES	163
BIBLIOGRAFIA	164
ANEXO 1	166

INDICE DE TABLAS

TABLA N°1: Clasificación de variables	4
TABLA N°2: Características de la Tecnología 1G	7
TABLA N°3: Características de la Tecnología 2G	8
TABLA N°4: Características de la Tecnología 3G	9
TABLA N°5: Características de la Tecnología 4G	9
TABLA N°6: Protocolos y Normativas de Enlaces	14
TABLA N°7: Diferentes aspectos inalámbricos	15
TABLA N°8: Características de las Tecnologías 3GPP	17
TABLA N°9: Rendimiento de las diferentes tecnologías 3GPP	20
TABLA N°10: Rendimiento de las tecnologías 3GPP2	23
TABLA N°11: Rendimiento de la tecnología WIMAX	25
TABLA N°12: Niveles de Fiabilidad	104
TABLA N°13: Operacionalización de variables	114
TABLA N°14: Banda de frecuencia en 3G	125
TABLA N°15: Banda de frecuencia en 4G	125
TABLA N°16: Consumo de ancho de banda para Empresa 1	126
TABLA N°17: Consumo de ancho de banda para Empresa 2	127
TABLA N°18: Consumo de ancho de banda para Empresa 3	128
TABLA N°19: Consumo de ancho de banda para Empresa 4	129
TABLA N°20: Consumo de ancho de banda para Empresa 5	130
TABLA N°21: Instrumento de recolección de datos	131
TABLA N°22: Protocolos soportados para Cisco 2900 Series	143
TABLA N°23: Características técnicas Firewall Cisco ASA 5512-X	148
TABLA N°24: Supervisión del tráfico de aplicaciones	149
TABLA N°25: Conformación del tráfico de aplicaciones	150
TABLA N°26: Aceleración del tráfico de aplicaciones	151
TABLA N°27: CAPEX para la implementación	152
TABLA N°28: Velocidad de Transmisión vs Carga Promedio en 3G	153
TABLA N°29: Velocidad de Transmisión vs Carga Promedio en 3G	154

TABLA N°30: Velocidad de Transmisión 4G vs Ancho de Banda por aplicaciones Empresa 1	154
TABLA N°31: Velocidad de Transmisión 4G vs Ancho de Banda por aplicaciones Empresa 2	155
TABLA N°32: Velocidad de Transmisión 4G vs Ancho de Banda por aplicaciones Empresa 3	155
TABLA N°33: Velocidad de Transmisión 4G vs Ancho de Banda por aplicaciones Empresa 4	156
TABLA N°34: Velocidad de Transmisión 4G vs Ancho de Banda por aplicaciones Empresa 5	156
TABLA N° 35: Capex de enlace 4G	157
TABLA N° 36: Capex de enlace FO	157
TABLA N° 37: Capex de enlace MO	157
TABLA N° 38: OPEX enlace 4G	158
TABLA N° 39: OPEX enlace MO	158
TABLA N° 40: OPEX enlace FO	158
TABLA N° 41: Análisis total del proyecto de inversión de enlaces	159
TABLA N° 42: Comparativo de medios de Transmisión	160

INDICE DE FIGURAS

FIGURA N°1: Evolutivo de Redes Móviles en el Perú de Telefónica	6
FIGURA N°2: Arquitectura de Datos	11
FIGURA N°3: Rendimientos peak para el enlace ascendente y descendente	19
FIGURA N°4: Adopción tecnológica en décadas	20
FIGURA N°5: Evolución de los sistemas TDMA, CDMA y OFDMA	27
FIGURA N°6: Latencia de las diferentes tecnologías 3GPP	28
FIGURA N°7: Comparación de eficiencias espectrales Downlink	29
FIGURA N°8: Comparación de eficiencia espectral Uplink	30
FIGURA N°9: Comparación de la capacidad de Voz	31
FIGURA N°10: Abonados EV-DO, WCDMA/HSPA y WiMAX	33
FIGURA N°11: Espectro básico OFDM en dominio del tiempo	35
FIGURA N°12: Espectro básico OFDM en dominio de frecuencia	35
FIGURA N°13: Desviación de portadoras OFDM	36
FIGURA N°14: Modulación OFDM	37
FIGURA N°15: Grid OFDM tiempo – frecuencia	37
FIGURA N°16: Demodulación OFDM básica	38
FIGURA N°17: Inserción del Prefijo Cíclico	39
FIGURA N°18: Generación de la señal DFTS – OFDM	40
FIGURA N°19: Demodulación de la señal DFTS – OFDM	41
FIGURA N°20: Programación enlaces descendente del canal dependiente en dominio de tiempo y frecuencia	44
FIGURA N°21: a) control de potencia y b) control de velocidad	45
FIGURA N°22: Programación canal dependiente	46
FIGURA N°23: interferencia entre las células	49
FIGURA N°24: (a) Chase Combining y (b) Incremental Redundancy	50
FIGURA N°25: Técnicas de Múltiples Antenas en LTE	53
FIGURA N°26: Escenario Broadcast	54
FIGURA N°27: (a) FDD vs (b) TDD, enlace ascendente y descendente	56
FIGURA N°28: Estructura de la trama	57

FIGURA N°29: Actuales Bandas 3GPP, con rojo principalmente para LTE	58
FIGURA N°30: Flexibilidad del espectro LTE	60
FIGURA N°31: Constelaciones de modulación en LTE	61
FIGURA N°32: Modulación adaptiva	62
FIGURA N°33: Núcleo de red (CN) y Red de acceso radio (RAN)	63
FIGURA N°34: Topología de la red de transporte influyendo en la asignación de funciones	68
FIGURA N°35: Red de acceso radio WCDMA/HSPA: nodos de interfaces	69
FIGURA N°36: Roles de RNC	71
FIGURA N°37: Red de acceso radio LTE: nodos e interfaces	73
FIGURA N°38: Descripción simplificada del Core Network GSM y WCDMA/HSPA	76
FIGURA N°39: Roaming de GSM y WCDMA/HSPA	78
FIGURA N°40: Descripción simplificada del Core Network SAE de LTE	81
FIGURA N°41: Elementos funcionales e interfaces del EPC	82
FIGURA N°42: Función SI flexibility	85
FIGURA N°43: WCDMA/HSPA conectada con LTE/SAE	87
FIGURA N°44: Arquitectura de protocolo LTE	88
FIGURA N°45: Segmentación y Concatenación RLC	90
FIGURA N°46: Ejemplo de mapeado de los canales lógicos-transporte	93
FIGURA N°47: Estados LTE	98
FIGURA N°48: Flujos de datos LTE	99
FIGURA N°49: División Funcional entre E-UTRAN y EPC	100
FIGURA N°50: Arquitectura de Servicio de portador SAE	101
FIGURA N°51: Coberturas de tecnologías 3G y 4G	115
FIGURA N°52: Zona de cobertura urbana de Lima	116
FIGURA N°53: EEBB 3G al 2013 Movistar	117
FIGURA N°54: EEBB 3G al 2013 Claro	118
FIGURA N°55: Cobertura Móvil	118
FIGURA N°56: Cobertura BITEL	119

FIGURA N°57: Cobertura ENTEL	119
FIGURA N°58: Cobertura 4G	120
FIGURA N°59: Cobertura Entel	121
FIGURA N°60: Cobertura Claro	121
FIGURA N°61: Infografía Osiptel	122
FIGURA N°62: Velocidades promedio operadores	123
FIGURA N°63: Velocidades de transmisión de 3G	124
FIGURA N°64: Velocidades de transmisión de 4G	124
FIGURA N°65: Consumo de la empresa 1	126
FIGURA N°66: Consumo de la empresa 2	127
FIGURA N°67: Consumo de la empresa 3	128
FIGURA N°68: Consumo de la empresa 4	129
FIGURA N°69: Consumo de la empresa 5	130
FIGURA N°70: Ubicación CPD cliente	138
FIGURA N°71: Red de Telecomunicaciones del Data Center	140
FIGURA N°72: Cisco Wireless LAN 2900	141
FIGURA N°73: Cisco 4G LTE Wireless WAN EHWIC	144
FIGURA N°74: Cisco 4G LTE WWAN EHWIC for WAN	146
FIGURA N°75: 4G LTE como enlace primario WAN	146
FIGURA N°76: 4G LTE como enlace primario WAN	147
FIGURA N°77: Firewall Cisco ASA 5512-X	148
FIGURA N°78: BlueCoat PacketShaper 1700-L010M	151
FIGURA N°79: Comparativo de costo de proyecto de inversión	159

RESUMEN

Actualmente, los sectores empresariales optimizan sus costos sin perder eficiencia productiva en Data Center Móviles tercerizando el servicio y adquiriendo esta tecnología ya que la infraestructura montada es de utilidad para todo ámbito empresarial.

El presente proyecto trata sobre el servicio de implementación de un nuevo Data Center Contingente tipo *Container*, en adelante CPD, como consecuencia de las necesidades de mejora centro de los procesos de negocio. El diseño y dimensionamiento de los diferentes componentes cumplen los estándares requeridos en el mercado.

Los *Outdoor Enclosure Electric Shelter* Prefabricados en sí y todos los equipamientos eléctricos utilizados en sus sistemas para la protección, control y supervisión, están contruidos de acuerdo a las Normas vigentes de ANSI, NEMA, ASTM, IEEE, ISA, OSHA, los cuales además cuentan con Aprobaciones y Certificación de Calidad de Laboratorios como UL, CSA, SEC o Laboratorios de Control de Producción y de Certificación de Calidad equivalentes.

Actualmente las empresas vienen usando enlaces propios y dedicados para manejar su información y conexión con su data center principal y de contingencia. En muchos casos desaprovechando la comunicación entre ellos por lo que se requiere la necesidad de ser más efectivos en el uso de sus recursos de comunicación, por lo cual se debe considerar los siguientes aspectos:

- Modelamiento de Tráfico.
- Seguridad.
- Conmutación de enlaces.

Palabras Claves: Data Center Móviles, CPD, *Outdoor Enclosure Electric Shelter* Prefabricados, enlaces dedicados, efectivo, recurso de comunicación.

ABSTRACT

Currently, the business sectors optimize their costs without losing production efficiency in Mobile Data Center outsourcing service and acquiring this technology because the infrastructure is mounted useful for all business field.

This project deals with the service of implementing a new quota type Data Center Container, hereinafter CPD, following needs improvement center business processes. The design and dimensioning of the different components meet the required standards in the market.

The Outdoor Enclosure Electric Shelter Prefabricated itself and all electrical equipment used in systems for the protection, control and monitoring are built according to current standards of ANSI, NEMA, ASTM, IEEE, ISA, OSHA, which also have with Approvals and Quality Certification Laboratories as UL, CSA, SEC or Control Laboratories Production and Quality Certification equivalents.

Currently companies are using own links and dedicated to manage their information and connection with your main data center and contingency. In many cases missing the communication between them so the need to be more effective in their use of communication resources is required, so you should consider the following:

- Traffic Modeling.
- Security.
- Switching links.

Keywords: Mobile Data Center, CPD, Outdoor Enclosure Electric Prefabricated Shelter, dedicated links, effective, communication resource.

INTRODUCCIÓN

Actualmente las tecnologías móviles vienen avanzando de manera exponencial en lo que se refiere a transmisión de datos dando posibilidad de transportar servicios empresariales como por ejemplo Base de datos (SQL, Oracle, etc.), Videos, Voz IP, Storage, etc. que actualmente se transporta en redes dedicadas (Fibra Óptica, Microondas o Satelital). Estos servicios que actualmente las empresas vienen teniendo en Data center para acceder a sus distintos servicios alojados en servidores pueden ser transportados por las tecnologías móviles actuales dependiendo del volumen de carga que estos representan.

El objetivo del presente trabajo es asegurar la conectividad de punto a punto entre el cliente y su data center principal sin perder información y reduciendo costos de operación o transacciones utilizando las redes móviles existentes.

Para estos fines en el presente trabajo nos avocaremos a mostrar mediante métodos estadísticos y estimaciones de tráfico generadas por empresas medianas en el mercado peruano que es posible dimensionar una red usando tecnologías móviles para transportar el volumen de datos requerido por una empresa de un data center principal a un data center móvil mediante las redes públicas móviles ofreciendo un servicio en el modelo de *best effort* con la seguridad que estos datos deben de ser tratados.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Fundamentación y formulación del problema

1.1.1 Descripción del Estudio

Con la implementación de un Data Center Móvil, los clientes podrán obtener sus servicios a un costo reducido además se obtendrá características como escalabilidad y conectividad usando las redes móviles.

1.1.2 Fundamentación y formulación del problema

1.1.2.1 Problema principal

¿Cómo asegurar la conectividad de punto a punto entre el cliente y su data center sin perder información y reduciendo costos de operación o transacciones?

1.1.2.2 Problema secundario

1 ¿La inexistencia de seguridad de una red pública genera vulnerabilidad dentro de una red móvil para un data center Móvil?

2 ¿Una red Móvil sería adecuada para manejar el volumen de tráfico de un Data center Móvil?

3 ¿A partir de que tecnologías de redes móviles se pueden considerar para el uso de datos para un data center móvil?

1.2 Objetivos principal y secundarios

Objetivo Principal

Asegurar la conectividad de punto a punto entre el cliente y su data center principal sin perder información y reduciendo costos de operación o transacciones utilizando las redes móviles existentes.

Objetivos Secundarios

- Mitigar toda amenaza que genera una red pública contra la información del cliente.
- Dimensionar el tráfico necesario para el servicio que se le brindaría al cliente.
- Garantizar el tráfico de información de punto a punto.

1.3 Justificación del Estudio e Importancia

La tecnología LTE está obligando a los proveedores de servicios a replantear sus estrategias actuales de despliegue para proporcionar la mayor velocidad de datos a través de sus redes. Un modo de conseguirlo es mejorando su infraestructura de nodos, en ese sentido, las alternativas que las empresas optan para minimizar costos es desarrollar data center móviles con el fin de tener conectividad mediante redes inalámbricas aumentando la fiabilidad de la interconexión y de esa manera genera también eficiencia energética y flexibilidad mientras la red realiza su transición completa a esa topología.

Los Data Center móviles actualmente son base de las empresas para el manejo de sus operaciones y pieza fundamental en su desarrollo, con el fin de optimizar sus ingresos estas soluciones pueden ser viables a través de redes inalámbricas existentes. Por ello la importancia de su análisis en los aspectos antes mencionados en el “Resumen”.

1.4 Fundamentación y formulación de las hipótesis

1.4.1 Hipótesis Principal

La aplicación de redes públicas existentes y seguridad de acuerdo a la necesidad del cliente sin descuidar la calidad de servicio mediante los estándares existentes.

1.4.2 Hipótesis Secundaria

1. El uso de la red pública genera vulnerabilidad de la información.
2. Las actuales redes móviles son capaces de manejar los volúmenes de datos que manejan los Data Center Móviles.
3. La tecnología actual se pueden considerar para el uso de datos para un data center móvil.

1.5 Identificación y clasificación de las variables

1.5.1 Tabla N°1: Clasificación de variables

	VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADOR	ESCALA DE MEDICION
Conectividad Punto a Punto	Seguridad Informatica	La seguridad Informatica o seguridad de las Tecnologias de la información es el area que se enfoca a la proteccion de datos	Proteccion de la información accesibles a puntos de red	Conexiones autorizadas	0-100% Conexiones autorizadas
			Capacidad de Red	Red usada / capacidad disponible x 100 %	0-100% Capacidad de Red
	Dimensionamiento de Trafico	Asegurar que la capacidad de Red sea la suficiente para satisfacer las demandas actuales del negocio (Con el analisis de tendencias de las proyecciones futuras)	Capacidad de Red	Red usada / capacidad disponible x 100 %	0-100% Capacidad de Red
			Estadistica de Datos	Uso de datos en empresas	% Proyeccion de crecimiento de datos
	Garantizar el tráfico de información de punto a punto	Es el uso de un canal de datos para la comunicación de dos redes a través de dos nodos	Velocidad de los enlaces	Velocidad en mbps	Medido en mbps
			Ancho de Banda	Troughput (Ancho de	Medido en mbps
			RSSI	Atenuación	Medido en dbm
			Consumo	Consumo de	Medido en MB

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO II

MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes del estudio de investigación

En la actualidad los Data Center involucran 3 temas básicos los cuales tocaremos como antecedentes para el objetivo de esta Tesis, los cuales estructuraremos y se detallaran los siguientes temas que involucran esta tesis:

- Redes Móviles
- Data Center Implementación y Antecedentes
- Seguridad IP

2.2 Bases teóricas vinculadas al problema

2.2.1 Redes Móviles

2.2.1.1 Resumen de Evolución

1G: Cuando la telefonía móvil se estrenó en los años 80's, los equipos solo servían para llamar y ofrecía velocidades de 14.4kbps, esa fue la primera generación de redes móviles (tecnologías como AMPS).

2G: La segunda generación, ya digital, aparece a inicios de los años 90 con las tecnologías GSM, TDMA y CDMA, permitiendo velocidades de datos cercanos a los 10kbps. Entre la segunda y tercera generación, aparecieron varias tecnologías como GPRS y EDGE, aumentando las velocidades de datos desde 144kbps hasta 384kbps por celda y permitiendo a los usuarios navegar por internet o descargar imágenes desde sus dispositivos móviles.

3G: Con la tercera generación (3G) es cuando realmente llega la banda ancha móvil con tecnologías como WCDMA y CDMA2000/EVDO, las personas desde

sus teléfonos comienzan a descargar audio, video, imágenes, etc. La tercera generación siguió evolucionando con tecnologías como HSPA (3.5G o 3G+), permitiendo velocidades máximas por celda aún mayores entre 7.2 y 14.4 Mbps. Hoy en día, los operadores siguen actualizando sus redes con tecnologías HSPA+ para ofrecer velocidades máximas por celda de 21Mbps con una portadora o 42Mbps con dos portadoras, e inclusive pudieran llegar a 84Mbps con doble sistema de antenas (MIMO2x2). En la práctica, la mayoría implementa solo los 21Mbps o hasta 42Mbps si tienen espectro suficiente. Con estas velocidades por celda, un usuario puede experimentar en promedio entre 2 y 4Mbps, similares a las conexiones fijas que se tienen en su hogar u oficina.

4G: Como última tecnología actual introducida al país, encontramos sobre el camino evolutivo de 3GPP en su Release 8, la introducción de la tecnología LTE, que permite llegar a velocidades máximas teóricas mayores a los 120Mbps por celda utilizando un canal de espectro de 20MHz y aplicando técnicas de modulación más eficientes. En la práctica, los usuarios de las redes comerciales LTE alcanzan entre 10 y 20Mbps de velocidad promedio.

Demostrando la Evolución de las Redes Móviles en el Perú ver figura 1.

Figura 1: “Evolutivo de Redes Móviles en el Perú de Telefónica”



Fuente: Elaboración propia

2.2.1.2 Detalle Evolutivo

2.2.1.2.1 Tecnología 1G

Esta sigla corresponde a la primera generación de tecnologías de comunicación móvil, si se exceptúa, claro está a 0G. Puesta en funcionamiento a principios de los años 80, se nutría de estándares como el NMT, AMPS, TACS, C-450, Radiocom 2000, y TZ, entre otros.

Si bien utilizaba para su operatoria el sistema digital para conectar las Radiobases al resto del sistema de telefonía, 1G era analógica, y bastante rudimentaria, ya que además de depender de dispositivos externos como módems para realizar las conexiones de subida y bajada de datos, estos sólo se realizaban a tasas de descarga de hasta 10 Kb/s, sin duda alguna una velocidad exasperante y no apta para personas poco pacientes. Ver Tabla N° 2.

Tabla N° 2: Características de la Tecnología 1G.

TECNOLOGIA	SERVICIO	STANDARD	VELOCIDAD
1G	VOZ	AMPS	1.9Kbps

Fuente: Elaboración propia

En este sentido, esta tecnología, y por ende también los dispositivos que la usaban, sufría muchos problemas relacionados con la compatibilidad, debido principalmente a inconvenientes surgidos por la falta de normalización y estandarización de estas primeras redes celulares por parte de las empresas operados de telefonía, que querían imponer su sistema aun a costa de la imposibilidad de comunicarse de sus usuarios con otros clientes de una compañía diferente.

Cabe destacar que esta tecnología continuó largo tiempo luego de la implementación de la tecnología 2G, completamente digital.

2.2.1.2.2 Tecnología 2G

El Sistema Global de Comunicaciones Móviles, también conocido como 2G o GSM, fue el protocolo encargado de estandarizar y proporcionar un marco de compatibilidad a las conexiones móviles. Si bien se comenzó a desarrollar en 1982 por un consorcio de empresas europeas, las primeras implementaciones del protocolo vieron la luz a principios de la década de los 90.

Como comentamos más arriba, la tecnología 2G tenía muchos problemas de compatibilidad entre dispositivos y operadoras, lo que GSM resolvió, proporcionando una eficiencia y capacidad como nunca antes se había visto, lo que colaboró directamente en la expansión de todo el sistema de telefonía celular. Ver Tabla N° 3.

Tabla N° 3: Características de la Tecnología 2G

TECNOLOGIA	SERVICIO	STANDARD	VELOCIDAD
2G	VOZ Y DATOS	TDMA, CDMA, GSM	14.4Kbps

Fuente: Elaboración propia

Sin duda alguna, entre las mejores características de GSM se encuentra la velocidad de transferencia, mucho más alta que 1G, alcanzando hasta los 97 Kb/s teóricos. También con GSM se hizo realidad el sistema de SMS, la posibilidad de enviar y recibir correo electrónico y navegar por Internet, entre otros.

2.2.1.2.3 Tecnología 3G

Actualmente, la tecnología 3G es la de mayor penetración en el mercado, debido principalmente a las excelentes características y velocidad de subida y descarga que brinda. Implementada a gran escala en el año 2001 de la mano del consorcio UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), el estándar permitió que sus usuarios pudieran contar con una forma más eficiente de navegar por Internet y hacer uso de servicios como las redes

sociales, la mensajería instantánea e implementaciones de VoIP, entre otras. Ver Tabla N° 4.

Tabla N° 4: Características de la Tecnología 3G

TECNOLOGIA	SERVICIO	STANDARD	VELOCIDAD
3G	VOZ , DATOS, VoIP	WDCMA	2Mbps

Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, la implementación de 3G fue lenta, debido principalmente a que las operadoras telefónicas no realizaban las inversiones necesarias para adaptar su infraestructura a este nuevo protocolo, por lo cual todavía muchos países no cuentan con una cobertura total 3G de su territorio, disminuyendo así la expansión del sistema, pero además provocando en el usuario una serie de problemáticas como un mayor gasto de batería de su dispositivo al estar continuamente en la búsqueda de señal.

2.2.1.2.4 Tecnología 4G

Conocida también como LTE o Long Term Evolution, 4G es el estándar de comunicaciones móviles más moderno que existe, tanto que todavía no ha sido implementado en muchos países. Sin duda alguna, la característica más importante de este nuevo protocolo es la alta tasa de transmisión que puede llegar a alcanzar, en teoría unos 300 Mb/s. Ver Tabla N° 5.

Tabla N° 5: Características de la Tecnología 4G

TECNOLOGIA	SERVICIO	STANDARD	VELOCIDAD
4G	DATOS	LTE	200Mbps

Fuente: Elaboración propia

4G fue diseñada con el propósito de satisfacer la demanda de los usuarios que requerían un mayor ancho de banda y capacidad para poder utilizar con

comodidad servicios como la televisión móvil, web 2.0, videoconferencias y demás.

2.2.1.3 Tecnología 3G

2.2.1.3.1 Definición

La tecnología de tercera generación o más conocida como 3G es un servicio de comunicaciones inalámbricas que permite estar conectado de forma permanente a internet a través del teléfono móvil, el ordenador de bolsillo y el ordenador portátil. La tecnología 3G propone una mejor calidad y fiabilidad, una mayor velocidad de transmisión de datos y un ancho de banda superior. Con velocidades de datos de hasta 384Kbps, es casi siete veces más rápida que una conexión telefónica estándar.

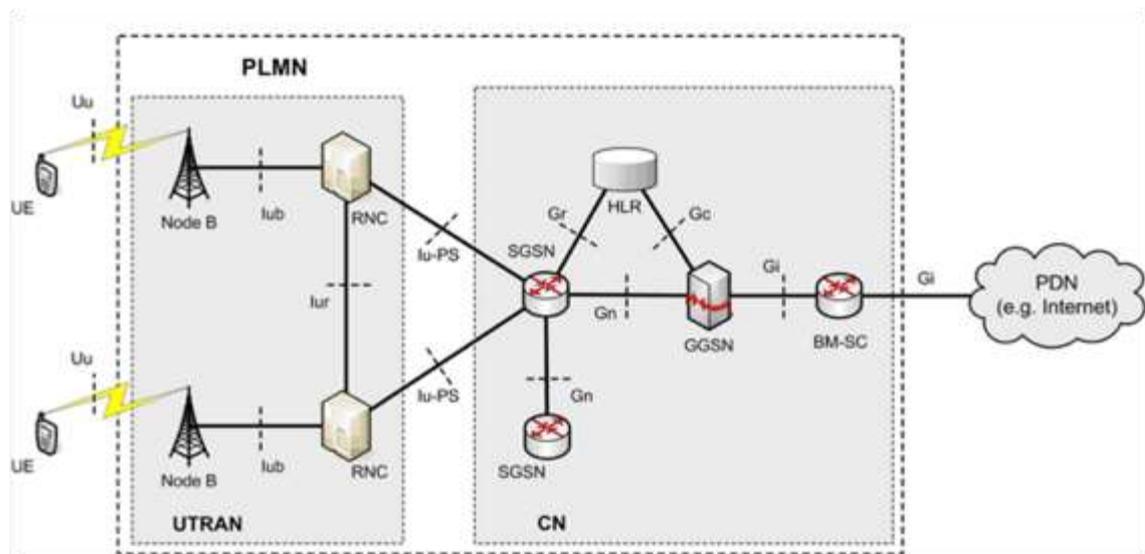
La International Telecommunication Union (ITU) definió las demandas de redes 3G con el estándar IMT-2000. Este estándar se desarrolló mediante un sistema móvil llamado UMTS (Universal Mobile Telephone System), este a su vez está desarrollado a partir de W-CDMA, que es una tecnología móvil inalámbrica que aumenta las tasas de transmisión de datos de los sistemas GSM utilizando la interfaz aérea CDMA en lugar de TDMA (Time División Múltiple Access), es por ello que 3G ofrece velocidades muchos más altas de datos en aparatos inalámbricos portátiles.

También UMTS se define como un sistema por capas. La capa de más arriba es la capa de servicios y como su nombre lo señala se encarga de los servicios, de su despliegue en forma rápida; en el centro se encuentra la capa de control que se preocupa de ayudar a la mejora de los procedimientos y permite que la capacidad de la red sea dinámica; en la zona más baja se encuentra la capa de conectividad, la que tiene como labor la transmisión de datos y tráfico de voz.

2.2.1.3.2 Arquitectura

Para propósito de la tesis, vamos a enfocar la arquitectura de datos para UMTS. Como se puede apreciar en la siguiente figura 2.

Figura 2: Arquitectura de Datos



Fuente: Elaboración propia

Donde:

UE: User Equipment, o equipamiento del usuario. Es el terminal móvil y su módulo de identidad de servicios de usuario/suscriptor (USIM) equivalente al SIM card de los terminales GSM.

UTRAN: UMTS Terrestrial Radio Access Network, o red terrestre de acceso radio del UMTS basada en el Wideband Code División Múltiple Access (WCDMA).

CN: Core Network o núcleo de red que soporta servicios basados en conmutación de circuitos y conmutación de paquetes.

Interfaz Uu: La interfaz Uu se encuentra entre el equipo de usuario y la red UTRAN.

RNC (Radio Network Controller): El RNC controla a uno o varios Nodos B. El RNC se conecta con el MSC mediante la interfaz luCS o con un SGSN mediante la interfaz luPs. La interfaz entre dos RNC's es la interfaz lur por lo tanto una conexión directa entre ellos no es necesario que exista. Si comparamos al RNC con la red de GSM (Groupe Spécial Mobile), éste es comparable con el BSC (Base Station Controller).

Algunas de las funciones ejecutadas por RNC son:

- Manejar los recursos de transporte de la interfaz lu.
- Manejo de la información del sistema y de los horarios de la información del sistema.
- Manejo de tráfico en los canales comunes.
- Combinación en la Macro diversidad y división de las tramas de datos transferidas sobre muchos Nodos B.
- Asignación de códigos de canalización en el enlace de bajada.
- Control de admisión.
- Manejo del tráfico en los canales compartidos.

Nodo B: El nodo B crea, mantiene, y envía un enlace de radio en cooperación con el terminal. Es decir, es el componente responsable de la transmisión y recepción radio entre el terminal móvil y una o más celdas UMTS.

Algunas de las funciones ejecutadas por Nodo B son:

- Transmisión de los mensajes de información del sistema de acuerdo con el horario determinado por el RNC.
- Reportar las mediciones de la interferencia en el enlace de subida y la información de la potencia en el enlace de bajada.

-Combinación para la Macro diversidad y división de las tramas de datos internas al Nodo B.

IuB: Es la interfaz que conecta al Node B y el RNC.

Iur: Es la interfaz que conecta a dos o más RNC.

Iu-PS: Es la interfaz que conecta el RNC y la SGSN

Gn: Es la interfaz que se utiliza para soportar movilidad aplicable cuando GGSN y SGSN están situados en la misma PLMN.

Gr: Utilizado por el SGSN para obtener información sobre los abonados del HLR.

Gc: Utilizado por el GGSN para recuperar información sobre la ubicación y los servicios soportados por la MS (Mobile Subscriber), para ser capaz de activar una dirección de red de datos por paquetes, lo que es de interfaz opcional.

Gi: Es la interfaz usada entre GGSN y PDN. Se utiliza para intercambiar datos con la red de paquetes de datos externa.

Red Central (Core Network): La red central se forma por varios elementos, los dos de mayor interés son el MSC, pieza central en una red basada en conmutación de circuitos y el SGSN, pieza central en una red basada en conmutación de paquetes.

SGSN (Serving GPRS Support Node): El SGSN es la pieza central en una red basada en la conmutación de paquetes. El SGSN se conecta con UTRAN mediante la interfaz Iu-PS y con el GSM-BSS mediante la interfaz Gb. El SGSN contiene la información de suscripción, el IMSI (International Mobile

Subscriber Identity), la información de ubicación y el área en la que el móvil está registrado entre otras informaciones.

En la siguiente Tabla N° 6 podemos observar los protocolos y normativas para algunas interfaces.

Tabla N° 6: Protocolos y Normativas de Enlaces

INTERFAZ	COMUNICACIÓN	DESCRIPCION	PROTOCOLO	ESPECIFICACION / NORMATIVA
Gn	Entre GSNs	Interfaz que se utiliza para soportar movilidad aplicable cuando GGSN y SGSN están situados en la misma PLMN.	GTP	29.060
Gr	SGSN – HLR	Utilizado por el SGSN para obtener información sobre los abonados del HLR.	MAP	29.002
Gc	GGSN – HLR	Utilizado por el GGSN para recuperar información sobre la ubicación y los servicios soportados por la MS (Mobile Subscriber), para ser capaz de activar una dirección de red de datos por paquetes, lo que es de interfaz opcional.	MAP	29.002
Gi	GGSN – PDN	Es la interfaz usada entre GGSN y PDN. Se utiliza para intercambiar datos con la red de paquetes de datos externa.	IP	29.061

Fuente: Elaboración propia

2.2.1.4 LTE: Tecnologías Inalámbricas

El presente capítulo da a conocer las evoluciones de las distintas de tecnologías móviles y se realiza una comparación de aspectos técnicos y comerciales entre las tecnologías semejantes. Centrándose básicamente en la competencia de LTE, como lo es WiMAX Móvil.

2.2.1.4.1 Antecedentes

La IMT 2000 posee un grupo de interfaces radioeléctricas con el objetivo de evolucionar 3G, en donde se destacan TDMA, CDMA y OFDMA. Cada uno de estos grupos trabaja con sus propias técnicas para mejorar su anterior servicio. Todo está estandarizado por los organismos de especificación 3GPP y 3GPP2. Además el IEEE también se ha manifestado dentro del servicio móvil, evolucionando sus redes inalámbricas a través del comité IEEE 802. Según las diferentes interfaces radio podemos agrupar las tecnologías móviles como se ve en la Tabla N° 7.

Tabla N° 7: Diferentes aspectos inalámbricos

Interfaz radio	Tecnologías	Comentario
TDMA	GSM, GPRS, EDGE, TIA/EIA-136 TDMA	Primer aspecto digital celular. Gran éxito en la telefonía GSM. Nuevas mejoras para el diseño de GSM/EDGE.
CDMA	CDMA2000 1xRTT, CDMA2000 EV-DO, WCDMA, HSPA, HSPA+, IEEE 802.11b	Base para casi todas las nuevas redes 3G. Maduro, eficiente, dominando la amplia área de sistemas inalámbricos para el resto de esta década.
OFDM / OFDMA	IEEE 802.16/WiMAX, 3GPP LTE, IEEE 802.11a/g/n, IEEE 802.20, 3GPP2 UMB	Eficiencia para sistemas de emisión, mayor ancho de banda y alta velocidad de transmisión de datos. También ofrece flexibilidad en la cantidad de espectro utilizado. Muy adecuado para sistemas previsto para la próxima década.

Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcis718l/doc/bmfcis718l.pdf>

pág. 22

2.2.1.4.2 Tecnologías Inalámbricas

2.2.1.4.2.1 Tecnologías 3GPP

Dando énfasis al aspecto inalámbrico, el 3GPP ha evolucionado un plan para reconocer las fortalezas y debilidades de cada tecnología, con el fin de explotar las únicas capacidades que poseen. Todo empieza con el amplio desarrollo que obtiene globalmente GSM, el cual es una tecnología 2G basada en TDMA, que es el principal paso hacia la evolución en tecnologías 3G. Hoy en día GSM es muy eficiente, sin embargo, hay oportunidades para optimizaciones y mejoras adicionales al sistema. La mayoría de las redes GSM están respaldadas por EDGE (Enhacer Data rates for GSM of Evolution o Tasa de datos Mejoradas para la evolución de GSM) que se trata de una mejora de GPRS, que es el original servicio de paquetes de datos para redes GSM. Los organismos de estandarización ya se han definido por "Evolved EDGE" o "EDGE Evolucionado", que está siendo desarrollado actualmente y con el objetivo de duplicar el rendimiento de los sistemas actuales de EDGE. Al final de esta década, debido a la enorme dinámica del mercado, la mayoría de los usuarios en el mundo seguirán siendo abonados utilizando tecnologías GSM/EDGE.

Mientras tanto, CDMA fue elegido como la base de las tecnologías 3G, incluyendo WCDMA para FDD y TDD de UMTS. La evolución de los sistemas de datos para WCDMA, tales como HSPA y HSPA+, introduce mejoras y simplificaciones que ayudan a los sistemas basados en CDMA a coincidir con las capacidades de los sistemas de la competencia, especialmente en el espectro asignado.

Dadas algunas de las ventajas de la interfaz OFDM, el 3GPP ha especificado a OFDMA como base de su tecnología LTE, ya que incorpora las mejores técnicas de radio para lograr niveles de rendimientos más allá de lo que se

practica con CDMA. Sin embargo, de la misma manera que 3G coexiste con la segunda generación en los sistemas integrados de redes, los sistemas LTE coexistirán con sistemas 3G y 2G. Dispositivos múltimodo funcionarán a través de LTE/3G o incluso por medio de LTE/3G/2G, dependiendo de las circunstancias del mercado. Más allá de la tecnología de radio, la nueva arquitectura de red Evolved Packet Core (EPC) ofrece un nuevo núcleo que permite al mismo tiempo favorecer las arquitecturas y la integración de LTE con ambas redes GSM/WCDMA, así como otras tecnologías inalámbricas. En la Tabla N° 8 se presenta a continuación, un rápido resumen de las distintas tecnologías destinado a proporcionar un marco referencial para su posterior análisis.

Tabla N° 8: Características de las Tecnologías 3GPP

Tecnología	Tipo	Características	Downlink (típico)	Uplink (típico)
GSM	TDMA	Tecnología celular mundialmente desarrollada. Proporciona voz y servicio de datos via GPRS/EDGE.		
EDGE	TDMA	Servicio de datos para redes GSM. Mejora de datos de GSM por medio de GPRS.	70 Kbps a 130 Kbps	70 Kbps a 130 Kbps
Evolved EDGE	TDMA	Versión mejora de EDGE que puede duplicar eventualmente las tasas de rendimiento.	150 a 500 Kbps esperado	100 a 500 Kbps esperado
UMTS WCDMA	CDMA	Tecnología 3G que proporciona voz y datos. Su actual despliegue aplica HSPA para el servicio de datos.	200 a 300 Kbps	200 a 300 Kbps
HSPA	CDMA	Servicios de datos de redes UMTS. Mejora en los servicios originales de UMTS.	1 a 4 Mbps	500 Kbps a 2 Mbps
HSPA+	CDMA	Evolución de HSPA. Aumento del rendimiento y capacidad, reduciendo la latencia.	>5 Mbps esperado	>3 Mbps esperado
LTE	OFDMA	Nueva tecnología que puede utilizar canales de radio a escala y entregar tasas muy altas de rendimiento. Maneja todas las comunicaciones con dominio IP.	>10 Mbps esperado	>5 Mbps esperado
LTE Advanced	OFDMA	Versión avanzada de LTE diseñada para satisfacer requisitos de las <i>IMT Advanced</i> .		

Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmficis718l/doc/bmficis718l.pdf>

pág. 24

Las expectativas a lo largo del tiempo de las redes EDGE/HSPA/LTE con respecto a sus disponibles características y capacidades, se especifican a continuación indicando el año inicial de su desarrollo:

2009:

- Las redes y los dispositivos estarán aptos para el Release 7 HSPA+, incluyendo MIMO, impulsando así las velocidades máximas de HSPA a los 28 Mbps.
- Mejorarán los servicios basados en IMS (IP Multimedia Subsystem), por ejemplo, voz integrada, multimedia, ubicación y presencia.

2010:

- Las capacidades disponibles de la tecnología Evolved EDGE, incrementarán de forma significativa las tasas de rendimiento de EDGE.
- Las velocidades peak de HSPA+ aumentarán aún más, hasta un peak de 42 Mbps. LTE introducirá a la nueva generación en rendimiento, el desempeño del uso de 2x2 MIMO.
- Avanzadas arquitecturas estarán disponibles a través de EPC/SAE, principalmente para LTE como también para HSPA+, aportando beneficios tales como la integración de múltiples tipos de red y arquitecturas planas para un mejor rendimiento de la latencia.
- La mayoría de los nuevos servicios implementarán dominio de paquetes sobre HSPA+ y LTE.

2011:

- LTE tendrá mejoras tales como 4x2 MIMO y 4x4 MIMO y las especificaciones estarán concluidas para Advanced LTE.

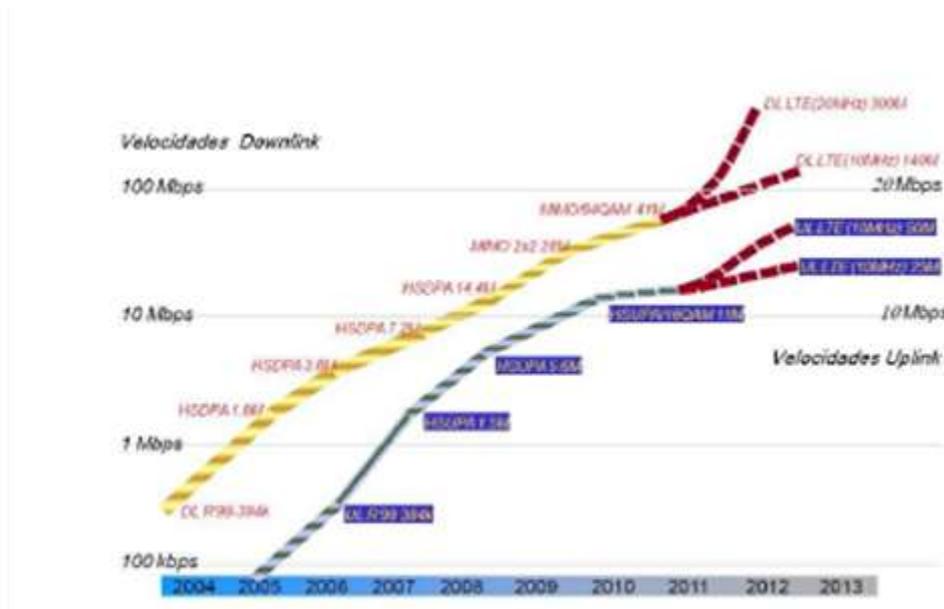
2012:

- Advanced LTE será potencialmente desplegada en las etapas iniciales.

Con el tiempo los elementos de infraestructura básica se someterán a la consolidación, por lo tanto, la reducción del costo total de la red y las mejoras de las operaciones integradas de las redes de acceso. En la actualidad, para los usuarios con dispositivos multimodo, las redes de acceso serán en gran parte transparentes.

En la Figura 3 se presentan los avances en HSPA y LTE, trazados en el tiempo, mostrando una duplicación del rendimiento aproximado por año.

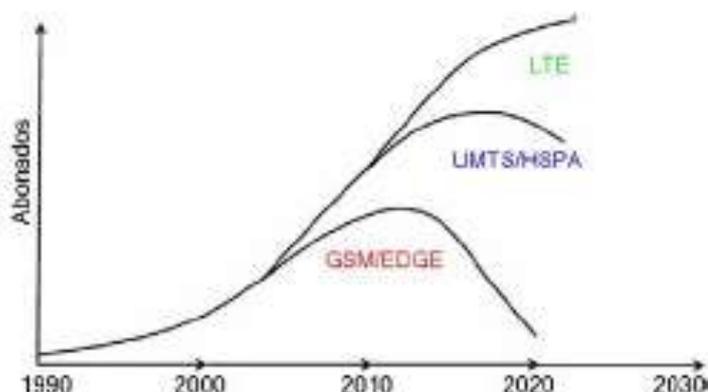
Figura 3: Rendimientos peak para el enlace ascendente y descendente



Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcis718l/doc/bmfcis718l.pdf>
pág. 26

A pesar del rápido despliegue de WCDMA de UMTS, la mayoría de los abonados en el mundo seguirá utilizando GSM al final de esta década, entonces la mayoría de los nuevos usuarios sacarán ventaja de WCDMA. Del mismo modo se reflejará en las redes LTE ya que probablemente el despliegue será a principios de la próxima década y así a mediados de ella, el porcentaje de abonados a redes LTE sería muy considerable. Durante estos años las redes y los dispositivos tendrían la característica de trimodo apoyándose en GSM, WCDMA y LTE.

Figura 4: Adopción tecnológica en décadas



Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmficis718l/doc/bmficis718l.pdf>
pág. 26

La Figura 4 muestra la relación que adoptan las tecnologías durante varias décadas y el periodo de tiempo que le toma a cualquier nueva tecnología a desarrollarse ampliamente en el mundo. Las capacidades de datos por tecnología se aprecian en la Tabla N° 9 las cuales se presentan en términos de tasas de rendimiento peak de red y de usuario en condiciones favorables y típicas.

Tabla N° 9: Rendimiento de las diferentes tecnologías 3GPP

	Downlink		Uplink	
	Peak de Red	Peak de Usuario	Peak de Red	Peak de Usuario
EDGE (type 2MS)	473,6 Kbps		473,6 Kbps	
EDGE (type 1MS)	236,8 Kbps	200 Kbps	236,8 Kbps	200 Kbps
Evolved EDGE (type 1MS)	1184 Kbps		473,6 Kbps	
Evolved EDGE (type 2MS)	1894,4 Kbps		947,2 Kbps	
UMTS wcdma Rel 99	2,048 Mbps		768 Kbps	
UMTS wcdma Rel 99 Terminal Practico	384 Kbps	350 Kbps peak	384 Kbps	350 Kbps peak
HSDPA (2006) Inicios	1,8 Mbps	= 1 Mbps peak	384 Kbps	350 Kbps
HSDPA Implementación	14,4 Mbps		384 Kbps	
HSPA Inicial	7,2 Mbps	= 5 Mbps peak	2 Mbps	= 1,5 Mbps peak
HSPA	14,4 Mbps		5,76 Mbps	
HSPA+DL64QAM, UL 16 QAM	21,6 Mbps		11,5 Mbps	
HSPA+DL16QAM, UL16QAM,2x2MIMO	28 Mbps	= 5 Mbps teórico esperado	11,5 Mbps	= 3 Mbps teórico esperado
HSPA+DL64QAM, UL16QAM,2x2MIMO	42 Mbps		11,5 Mbps	
LTE (2x2 MIMO)	173 Mbps	=10Mbps teórico esperado	58 Mbps	= 5 Mbps teórico esperado
LTE (4x4 MIMO)	326 Mbps		86 Mbps	

Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcis718l/doc/bmfcis718l.pdf>
pág. 27

2.2.1.4.2.2 Tecnologías Competidoras

Aunque tecnologías como GSM, GPRS, EDGE y UMTS dominan las redes mundiales desarrolladas en tecnología celular, los operadores desplegarán otras tecnologías inalámbricas para servir a su vez a una red de área metropolitana como a una red de área local. Así es el caso de las tecnologías CDMA2000 del 3GPP2 y de WiMAX.

CDMA2000, consiste principalmente en una portadora, como 1xRTT (Radio Transmission Technology) y 1xEV-DO (Evolved Data Optimized). Es la otra gran tecnología celular desplegada en muchas partes de mundo. 1xRTT es actualmente la versión ampliamente más implementada de CDMA2000. Una serie de operadores han implementado o están desarrollando 1xEV-DO, cuando una radio portadora se dedica a las altas velocidades de funciones de datos. En julio del año 2008 hubo 100 redes de acceso EV-DO Release 0 y 42 redes EV-DO Rev A desplegados mundialmente.

EV-DO emplea muchas de las técnicas que utiliza HSPA para optimizar la eficiencia espectral, incluyendo la modulación de orden superior, la eficiente programación, y la modulación y codificación adaptativa. Por estas razones, se logra la eficiencia espectral que es prácticamente el mismo que el que posee HSPA. Las tecnologías 1x operan en la frecuencia de 1,25 MHz, en comparación con la frecuencia de 5 MHz que es usado por WCDMA. Estos resultados dan un peak de redimiendo teóricamente bajo, pero el procesamiento promedio para el alto nivel de carga de red, es similar. Bajo las condiciones de media carga, debido a la menor velocidad de transmisión de datos alcanzable, EV-DO Rev A logra un rendimiento típico, ligeramente inferior en comparación con HSPA. Los operadores han dado a conocer el rendimiento

típico del enlace ascendente para EV-DO Rev 0 que va desde los 400 a 700 Kbps y entre 600 Kbps a 1,4 Mbps para EV-DO Rev A.

Actualmente las redes desplegadas se basan en cualquiera de las especificaciones de la interfaz radio, Rev 0 o Rev A. En el año 2007 los operadores hicieron de EV-DO Rev A una tecnología disponible comercialmente.

Uno de los desafíos para los operadores de EV-DO, es que no pueden asignar dinámicamente la totalidad de los recursos espectrales entre las funciones de voz y datos de alta velocidad. El canal de EV-DO no está disponible para el circuito de conmutación de voz, y la oferta de canales 1xRTT sólo es para datos de mediana velocidad. El uso de datos actualmente se ha expandido, lo cual esta limitación no favorece la optimización de los recursos de radio. Otra limitación es utilizar un canal separado para servicios de datos EV-DO, esto actualmente impide a los usuarios operar de forma simultánea en servicios de voz y de datos de alta velocidad, mientras que esto si es posible con la tecnología UMTS. Muchos usuarios disfrutan teniendo una conexión de datos atada al ordenador portátil, ellos usan Bluetooth por ejemplo, y pueden iniciar y recibir llamadas telefónicas, manteniendo al mismo tiempo sus sesiones de datos.

EV-DO eventualmente ofrece un servicio de voz utilizando los protocolos de VoIP a través de EV-DO Rev A, que incluye una mayor velocidad en el enlace ascendente, optimizando los mecanismos de QoS en la red y los protocolos para reducir la cabecera del paquete, así como hacer frente a problemas tales como, la variación en cuanto a la cantidad de latencia entre paquetes de datos que se reciben.

Más allá del EV-DO Rev A, el 3GPP2 ha definido el EV-DO Rev B que permite la combinación de hasta 15 canales de radio o portadoras de 1,25 MHz en 20 MHz, alcanzando un máximo aumento de peak teórico de 73,5 Mbps.

Después del EV-DO Rev B nos encontramos con UMB (Ultra Mobile Broadband), que está basado en OFDMA tal como LTE. UMB soporta canales de radio desde 1.25 a 20 MHz. En una portadora de 20 MHz, con 4x4 MIMO, UMB ofrece una velocidad peak de datos de 280 Mbps, ver Tabla N° 10. Hay operadores que aún no se han comprometido con UMB, ya que existen preguntas sobre la viabilidad comercial de los operadores CDMA2000, tal como ha ocurrido con el operador Verizon que ha seleccionado a LTE como la tecnología de próxima elección.

UMB y LTE se desarrollan simultáneamente, además son tecnologías OFDMA más recientes que otras, como es el caso de WiMAX.

Tabla N° 10: Rendimiento de las tecnologías 3GPP2

	Downlink		Uplink	
	Peak de Red	Peak de Usuario	Peak de Red	Peak de Usuario
CDMA2000 1xRTT	153 Kbps	130 Kbps peak	153 Kbps	130 Kbps peak
CDMA2000 EV-DO Rev 0	2,4 Mbps	> 1 Mbps peak	153 Kbps	150 Kbps peak
CDMA2000 EV-DO Rev A	3,1 Mbps	> 1.5 Mbps peak	1,8 Mbps	> 1 Mbps peak
CDMA2000 EV-DO Rev B (3 portadoras)	9,3 Mbps		5,4 Mbps	
CDMA2000 EV-DO Rev B (15 portadoras)	73,5 Mbps		27 Mbps	
UMB (2x2 MIMO)	140 Mbps		34 Mbps	
UMB (4x4 MIMO)	280 Mbps		68 Mbps	

Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcis718l/doc/bmfcis718l.pdf>
pág. 30

WiMAX, se ha convertido en una potencial alternativa en la tecnología celular, para una amplia zona de redes inalámbricas. Se basa en OFDMA y

recientemente aceptado por la UIT bajo el nombre de OFDMA TDD WMAN. Posee un gran arrastre en los países desarrollados que desean desplegar sus redes utilizando la alternativa por cable. El protocolo que caracteriza esta tecnología es la especificación IEEE 802.16, que cual fue completada en el año 2001 y está destinada principalmente a aplicaciones de telecomunicaciones backhaul punto a punto y configuraciones de línea de vista utilizando el espectro sobre los 10 GHz.

El siguiente gran paso en la evolución de IEEE 802.16 se produjo en el año 2004, con la versión del estándar IEEE 802.16-2004. Éste agregó múltiples interfaces radio, incluyendo OFDM-256 y OFDMA. Al igual que la versión del estándar original, la operación es fija, es decir, las estaciones de los abonados son típicamente inmóviles. Las potenciales aplicaciones incluyen servicios inalámbricos como, Proveedor de Servicios de Internet (ISP), telefonía local (como alternativa a módem por cable o servicio DSL) y backhaul celular para conexiones desde la estación base hasta las infraestructuras de las redes del operador.

Los proveedores están entregando equipos certificados con el estándar IEEE 802.16-2004. Este estándar no compite directamente con los datos celulares y redes privadas Wi-Fi, por lo tanto puede proporcionar servicios complementarios. Además las soluciones de acceso, el operador host, las entidades privadas como gobiernos municipales, universidades y empresas podrán utilizar esta versión WiMAX en las bandas no licenciadas para la conectividad local.

El IEEE también ha completado un estándar de banda ancha móvil llamado IEEE 802.16e-2005, que añade capacidades de movilidad incluyendo el apoyo mientras la operación es móvil, handover a través de las estaciones base y a través de los operadores. A diferencia del IEEE 802.16-2004, que opera en ambas bandas con licencia y sin licencia, el IEEE 802.16e-2005 (WiMAX Móvil)

opera en la mayoría de las bandas con licencia. Las redes de WiMAX Móvil no son compatibles con las redes del estándar anterior IEEE 802.16-2004.

En un comienzo WiMAX Móvil utilizará 2x2 MIMO, TDD y canales de radio de 10 MHz en un perfil definido por WiMAX Forum conocido como WiMAX Wave 2. Más allá de Wave 2, los proveedores de WiMAX están definiendo un nuevo estándar llamado WiMAX Release 1.5, que incluye varias mejoras para la obtención de mayor eficiencia y rendimiento, y estará disponible al mismo tiempo que LTE. La versión posterior, WiMAX Móvil 2.0, está siendo diseñada para abordar los requisitos de rendimiento desarrollado por el proyecto de las IMT-Advanced, y se llama IEEE 802.16m, éste funcionará con el usuario en movimiento hasta 120Km/h y estará disponible en el año 2011, por lo que sus datos aún no se conocen. Ver Tabla N° 11.

Tabla N° 11: Rendimiento de la tecnología WiMAX.

	Downlink		Uplink	
	Peak de Red	Peak de Usuario	Peak de Red	Peak de Usuario
802.16e WiMAX Wave 1 (1x2 MIMO)	23 Mbps		4 Mbps	
802.16e WiMAX Wave 2 (2x2 MIMO)	46 Mbps		4 Mbps	
802.16m	-		-	

Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcis718l/doc/bmfcis718l.pdf>
pág. 31

Cabe señalar, que el IEEE 802.16e-2005 contiene algunos aspectos que pueden limitar el rendimiento, especialmente en situaciones en las que un sector contiene un gran número de usuarios móviles. El desempeño de la capa MAC es ineficiente frente a la programación del gran número de usuarios y, en algunos aspectos como el control de la potencia de la estación móvil, se utilizan mensajes de señalización MAC más que el rápido control de potencia utilizados en WCDMA y otras tecnologías.

En relación con LTE, WiMAX tiene las siguientes desventajas; trama de 5 ms en vez de 1 ms, persigue la combinación en vez de incrementar la redundancia, presenta imperfecciones de modulación y codificación en los sistemas, y posee codificación vertical en vez de codificación horizontal [10]. Una consideración en el desarrollo son los requerimientos TDD en redes de sincronización. Esto no es posible en una celda situada para transmitir y una celda adyacente situada para recibir al mismo tiempo. Distintos operadores en la misma banda deben coordinar cualquiera de sus redes o bandas de guardia, para asegurarse de que no interfieran unos con otros.

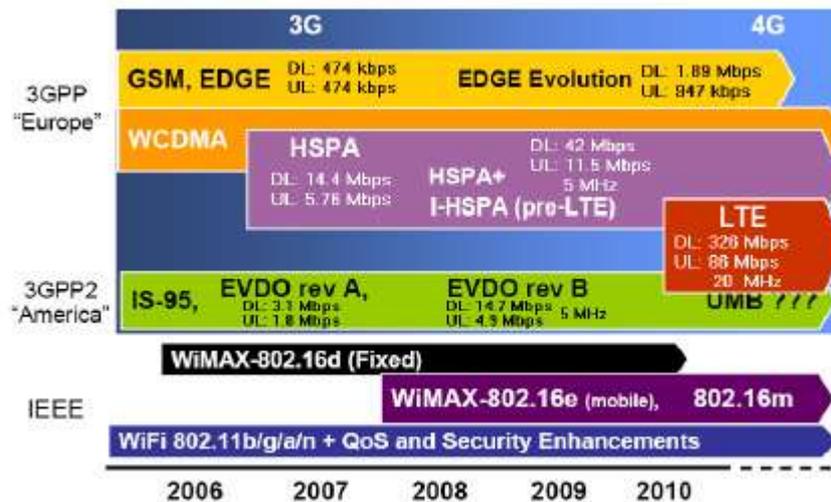
En referencia a las economías de escala, el número de los abonados GSM/WCDMA/HSPA se aproxima a los miles de millones, lo cual en comparación con el número de abonados de WiMAX es bastante alta, ya que estos ni en los próximos 5 años podrían llegar a un número tal.

Desde el punto de vista de tecnología, WiMAX Móvil ocupa un papel ligeramente más capacitado hoy en día en comparación con las versiones HSPA. WiMAX Móvil en realidad tiene que competir contra HSPA desarrollando sistemas que ofrezcan capacidades similares a un rendimiento mejorado. Con esto, más adelante, LTE no estará lejos de desarrollarse.

2.2.1.4.2.3 Comparación de Tecnologías Inalámbricas

Las tecnologías están en una evolución constante, ya que el mercado en que se encuentran se mueve a una velocidad increíble. El alto nivel de competencia que se genera, provoca la tendencia de evolucionar más allá de la voz y ofrecer acceso personal a la telefonía, Internet y servicios multimedia a costos accesibles tanto en áreas urbanas como suburbanas y rurales. El incremento de estas diferentes tecnologías inalámbricas se puede observar en la Figura 5 en conjunto con el rendimiento máximo de las capacidades de cada red.

Figura 5: Evolución de los sistemas TDMA, CDMA y OFDMA



Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmficis718l/doc/bmficis718l.pdf>
pág. 33

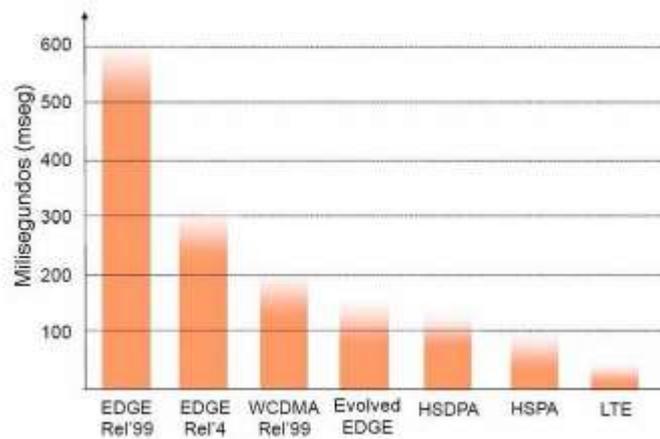
El valor peak throughput es un indicador muy importante al momento de cuantificar las capacidades de datos que posee cada red. Por lo general se basa en el valor de nivel más alto de modulación disponible y la menor cantidad de codificación (corrección de errores) por sobre la red.

Otros datos indicadores importantes en la evolución de los sistemas móviles son: latencia, eficiencia espectral, calidad de servicio, servicio de voz y posición en el mercado.

2.2.1.4.2.3.1 Latencia

La latencia se define como el tiempo de ida y vuelta que toman los datos en recorrer la red. Cada tecnología de datos posterior a EDGE Rel'99 posee menos latencia, en redes HSDPA, por ejemplo, la latencia es de unos 70 milisegundos (ms). HSPA tiene latencia aún más baja, así como también en el caso de LTE 3GPP. Los valores mostrados en la Figura 6 reflejan las mediciones del despliegue comercial de las tecnologías.

Figura 6: Latencia de las diferentes tecnologías 3GPP



Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcis718l/doc/bmfcis718l.pdf>
pág. 34

2.2.1.4.2.3.2 Eficiencia Espectral

La eficiencia espectral mide que tan bien es aprovechado el espectro por una red inalámbrica, es útil de examinar para poder mejorar la capacidad, aumentar la fuerza de la señal y reducir la interferencia.

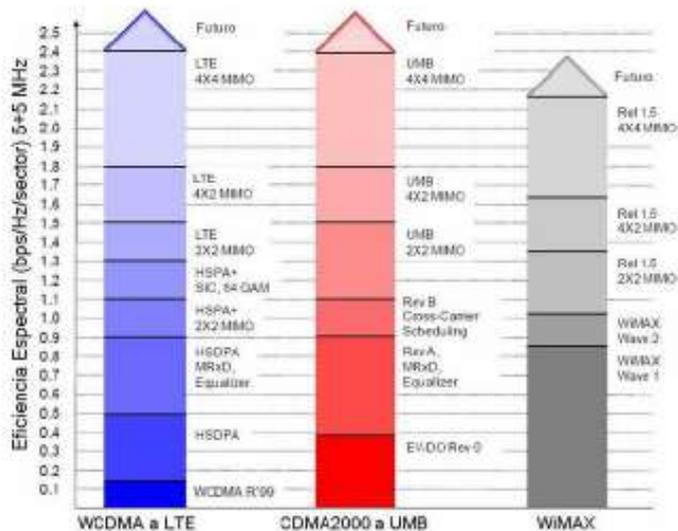
La evolución de los servicios de datos se caracteriza por un creciente número de usuarios, que cada vez ejercen una mayor demanda de banda ancha. Como el mercado crece, el despliegue de las tecnologías inalámbricas con alta eficiencia espectral es de vital importancia, por lo que se debe tener en cuenta; bandas de frecuencias, cantidad de espectro y la separación de los sectores de celdas. Un aumento de la eficiencia espectral se traduce en un aumento proporcional en el número de usuarios o un aumento de capacidad disponible para cada usuario. Además este aumento implica un precio, por lo general una mayor complejidad para los usuarios y los equipos de estaciones base.

La fecha exacta para el despliegue de una mayor eficiencia espectral en las tecnologías es difícil de predecir, porque dependerá mucho del crecimiento del mercado y de los tipos de aplicaciones que se vuelvan más populares. Hay

tecnologías por ejemplo, que mejorando el sistema SRN reducen al mínimo la interferencia que se genera al ocupar antenas inteligentes, o la interferencia de coordinación entre sectores y celdas. Además las técnicas MIMO usando multiplexación espacial, han potenciado el aumento de la tasa de transferencia de información por un factor proporcional al número de transmisión.

La Figura 7 compara la eficiencia espectral de las diferentes tecnologías inalámbricas basadas en un acuerdo del 3G Américas, el que muestra la continua evolución de las capacidades tecnológicas.

Figura 7: Comparación de eficiencias espectrales Downlink



Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmficis718l/doc/bmficis718l.pdf>
pág. 35

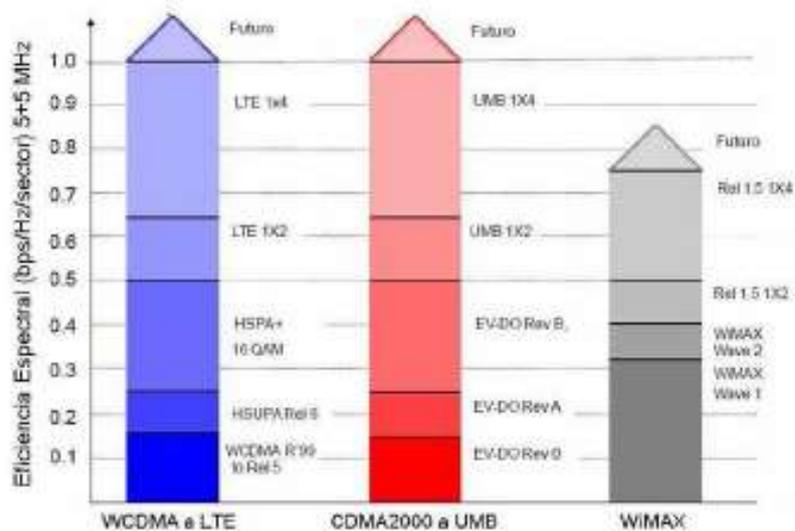
Los valores mostrados son conservadores, en propósito de la representación razonable para las condiciones del mundo real, en el que no están todas las combinaciones de características disponibles, sin embargo, también son datos representativos en la mejora continua de la eficiencia espectral.

Con respecto al efectivo despliegue, las mejoras tales como 64QAM, son más fáciles de desarrollar para los operadores que otras como MIMO 2x2, ya que en el primero se puede realizar una actualización del software, mientras que en el

segundo se requiere de implementación de hardware en la estación base. Así, la Figura 7 no muestra necesariamente el actual progreso desplegado por los operadores para aumentar la eficiencia espectral.

Un punto importante a destacar, es que LTE es más eficiente espectralmente que otras tecnologías, como WiMAX Wave 2. La causa de esto se daría por una serie de razones, por ejemplo; incremento de la redundancia en la corrección de errores, modulación con fina granularidad y codificación de sistemas, mayor eficiencia de control del canal, múltiple codeword MIMO (MCW) que permiten el uso de receptores basados en la técnica de cancelación de interferencias sucesiva SIC (Successive Interference Cancellation), y un inferior indicador de calidad del canal retrasado a través del uso de las tramas.

Figura 8: Comparación de eficiencia espectral Uplink



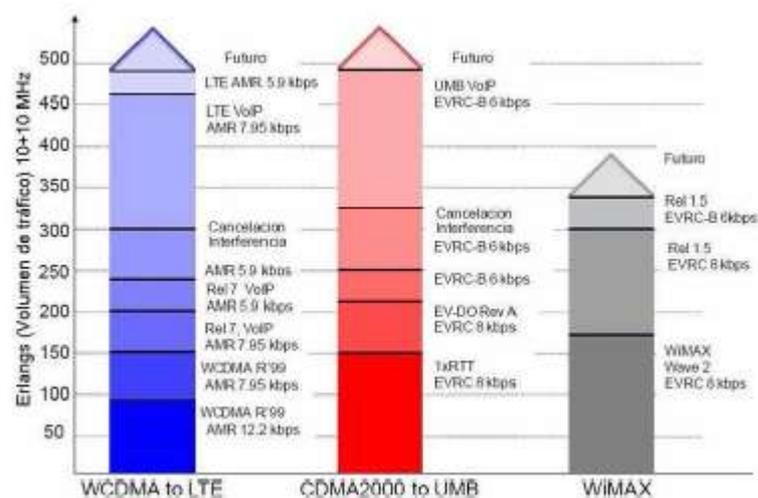
Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcis718l/doc/bmfcis718l.pdf>

pág. 36

La Figura 8 compara la eficiencia espectral del enlace ascendente de los diferentes sistemas y se aprecia que la eficiencia espectral del enlace ascendente de WiMAX Wave 2, es inferior a las tecnologías 3GPP y 3GPP2 que emplean la cancelación de interferencia.

La Figura 9 compara la eficiencia espectral de la voz. Se muestra también la codificación de voz de UMTS R'99 con AMR (Adaptive Multi-Rate) ambos valores, 12,2 Kbps y 7,95 Kbps. El AMR de 12,2 Kbps ofrece una calidad de voz en buenas condiciones del canal. WCDMA ha tenido una dinámica adaptación entre las tasas de codificación de voz, lo que permite una mayor calidad de voz en comparación con el aumento de tasa variable (EVRC), en situaciones donde la capacidad es limitada.

Figura 9: Comparación de la capacidad de Voz



Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmficis718l/doc/bmficis718l.pdf>
 pág. 37

Las oportunidades para mejorar la capacidad de voz, se proponen utilizando VoIP sobre los canales HSPA. Dependiendo de las mejoras aplicadas, podría duplicar la capacidad de voz sobre los sistemas de conmutación de circuitos. Cabe señalar, que las ganancias no son relacionadas específicamente con el uso de VoIP, sino que se refieren a los avances de las técnicas de radio aplicadas en los canales de datos. Muchos de estos mismos avances también pueden ser aplicados a los actuales modos de conmutación de circuitos. Sin embargo, hay otros beneficios de la VoIP que están impulsando hacia la migración de paquetes de datos. Entre estas prestaciones se consolidó un

núcleo de red IP para los operadores y aplicaciones multimedia sofisticadas para los usuarios.

Con respecto a los códecs en los sistemas VoIP, tales como LTE, UMB y WiMAX, una gran variedad se pueden utilizar. Las cifras muestran un supuesto rendimiento específico de los códecs, representando la velocidad de bits por códecs como EVRC. La tasa de bits que se muestra es un valor medio.

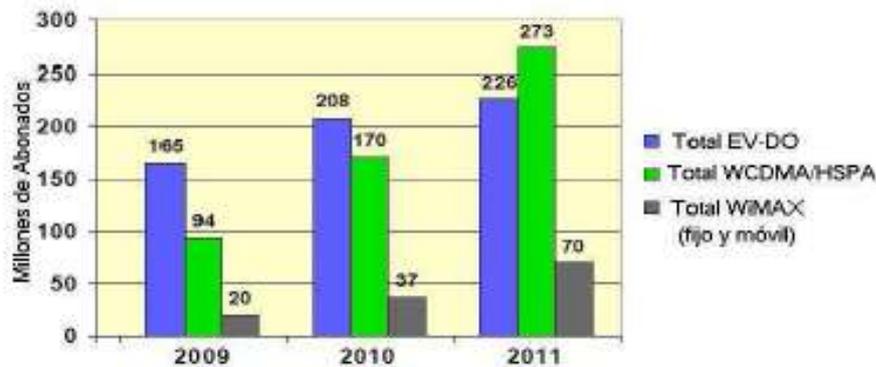
Aunque WiMAX Release 1.5 tiene una alta eficiencia espectral para VoIP en el enlace ascendente y descendente, esto tiene una desventaja en relación con LTE, debido a la diferencia de los milisegundos soportados. El uso de los 5 ms limita el número de retransmisiones HARQ (Hybrid Automatic Repeat-reQuest) en cada trama de 20 ms. LTE puede soportar múltiples retransmisiones de este tipo en los 20 ms de intervención, en cambio WiMAX solo admite una.

2.2.1.4.2.4 Costos y Volúmenes de Mercado

Muchas de las comparaciones se han realizado en base a la capacidad técnica de las diferentes tecnologías, las cuales han demostrado hasta ahora que poseen similares atributos. Sin embargo, hay un punto de comparación en el que las diferencias entre las tecnologías difieren enormemente, esto se refiere al número de agentes implicados, incluyendo los abonados y el importe de la infraestructura necesaria. Esta diferencia se debe traducir a un drástico costo reducido para un mayor número de soluciones.

Basado en las proyecciones y los números estadísticos, los abonados de redes 3G UMTS a finales de esta década serían cientos de millones aproximadamente (ver Figura 10), mientras que el número de abonados a nuevas tecnologías como IEEE 802.16e-2005 llegaría a las decenas de millones, además para este último se señalan menores costos para sus servicios.

Figura 10: Abonados EV-DO, WCDMA/HSPA y WiMAX



Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcs718l/doc/bmfcs718l.pdf>
pág. 39

Desde el punto de vista del despliegue, el tipo de tecnología utilizada (por ejemplo, HSPA frente a WiMAX) sólo se le aplica un software de apoyo en la tarjeta digital de la base estación. Este costo, sin embargo, es sólo una pequeña fracción del costo de la estación base con el equilibrio que abarcan antenas, amplificadores de potencia, cables, bastidores, y tarjetas de radiofrecuencia. En cuanto al resto de la red incluyendo la construcción, backhaul, componentes del núcleo de red, los costos son similares independiente de la tecnología de red de acceso radio. El costo del espectro en cada tecnología puede variar mucho, dependiendo de los reglamentos de un país y la banda de espectro. Como regla general en la mayor parte del mundo la venta de un espectro, por ejemplo de la banda de los 3,5 GHz costará menos que la de 850 MHz.

En cuanto a redes WCDMA/HSPA frente a CDMA2000, el mayor despliegue podría traducirse en un ahorro significativo de costos. También, los teléfonos GSM se consideran mucho menos caros que los teléfonos 1xRTT y las terminales WCDMA, con precios mayoristas que pueden ser líderes en el mercado de bajo costo.

LTE aún está en el camino hacia un sólido ecosistema inalámbrico de importantes economías a escala. En junio del año 2008, la alianza Next Generation Mobile Network (NGMN) confirmó la selección de LTE. El Dr. Meter Meissner, funcionario operativo de NGMN anuncio que, "sobre la base de intensas y detalladas evaluaciones de la tecnología, LTE 3GPP es la primera que cumple ampliamente sus recomendaciones y es aprobado por esta junta directiva".

2.2.1.5 Técnicas de Acceso al Medio

Se describen las técnicas que utiliza LTE para el control de acceso al medio, explicando principalmente como trabaja el enlace ascendente y el enlace descendente de acuerdo a los tipos de interfaz de aire que ocupa LTE. Además se sigue con una visión técnica de los distintos sistemas con que se obtienen mejores rendimientos en la transmisión de los datos.

2.2.1.5.1 Sistemas de Transmisión

2.2.1.5.1.1 OFDM

OFDM (Orthogonal Frequency División Multiplexing) ha sido aprobado como el sistema de transmisión de enlace descendente del 3GPP LTE y también se utiliza para otras tecnologías como WiMAX y DVB broadcast. La transmisión por medio de OFDM puede ser apreciado como una especie de transmisión multi-portadora. Las características básicas de la transmisión de OFDM son:

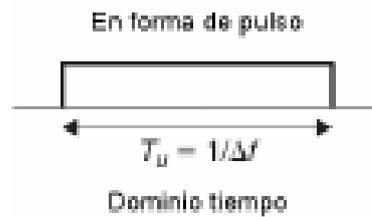
- El uso de un número relativamente grande de subportadoras de banda estrecha, es decir, una simple multi-portadora consistirá en pocas subportadoras, cada una con un relativo ancho de banda. Por ejemplo, una multi-portadora WCDMA con 20 MHz de ancho de banda, podría consistir en cuatro subportadoras, cada una con un ancho de banda en el orden de los 5 MHz. En comparación con los otros sistemas, la transmisión OFDM puede

implicar que varios cientos de subportadoras se transmiten en el mismo enlace de radio al mismo receptor.

- Posee un simple pulso rectangular en el dominio del tiempo configurado como se ilustra en la Figura 11. Esto corresponde a una forma de función sinc en el dominio de frecuencia, como se ilustra en la Figura 12.

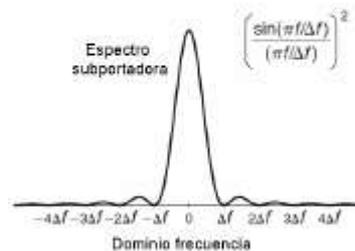
- El compacto dominio de frecuencia de las subportadoras con una desviación $\Delta f = 1/T_u$, donde T_u es el tiempo de la modulación del símbolo por subportadora (véase Figura 13).

Figura 11: Espectro básico OFDM en dominio del tiempo.



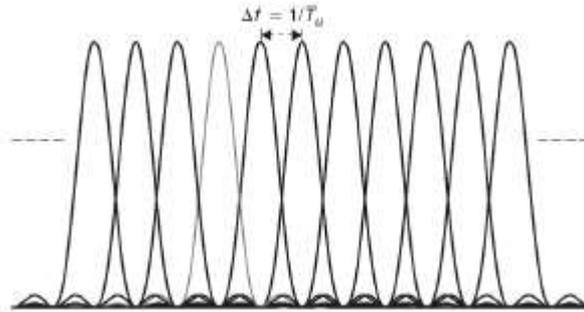
Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcis718l/doc/bmfcis718l.pdf>
pág. 41

Figura 12: Espectro básico OFDM en dominio de frecuencia.



Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcis718l/doc/bmfcis718l.pdf>
pág. 41

Figura 13: Desviación de portadoras OFDM.



Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcis718l/doc/bmfcis718l.pdf>
pág. 41

El número de subportadoras OFDM puede variar desde menos de cien a varios miles, con una desviación de subportadoras que van desde cientos de KHz a unos pocos KHz. La desviación de subportadora a utilizar depende de los tipos de ambientes en el que va a operar el sistema, incluyendo tales aspectos como el máximo esperado de selectividad de frecuencia del radio canal (máximo esperado del tiempo de dispersión) y el máximo de velocidad de transmisión de variación canal (máximo esperado de propagación Doppler).

Como ejemplo, para LTE la básica desviación es igual a 15 KHz. Por otra parte, el número de subportadoras depende del ancho de banda de transmisión, en el orden de 600 subportadoras en caso de operación en un espectro asignado de 10 MHz, y menos o más subportadoras en el caso de los pequeños o grandes anchos de banda de transmisión respectivamente.

Una ilustrativa descripción de un modulador OFDM básico, se presenta en la Figura 14. Ello consta de un banco de moduladores N_c complejo, donde cada modulador corresponde a una subportadora OFDM. La transmisión está basada en bloques, implicando que durante cada intervalo de símbolo OFDM, la modulación de los símbolos N_c es transmitida en paralelo. La modulación de símbolos puede ser QPSK, 16QAM o 64QAM.

Figura 14: Modulación OFDM

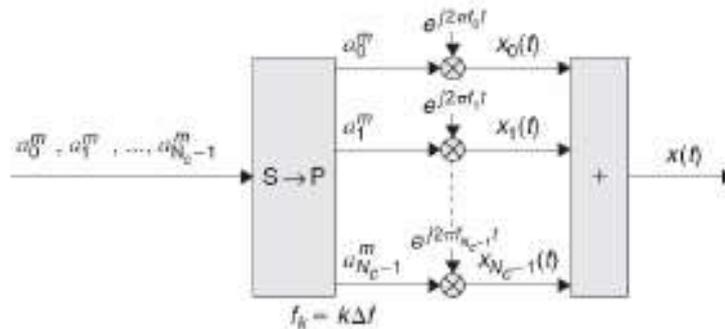
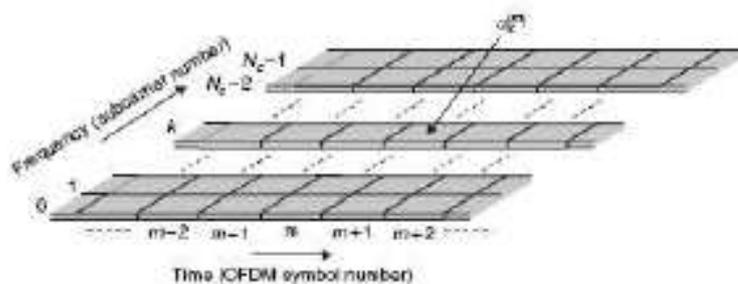


Figura válida para intervalo de tiempo: $mT_u \leq t < (m+1)T_u$

Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcis718l/doc/bmfcis718l.pdf>
 pág. 42

El "recurso físico" en el caso de la transmisión OFDM, es a menudo ilustrado como una rejilla (grid) de tiempo-frecuencia de acuerdo con la Figura 15, donde cada columna corresponde a un símbolo OFDM y cada fila corresponde a una subportadora OFDM.

Figura 15: Grid OFDM tiempo - frecuencia

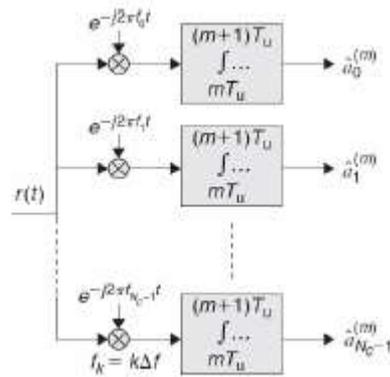


Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcis718l/doc/bmfcis718l.pdf>
 pág. 42

Los principios básicos para la demodulación OFDM se muestran en la Figura 16, consisten en un banco de correladores, uno para cada subportadora. Teniendo en cuenta la ortogonalidad entre subportadoras, en el caso ideal, dos subportadoras OFDM no causan ninguna interferencia entre sí después de la

demodulación, teniendo en cuenta que en el espectro las subportadoras vecinas claramente se solapan, como puede verse en la Figura 16.

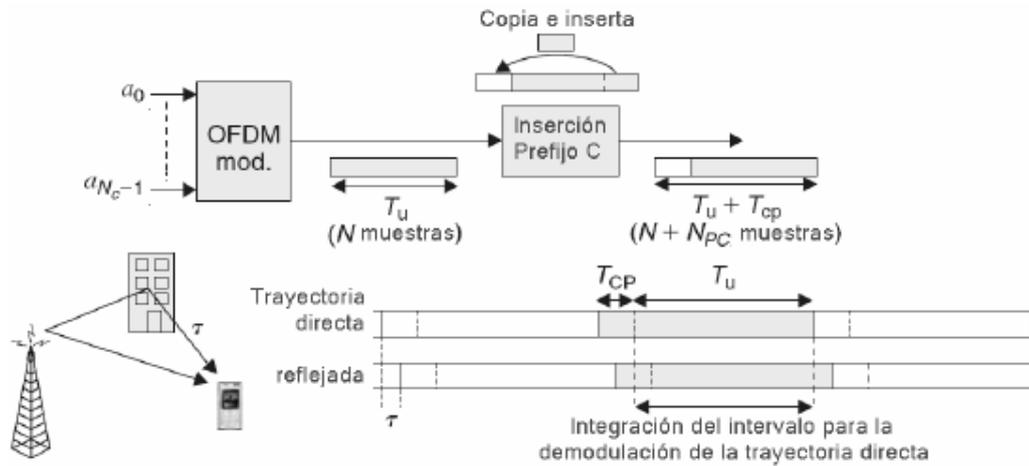
Figura 16: Demodulación OFDM básica.



Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcs718l/doc/bmfcs718l.pdf>
pág. 43

La ausencia de interferencias entre subportadoras no se debe a una separación del espectro de una subportadora, por el contrario, la ortogonalidad se debe a la estructura de dominio de frecuencia de cada subportadora en combinación con la elección específica de Δf , sin embargo, con el tipo de transmisión multi-portadora, la corrupción del dominio de frecuencia, como por ejemplo, debido a una frecuencia selectiva del canal de radio, puede dar lugar a una pérdida de ortogonalidad intersubportadora y así una interferencia intersímbolo (ISI). Para manejar esto y hacer una señal verdaderamente sólida, se usa la inserción del prefijo cíclico (intervalo de guarda), como se aprecia en la Figura 17, al añadir el prefijo cíclico de $N_{PC} < N$ muestras a la señal de salida del modulador OFDM, se obtiene una señal de longitud $NS=N+N_{PC}$, por lo que la duración del símbolo aumenta, pero de manera que no se pierde ortogonalidad entre portadoras ya que se copia al inicio una parte de señal de portadoras ortogonales entre ellas.

Figura 17: Inserción del Prefijo Cíclico



Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcis718l/doc/bmfcis718l.pdf>
pág. 44

Entonces, este sistema de transmisión en el enlace descendente, es atractivo por varias razones. Debido al correspondiente largo de tiempo del símbolo OFDM en combinación con un prefijo cíclico, OFDM proporciona un alto grado de robustez frente al canal selectivo de frecuencia. Aunque hay corrupción de la señal, este puede ser manejado en un principio por medio de la igualación en el lado receptor, la complejidad de esto se torna algo desagradable para la implementación en un terminal móvil de un ancho de banda por encima de los 5MHz. Además OFDM es óptimo para el enlace descendente, especialmente cuando se combina con multiplexación espacial.

Los beneficios adicionales de OFDM son:

- OFDM proporciona acceso de dominio de frecuencia, así se permite un adicional grado de libertad al canal dependiente comparado con HSPA.
- Flexibles asignaciones de ancho de banda son fácilmente respaldadas por OFDM, al menos desde una perspectiva de banda base por la variación de números de subportadoras que OFDM utiliza para su transmisión.

- Transmisión broadcast/multicast, donde la misma información es transmitida por múltiples estaciones base, que es sencillo con OFDM.

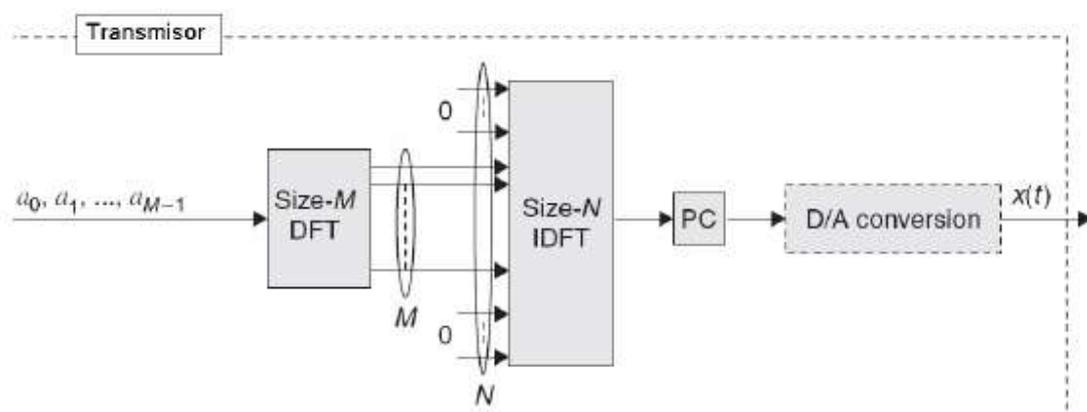
2.2.1.5.1.2 SC-FDMA

Para el enlace ascendente de LTE, se ha seleccionado un tipo de transmisión con portadora única basado en DFT-spread OFDM (DFTS-OFDM), debido a la combinación de las propiedades tales como:

- Pequeñas variaciones en la potencia instantánea de la señal transmitida.
- Posibilidad de baja complejidad para una alta calidad de igualación en el dominio de frecuencia.
- Posibilidad de FDMA con asignación flexible de ancho de banda.

El principio básico de la transmisión de DFT-OFDM se ilustra en la Figura 18. Es similar a la modulación OFDM, y se basa en un bloque adaptado para la generación de la señal.

Figura 18: Generación de la señal DFTS - OFDM

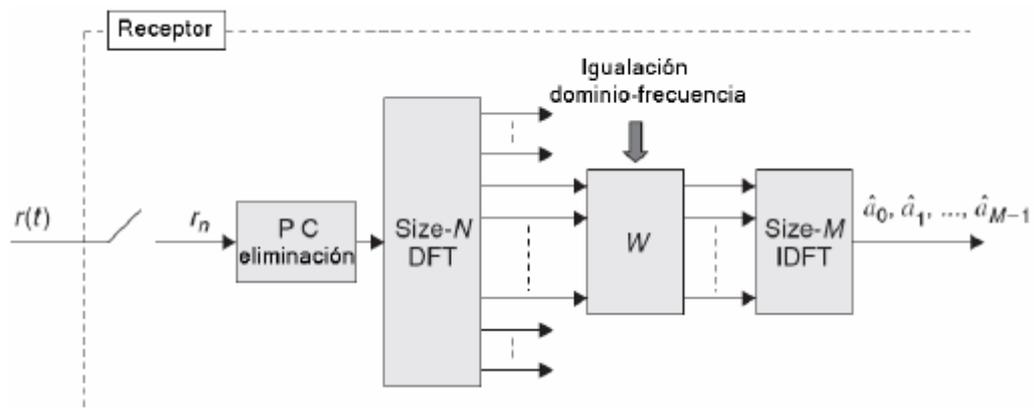


Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcis718l/doc/bmfcis718l.pdf>
pág. 45

También, al igual que en OFDM, es preferible insertar un prefijo cíclico para cada bloque en la transmisión. La presencia de un prefijo cíclico permite una complejidad menor de igualdad del dominio de frecuencia en el lado receptor. El principal beneficio de DFT-OFDM, en comparación con una transmisión multi-portadora OFDM, es que reduce las variaciones en la potencia de transmisión instantánea, lo que conlleva a la posibilidad de aumentar la eficiencia del amplificador de potencia.

El principio básico de la demodulación DFTS-OFDM se ilustra en la Figura 19 y las operaciones son básicamente inversas a la generación de la señal mostrada anteriormente en la Figura 18.

Figura 19: Demodulación de la señal DFTS - OFDM



Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcis718l/doc/bmfcis718l.pdf>
pág. 46

El uso de una modulación con una sola portadora en el enlace ascendente, es originado por un valor inferior en la relación peak-promedio de la señal transmitida en comparación con la transmisión multi-portadora. La relación peak-promedio de la señal transmitida y el promedio de la potencia transmitida, puede ser para un dado amplificador de potencia. La transmisión de portadora única, permite por lo tanto el uso más eficiente de la potencia del amplificador, lo que se traduce en un aumento de cobertura que es muy importante para la

potencia limitada del terminal. Por otro lado, la igualación requerida para manejar la corrupción de la señal de portadora única, debido al desvanecimiento de frecuencia selectiva, es un tema menor en el enlace ascendente por las pocas restricciones en los recursos de procesamiento de señal en la estación base en comparación con el terminal móvil.

En contraste con los enlaces ascendente no ortogonales WCDMA/HSPA, los que también funcionan por medio de transmisión de portadora única, el enlace ascendente en LTE se basa en la separación ortogonal de usuarios en tiempo y frecuencia, en un principio, la separación del usuario ortogonal puede lograrse en el dominio del tiempo sólo por la asignación del total de ancho de banda en la transmisión del enlace ascendente a un usuario a la vez. La separación ortogonal es beneficiosa, ya que evita la interferencia intercelda (ICI). Sin embargo, la asignación de un gran recurso instantáneo de ancho de banda a un único usuario, no es una estrategia suficiente en situaciones en las que la velocidad de transmisión de datos es limitada, principalmente por la transmisión de potencia más que el ancho de banda. En tales situaciones, un terminal es designado para transmitir sólo en una parte del total del ancho de banda, y otros terminales pueden transmitir en paralelo con el resto del espectro. Por lo tanto, como el enlace ascendente de LTE contiene un componente de dominio de frecuencia de múltiple acceso, el sistema de transmisión de este enlace es llamado también como Single Carrier - Frequency División Múltiple Access (SC-FDMA).

La característica clave de estas transmisiones es normalmente la rapidez y las variaciones significativas en condiciones instantáneas del canal. Estas variaciones se deben a; desvanecimiento por sombra, pérdida de camino dependiente en la distancia que afectará significativamente el promedio de señal recibida y por último, interferencia en el receptor debido a las transmisiones de otras celdas y por otras terminales que también impactarán el nivel de interferencia. Todas estas variaciones deben tenerse en cuenta para una mejor calidad del enlace.

2.2.1.5.2 Programación del canal y Adaptación de la velocidad de Datos

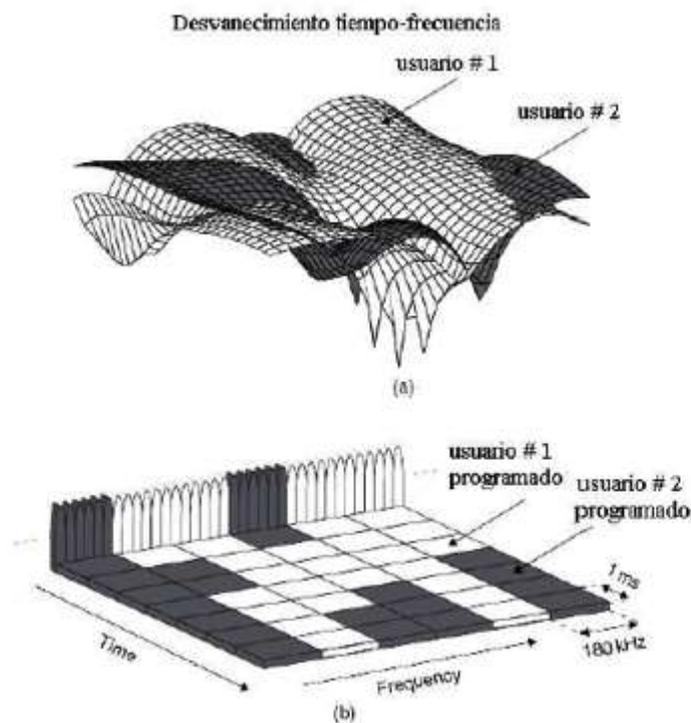
El corazón del sistema de transmisión de LTE, es el uso de transmisión de canales compartidos, el que está bien adaptado a las diferentes necesidades de recursos planteados por los paquetes de datos y también posibilita varias de las otras tecnologías claves utilizadas por LTE.

La programación (scheduling) de controles, en cada instante de tiempo, debería ser asignado para aquellos usuarios que comparten recursos. Esto también determina la velocidad de transmisión de datos que se utilizará para cada enlace, velocidad de transmisión adaptada que puede ser vista como una parte de la programación. La programación es un elemento clave y en gran medida determina el rendimiento global del enlace descendente, especialmente en una red muy cargada. Ambas transmisiones de enlace ascendente y descendente están sujetas a una ajustada programación. En relación con HSPA, la programación enlace descendente transmite a un usuario cuando las condiciones del canal tienen la ventaja de aprovechar al máximo la velocidad de transmisión de datos, y es en cierta medida posible el Enhanced Uplink (enlace ascendente mejorado), sin embargo, como LTE posee dominio del tiempo y también acceso al dominio de frecuencia, debido al uso de OFDM y SC-FDMA en sus respectivos enlaces. El programador (scheduler) para cada frecuencia regional, puede seleccionar el canal de usuario con las mejores condiciones. En otras palabras, la configuración del canal de usuario en LTE puede tomar en cuenta variaciones no solo en el dominio del tiempo, como HSPA, sino que también en el dominio de la frecuencia, esto se ilustra en la Figura 20.

El canal de programación se basa en las variaciones de la calidad del canal que hay entre los usuarios para obtener una ganancia en la capacidad del sistema. Para servicios sensibles al retraso (delay), una programación con dominio sólo en el tiempo puede ser realizada para un usuario en particular, a pesar de que la calidad del canal no está en todo su auge. En situaciones como

ésta, la explotación de las variaciones de la calidad del canal también en el dominio de la frecuencia ayudará a mejorar el rendimiento global del sistema. En LTE, las decisiones de programación pueden tomarse tan a menudo como una vez cada 1 ms y la granularidad en el dominio de la frecuencia es 180 KHz.

Figura 20: Programación enlaces descendente del canal dependiente en dominio de tiempo y frecuencia.



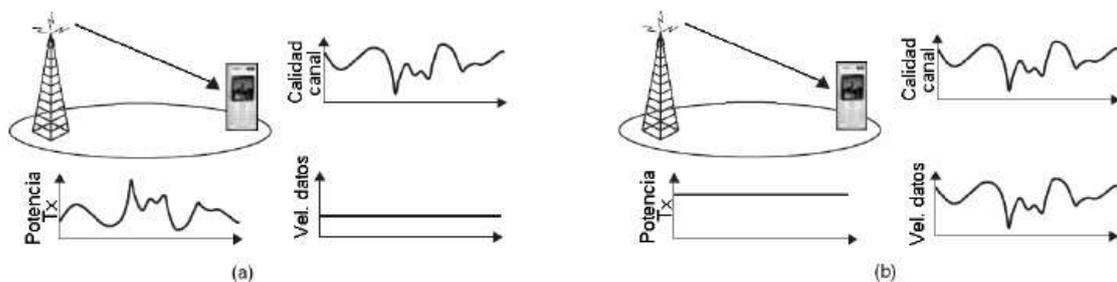
Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcis718l/doc/bmfcis718l.pdf>
pág. 48

2.2.1.5.2.1 Programación del enlace descendente

Inicialmente se asume un enlace descendente basado en TDM con un único usuario programado en un momento. En este caso, la utilización de los recursos radio se maximiza si en cada instante de tiempo, todos los recursos se asignan al usuario con la mejor condición instantánea del canal:

- En el caso de la adaptación del enlace basado en el control de potencia, implica que la menor potencia posible transmitida puede ser utilizada para una determinada tasa de datos y así se minimiza la interferencia de las transmisiones en otras células de un determinado enlace (ver Figura 21a).
- En el caso de la adaptación del enlace basado en el control de velocidad, implica que los más altos valores de velocidad de transmisión de datos son logrados para una determinada potencia transmitida o para una determinada interferencia en las otras celdas (ver Figura 21 b).

Figura 21: a) control de potencia y b) control de velocidad



Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcis718l/doc/bmfcis718l.pdf>

pág. 49

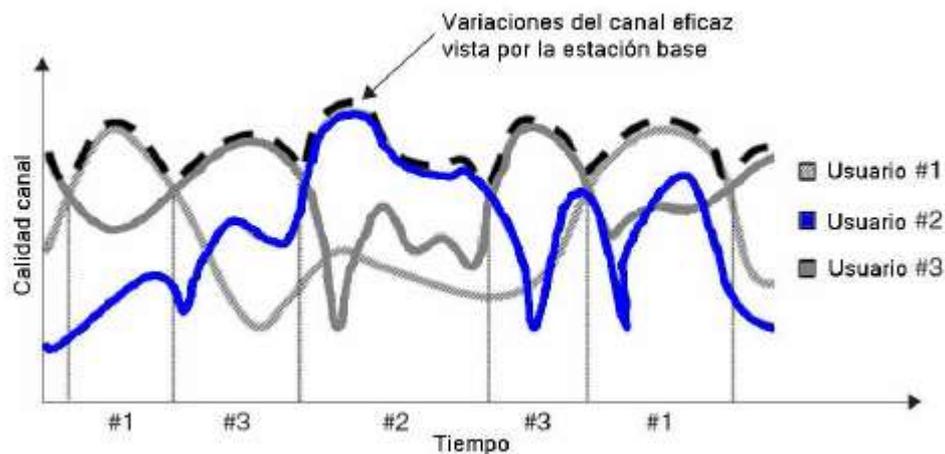
Sin embargo, si es aplicado al enlace descendente, el control de la potencia transmitida en combinación con la programación TDM, implica que el total disponible de las celdas que transmitirán potencia, no se utilizó en su totalidad. Así, el control de velocidad de datos es generalmente preferido.

Lo expuesto anteriormente es un ejemplo de la programación del canal dependiente, donde el programador toma en cuenta las condiciones instantáneas del enlace radio. La programación del usuario con las mejores condiciones del enlace radio, es a menudo referida como programación max-C/I (o máximo porcentaje). Dadas las condiciones para los diferentes enlaces radio, casi en todo momento existe un canal de usuario cuya calidad está cerca de su punto máximo (véase Figura 22). Así, finalmente el canal utilizado para la

transmisión suele tener una alta calidad, y una elevada velocidad de transmisión para ser utilizados, generando un sistema de alta capacidad. La ganancia obtenida por la transmisión a los usuarios en condiciones favorables es comúnmente conocida como diversidad multi-usuario, presentándose ganancias mayores, grandes variaciones del canal y un gran número de usuarios en una celda.

En el enlace descendente, cada informe del terminal es una estimación de la calidad instantánea del canal a la estación base. Estas estimaciones se obtienen mediante la medición de una señal de referencia, transmitida por la estación base y se utiliza también para efectos de demodulación. Basado en esta estimación, el programador del enlace descendente puede asignar recursos a los usuarios, teniendo en cuenta las cualidades del canal. En un principio, el terminal programado puede asignar una combinación arbitraria de 180 KHz de ancho de bloques de recursos en cada intervalo de programación de 1 ms.

Figura 22: Programación canal dependiente.



Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcis718l/doc/bmfcis718l.pdf>
pág. 50

2.2.1.5.2.2 Programación del enlace ascendente

Principalmente los recursos de potencia del enlace ascendente se distribuyen entre los usuarios, mientras que en el enlace descendente los recursos se centralizan en la estación base. Además la máxima potencia de transmisión de enlace ascendente de un solo terminal, suele ser típicamente inferior a la potencia de salida de una estación base, lo que genera un significativo impacto en la estrategia de programación. A diferencia del enlace descendente, donde a menudo se puede utilizar TDMA, normalmente la programación enlace ascendente es compartida entre la frecuencia y/o dominio de código adicionando al dominio del tiempo como un solo terminal no teniendo la suficiente potencia para utilizar eficientemente la capacidad de enlace.

El enlace ascendente de LTE se basa en la separación ortogonal de usuarios, y ésta es la labor del programador del enlace ascendente para asignar recursos en ambos dominios, de tiempo y de frecuencia (TDMA/FDMA combinados) para los diferentes usuarios. Las decisiones de configuración son muy importantes, el estudio por medio de 1 ms, el control de los terminales móviles que están autorizados a transmitir dentro de una celda durante un determinado intervalo de tiempo, también se debe tomar en cuenta en qué frecuencia la transmisión tiene lugar, y qué tipo de enlace ascendente de datos (formato de transporte) se utilizará. Hay que tener presente que sólo una región de frecuencias contiguas pueden ser asignados a los terminales en el enlace ascendente como consecuencia de la utilización de una portadora simple en la transmisión del enlace ascendente de LTE.

Las condiciones del canal se pueden tomar en cuenta también en el proceso de programación del enlace ascendente, similar a la programación del enlace descendente. Sin embargo, como se examinará más adelante, la obtención de información acerca de las condiciones del canal de enlace ascendente es una tarea no trivial, por lo tanto, diferentes medios para obtener la diversidad en un

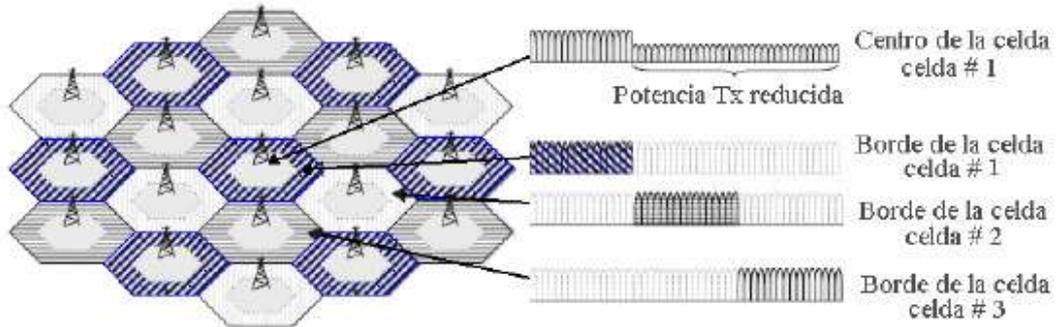
enlace ascendente son importantes como un complemento en los casos donde la programación del canal sometido al enlace ascendente no es utilizada.

2.2.1.5.2.3 Interferencia Inter-Celda

LTE ofrece ortogonalidad entre los usuarios dentro de una celda en ambos enlaces, ascendente y descendente. Así, el desempeño de LTE en términos de eficiencia del espectro y las disponibles velocidades de transmisión de datos, es más limitada por la interferencia de otras celdas en comparación con WCDMA/HSPA. Los medios para reducir o controlar la interferencia entre celdas pueden, potencialmente proporcionar importantes beneficios al rendimiento de LTE, especialmente en términos del servicio, como las velocidades de datos, que pueden ser ofrecidos a los usuarios en el borde de la celda.

La coordinación de la interferencia inter-celda es una estrategia de configuración en donde las velocidades de transmisión de datos en el borde de la celda son incrementadas mediante la adopción considerada de interferencia entre celdas. Básicamente, la coordinación de la interferencia implica ciertas restricciones en el dominio de frecuencia para las configuraciones de ambos enlaces en una celda y para el control de la interferencia entre celdas. La transmisión de potencia es restringida en partes del espectro en una celda, la interferencia vista en las celdas cercanas en esta parte del espectro se reduce. Esta parte del espectro puede ser utilizado para proporcionar mayores velocidades de transmisión para los usuarios de la celda cercana o vecina. En esencia, el factor de reutilización de frecuencias es diferente en distintas partes de la celda (ver Figura 23).

Figura 23: Ejemplo de coordinación de interferencia entre las células, donde partes del espectro es restringido en términos de transmisión de potencia.



Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmficis718l/doc/bmficis718l.pdf>
pág. 52

Hay que tener en cuenta que la coordinación de interferencia entre las celdas es principalmente una estrategia de configuración, para la situación de las celdas cercanas entre sí. Lo que significa que ésta coordinación de interferencia es en gran medida un tema de implementación y difícilmente visible en las especificaciones. Esto también implica que dicha coordinación puede aplicarse sólo a un conjunto seleccionado de las celdas, en función de los requisitos establecidos por un determinado despliegue.

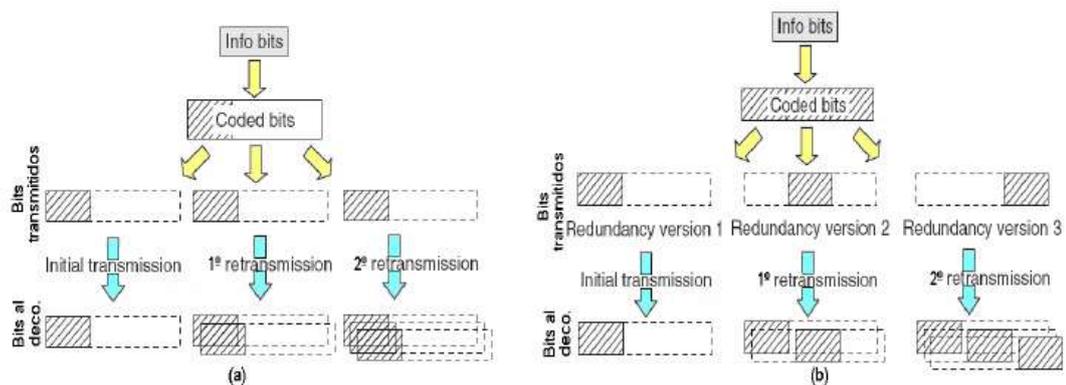
2.2.1.5.3 Esquema de Retransmisiones Selectivas

El tipo de esquema para retransmisiones selectivas llamado Hybrid ARQ (HARQ) con rápida combinación, es el utilizado en LTE. El HARQ es la combinación de códigos de corrección de errores (FEC) con un enfoque para manejar los errores de retransmisión llamado ARQ (Automatic Repeat reQuest), utilizado prácticamente en todos los modernos sistemas de comunicación. En un esquema ARQ, el receptor utiliza un código de error de detección, normalmente un control de redundancia cíclica (CRC), para detectar si el paquete es recibido en error o no. El HARQ utiliza el código de corrección de errores para corregir un subconjunto de todos aquellos errores y se basa en la detección de errores para detectar errores incorregibles. Los paquetes

recibidos erróneamente se descartan y el receptor solicita la retransmisión de paquetes dañados. Sin embargo, a pesar de que el paquete no ha sido posible decodificar, la señal recibida aún contiene la información, la cual es perdida por la eliminación de los paquetes recibidos erróneamente. Esta deficiencia está manejada por el sistema HARQ con rápida combinación. En el HARQ, los paquetes recibidos con error se almacenan en una memoria, y más tarde son combinados con la retransmisión para obtener una sola combinación de paquetes que es más fiable que sus elementales.

La retransmisión en cualquier sistema HARQ, por definición, debe representar el mismo conjunto de bits de información como la transmisión original. Sin embargo, el conjunto de bits codificados transmitidos en cada retransmisión puede ser seleccionado de manera diferente. El HARQ con rápida combinación es por lo tanto clasificado dentro de un método de combinación de paquetes (Chase combining) y redundancia incremental (Incremental Redundancy), dependiendo si los bits retransmitidos deben ser idénticos a los de la transmisión original o no.

Figura 24: Ejemplos, (a) Chase Combining y (b) Incremental Redundancy.



Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcis718l/doc/bmfcis718l.pdf>

Por muchas razones similares que en HSPA, LTE utiliza este sistema para permitirle al terminal una rápida solicitud de las retransmisiones, por la recepción errónea del transporte y por el hecho de proporcionar una herramienta para la adaptación de la velocidad de transmisión comprendida. Las retransmisiones son solicitadas rápidamente después de cada transmisión de paquetes, lo que minimiza el impacto sobre el rendimiento del usuario desde la recepción errónea de los paquetes. El incremento de la redundancia se utiliza en la rápida combinación y en los buffers receptores con soft bits para ser capaces de hacer una suave combinación entre los intentos de transmisión.

En la combinación suave, las señales radioeléctricas recibidas de los distintos emplazamientos son combinadas coherentemente antes de la decodificación. De este modo se obtienen mejores prestaciones, ya que no solamente se obtiene una ganancia de diversidad, sino también, una ganancia de potencia del orden de 2-3 dB. Sin embargo, esta estrategia requiere mayor memoria en los terminales para almacenar los soft bits de cada radio enlace y que las transmisiones entre celdas estén sincronizadas en un determinado rango.

2.2.1.5.4 Múltiples Antenas

LTE desde un comienzo posee la característica de ser compatible con el soporte de múltiples antenas tanto en la estación base y en el terminal como una parte integral de las especificaciones. El uso de múltiples antenas es la tecnología clave para llegar a los objetivos más competitivos en el rendimiento de LTE y se utilizan de diferentes maneras (ver Fig. 24):

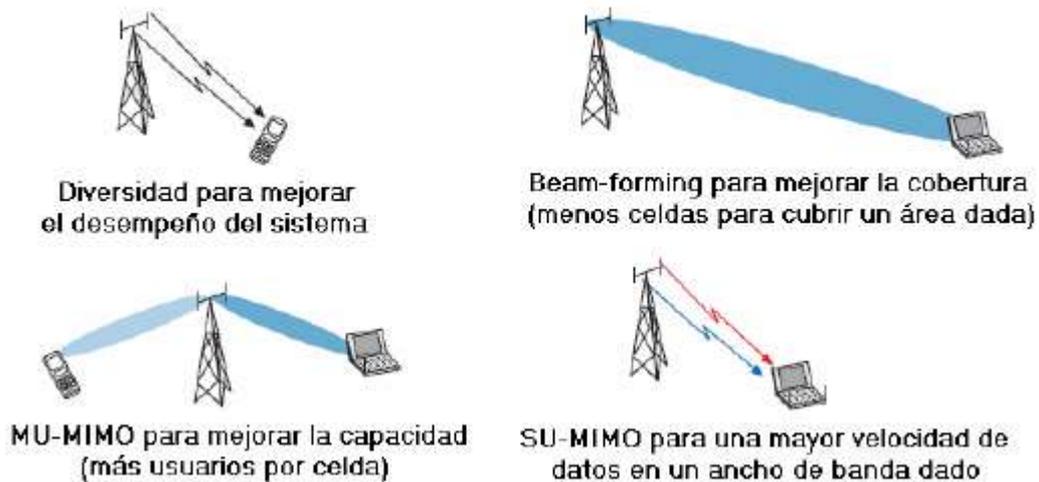
- La múltiple recepción de antenas se puede utilizar de manera diversa. Para las transmisiones del enlace ascendente, ésta se ha utilizado en muchos sistemas celulares durante varios años. Sin embargo, como la recepción con doble antena es la línea de referencia para todos los terminales LTE, el rendimiento del enlace descendente también es mejor aprovechado. La forma más sencilla de usar este sistema es la diversa recepción clásica para reprimir

el desvanecimiento, pero los beneficios adicionales pueden lograrse en escenarios de interferencia limitada si las antenas también se utilizan no sólo para ofrecer la diversidad contra éste, sino que también para suprimir las interferencias.

- La transmisión de múltiples antenas a la estación base, se puede utilizar para transmitir diversos y diferentes tipos de beamforming. El principal objetivo del beamforming es el de mejorar la recepción SNR, y eventualmente mejorar la capacidad del sistema y la cobertura.
- El multiplexado espacial (Spatial Multiplexing), referido al sistema MIMO, utilizando múltiples antenas tanto en el transmisor y el receptor, es el apoyo a LTE que da lugar a una mayor velocidad de transmisión de datos, permitiendo las condiciones del canal, en escenarios de ancho de banda limitado para la creación de varios canales paralelos.

Como alternativa o complemento a la recepción con múltiples antenas, la diversidad y al beamforming puede también ser logrado mediante la aplicación de múltiples antenas en el lado del receptor. El uso de estas antenas para transmitir es principalmente importante para el enlace descendente, es decir, en la estación base. En este caso, el uso de múltiples antenas para transmitir proporciona una oportunidad sin la necesidad de agregar antenas receptoras y una correspondiente recepción en cadena al terminal móvil. Por otra parte, debido a razones de complejidad del uso de múltiples antenas para transmitir en el enlace ascendente, es decir, en el terminal móvil, es menos atractivo. En este caso, normalmente es preferible aplicar adicionales antenas de recepción y correspondientes reacciones en la recepción de la estación base.

Figura 25: Técnicas de Múltiples Antenas en LTE



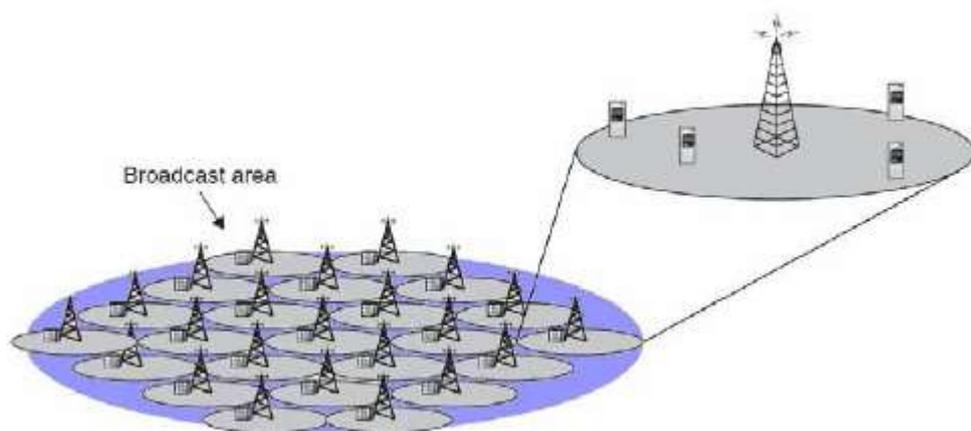
Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmficis718l/doc/bmficis718l.pdf>
pág. 56

En general, las diferentes técnicas de múltiples antenas son beneficiosas en distintas situaciones. Por ejemplo en la baja relación de SNR y SIR (relación señal a interferencia), MIMO proporciona beneficios relativamente limitados. En cambio, en tales escenarios de múltiples antenas en el lado transmisor debe ser usado para aumentar la relación SNR/SIR por medio del beamforming. Por otra parte, en escenarios donde la relación de SNR y SIR es alta, por ejemplo, en pequeñas celdas, aumentando la calidad de la señal que proporciona, además ganancias relativamente menores como la factible velocidad de transmisión de datos, son principalmente limitados en el ancho de banda en lugar de SNR/SIR. A causa de estas situaciones, el multiplexado espacial debe ser utilizado en lugar de aprovechar plenamente las buenas condiciones del canal. El sistema de múltiples antenas usado está bajo el control de la estación base, por lo que se puede seleccionar un plan adecuado para cada transmisión.

2.2.1.5.5 Soporte Multicast y Broadcast

La difusión o broadcast de múltiples celdas, implica la transmisión de la misma información desde múltiples celdas. Mediante la explotación de éste en el terminal por la utilización eficaz de potencia de la señal desde múltiples sectores, puede lograrse una mejora sustancial en la cobertura (o una gran difusión de velocidad de transmisión de datos). Esto ya es desarrollado en WCDMA, donde en el caso de broadcast/multicast de múltiples celdas, un terminal móvil puede recibir señales procedentes de varias celdas (ver Figura 25) y ser activado por una combinación suave de éstos dentro del receptor.

Figura 26: Escenario Broadcast



Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcis718l/doc/bmfcis718l.pdf>
pág. 57

Esto tiene a LTE un paso más allá para proporcionar mayor eficiencia de difusión multi-celda. Mediante la no transmisión de señales idénticas desde múltiples sectores de celda (con idéntica codificación y modulación), pero también sincronizando el tiempo de la transmisión entre las celdas, la señal en el terminal móvil se publicará exactamente como una señal de transmisión desde un único sector de celda y sujeto a la propagación multi-ruta. Debido a la estabilidad de la técnica OFDM, la propagación multi-ruta, es también referida

como la transmisión Multicast-Broadcast Single-Frequency Network (MBSFN), no sólo servirá para mejorar la señal recibida, sino que también para eliminar las interferencias entre las celdas. Así, con OFDM, el rendimiento broadcast/multicast de múltiples celdas eventualmente puede estar limitado sólo por ruido y puede entonces, en el caso de las pequeñas celdas llegar a valores extremadamente altos.

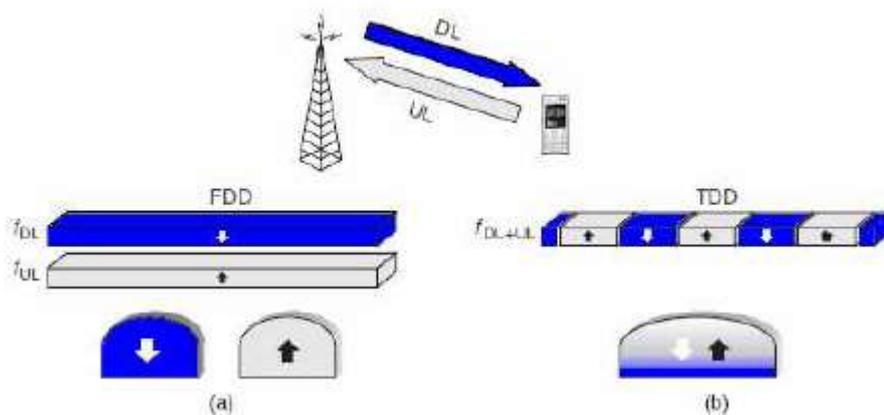
2.2.1.5.6 Flexibilidad del Espectro

Un alto grado de flexibilidad del espectro es uno de las principales características del acceso radio de LTE. El objetivo de la flexibilidad es permitir el despliegue en diversos espectros, con diferentes características, incluyendo diferentes arreglos o sistemas dúplex, diferentes bandas de frecuencia de operación y los diferentes tamaños del espectro disponible.

2.2.1.5.6.1 Flexibilidad en el Sistema Duplex

Una parte importante de los requisitos de LTE en términos de flexibilidad de espectro, es la posibilidad de desplegar el acceso radio basada en LTE en ambos espectros, pareados y no pareados, estos deben apoyar a LTE tanto en la división de frecuencia y la división en el tiempo basado en los sistemas dúplex. Frequency División Duplex (FDD), como se ilustra en la Figura 26a, implica que la transmisión de enlace ascendente y descendente ocurren en diferentes bandas de frecuencia cuando están suficientemente separados. Time División Duplex (TDD), como se ilustra la Figura 26b, implica que la transmisión de enlace ascendente y descendente ocurren en diferentes intervalos de tiempo que no se solapan. Por lo tanto, TDD puede operar en el espectro no pareado, mientras que FDD requiere el espectro pareado.

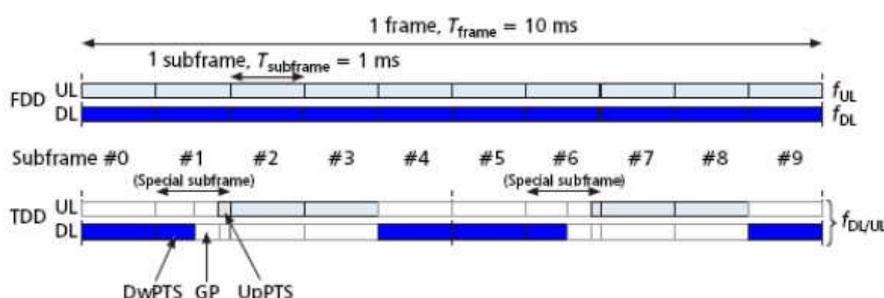
Figura 27: (a) FDD vs (b) TDD, enlace ascendente y descendente



Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcis718l/doc/bmfcis718l.pdf>
pág. 58

El apoyo para ambos espectros, forma parte del comienzo de las especificaciones Reléase 99 a través del uso de FDD basado en el acceso radio de WCDMA/HSPA, en las asignaciones pareadas y TDD basado en el acceso radio de TD-CDMA/TD-SCDMA, en asignaciones no pareadas. Sin embargo, esto se logra por medio de relación de diferentes tecnologías de acceso radio y, en consecuencia, los terminales calificados de las operaciones FDD y TDD son relativamente poco frecuentes, en cambio, LTE soporta ambas operaciones dentro de una sola tecnología de acceso radio, destacando un mínimo de desviación entre FDD y TDD para la base del acceso radio. La diferencia entre ambas operaciones radica principalmente en la estructura de la trama (frame) ilustrada en la Figura 28

Figura 28: Estructura de la trama



Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmficis718l/doc/bmficis718l.pdf>
 pág. 59

En el caso de la operación FDD (parte superior de la Figura 27), hay dos frecuencias portadoras, una para la transmisión de enlace ascendente (full) y uno para la transmisión de enlace descendente (f_{DL}). Así, durante cada trama, hay diez subtramas de enlace ascendente y diez subtramas del descendente, y la transmisión de ambos puede ocurrir simultáneamente en una celda. Correspondientemente existe una relación uno-a-uno entre las subtramas de enlace ascendente y descendente, las cuales son explotadas en el diseño de control de señalización.

En el caso de la operación TDD (parte inferior de la Figura 27), sólo hay una frecuencia portadora, y las transmisiones de enlace ascendente y descendente siempre están separadas en el tiempo, también esto se lleva a cabo dentro de la celda. Como el número de subtramas de enlace ascendente y descendente pueden ser diferentes, no hay una correspondencia uno-a-uno entre las subtramas, dando lugar a algunas diferencias de menor importancia en el control de señalización de diseño entre las FDD y TDD.

2.2.1.5.6.2 Flexibilidad en la frecuencia de banda de operación

LTE es pronosticado para el desarrollo en base a la necesidad de saber cuándo y dónde el espectro puede estar disponible, ya sea por la asignación de un espectro nuevo para comunicación móvil, tales como la banda de 2,6 GHz (ver Figura 28), o por la migración a LTE del espectro actualmente usado para otras tecnologías, tales como la segunda generación de Sistemas GSM, o incluso las tecnologías de radio no móviles tales como el actual espectro de *broadcast*. Como consecuencia de ello, se requiere que el acceso radio LTE debe ser capaz de operar en una amplia gama de bandas de frecuencias, desde la banda de 450 MHz hasta 2,6 GHz.

Figura 29: Actuales Bandas 3GPP, con rojo principalmente para LTE

FDD				TDD		
Banda	*Identificador*	Nombre banda	Frecuencias (MHz) UL/DL	Banda	*Identificador*	Frecuencias (MHz)
1	IMT Core Band	2.1 GHz	1920-1960/2110-2170	33,34	TDD 2000	1900-1920 2010-2025
2	PCS 1900	1900 MHz	1850-1910/1930-1990	35,36	TDD 1900	1850-1910 1930-1990
3	GSM 1800	1800 MHz	1710-1785/1805-1880	37	PCS Center Gap	(1915) 1910-1930
4	AWS (US & other)	1.7/2.1 GHz	1710-1755/2110-2155	38	IMT Extension Center Gap	2570-2620
5	850	850 MHz	824-849/869-894	39	China TDD	1880-1920
6	850 (Japan)	800 MHz	830-840/875-885	40	2.3 TDD	2300-2400
7	IMT Extension	2.6 GHz	2500-2570/2620-2690			
8	GSM 900	900 MHz	880-915/925-960			
9	1700 (Japan)	1700 MHz	1750-1785/1845-1880			
10	3G Americas	Ext 1.7/2.1 GHz	1710-1770/2110-2170			
11	UMTS1500	1500MHz	1428-1453/1476-1501			
12	US 700	Baja 700 MHz	698-716/728-746			
13		Alta 700 MHz	716-732/746-762			
14			704-720/734-750			
17			704-716/734-746			

Adicional (FDD&TDD)		
2.6 GHz		3600-3600
3.7 GHz		3600-3800

Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmficis718l/doc/bmficis718l.pdf>
pág. 60

La posibilidad de operar una tecnología de acceso radio en distintas bandas de frecuencia no es nada nuevo. Por ejemplo, la triple banda de los terminales GSM son comunes, capaz de operar en las bandas de 900, 1800 y 1900 MHz. Desde un punto de vista de acceso a la funcionalidad de radio, esto no tiene un impacto limitado en las especificaciones de la capa física de LTE, la cual no

asume ninguna banda específica. Lo que puede diferenciarse en términos de condiciones, entre las distintas bandas de frecuencia que son principalmente los requerimientos RF más específicos tales como; permitir la máxima potencia de transmisión, requisitos y límites en out-of-band-emission (emisiones fuera del ancho de banda), etc. Una de las razones de esto, es que las restricciones externas impuestas por los organismos reguladores, pueden variar entre las distintas bandas de frecuencias.

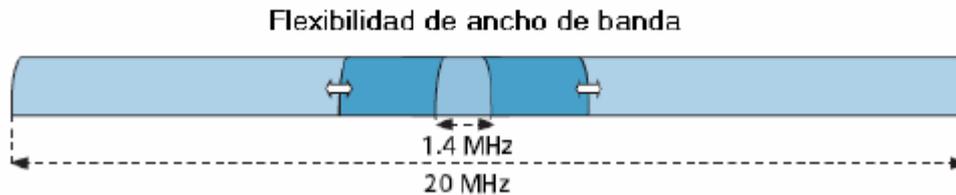
2.2.1.5.6.3 Flexibilidad del Ancho de Banda

Relacionado con la posibilidad de desarrollar el acceso radio de LTE en diferentes bandas de frecuencias, es la oportunidad de LTE para que pueda operar con diferentes anchos de banda de transmisión en el enlace ascendente y descendente. La razón principal de esto, es que la cantidad de espectro disponible para LTE puede variar considerablemente entre diferentes bandas de frecuencia y también en función de la situación exacta del operador. Además, la posibilidad de operar en diferentes asignaciones de espectro, da la posibilidad de migración gradual del espectro de radio de otras tecnologías de acceso a LTE.

LTE apoya la operación en una amplia gama de atribuciones de espectro, alcanzado por un ancho de banda de transmisión flexible que forma parte de las especificaciones 3GPP. Eficientemente soporta una muy alta velocidad de transmisión de datos cuando el espectro está disponible y cuando se es necesario un amplio ancho de banda de transmisión, sin embargo, una gran cantidad de espectro no siempre estará disponible, ya sea debido a la banda de operación o a una migración gradual desde otra tecnología de acceso radio, en cuyo caso LTE puede funcionar con un ancho de banda de transmisión más estrecho. Obviamente, en tales casos, el máximo alcanzable de la velocidad de transmisión de datos se reducirá proporcionalmente. Más concretamente, como se ilustra en la Figura 29, LTE permite registrar para un sistema global de ancho de banda, desde pequeñas frecuencias como 1,4 MHz hasta 20 MHz,

donde las más altas son requeridas para proporcionar mayor velocidad de datos

Figura 30: Flexibilidad del espectro LTE



Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcis718l/doc/bmfcis718l.pdf>
pág. 61

Todos los terminales LTE soportan el mayor ancho de banda. A diferencia de anteriores sistemas celulares, éste ofrece la posibilidad de operar para diferentes anchos de banda en enlace ascendente y descendente, permitiendo la utilización asimétrica del espectro.

2.2.1.5.7 Esquemas de modulación

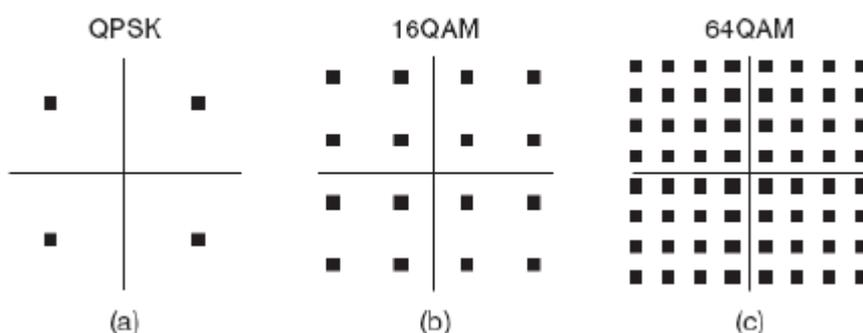
Una forma directa para ofrecer altas velocidades de transmisión de datos dentro de un determinado ancho de banda, es el uso de la modulación de orden superior, lo que implica que el alfabeto de modulación se amplía para incluir más alternativas de señalización y para más bits de información se permite hacer la comunicación por medio de la modulación de símbolos.

Los esquemas de modulación disponibles para datos de usuario en el enlace ascendente y descendente son QPSK, 16QAM y 64QAM. Los dos primeros son útiles en todos los dispositivos, mientras que el apoyo para 64QAM en el enlace ascendente es la capacidad del equipamiento de usuario.

En el caso de la modulación QPSK, el alfabeto de la modulación consiste en cuatro diferentes alternativas de señalización, que pueden ser ilustradas como

cuatro puntos diferentes en un plano bidimensional (ver la Figura 30a). Con 4 alternativas diferentes de señalización, QPSK permite hasta 2 bits de información que son comunicados durante cada intervalo de modulación de símbolo. Mediante la extensión 16QAM (Figura 30b), 16 diferentes alternativas de señalización están disponibles permitiendo hasta 4 bits de información. La extensión a 64QAM (Figura 30c), con 64 diferentes alternativas de señalización, permite hasta 6 bits de información que son comunicados por intervalo de símbolo. Al mismo tiempo, el ancho de banda de la señal transmitida, en un principio es independiente del tamaño del alfabeto de modulación y depende principalmente de la tasa de modulación, es decir, del número de símbolos de la modulación por segundo. El máximo ancho de banda utilizado es expresado por bit/s/Hz.

Figura 31: Constelaciones de modulación en LTE

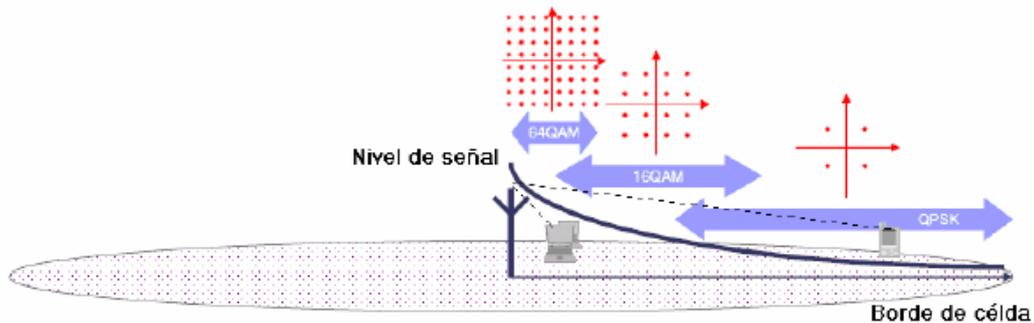


Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcis718l/doc/bmfcis718l.pdf>
pág. 62

El uso de la modulación de orden superior proporciona un mejor uso del ancho de banda, haciendo posible la transmisión de datos a altas velocidades, sin embargo, este aumento va de la mano con una menor inmunidad al ruido y a las interferencias, por lo que se prefiere 64QAM sólo cuando las condiciones del canal son favorables, como por ejemplo, cuando el terminal está estático y cerca de la estación base (ver Figura 31). Podemos ver en la figura, que a

condiciones adversas, cuando se está alejado de la estación base y en movimiento, se deberá utilizar modulación QPSK.

Figura 32: Modulación adaptativa



Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcis718l/doc/bmfcis718l.pdf>
pág. 63

La elección del tipo de modulación y tasa de codificación se hace en base a información del canal que el terminal envía a la estación base. El equipamiento de usuario evalúa las condiciones radioeléctricas del enlace y, de acuerdo a esto, envía un indicador a la estación base, denominado CQI (Channel Quality Indicator).

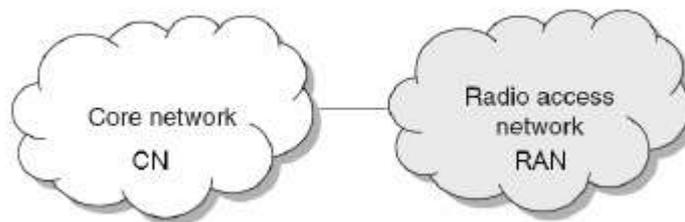
2.2.1.6 Arquitectura de Red y Protocolos

El objetivo de este capítulo es entregar detalles de la arquitectura de red LTE con el fin de describir los elementos funcionales de ella, así como las interfaces y protocolos. Una especial atención se dará al trabajo del 3GPP llamado Evolución de Arquitectura del Sistema (SAE -System Architecture Evolution). Así, para entender de donde proviene la arquitectura del sistema SAE, se considera la red de acceso y el núcleo de red utilizado por WCDMA/HSPA describiendo brevemente las conexiones, similitudes y diferencias con respecto al sistema de LTE. Finalmente se entregan las descripciones de los protocolos en la arquitectura de la interfaz radio.

2.2.1.6.1 Antecedentes

El término "arquitectura del sistema" describe la asignación de las funciones necesarias para los nodos lógicos y los requisitos de interfaces entre los nodos. En el caso de un sistema móvil, tal como WCDMA/HSPA y LTE, la mayoría de las funciones necesarias para la interfaz de radio son normalmente llamadas funciones de red de acceso radio. Sin embargo, en una red móvil varias funciones adicionales son necesarias para poder proporcionar los servicios de carga necesaria para uso del operador, de autenticación necesaria para certificar que el usuario es un usuario válido, servicio de configuración necesario para asegurar que hay conexión de un extremo a otro, etc. Por lo tanto, existen funciones no relacionadas directamente con la tecnología de acceso radio en sí, pero necesaria para cualquier tecnología de acceso radio. Esas funciones son normalmente llamadas funciones de núcleo de red. El hecho de que existen diferentes tipos de funciones en un sistema celular, ha llevado a que la arquitectura del sistema se divida a en dos partes, en red de acceso radio (RAN) y en núcleo de red (CN).

Figura 33: Núcleo de red (CN) y Red de acceso radio (RAN)



Además, similar a WCDMA/HSPA y como a la mayoría de los otros sistemas de comunicación modernos, el procesamiento especificado para LTE se estructura en diferentes capas de protocolo. Aunque varias de estas capas son análogas a los utilizados por el sistema WCDMA/HSPA, hay algunas diferencias, por ejemplo debido a las diferencias en la estructura general entre ambas tecnologías.

Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcis718l/doc/bmfcis718l.pdf>
pág. 64

Dentro de la estructura de protocolo LTE existen múltiples entidades que trabajan sobre los datos transmitidos, en este caso paquetes IP, antes de que se realice la transmisión por medio de la interfaz radio, los cuales son:

- Packet Data Convergence Protocol (PDCP), realiza compresión de encabezado IP para reducir el número de bits necesario para transmitir por la interfaz radio.
- Radio Link Control (RLC), se encarga de la segmentación/concatenación, manipulación de la retransmisión, y secuencia de la entrega a las capas más altas.
- Medium Access Control (MAC), maneja las retransmisiones HARQ y la programación del enlace ascendente y descendente. La MAC ofrece servicios al RLC en forma de canales lógicos.
- Physical Layer (PHY), se preocupa de la codificación y decodificación, modulación y demodulación y otras típicas funciones de la capa física.
- Radio Resource Control (RRC), es un elemento clave de la capa del protocolo de señalización que soporta muchas funciones entre el terminal y el nodo de la arquitectura de red LTE/SAE, el eNB.

2.2.1.6.2 División de funciones entre RAN y CN

Para WCDMA/HSPA, la idea detrás de la división funcional es mantener el núcleo de red sin conocimiento de la tecnología de acceso radio y de su distribución. Esto significa que la RAN debería estar en control de toda la funcionalidad, optimizando la interfaz radio y que las celdas no estén manifestadas en el núcleo de red. En consecuencia, el núcleo de red se puede

utilizar para cualquier tecnología de acceso radio que adopte la misma división funcional.

Para encontrar el origen es necesario volver a la arquitectura del sistema GSM, uno de los problemas de ella es que los nodos del núcleo de red tienen una visibilidad completa de las celdas en el sistema. Por lo tanto, cuando se agrega una celda en el sistema, los nodos del núcleo de red necesitan ser actualizados. En WCDMA/HSPA, el núcleo de red no conoce las celdas. En cambio, el núcleo de red sabe acerca de las áreas de servicio y la RAN traduce las áreas de servicio en las celdas. Así, al añadir una nueva celda en un área de servicio, el núcleo de red no tiene por qué ser actualizado.

La segunda gran diferencia en comparación con GSM, es la ubicación de los protocolos de retransmisión y los buffers de datos en el núcleo de red GSM. Desde que los protocolos de retransmisión fueron optimizados para la interfaz radio GSM, aquellos protocolos fueron de interfaz específica, por lo tanto, no eran adecuados para la interfaz de WCDMA/HSPA. Esto fue considerado como una debilidad del núcleo de red con todos los buffers y los protocolos de retransmisión fueron trasladados a la RAN para WCDMA. Así, mientras la red de acceso radio usa la misma interfaz del núcleo de red, la interfaz de usuario Iu, el núcleo de red puede conectar a las redes de acceso basadas en diferentes tecnologías de acceso radio.

Todavía existen divisiones funcionales en WCDMA/HSPA que no pueden ser explicadas exclusivamente con la idea de hacer el núcleo de red en una tecnología independiente de acceso radio. Las funciones de seguridad son un buen ejemplo. Una vez más, los antecedentes se remontan a GSM, que ha situado las funciones de seguridad en diferentes posiciones para conexiones de conmutación de circuitos y conmutación de paquetes. Para las conexiones de conmutación de circuitos, las funciones de seguridad se encuentran en la RAN GSM, mientras que para las conexiones de conmutación de paquetes, las funciones de seguridad se encuentran en el núcleo de red GSM. Para

WCDMA/HSPA, éste fue considerado demasiado complicado y una ubicación común de seguridad fue anhelada. La ubicación fue decidida por la RAN como la gestión de los recursos radio de señalización y la necesidad de contar con un seguro control.

Consecuentemente, las funciones RAN de WCDMA/HSPA son:

- Codificación, intercalación, modulación y otras típicas funciones de la capa física.
- ARQ, compresión de cabecera y otras típicas funciones de capa de enlace.
- Gestión de los recursos radio, handover y otras típicas funciones de control de recursos.
- Funciones de seguridad (cifrado y protección de la integridad).

Las funciones necesarias que fueron ubicadas dentro el núcleo de red son:

- Tarificación.
- Gestión de abonados.
- Gestión de la movilidad (esto es hacer el seguimiento de los usuarios en itinerancia en torno la red y en otra redes).
- Portador de la gestión y la calidad del servicio de manipulación.
- Políticas de control de los flujos de datos de usuario.
- Interconexión con redes externas.

La división de funciones de LTE es la misma que la de WCDMA/HSPA, sin embargo, un elemento clave en el diseño de la red de radio acceso de LTE, es reducir al mínimo el número de nodos y encontrar una solución cuando la red consistía de un único tipo de nodo. Al mismo tiempo, la idea detrás del núcleo de red LTE es lo más independiente como sea posible de la tecnología de acceso radio.

2.2.1.6.3 Arquitectura RAN

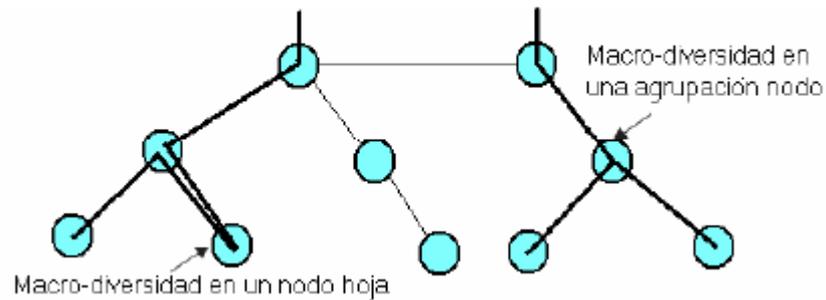
Si bien en cualquier RAN de cualquier tecnología de acceso radio como necesidad mínima, es poseer un nodo que conecte la antena de una celda. Las diferentes tecnologías de acceso radio han encontrado diversas soluciones para el número de tipos de nodos e interfaces que la RAN tendrá. Las arquitecturas RAN de WCDMA/HSPA y LTE son diferentes por lo que se detallarán a continuación sus diferencias y similitudes.

2.2.1.6.3.1 Red de Acceso Radio de WCDMA/HSPA

En esencia, un factor importante para la arquitectura RAN de WCDMA/HSPA es la funcionalidad de la macro-diversidad, lo que implica que un terminal se está comunicando con varias celdas simultáneamente, y es principalmente usado por terminales cercanos a la frontera de la celda para mejorar el rendimiento. El conjunto de celdas que se está comunicando con el terminal de usuarios (UE - User Equipment) se conoce como el conjunto activo. Esta diversidad requiere un punto de anclaje en la RAN que divide y combina los flujos de datos, para hacer esto posible hay que tener el anclaje en el nodo que conecta la antena de una celda y tener otras celdas con sus flujos de datos dirigidos a través de ese nodo, esto no es deseable desde el punto de vista de una red de transporte. La mayoría de las redes de acceso radio tienen las limitaciones de la red de transporte, principalmente en el último tramo, que es el último salto al sitio de la antena. Además, los sitios de antena son normalmente hojas en una rama del árbol y, por tanto, un anclaje en una hoja a

menudo implica que en el último tramo tiene que ser atravesado varias veces como se ilustra en la Figura 34. Debido a este hecho, el punto de anclaje fue especificado para ser en un nodo separado al nodo de conexión de la antena.

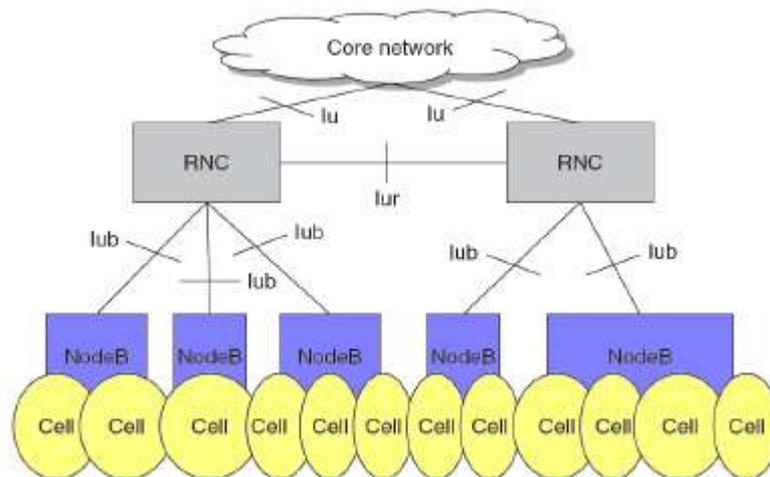
Figura 34: Topología de la red de transporte influyendo en la asignación de funciones.



Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfci718l/doc/bmfci718l.pdf>
pág. 68

Como una consecuencia de lo anterior, la capa de enlace necesita tener fin en el mismo nodo como la macro-diversidad o en un nodo más alto en la jerarquía RAN. Desde que la única razón para poner fin a la capa de enlace en otro nodo sería ahorrar recursos de transporte, y el tenerlos separados causaría una considerable complejidad, se decidió tenerlos en el mismo nodo. El nodo fue nombrado RNC (Radio Network Controller), ya que básicamente controla la RAN.

Figura 35: Red de acceso radio WCDMA/HSPA: nodos de interfaces



Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmficis718l/doc/bmficis718l.pdf>
pág. 69

La Figura 35 muestra una visión general de la red de acceso radio WCDMA/HSPA. Cada RNC en la red puede conectarse a cualquier otro RNC en la misma red utilizando la interfaz lur, la cual es una amplia interfaz de red que hace posible mantener un RNC como un punto de anclaje para un terminal y ocultar la movilidad desde el núcleo de red. Además, la interfaz lu puede realizar la macro-diversidad entre las celdas pertenecientes a diferentes RNC. Un RNC se conecta a un NodoB (NB) o más, utilizando la interfaz lub, pero el NodoB sólo puede conectarse a un único RNC el cual lo controla. Esto significa que el RNC es el que posee los recursos radio del NodoB.

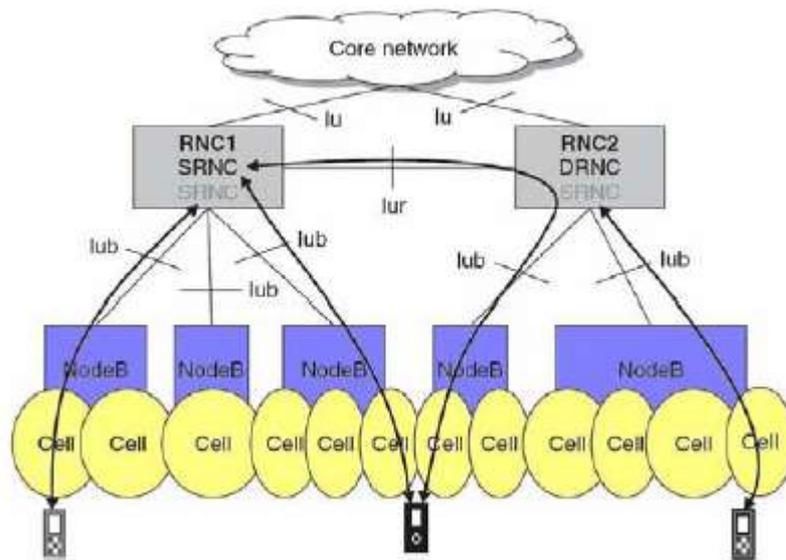
Cuando se especifican en donde deberían residir las funcionalidades RAN, se hace necesario que la propiedad de la interfaz radio de WCDMA disponga un nodo centralizado que maneje la macro-diversidad, así como el control de los recursos radio en varias celdas. Aunque el NodoB es un nodo lógico que maneja la transmisión y recepción de un conjunto de celdas, el RNC controla varios NodosB y de esa manera un área mayor. Además, la interfaz lur hace esto posible para tener un enfoque coordinado en toda el área de cobertura de la red.

El CRNC, controlling RNC, establece las frecuencias que deberá utilizar el NodoB en sus celdas, éste asigna poder y programa los canales comunes de ellas, y configura qué códigos deberían ser usados por HS-DSCH (High-Speed Downlink Shared Channel) y la máxima potencia a utilizar. Además, decide si un usuario que accede a una RAN está autorizado para utilizar los recursos radio en una celda que pertenece a uno de sus NodosB y especifica cuáles de ellos serán. El RNC, en este caso, se convertirá en el serving RNC (SRNC) para el usuario.

El SRNC es el que hace la evaluación de los informes sobre las mediciones del terminal y, basándose en ellos, decide cual celda será parte del conjunto activo. También forma la calidad del terminal, la conexión de los usuarios al núcleo de red y la configuración del terminal con lo que se permite los diferentes servicios que el usuario desee utilizar.

Durante la conexión, el terminal se puede mover y en algún momento puede necesitar conectarse a una celda que pertenezca a otro RNC. En tal caso, el SRNC del terminal necesita ponerse en contacto con el RNC propietario de las celdas que el terminal tiene para utilizar, pidiendo permiso para añadir la nueva celda para el conjunto activo. Si el CRNC propietario las acepta, el SRNC manda que el terminal sume la celda a su conjunto, así el CRNC se convierte entonces en un drift RNC (DRNC). Cabe señalar que el drift RNC puede ser un serving RNC para el otro terminal al mismo tiempo. Por lo tanto, el serving y drift son dos diferentes roles que un RNC puede tomar en una conexión a un terminal (ver Figura 36).

Figura 36: Roles de RNC.



Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcis718l/doc/bmfcis718l.pdf>
pág. 70

Para el servicio de Multimedia de Broadcast y Multicast (MBMS), el RNC tiene un rol especial que consiste en decidir si se usan los canales broadcast en la celda o se usan los canales unicast. Cuando se utilizan los canales unicast, el funcionamiento es para un tráfico normal, mientras que cuando se utiliza el canal broadcast, el RNC tiene la opción de asegurarse de que los mismos datos sean transmitidos en el entorno de sus celdas. Es por esto, que el terminal puede realizar una macro-diversidad combinando los flujos desde las diferentes celdas, y el rendimiento del sistema puede ser incrementado.

La base de utilizar unicast o broadcast para el servicio MBMS en una celda, es típicamente establecida por el supuesto número de terminales móviles a la recepción del similar contenido al mismo tiempo en la misma celda. Si hay pocos usuarios en la celda, un enfoque unicast es más eficiente que si hay muchos usuarios (o en los alrededores de la celda), aquello es más eficiente con el uso de canales broadcast.

El 3GPP ha considerado la posible migración de arquitectura RAN hacia una opción favorable. Existen varias propuestas, una de ellas consiste en mover completamente el RNC del NodoB que ya es posible con la arquitectura del Release 99, pero con algunas consideraciones.

Otra de éstas, es la ubicación de las funciones de seguridad en el sitio del NodoB, el cual es normalmente considerado como un sitio remoto y sin garantía. Estas funciones especifican la importancia y confidencialidad que debe tomar para el transporte de las claves criptográficas al NodoB. Esto se hace en el último tramo, el cual necesita estar protegido por algún mecanismo de seguridad, por ejemplo, IPSec. Sin embargo, esto no es suficiente para realizar la conexión segura, como también el equipamiento propio a sus necesidades a las pruebas de manipulaciones, lo que puede ser complejo y costoso. Por lo tanto, si el operador sabe que el NodoB se encuentra en un sitio seguro, entonces él puede implementar una red con NodosB y RNCs que tienen las aplicaciones en el mismo equipamiento físico.

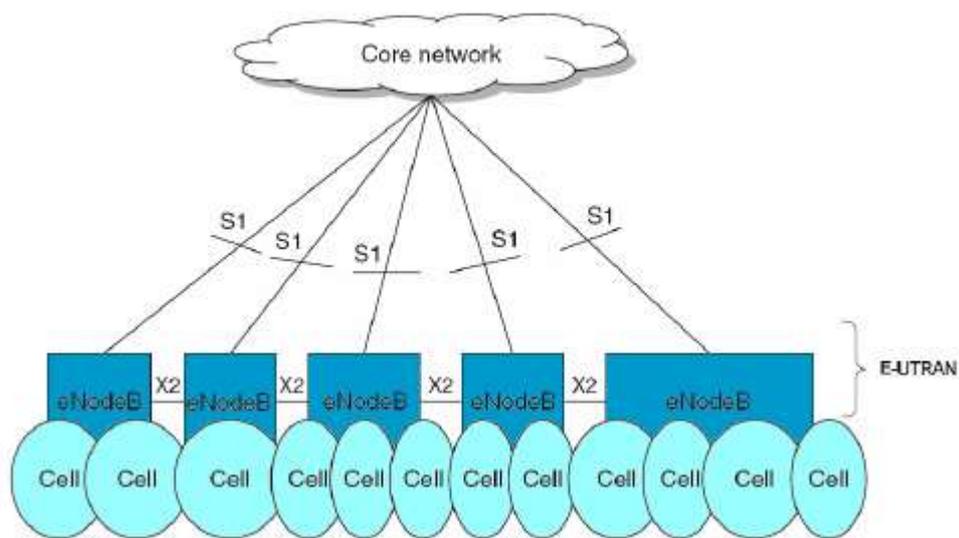
Otra consideración surge con la funcionalidad de RNC al sitio del NodoB, que es la funcionalidad de macro-diversidad necesitada por el enlace de subida de HSPA para obtener una buena capacidad y calidad.

2.2.1.6.3.2 Red de Acceso Radio de LTE

En el momento de adoptar la arquitectura de un sólo nodo en LTE, la función de la macro-diversidad fue puesto en discusión en el 3GPP. Aunque técnicamente es posible colocar la funcionalidad de macro-diversidad en el nodo que le corresponde a LTE (el eNB o eNB), la necesidad fundamental de ésta fue cuestionada. Muy rápidamente se decidió que la macro-diversidad en el enlace descendente no es necesaria para el tráfico unicast, pero con respecto al enlace ascendente, se resolvió que no ofrecía las ganancias para LTE que motiva el aumento de complejidad. Así se llegó a la conclusión que la macro-diversidad entre eNBs no es admitida en LTE.

Para el tráfico broadcast y multicast fue decidido que los eNBs necesitan ser capaces de transmitir el mismo dato en una manera sincronizada, con el fin de apoyar la operación de los servicios MBMS. También las necesidades de movilidad del terminal deben ser consideradas, ya que existen dos consideraciones con la movilidad que requieren atención: garantía para que no se pierdan los datos al cambiar de celda y la reducción del impacto en el núcleo de red al cambiar de celda. Para resolver éstas, se acordó que, con un centralizado anclaje en una retransmisión de capa exterior, el eNB haría esto más fácil para la movilidad. Con esto, el 3GPP decidió que la complejidad agregada, al no poseer el anclaje, fue mejor que el requerimiento de un nodo con funcionalidad RAN fuera del eNB.

Figura 37: Red de acceso radio LTE: nodos e interfaces



Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcis718l/doc/bmfcis718l.pdf>
pág. 72

En la Figura 37 se ve un enfoque general de la red de acceso radio LTE con sus nodos e interfaces. Contrariamente a lo que se vio en la red de acceso radio de WCDMA/HSPA, en LTE sólo se tiene un tipo de nodo, el eNB (E-UTRAN NodoB), por ello, no hay equivalente de un nodo RNC para una red LTE. La principal razón de esto es que no hay soporte para el enlace

ascendente o descendente dedicado al tráfico de usuario y la filosofía de diseño de reducir al mínimo el número de nodos.

El eNB está a cargo de un conjunto de celdas que no necesitan estar usando el mismo sitio de antena, de forma similar al NodoB en WCDMA/HSPA. El eNB ha heredado la mayoría de la funcionalidad RNC y es un nodo más complejo que el NodoB. También está a cargo de la única celda de decisiones RRM (Radio Resource Management- Gestión de Recursos de Radio), decisiones de handover y la programación de los usuarios tanto en el enlace ascendente y descendente. Obviamente, además realiza las funciones de capa física como; la codificación, decodificación, modulación, demodulación, intercalación y organiza los mecanismos de retransmisión (HARQ).

El eNB está conectado al núcleo de red utilizando la interfaz S1, que es similar a la interfaz Iu. También existe una similar a la interfaz Iur de WCDMA/HSPA llamada interfaz X2, ésta conecta cualquier eNB en la red con cualquier otro eNB. Sin embargo, dado que el mecanismo de movilidad para LTE es algo diferente en comparación con WCDMA/HSPA, ya que no es punto de anclaje en la RAN de LTE, la interfaz X2 sólo se utiliza entre eNBs que tienen celdas vecinas y también se utiliza para apoyar la movilidad en modo activo. Esta interfaz además puede ser usada para funciones RRM de múltiples celdas. El plano de control de la interfaz X2 es similar a su contraparte de WCDMA/HSPA, la interfaz Iur, pero carece de apoyo de la funcionalidad DRNC ya que los conceptos de controlling y drift no existen aquí. En lugar de ello, proporciona soporte a la funcionalidad de reubicación del eNB, realizando por medio de éste, el handover. El plano de usuario del X2 se utiliza de apoyo para la menor pérdida de movilidad del reenvío de paquetes. Además los eNBs que están interconectados entre sí por la interfaz X2 constituyen la conocida E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network).

Para el tipo de tráfico MBMS, la red de acceso LTE decide si utilizar canales unicast o broadcast como es en el caso de WCDMA/HSPA. Con respecto a los

canales broadcast, los incrementos de cobertura y capacidad serán significativos si se utiliza la operación MBSFN (Multicast Broadcast Single Frequency Network). A fin de que en los eNBs sea posible enviar los datos simultáneamente, una Entidad de Coordinación MBMS (MCE) sincroniza mediante un reloj global (por ejemplo GPS) las transmisiones de los eNBs y los flujos de datos.

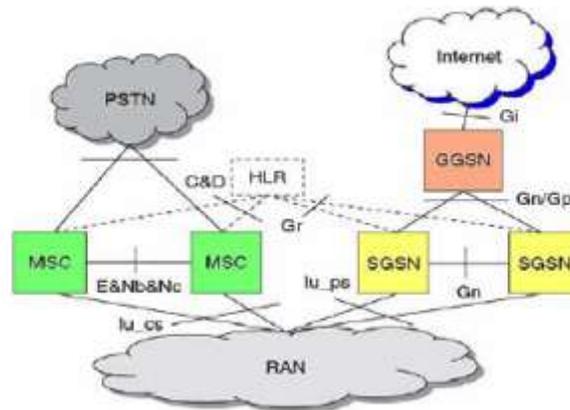
2.2.1.6.4 Arquitectura CN

Como se mencionó antes, el sistema móvil necesita un núcleo de red para realizar las funcionalidades que ello implica. El núcleo de red de WCDMA/HSPA y LTE respectivamente, se basa desde un principio en la evolución del núcleo de red utilizado en GSM/GPRS. El CN utilizado por WCDMA/HSPA está muy cerca del original de GSM/GPRS, en cambio el de LTE, es una evolución más radical del Core Network de GSM/GPRS. Es por esto que tiene su propio nombre: EvolvedPacket Core (EPC).

2.2.1.6.4.1 Núcleo de Red GSM utilizado por WCDMA/HSPA

El núcleo de red WCDMA/HSPA se basa en los mismos nodos de la red CN de GSM, aunque la división funcional de ambas tecnologías sea distinta, esto causa el uso de diferente interfaz entre ellas. En WCDMA/HSPA se utiliza la interfaz Iu, mientras que para GSM las interfaces A y Gb.

Figura 38: Descripción simplificada del Core Network GSM y WCDMA/HSPA.



Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmficis718l/doc/bmficis718l.pdf>
pág. 74

En la Figura 38 se muestra una visión general de la arquitectura del núcleo de red utilizado para WCDMA/HSPA. El núcleo red consta de dos dominios distintos:

- El dominio de Conmutación de Circuitos (CS), con el Mobile Switching Centre (MSC).
- El dominio de Conmutación de Paquetes (PS), con el Serving GPRS Support Node (SGSN) y Gateway GPRS Support Node (GGSN).

Como se puede ver también en la figura anterior, la interfaz lu conecta la red WCDMA/HSPA al MSC a través de la interfaz lu_{cs} y al SGSN a través de la interfaz lu_{ps}.

La interfaz lu_{cs} se utiliza para conectar el RNC de WCDMA/HSPA al circuito conmutador de dominio del núcleo de red, es decir, al MSC que se utiliza para la conexión llamadas telefónicas a las Redes de Telecomunicaciones Públicas Conmutadas (PSTN). El MSC y el dominio de conmutación de circuito, usan las funciones de los Servicios Integrados de Red Digital (ISDN) como mecanismo

de conmutación. Por lo tanto, la señalización para el MSC se basa en la ISDN. La interfaz lu_ps se utiliza para conectar el RNC al conmutador de paquetes, que es el SGSN y se conecta a un GGSN a través de una interfaz Gn o GP. El GGSN tiene una interfaz Gi que lo conecta hacia la red de paquetes externa (por ejemplo Internet) y hacia al operador del servicio de dominio o al IMS.

Para ambos dominios es común el Home Location Register (HLR), que es una base de datos en la red del operador de origen que hace un seguimiento de los abonados de este operador. El HLR contiene información sobre la ubicación actual de la tarjeta del abonado SIM/USIM (Subscriber Identity Module/UMTS SIM - Modulo de Identidad del Abonado/UMTS SIM). El HLR está conectado a el MSC a través de la interfaz C&D, y al SGSN a través de la interfaz Gr.

La interfaz lu apoya una función llamada lu flex. Esta función permite a un RNC conectar a más de un MSC o SGSN y viceversa, es útil para reducir los efectos si uno de los nodos del núcleo de red no está disponible. El mecanismo de lu flex se utiliza para distribuir la conexión del terminal en varios nodos SGSN y MSC, si uno de ellos no está disponible, el otro mantiene su tráfico asignado y pueden tomar todas las llamadas entrantes o solicitudes de inicio de sesiones de paquetes (muchas de las llamadas entrantes son esperadas cuando el nodo del núcleo de red no está disponible, ya que la mayoría de los terminales tratarán de reconectarse cuando ellos se desconecten sin previo aviso).

2.2.1.6.4.1.1 MBMS, Multicast y Broadcast

El servicio MBMS es usado en el dominio de conmutación de paquetes del núcleo de red. Consecuentemente la interfaz lu_ps es utilizada para conectarse a la RAN de WCDMA/HSPA. Para el MBMS, el núcleo de red es el que decide si se utiliza la transmisión del portador broadcast o multicast. En el caso de broadcast, el núcleo de red no conoce la identidad de los terminales móviles que reciben la información, mientras que para multicast si son conocidos. Así, los terminales no necesitan informar al núcleo de red de sus intenciones

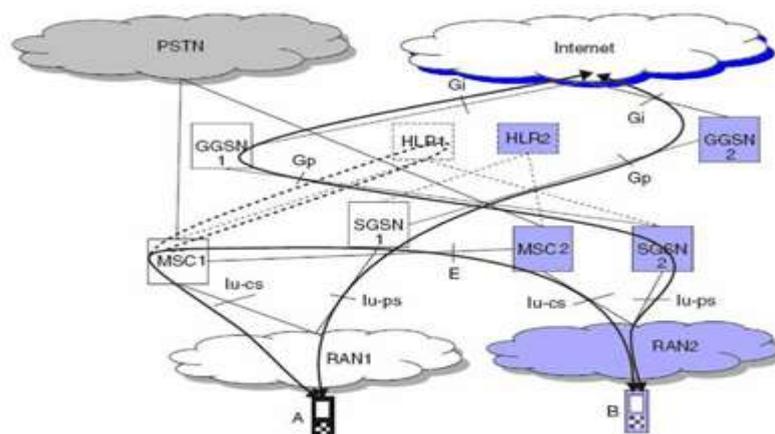
cuando se recibe un servicio que utiliza el portador de broadcast, mientras que cuando se recibe un servicio que está utilizando un portador de multicast los terminales necesitan informar al núcleo de red sobre estas intenciones.

Por lo tanto, la RAN puede decidir si se utiliza transporte de canales unicast o broadcast en la celda. Esencialmente, la RAN pregunta al usuario que está en una celda, si está interesado en un servicio específico, entonces, si hay una cantidad suficiente de usuarios que se interesa, se selecciona el canal broadcast sino, el canal unicast es usado.

2.2.1.6.4.1.2 Roaming

La funcionalidad del roaming en el núcleo de red hace posible que un usuario pueda utilizar la red de otro operador. Ésta es apoyada tanto por los dominios de conmutación de circuitos y de paquetes. En ambos dominios existen diferentes posibilidades, pero en la práctica el tráfico se enruta a través de los operadores de origen GGSN para el dominio PS. Para el dominio CS, el caso común del terminal que origina las llamadas (llamadas salientes) es para hacer el intercambio en la red visitada. Para el terminal que recibe las llamadas (llamadas entrantes), es siempre a través de la red de origen como se ilustra en la Figura 39.

Figura 39: Roaming de GSM y WCDMA/HSPA



Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcis718l/doc/bmfcis718l.pdf>
pág. 77

En la figura se ven dos terminales que pertenecen a dos operadores diferentes (A y B). Los terminales poseen roaming en la red de otro operador y ambos tienen conexiones de conmutación de paquetes. Además, el terminal A es llamado por el terminal B a través del dominio de conmutación de circuitos. Las conexiones de conmutación de paquetes son dirigidas desde el SGSN en la red visitada, al GGSN en la red de origen, utilizando la interfaz Gp. Para la llamada de conmutación de circuitos, el terminal A (originario de la llamada) se conecta al MSC de la red visitada. Éste se da cuenta de que el terminal llamado pertenece a su red, y por lo tanto contacta a su HLR que responde con información que el terminal B es atendido mediante el MSC en la red 2. Entonces el MSC1 se contacta con el MSC2, el cual establece una conexión hacia el terminal B.

2.2.1.6.4.1.3 Control de Políticas y de Tarificación

La función de tarificación es muy importante para el operador que se encuentra en el núcleo de red. Para el dominio de conmutación de circuitos, ésta se realiza en el MSC, mientras que para el dominio de conmutación de paquetes, ésta se maneja bien en el SGSN o bien en el GGSN. Tradicionalmente, se ha hecho posible la tarificación por minutos usados y la tarificación por volumen. El primero es usado para el dominio de conmutación de circuitos mientras que el segundo es más común utilizarlo en el dominio de conmutación de paquetes. Sin embargo, otros principios de tarificación también son posibles, por ejemplo cuota única con o sin la apertura de las tarifas. Diferentes tarifas se utilizan dependiendo de la suscripción del abonado, y/o si el usuario utiliza roaming o no. Con la manipulación de GGSN la tarificación de los servicios de conmutación de paquetes, sistemas de tarificación más avanzados, se hace compatible la tarificación basada en contenido o evento, permitiendo al operador la tarificación de los usuarios finales dependiendo del servicio.

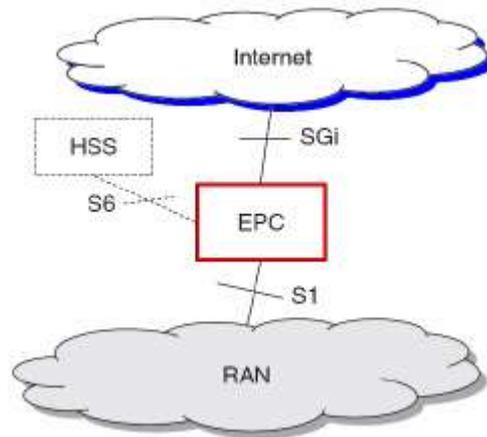
El control de políticas, es una función que es usada en el núcleo de red para controlar la utilización de servicios de conmutación de paquetes, y así se garantiza que el usuario no utilice más ancho de banda del que le es permitido, o que el usuario pueda acceder sólo a servicios o sitios Web aprobados. El control de políticas es efectuado en el GGSN y existe sólo en el dominio de conmutación de paquetes.

2.2.1.6.4.2 Núcleo de Red SAE: Evolved Packet Core

Cuando se inició la estandarización de la RAN LTE, se comenzaron los trabajos correspondientes para el CN LTE bajo el System Architecture Evolution (SAE). El núcleo de red definido en el sistema SAE es una evolución radical del núcleo de red GSM/GPRS, y por esto es que tiene un nuevo nombre, Evolved Packet Core o EPC (Núcleo de Paquetes Evolucionado). El sistema SAE sólo abarca el ámbito de conmutación de paquetes, no el de conmutación de circuitos. Mirando hacia atrás, la filosofía de reducir al mínimo el número de nodos también reina en la normalización del núcleo de red. En consecuencia, la red EPC comenzó como una arquitectura de un solo nodo con todas las funciones en el mismo, excepto el Home Subscriber Server (HSS), el cual se mantiene fuera del nodo. El HSS es un nodo de base de datos correspondiente a el HLR del núcleo de red GSM/WCDMA.

En la Figura 39 se muestra como el Evolved Packet Core se ajusta en el total de la arquitectura. El EPC se conecta a la RAN LTE a través de la interfaz S1, a Internet a través de la interfaz SGi y al HSS vía interfaz S6. S1 es la interfaz entre los eNBs y EPC, que es muy similar a la interfaz lu_ps. El S1 y el plano de usuario lu_ps son túneles de transporte basados en IP, que no conocen el contenido del paquete enviado. Los paquetes IP del usuario final son puestos en el túnel IP S1 por el EPC o el eNB y recuperados en el otro extremo (eNB o EPC).

Figura 40: Descripción simplificada del Core Network SAE de LTE



Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcis718l/doc/bmfcis718l.pdf>
pág. 79

Para el plano de control la diferencia entre S1 e Internet no es mucha, de hecho, es sólo en los detalles del establecimiento portador que es visible. La diferencia radica en la forma de indicar la calidad asignada en el servicio del flujo específico de un usuario. Para WCDMA/HSPA se hace por medio de los parámetros de Radio Access Bearer (RAB) mientras que para LTE se hace por medio de la que apunta a una clase de prioridad específica.

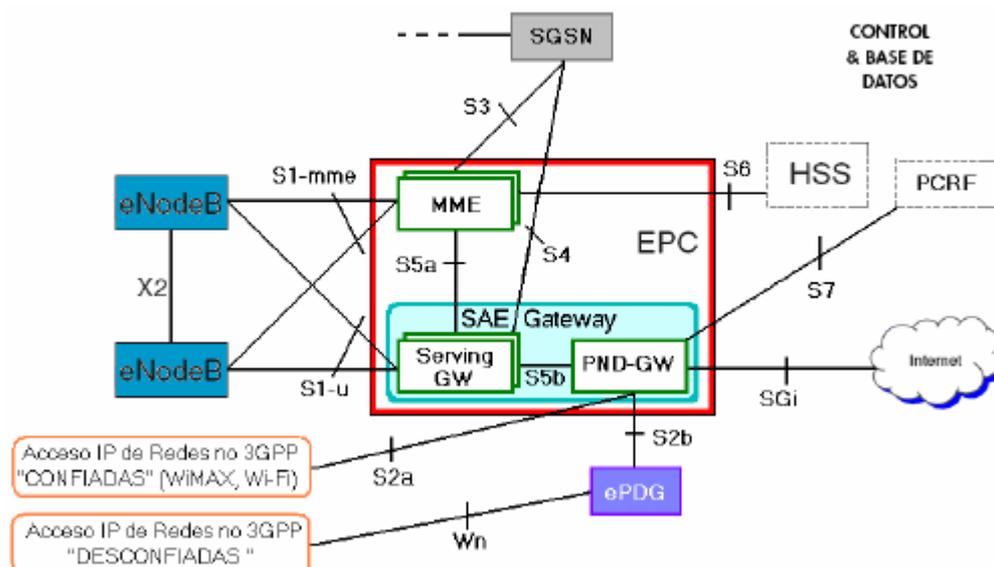
La interfaz S6 mostrada es la que conecta el EPC al HSS. Ésta se trata de una evolución de la interfaz Gr utilizada por WCDMA/HSPA para conectarse al HLR. Por lo tanto, una combinación de HLR/HSS para el Núcleo de Paquetes Evolucionado, puede ser la misma como la representada de GSM en el núcleo de red de WCDMA.

Quizás la mayor diferencia entre WCDMA/HSPA y LTE es el manejo de la movilidad. En LTE, el EPC actúa como un anclaje en el núcleo de red SAE para la movilidad, siendo un nodo EPC que maneja el plano de usuario no cambiado durante una conexión. El EPC toma aquí el papel de un GGSN para

GSM/GPRS y WCDMA/HSPA. Debido a la arquitectura plana, éste nodo debe ser capaz de conectarse esencialmente a cada eNB en la red, y actualizarse dentro del mismo, que deberá guiar los paquetes del usuario. Ésta es la gran diferencia en comparación con la RAN WCDMA/HSPA, donde el RNC esconde éste tipo de movilidad desde el núcleo de red.

Tres son las entidades básicas para soportar la movilidad: la MME (Mobility Management Entity), el S-GW (Serving-Gateway) y el PDN-GW (Packet Data Network-Gateway). Por medio de la interfaz S1, éstos se interconectan con la RAN. Dicha interfaz consta del plano de control S1-mme, entre el eNB y el MME, y del plano de usuario S1-u, entre el eNB y el S-GW (ver Figura 41).

Figura 41: Elementos funcionales e interfaces del EPC.



Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmficis718l/doc/bmficis718l.pdf>
pág. 80

2.2.1.6.4.2.1 SAE Gateway

Está formado por dos entidades lógicas del plano de usuario, el S-GW y el PDN-GW, sirviendo de interfaz entre la red de acceso y las diferentes redes de

paquetes. En la práctica ambos gateways se pueden implementar como un único elemento de red. El S-Gw se encarga de las siguientes funciones:

- Interviene de forma activa en el proceso de movilidad cuando se produce un traspaso (handover) entre eNBs.
- Mediante el interfaz S4, basado en el protocolo GTP (GPRS Tunneling Protocol) es la entidad involucrada en el tráfico de usuario en caso de movilidad entre LTE y otra tecnología 3GPP.
- En caso de ser necesario disponer de información del tráfico de usuario ante un requerimiento legislativo, se encarga de replicar dicha información.

El PDN-GW se considera el punto de entrada/salida del tráfico hacia/desde el usuario, proporcionando conectividad hacia el resto de redes externas, destacando las siguientes tareas:

- A través de la interfaz S7 se realiza la transferencia de las políticas de QoS y tarificación que se aplican al tráfico de usuario entre el PCRF (Policy and Charging Rule Function) y el PDN-GW.
- Facilita la movilidad transparente y la continuidad en las sesiones de usuario cuando éste se desplaza entre redes de acceso tecnológicamente heterogéneas, es decir, desde una red 3GPP (GSM, WCDMA, HSPA) a otra red que no es 3GPP (WiMAX o Wi-Fi).

Las redes que no forman parte del 3GPP, se distinguen en dos tipos de acceso: Confiado y Desconfiado, y el operador será el que decide el tipo de cada red a quien le permitirá su conexión. La interconexión con una red considerada desconfiada, se realiza empleando un ePDG (evolved Packet Data Gateway), que implementa protocolos de movilidad IP, siendo necesario para acceder a los servicios que ofrece el operador. El terminal de usuario establece

un túnel IPsec con el ePDG mediante la interfaz Wn. La interconexión con redes de confianza no emplea el ePDG, por lo que se emplean directamente protocolos PMIP con el PDN-GW, mediante el interfaz S2a.

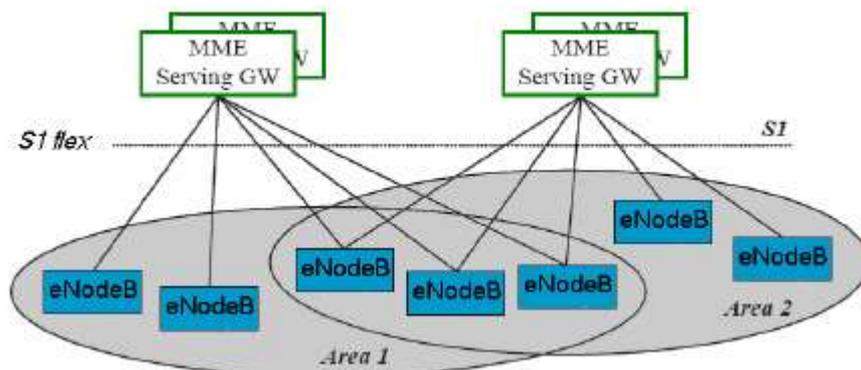
2.2.1.6.4.2.2 MME

Constituye una entidad del plano de control, encargada únicamente de la señalización, ya que por ella no transitan los paquetes de datos de los usuarios. Mediante la interfaz S3, basada en el protocolo GTP, se realiza el control de señalización para la movilidad con redes 3GPP e interactúa con el HSS (Home Subscriber Server), basado en el protocolo Diameter, que realiza el proceso de autenticación de los usuarios. Aporta a los operadores la ventaja de aumentar la capacidad de señalización de forma independiente del tráfico de usuario, ya que es un elemento de red dedicado a la señalización y separado funcionalmente de los gateways.

2.2.1.6.4.2.3 SI Flex

Similar a la flex, SI flex permite un núcleo de red más robusto, con más flexibilidad en la interconexión de los nodos de acceso y del sistema central, rompiendo la habitual red jerárquica. Si uno de los nodos EPC no está disponible, otro nodo puede hacerse cargo de la pérdida del tráfico. Además, la ampliación de la red es más fácil debido a que los nodos EPC se pueden agregar cuando es necesario por la demanda de tráfico y no por un aumento en la cobertura.

Figura 42: Función SI flexibility



Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcis718l/doc/bmfcis718l.pdf>
pág. 82

Tal como se ve en la Figura 41, SI flex proporciona redundancia y reparto de carga, permitiendo a un eNB estar conectado a más de un nodo MME o Serving Gateway. La aplicación SI flex es para ambos de manera independiente.

2.2.1.6.4.2.4 Roaming

De forma similar a los posibles escenarios considerados en las redes actuales, hay que distinguir dependiendo si el tráfico de usuario se encamina a la red de origen o no. Este último escenario es lo que se conoce como local breakout.

En el caso de que el tráfico de usuario se oriente a la red Home, la solución adoptada en SAE pasaría por hacer una separación entre el S-GW y el PDN-GW. El primero, junto con la E-UTRAN y los MMEs, se situaría en la red visitada mientras que el PDN GW, el HSS y el PCRF se situarían en la red de origen.

La interfaz entre el S-GW y el PDN-GW pasaría a ser la interfaz S8 que se basa en el actual punto de referencia Gp existente entre los SGSNs y GGSNs.

No obstante aún quedan por definir algunos puntos no resueltos como puede ser la localización del PCRF en la red visitada, así como una posible interacción entre el PCRF de la red de origen y la red visitada.

El escenario local breakout es de aplicación en determinadas situaciones en los que el servicio puede ser directamente ofrecido por el operador visitado, ejemplo: se delega en la red del operador visitado el servicio de acceso a Internet. Respecto al escenario anterior, el PDN-GW se situaría en la red visitada, quedando aún por resolver la interacción entre el PCRF de la red de origen y visitada.

2.2.1.6.4.2.5 Control de Políticas y Tarificación

En los Release 5 y 6 del 3GPP se definen las primeras arquitecturas para la tarificación y control de QoS por flujo IP. La unificación de estas arquitecturas se finaliza en el Release 7 bajo el nombre de PCC (Policy and Charging Control). Esta arquitectura define un nodo, el PCRF, que se encarga de autorizar los servicios o flujos IP a los que accede un usuario, así como el de realizar la provisión de las políticas de tarificación y de QoS en el nodo encargado de ejecutarlas, el PCEF (GGSN en redes GPRS/UMTS).

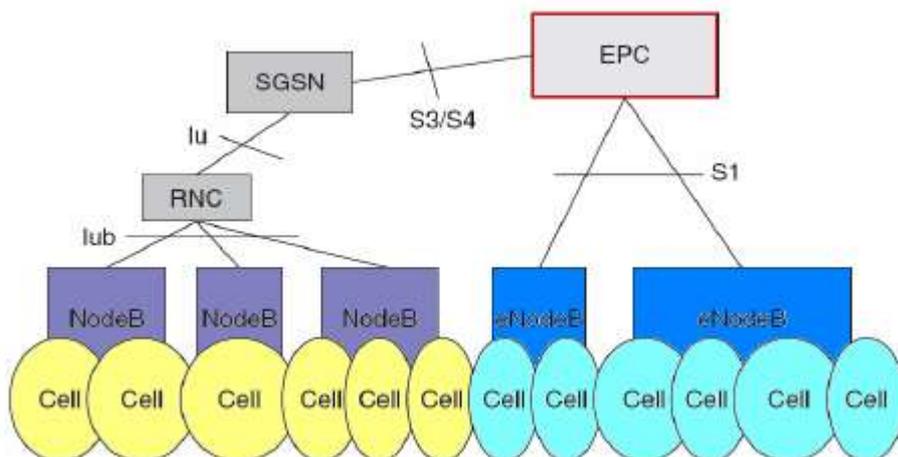
Otra característica de PCC es la mejora en el modelo de solicitud de la QoS por "PDP Context", dándose un paso muy importante a lo que es el control de la QoS, en las nuevas redes de datos, recayendo en el operador y no en el UE.

Un aspecto clave para los operadores, es poder reutilizar a largo plazo toda la arquitectura desplegada para la gestión de políticas en la red y en el terminal, es por esto que, de cara a asegurar una migración suave hacia SAE, se ha tomado como criterio de diseño, la reutilización de las interfaces del PCRF definidos para el Release 7.

2.2.1.6.4.3 WCDMA/HSPA conectado al Evolved Packet Core

Cuando la tecnología LTE/SAE ha sido introducida en la red, es necesario el handover para WCDMA/HSPA, y éste se resuelve conectándose a la red EPC. De hecho, el SGSN del núcleo de red GSM es utilizado para que WCDMA/HSPA sea conectado al EPC, el cual actúa como un GGSN cuando el tráfico es ruteado a través de la RAN de WCDMA/HSPA usando la interfaz S4 (que se basa en la interfaz Gn/Gp utilizada entre GGSN y SGSN), y como un EPC normal cuando el tráfico es ruteado a través de la RAN de LTE. Esto es posible desde un extremo del plano de usuario en el EPC, manteniendo así la dirección IP del terminal. Las partes del plano de control del EPC, no son usadas cuando el terminal está conectado a la RAN de WCDMA/HSPA, en cambio, los protocolos del núcleo de red del SGSN si se utilizan. Con este enfoque, los cambios necesarios son mínimos para el núcleo de red de paquetes utilizado por WCDMA/HSPA, al mismo tiempo debe ser capaz de proporcionar un rápido e ininterrumpido handover desde y hacia LTE (Figura 43).

Figura 43: WCDMA/HSPA conectada con LTE/SAE.



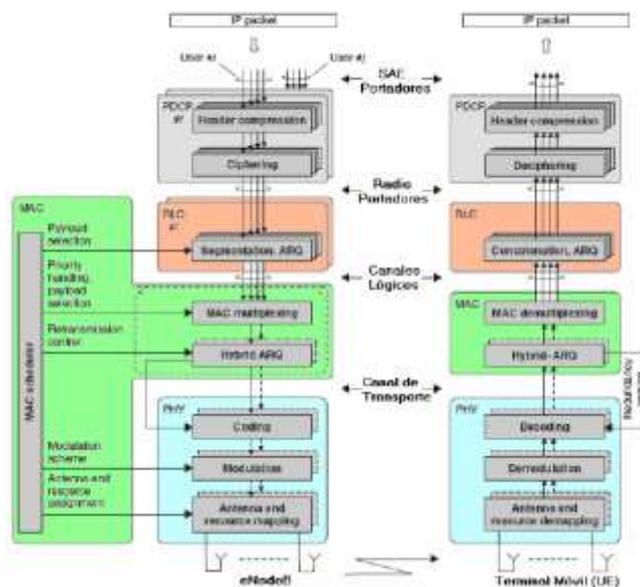
Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcs718l/doc/bmfcs718l.pdf>
pág. 84

Cuando es necesario el handover desde WCDMA/HSPA a LTE, la conexión se hace al EPC por medio del SGSN a través de la interfaz S3 que se basa en la interfaz Gn utilizada entre SGSNs para la reubicación de SGSN. Así, el handover está cerca de la reubicación de SGSN con un cambio del plano de usuario en el EPC en lugar de en el GGSN.

2.2.1.6.5 Arquitectura de Protocolos de Interfaz de radio

Un panorama general de la arquitectura de protocolos LTE para el enlace descendente se ilustra en la Figura 44. Como se hará evidente más adelante, no todas las entidades que se muestran son aplicables a todas las situaciones. Por ejemplo, la programación MAC, HARQ con rápida combinación, no son utilizados para el broadcast del sistema de información. Además, la estructura del protocolo LTE relacionada a las transmisiones de enlace ascendente, es similar al descendente en la Figura 42, aunque hay diferencias con respecto a la selección del formato de transporte y la transmisión de múltiples antenas.

Figura 44: Arquitectura de protocolo LTE



Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmficis718l/doc/bmficis718l.pdf>
pág. 85

Los datos que se transmiten entran como paquetes IP en uno de los portadores SAE. Antes de la transmisión vía interfaz radio, los paquetes IP pasan por las múltiples entidades de protocolo.

2.2.1.6.5.1 RLC: Radio Link Control

El RLC de LTE es responsable de la segmentación de los paquetes IP, conocidos como unidades de datos de servicio (RLC SDUs), en unidades más pequeñas llamadas unidades de datos del protocolo RLC (RLC PDUs). También se encarga de la retransmisión de los PDUs (Protocol Data Units) recibidos erróneamente y por último, asegura la secuencia entregada de los SDUs (Service Data Units) a las capas superiores.

El mecanismo de retransmisión RLC proporciona la entrega libre de errores de datos. Para lograr esto, un protocolo de retransmisión opera entre las entidades RLC en el receptor y en el transmisor. Mediante la supervisión de los números de secuencia que se reciben, la recepción de RLC puede identificar los PDUs que faltan. Para cada PDU recibido incorrectamente, el RLC pide una retransmisión la cual se indica y se transmite por medio de informes de estatus. Cuando se configura la retroalimentación, un informe de estatus normalmente contiene información sobre múltiples PDUs y se transmite relativamente con poca frecuencia. Basado en la recepción de reportes de estatus, la entidad RLC en el transmisor puede retransmitir los PDUs desaparecidos si es solicitado. Cuando el RLC está configurado para solicitar la retransmisión, se dice que funciona en el modo AM (Modo Admitido) que es normalmente utilizado para servicios basados en TCP (Transmission Control Protocol), en donde la transferencia de datos libres de errores es de interés primordial.

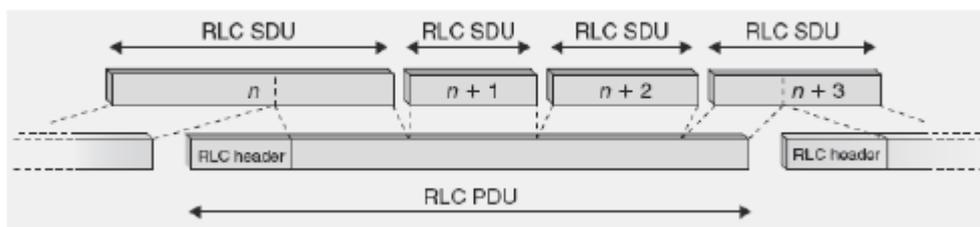
Al igual que en WCDMA/HSPA, el RLC también se puede configurar en modo UM (Modo No admitido) y en modo TM (Modo Transparente). En UM se proporciona la entrega en secuencia a capas superiores, pero no se solicitan las retransmisiones de los PDUs que faltan. UM suele ser utilizado para

servicios tales como VoIP, donde la entrega libre de errores es de menos importancia en comparación con la entrega de corto tiempo. El modo TM es sólo utilizado para fines específicos tales como el acceso aleatorio.

A pesar de que el RLC es capaz de manejar errores de transmisión debido al ruido y a impredecibles variaciones del canal, en la mayoría de los casos estos son tratados por el protocolo MAC basado en HARQ.

Además del manejo de la retransmisión y la entrega en secuencia, el RLC también es responsable de la segmentación y concatenación como se ilustra en la Figura 43. Dependiendo de la decisión del programador, una cierta cantidad de datos es seleccionada para la transmisión desde el buffer RLC SDU, y los SDUs son segmentados/concatenados para crear el RLC PDU. Así, para LTE, el tamaño del RLC PDU varía dinámicamente, mientras que en WCDMA/HSPA antes de la versión 7, se usó un tamaño de PDU semiestático. Por lo tanto, la velocidad de transmisión de datos LTE puede variar desde unos pocos Kbps hasta un valor por muy encima de los cien Mbps, motivando la fácil compatibilidad para LTE. Estos mecanismos de adaptación de velocidad y programación se encuentran en el eNb.

Figura 45: Segmentación y Concatenación RLC.



Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmficis718l/doc/bmficis718l.pdf>
pág. 87

2.2.1.6.5.2 MAC: Medium Access Control

La capa MAC se encarga del canal lógico de multiplexación, retransmisiones HARQ y la programación de ambos enlaces, ascendente y descendente. Esto es definido por medio de una celda de servicio, que es la celda del terminal móvil, que está conectada a la celda responsable de la operación scheduling y HARQ.

2.2.1.6.5.2.1 Canales Lógicos y de Transporte

La MAC ofrece servicios al RLC en forma de canales lógicos. Un canal lógico es definido mediante el tipo de información que lleva y son generalmente clasificados dentro de los canales de control, usados para la transmisión del control y configuración de información necesaria para la operación del sistema LTE, y los canales de tráfico que son usados para los datos del usuario.

Los tipos de canales lógicos especificados para LTE son:

- Broadcast Control Channel (BCCH), es usado para la transmisión del sistema de control de información desde la red hacia todos los terminales móviles de la celda. Antes del acceso del sistema, un terminal móvil necesita leer la información transmitida en el BCCH para averiguar cómo está configurado el sistema.
- Paging Control Channel (PCCH), utilizado para la paginación de los terminales móviles, cuya ubicación en el nivel de celdas no es conocido en la red y el mensaje de paginación, por lo tanto, necesita ser transmitido en varias celdas.
- Dedicated Control Channel (DCCH), utilizado para la transmisión del control de información desde/hacia un terminal móvil. Este canal se utiliza para la

configuración individual de los terminales móviles, como la entrega de diferentes mensajes.

- Multicast Control Channel (MCCH), utilizado para la transmisión del control de información requerida para la recepción del MTCH.
- Dedicated Traffic Channel (DTCH), usado para la transmisión bidireccional de datos de usuario a un terminal móvil.
- Multicast Traffic Channel (MTCH), utilizado para la transmisión del enlace descendente de los servicios MBMS.

La capa MAC también utiliza los servicios en forma de canales de transporte. Un canal de transporte define cómo y con qué características la información es transmitida por la interfaz radio. Siguiendo la notación de HSPA, que ha sido heredado por LTE, los datos en un canal de transporte se organizan entre bloques de transporte. En cada intervalo de tiempo de transmisión (TTI), a lo más un bloque con un determinado tamaño, es transmitido a través de la interfaz radio. En presencia de multiplexación espacial puede haber hasta dos bloques de transporte por TTI.

Asociado a cada bloque de transporte existe un formato de transporte (TF), especificando como el bloque es transmitido, incluyendo información sobre su tamaño y del sistema de modulación. Variando el formato de transporte, la capa MAC puede realizar diferentes tipos de velocidades de transmisión de datos y por lo tanto llevar a cabo su control.

Los tipos de canales de transporte especificados para LTE son:

- Broadcast Channel (BCH), tiene un formato de transporte fijo. Se utiliza para la transmisión de la información sobre el canal lógico BCCH.
- Paging Channel (PCH), es utilizado para la transmisión de información de paginación sobre el canal lógico PCCH. El PCH soporta la recepción

discontinua (DRX), para permitir al terminal móvil ahorrar energía de la batería cuando se hace la recepción sólo en instantes de tiempos predefinidos [3].

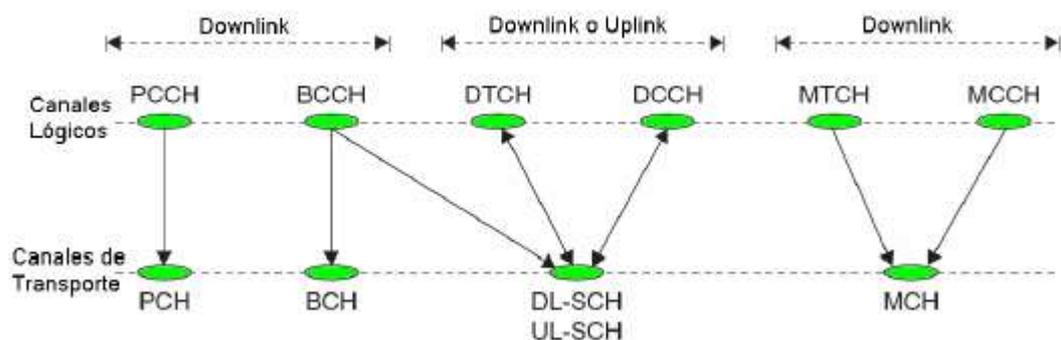
- Downlink Shared Channel (DL-SCH), es el canal de transporte utilizado para la transmisión de los datos de bajada en LTE. Soporta características LTE como, la tasa de adaptación dinámica y la programación del canal dependiente. Soporta DRX, reduciendo el consumo de energía del móvil sin dejar de ofrecer una experiencia always-on.

- Multicast Channel (MCH), se utiliza para apoyar el servicio MBMS. Se caracteriza por el formato de transporte semiestático y programación semiestático. En caso de transmisión multi-celda utilizando MBSFN, la programación y configuración del formato de transporte es coordinado entre las celdas implicadas en la transmisión MBSFN.

- Uplink Shared Channel (UL-SCH) es semejante al DL-SCH.

Parte de la función de la MAC, es la multiplexación de los diferentes canales lógicos y el mapeado de los mismos a los canales de transporte apropiados. A diferencia de la MAC en HSDPA, en LTE, la MAC apoya la multiplexación de RLC PDUs desde diferentes portadoras de radio en el mismo bloque de transporte. Un ejemplo de mapeado de los canales lógicos y de transporte se ve en la Figura 46

Figura 46: Ejemplo de mapeado de los canales lógicos-transporte.



Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcis718l/doc/bmfcis718l.pdf>
pág. 90

2.2.1.6.5.2.2 Programación Downlink y Uplink

Uno de los principios básicos del acceso radio LTE, es la transmisión del canal compartido en el DL-SCH y UL-SCH, es decir, los recursos de tiempo-frecuencia son dinámicamente compartidos entre los usuarios en ambos enlaces. El programador (scheduler), forma parte de la capa MAC y controla la asignación de recursos uplink y downlink. Ambos recursos son separados en LTE y las decisiones de ellos pueden ser tomadas independientemente.

La función del programador downlink, es determinar dinámicamente en cada trama de 1 ms, cuál o cuáles terminales se supone que reciben la transmisión DL-SCH y sobre que recursos lo hacen. En cada trama, se asignan bloques de recursos (unidad basada en tiempo-frecuencia que abarca 180 KHz) a un terminal para la recepción de la transmisión DL-SCH.

El objetivo general del programador es aprovechar las variaciones del canal entre los terminales móviles, y de preferencia las transmisiones hacia terminales móviles sobre recursos con ventajas en las condiciones del canal. Debido a la utilización de OFDM como el sistema de transmisión en el enlace descendente, LTE puede beneficiarse de las variaciones del canal en los dominios de frecuencia y tiempo, mientras que HSDPA sólo puede aprovechar las variaciones en el dominio del tiempo. La información acerca de las condiciones del canal descendente, se realimenta desde el terminal móvil hacia el eNB por medio de informes de calidad del canal. En suma a la calidad del canal, un alto rendimiento de la programación también debe tomar en cuenta el estado del buffer y en las decisiones prioritarias. También es parte del programador la coordinación de interferencia, que trata de controlar la Interferencia Inter-Celda.

La función básica del programador uplink es similar al downlink, es decir, determina dinámicamente para cada intervalo de 1 ms, cuáles terminales móviles son los que transmiten los datos sobre el UL-SCH, y en qué recursos del enlace ascendente. Para LTE, el enlace ascendente es ortogonal y el recurso compartido es controlado por el programador del eNB. Un recurso asignado no utilizado en su totalidad por un terminal móvil, no puede ser parcialmente utilizado por otro. Por lo tanto, debido al enlace ascendente ortogonal, esto representa menos ganancia al dejar que el terminal móvil seleccione el formato de transporte. Consecuentemente, además de la asignación de los recursos en tiempo-frecuencia al terminal móvil, el eNB también es responsable de controlar el formato de transporte (el tamaño de carga útil y el régimen de modulación) que el terminal móvil utiliza.

2.2.1.6.5.2.3 HARQ

El protocolo HARQ de LTE es similar al correspondiente protocolo usado en HSPA, en donde se utilizan múltiples procesos paralelos de parada y espera. Sobre la recepción de un bloque de transporte, el receptor hace un intento de decodificar el bloque e informa al emisor acerca del resultado de la operación a través de un único bit ACK/NAK (Acknowledgement/Negative Acknowledgement), que indica si la decodificación se ha realizado correctamente o si es obligatorio una retransmisión del bloque de transporte [3]. Para minimizar el overhead (cabecera), se usa un único bit ACK/NAK. Para LTE, por otra parte, las capas de protocolo son diseñadas conjuntamente, lo que implica menos restricciones en el diseño.

El mecanismo ARQ, es capaz de corregir la mayoría de errores de transmisión debido al ruido o variaciones imprevisibles del canal. Éste puede ocasionalmente dejar de hacer la entrega libre de errores a los bloques de datos RLC, causando una diferencia en la secuencia de los bloques entregados. Esto suele ocurrir debido a la errónea señalización de retroalimentación, por ejemplo, un NAK es incorrectamente interpretado como

un ACK por el transmisor, causando la pérdida de datos. La probabilidad de que esto suceda puede ser del 1%, un error probablemente demasiado alto para los servicios basados en TCP que requieren prácticamente una entrega libre de errores de paquetes TCP. Más específicamente, para la sostenible velocidad de transmisión de datos superior a 100 Mbps, se requiere que la probabilidad de pérdida de paquetes sea inferior a 10^{-5} . Para mantener un buen desempeño de las altas velocidades de transmisión de datos, el RLC-AM asegurar de manera importante la entrega de datos libre de errores para TCP.

2.2.1.6.5.3 PHY: Physical Layer

La capa física (PHY) se encarga de la codificación, modulación, procesamiento de la PHY HARQ, procesamiento de múltiples antenas y el mapeado de la señal para los adecuados recursos físicos de tiempo-frecuencia. Todos ellos son dinámicamente controlados por la capa MAC. La capa física también se preocupa del tratamiento del DL-SCH y UL-SCH, en donde ambos se basan en un proceso similar aunque con algunas restricciones.

Para la difusión del sistema de información en el BCH, un terminal móvil debe ser capaz de recibir este canal de información como uno de los primeros pasos antes de acceder al sistema. En efecto, el formato de transmisión debe ser conocido por los terminales previamente y en este caso, no hay control dinámico de cualquiera de los parámetros de transmisión de la capa MAC.

Para la transmisión de mensajes de paginación en el PCH, puede ser utilizada la adaptación dinámica de los parámetros de transmisión. La MAC puede controlar la modulación, la cantidad de recursos y el mapeado de antena. Sin embargo, como en el caso de un enlace ascendente todavía no se ha establecido cuando un terminal móvil es paginado, el HARQ no puede utilizarse, ya que no hay posibilidad de que el terminal móvil transmita un ACK/NAK.

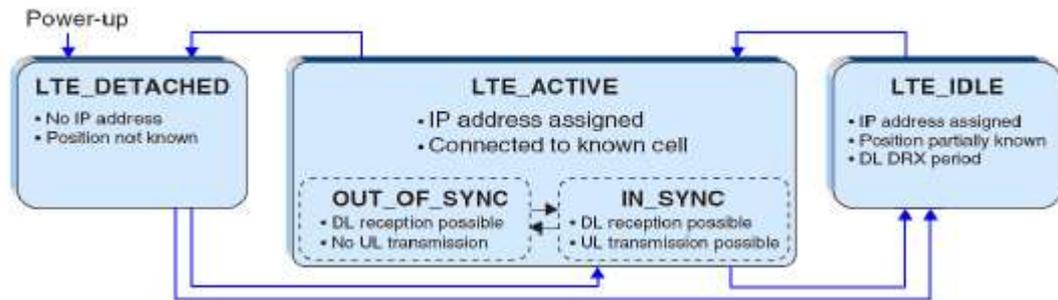
El MCH se utiliza para las transmisiones MBMS, normalmente con una sola frecuencia de operación en la red, mediante la transmisión de varias celdas en los mismos recursos con el mismo formato al mismo tiempo. Por lo tanto, la planificación de transmisiones MCH deben coordinarse entre las celdas implicadas y no es posible la selección dinámica de los parámetros de transmisión para la MAC.

2.2.1.6.5.4 Estados LTE

En LTE, un terminal móvil puede estar en varios estados diferentes como se ve en la Figura 45. Para el encendido (power-up), el móvil entra en el estado LTE DETACHED y no es conocido por la red. Antes de cualquier comunicación nueva entre el terminal móvil y la red, el terminal necesita registrarse con la red utilizando el procedimiento de acceso aleatorio para entrar en el estado LTEACTIVE o LTEIDLE.

LTEACTIVE es utilizado cuando el terminal móvil es activado con la transmisión y recepción de datos. En este estado, el terminal móvil está conectado a una celda específica dentro de la red. Una o varias direcciones IP han sido asignadas al móvil, utilizando el C-RNTI (Cell Radio-Network Temporary Identifier). Los subestados IN_SYNC y OUT_OF_SYNC, dependen de si el enlace ascendente se sincroniza a la red o no. Si el enlace ascendente está en el estado IN_SYNC, es posible la transmisión de datos de usuario y el control de señalización. En caso de que no sea así, se tiene lugar dentro de una determinada ventana de tiempo, el momento de alineación no es posible y el enlace se declara OUT-OF-SYNC. En este caso, el terminal móvil necesita realizar un procedimiento de acceso aleatorio para restaurar la sincronización del enlace.

Figura 47: Estados LTE



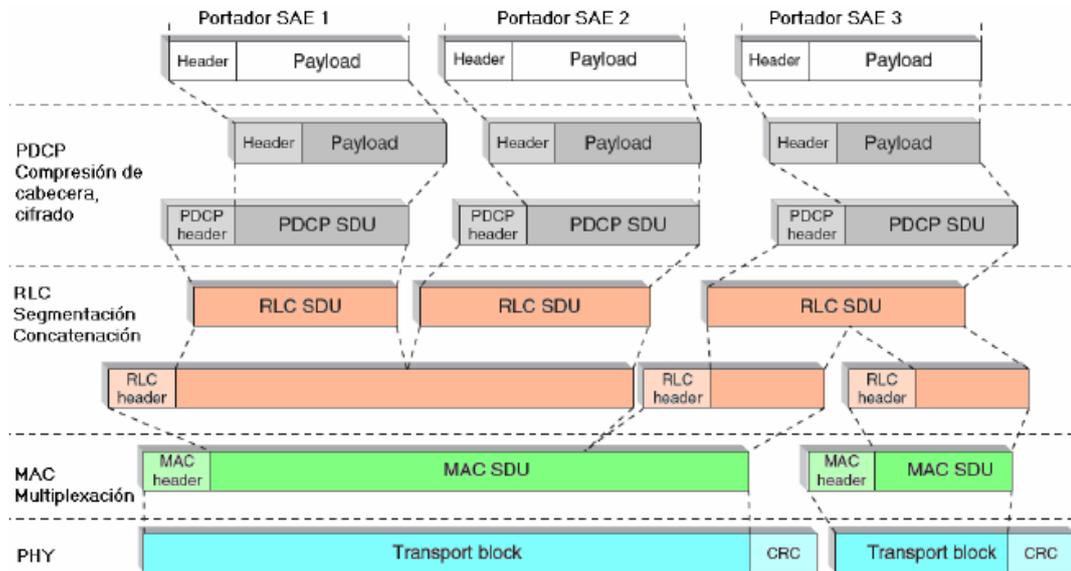
Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcis718l/doc/bmfcis718l.pdf>
pág. 93

LTE_IDLE es un estado de baja actividad en la que el terminal móvil duerme la mayor parte del tiempo, con el fin de reducir el consumo de batería. La sincronización del enlace ascendente no es mantenida y, por tanto, la única actividad de transmisión que puede tener lugar, es el acceso aleatorio para ir a LTE_ACTIVE. En el enlace descendente el móvil puede periódicamente despertar con el fin de ser paginado para las llamadas entrantes y mantiene su dirección IP con el fin de moverse rápidamente a LTE_ACTIVE cuando sea necesario.

2.2.1.6.5.5 Flujo de Datos

El flujo de datos del enlace descendente a través de todas las capas de protocolo se ilustra en la Figura 48, en donde se da un caso con tres paquetes IP, dos en un portador radio y uno en otro portador radio. El flujo de datos en la transmisión ascendente es similar. El PDCP realiza la compresión del encabezado IP, seguida por un cifrado. Una cabecera PDCP se añade, con la información requerida para ser descifrado en el terminal. La salida del PDCP es dirigida al RLC.

Figura 48: Flujos de datos LTE



Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcis718l/doc/bmfcis718l.pdf>
 pág. 94

El protocolo RLC realiza la concatenación y/o segmentación de los PDC PSDUs, y añade una cabecera RLC que se utiliza para la secuencia de entrega (por lógica del canal) en el terminal móvil y para la identificación de los RLC PDUs en caso de retransmisiones. Los RLC PDUs son enviados a la capa MAC, reuniéndolos en un MAC SDU, y atribuyendo la cabecera MAC para formar un bloque de transporte. El tamaño de bloque depende de la tasa instantánea de datos seleccionada por el mecanismo de adaptación de enlace. Así, la adaptación de enlace afecta al proceso de la MAC y el RLC. Por último, la capa física asigna un CRC al bloque de transporte para la detección de errores, realiza la codificación y modulación, y transmite la señal resultante por el aire.

2.2.1.6.5.6 Interfaz Radio

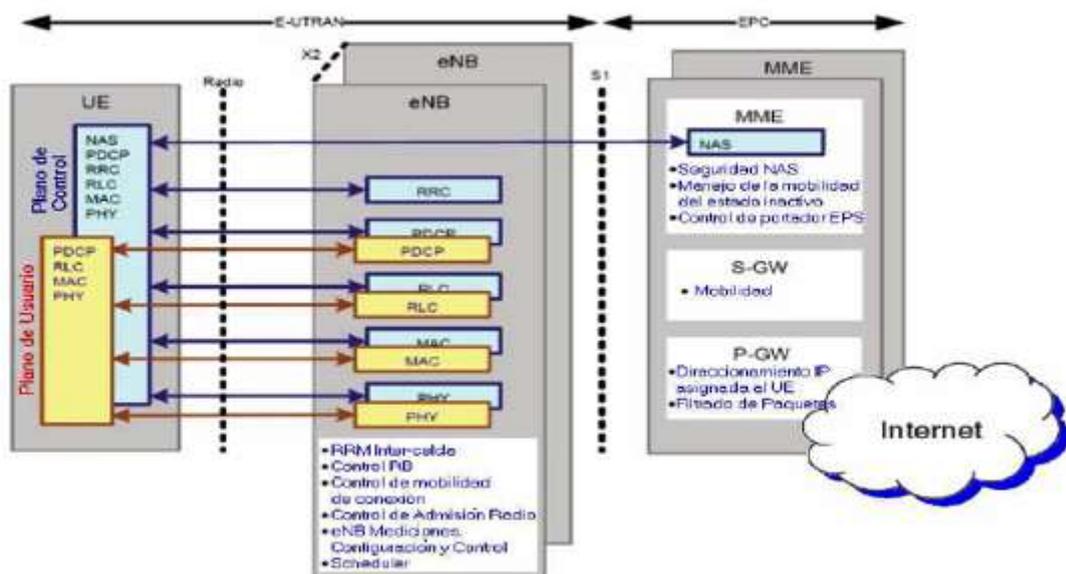
La arquitectura funcional de los protocolos de la interfaz radio sigue, en líneas generales, el modelo OSI y la estructura específica de la capa de enlace. La

Figura 47 muestra la pila de protocolos para el plano de usuario y el plano de control, interactuando con el eNB y el MME.

En el plano de usuario las capas PDCP, RLC y MAC (en la parte del eNB), realizan la compresión de cabecera, cifrado, programación y HARQ.

El plano de control tiene el protocolo NAS (Network Attached Storage), que es indicado sólo para la información y es parte de la comunicación entre el UE y el EPC. El PDCP realiza, por ejemplo, cifrado y protección de la integridad, los protocolos RLC y MAC realizan las mismas funciones que en el plano de usuario. El protocolo RRC realiza la difusión, paginación, gestión de conexión, control de portador radio, funciones de movilidad, reporte de medición y control del UE.

Figura 49: División Funcional entre E-UTRAN y EPC



Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmficis718l/doc/bmficis718l.pdf>

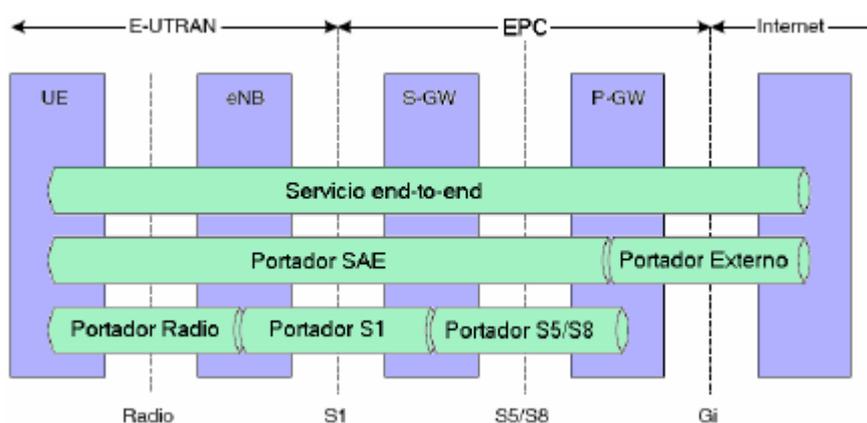
pág. 95

2.2.1.6.6 QoS: Calidad de Servicio

Aplicaciones tales como VoIP, navegación por la Web, video telefonía y video streaming, tienen una especial necesidad por QoS. Por lo tanto, una importante

función de cualquier red all-packet es proveer el mecanismo de QoS para la posible diferenciación de flujos de paquetes basado sobre los requerimientos QoS. En SAE, los flujos de QoS llamados portadores SAE, son establecidos entre el UE y el P-GW como se ve en la Figura 48. Un portador radio transporta los paquetes de un portador SAE entre un UE y un eNB. Cada flujo IP es asociado con un distinto portador SAE y la red puede priorizar el tráfico como corresponde. Cuando es recibido un paquete IP desde Internet, el P-GW realiza la clasificación de paquetes basado sobre seguros parámetros predefinidos y enviados en un adecuado portador SAE.

Figura 50: Arquitectura de Servicio de portador SAE.



Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcs718l/doc/bmfcs718l.pdf>
pág. 96

Una característica importante es la simplificación en el manejo y caracterización de los parámetros que definen la QoS asociada a cada portador. Aunque actualmente está en definición, parece probable que cada portador SAE se asocie a una etiqueta y a un valor de ARP (Allocation and Retention Priority).

La etiqueta es un escalár que define un perfil de QoS. Este perfil definiría las características relativas a pesos de colas, umbrales de admisión, umbrales de

gestión de colas y sería configurado por el operador en cada nodo (por ej. eNB).

El ARP determinaría la posibilidad de aceptar una nueva activación o modificación del portador en situaciones de congestión. Además, en situaciones excepcionales de congestión, el ARP podría ser utilizado para determinar los portadores que deben liberarse.

Otro parámetro que define la QoS de cada portador es la velocidad de transmisión requerida. En base a esto se distinguen dos tipos de portador: "GBR" (Guaranteed Bit Rate) y "Non-GBR", dependiendo de que requieran o no una velocidad de transmisión garantizada, a fin de apoyar los servicios de streaming como IPTV o Radio Internet. Cabe indicar que, la arquitectura de Control de Políticas y Tarificación permite no sólo el control de QoS a nivel de portador, sino que también de forma opcional, el control y ejecución de políticas de QoS por flujo IP.

2.2.2 Data Center

A continuación en este punto presentaremos las bases teóricas del origen y la implementación de Data Center que actualmente son requeridos por la mayoría de empresas para el soporte de sus operaciones.

2.2.2.1 Definición

Se denomina Data Center a aquella ubicación donde se concentran los recursos necesarios para el procesamiento de la información de una organización.

Dichos recursos consisten esencialmente en unas dependencias debidamente acondicionadas, computadoras y redes de comunicaciones.

2.2.2.2 Estándares del Data Center

El concepto de Tier nos indica el nivel de fiabilidad de un centro de datos asociados a cuatro niveles de disponibilidad definidos. A mayor número en el Tier, mayor disponibilidad, y por lo tanto mayores costes asociados en su construcción y más tiempo para hacerlo. Al día de hoy se han definido cuatro Tier diferentes, y ordenados de menor a mayor son: Tier1, Tier2, Tier3, Tier4. Este sistema de clasificación fue inventado por el Uptime Institute para clasificar la fiabilidad (y también para hacer negocio certificando los centros de datos, claro está).

Si estás buscando un servicio de alojamiento de servidores, colocación, etc. verás que los diferentes proveedores te ofrecen información de lo más variada sobre sus características y te ofrecen datos interesantes como niveles de redundancia, tamaño del centro de datos, tiempos de respuesta y demás.

Existe un estándar llamado ANSI/TIA-942 Telecommunications Infrastructure Standard for Data Centers, creado por miembros de la industria, consultores y usuarios, que intenta estandarizar el proceso de diseño de los centros de datos. El estándar está orientado a ingenieros y expertos en la materia.

2.2.2.2.1 Niveles de Fiabilidad

El nivel de fiabilidad de un centro de datos viene indicado por uno de los cuatro niveles de fiabilidad llamados TIER, en función de su redundancia. A mayor número de TIER, mayor disponibilidad, y por tanto mayores costes de construcción y mantenimiento. Ver Tabla N° 12.

Tabla N° 12: Niveles de Fiabilidad

TIER	% Disponibilidad	% Parada	Tiempo anual de parada
TIER I	99,67%	0,33%	28,82 horas
TIER II	99,74%	0,25%	22,68 horas
TIER III	99, 982 %	0,02%	1,57 horas
TIER IV	100,00%	0,01%	52,56 minutos

Fuente: Elaboración propia

Tier 1: Centro de datos Básico: Disponibilidad del 99.671%.

- El servicio puede interrumpirse por actividades planeadas o no planeadas.
- No hay componentes redundantes en la distribución eléctrica y de refrigeración.
- Puede o no puede tener suelos elevados, generadores auxiliares o UPS.
- Tiempo medio de implementación, 3 meses.
- La infraestructura del datacenter deberá estar fuera de servicio al menos una vez al año por razones de mantenimiento y/o reparaciones.

Tier 2: Centro de datos Redundante: Disponibilidad del 99.741%.

- Menos susceptible a interrupciones por actividades planeadas o no planeadas.
- Componentes redundantes (N+1)
- Tiene suelos elevados, generadores auxiliares o UPS.
- Conectados a una única línea de distribución eléctrica y de refrigeración.
- De 3 a 6 meses para implementar.
- El mantenimiento de esta línea de distribución o de otras partes de la infraestructura requiere una interrupción de las servicio.

Tier 3: Centro de datos Concurrentemente Mantenibles: Disponibilidad del 99.982%.

- Permite planificar actividades de mantenimiento sin afectar al servicio de computación, pero eventos no planeados pueden causar paradas no planificadas.
- Componentes redundantes (N+1) Conectados múltiples líneas de distribución eléctrica y de refrigeración, pero únicamente con una activa.
- De 15 a 20 meses para implementar.
- Hay suficiente capacidad y distribución para poder llevar a cabo tareas de mantenimiento en una línea mientras se da servicio por otras.

Tier 4: Centro de datos Tolerante a fallos: Disponibilidad del 99.995%.

- Permite planificar actividades de mantenimiento sin afectar al servicio de computación críticos, y es capaz de soportar por lo menos un evento no planificado del tipo 'peor escenario' sin impacto crítico en la carga.
- Conectados múltiples líneas de distribución eléctrica y de refrigeración con múltiples componentes redundantes (2 (N+1) significa 2 UPS con redundancia N+1).
- De 15 a 20 meses para implementar.

2.2.2.2.2 Normas para implementación de Data Center

Toda implementación se estandarizo mediante normas, esto con el fin de permitir una interoperabilidad entre los diversos fabricantes de esta solución, orientar el proyecto de nuevas instalaciones y adecuación de las ya existentes y ofrecer subsidio a los fabricantes de equipos.

ANSI/TIA-568C: Esta norma define los principales conceptos del cableado estructurado, sus elementos, la topología, tipos de cables y tomas, distancias y pruebas de certificación.

ANSI/TIA-569B: Esta norma define el área ocupada por los elementos del cableado estructurado, las dimensiones y tasa de ocupación de las rutas y demás informaciones constructivas.

ANSI/TIA-606A: Especifica técnicas y métodos para identificar y administrar la infraestructura de telecomunicaciones.

TIA-942: Esta norma define la infraestructura, la topología y los elementos para el proyecto de un Data Center, en relación a los campos comunes, como el cableado estructurado, protección contra incendio, seguridad, construcción civil, requisitos de control ambiental y de calidad de la energía.

2.2.2.3 Fases para la Implementación de un data center

Un Data Center ofrece espacios para hardware en un ambiente controlado, como por ejemplo, utilizando energía y enfriamiento de ambiente y aire acondicionado para permitir que los equipos tengan el mejor nivel de rendimiento con máxima disponibilidad del sistema.

La implementación del data center físico está comprendido en 4 fases:

- Fase 1: Análisis de Riesgo

Es el proceso de balancear el costo futuro de una caída y el costo actual de prevención.

El análisis de riesgo de un Data Center involucra tres características claves de diseño.

Requerimientos operacionales: Es el tiempo útil en la cual estará funcionando.

Requerimientos de Disponibilidad/Confiabilidad: Es el tiempo esperado de utilización durante las operaciones.

Impacto de una caída: El impacto dimensiona la indisponibilidad de los servicios.

- Fase 2: Definición de Problema

La Definición del Problema busca el cumplir los objetivos de confiabilidad vistos en la fase 1 en los siguientes términos:

- Espacio requerido de edificación.
- Equipos I.T
- Ubicación del Proyecto.
- Presupuesto del Proyecto.

El resultado final de la fase de definición del problema es la creación del Programa de Edificación.

- Fase 3: Desarrollo de la Solución

Esta etapa involucra el desarrollo de un diseño de solución (en ocasiones dos) a entregarse al cliente para su aprobación. Involucra lo siguiente:

- Planeamiento de la Capacidad: Involucra una coordinación entre los consultores de tecnología y los arquitectos en: Espacio, energía, climatización, seguridad y monitoreo, carga en el piso, aterramiento, protección eléctrica, caminos para telecomunicaciones, sistemas contra incendios.
- Programación del Espacio: Requiere un estimado de la máxima capacidad del Data Center para: Racks & Hardware de TI, Equipamiento eléctrico,

Equipamiento de Climatización y flujo de aire, Espacio para el personal y flujo de aire, Equipo de telecomunicaciones y cableado.

- Estimación del Costo: Incluye lo siguiente:

- Costos Únicos

- Terreno
- Impuestos
- Equipamientos e Instalación de Servicios
- Demolición y preparación del lugar.
- Servicios temporales para la migración IT
- Consultoría

- Costos Recurrentes de Operación

- Energía,
- Servicios de telecomunicaciones.
- Sueldos.
- Alquileres o Leasing
- Impuestos.
- Mantenimiento

- Costos Intangibles

- Documentación de construcción: Incluye los planos de la construcción.

- Fase 4: Implementación

- Una vez que se ha elegido el diseño de la solución, la etapa final del diseño del Data Center incluye:
 - Construcción

- Proyecto Estructural
- Proyecto Mecánico.
- Proyecto Eléctrico.
- Proyecto de Telecomunicaciones.
- Puesta en Marcha
- Prueba de los sistemas Integrados
- Equipos de prueba de campo.
- Desarrollo e implementación de procedimientos de operación y mantenimiento.

2.2.3 Seguridad IP

2.2.3.1 Arquitectura de seguridad IP

IPsec protege los paquetes IP autenticándolos, cifrándolos o llevando a cabo ambas acciones. IPsec se lleva a cabo dentro del módulo IP, debajo de la capa de aplicación. Por tanto, una aplicación de Internet puede aprovechar IPsec aunque no esté configurada para el uso de IPsec. Cuando se utiliza correctamente, la directiva IPsec es una herramienta eficaz para proteger el tráfico de la red. La protección IPsec implica cinco componentes principales:

Protocolos de seguridad: Mecanismo de protección de datagramas IP. El encabezado de autenticación (AH) firma los paquetes IP y garantiza la integridad. El contenido del datagrama no está cifrado, pero el receptor tiene la seguridad de que el contenido del paquete no se ha modificado. El receptor también tiene la garantía de que los paquetes los ha enviado el remitente. La Encapsulating Security Payload (ESP) cifra los datos IP, con lo cual codifica el contenido durante la transmisión de paquetes. ESP también puede garantizar la integridad de los datos mediante una opción de algoritmo de autenticación.

Base de datos de asociaciones de seguridad (SADB): La base de datos que asocia un protocolo de seguridad con una dirección de destino IP y un número de índice. El número de índice se denomina índice de parámetros de

seguridad. Estos tres elementos (el protocolo de seguridad, la dirección de destino y el SPI) identifican de forma exclusiva a un paquete IPsec legítimo. La base de datos garantiza que el receptor reconozca un paquete protegido que llega a su destino. El receptor también utiliza información de la base de datos para descifrar la comunicación, verificar que los paquetes no se hayan modificado, volver a ensamblar los paquetes y entregarlos en su destino final.

Administración de claves: La generación y distribución de claves para los algoritmos criptográficos y SPI.

Mecanismos de seguridad: Los algoritmos de autenticación y cifrado que protegen los datos de los datagramas IP.

Base de datos de directivas de seguridad (SPD): La base de datos que especifica el nivel de protección que se aplica a un paquete. SPD filtra el tráfico IP para determinar el modo en que se deben procesar los paquetes. Un paquete puede descartarse, transferirse sin codificar o protegerse con IPsec. Para los paquetes salientes, SPD y SADB determinan el nivel de protección que se aplicará. Para los paquetes entrantes, SPD permite determinar si el nivel de protección del paquete es aceptable. Si el paquete se protege con IPsec, SPD se consulta una vez descifrado y verificado el paquete. IPsec aplica los mecanismos de seguridad a los datagramas IP que se transfieren a la dirección de destino IP. El receptor utiliza la información de SADB para comprobar que los paquetes que llegan sean legítimos y descifrarlos. Las aplicaciones pueden invocar IPsec para aplicar mecanismos de seguridad a los datagramas IP por socket también. Los sockets tienen un comportamiento distinto según el puerto. Los SA por socket modifican su entrada de puerto correspondiente en SPD. Además, si el socket de un puerto está conectado y posteriormente se aplica la directiva IPsec a ese puerto, el tráfico que utiliza ese socket no está protegido mediante IPsec. Naturalmente, un socket abierto en un puerto después de la aplicación de la directiva IPsec en el puerto está protegido con IPsec.

2.2.3.2 Elementos de Seguridad de Red a usar en la topología del Data Center Móvil

2.2.3.2.1 Firewall

Dispositivo de Red que permite controlar los accesos desde una red confiable hacia otra red no confiable y viceversa.

Un Firewall es sólo tan efectivo como la Política de Seguridad que mantiene.

- Un firewall no protege contra los empleados deshonestos.
- Un firewall no protege las conexiones que no pasan a través de él.
- Un firewall no provee 100% de protección ante todos los problemas.

2.2.3.2.2 Equipo VPN

Una red privada virtual, RPV, o VPN de las siglas en inglés de Virtual Private Network, es una tecnología de red que permite una extensión segura de la red local (LAN) sobre una red pública o no controlada como Internet. Permite que la computadora en la red envíe y reciba datos sobre redes compartidas o públicas como si fuera una red privada con toda la funcionalidad, seguridad y políticas de gestión de una red privada. Esto se realiza estableciendo una conexión virtual punto a punto mediante el uso de conexiones dedicadas, cifrado o la combinación de ambos métodos.

2.3 Glosario de términos

VPN: Red Privada Virtual

IPSEC: Conjunto de protocolos cuya función es asegurar las comunicaciones sobre el Protocolo de Internet (IP).

CPD: Centro de Procesamiento de Datos.

UPS: Fuente de alimentación interrumpida, es un aparato eléctrica que proporciona energía de emergencia a una carga, cuando la fuente de alimentación de entrada falla.

Capítulo III

DISEÑO METODOLOGICO

3.1 Tipificación de la investigación

Es del tipo “APLICADA”, porque investiga sobre la gestión administrativa para mejorarla. Además propone innovaciones tecnológicas, propone nuevas herramientas de análisis empresarial y propone planes de negocios o propuestas empresariales.

Por consiguiente la presente investigación es de tipo “APLICADA” debido a que la implementación de data center móvil con conexión de redes móviles reforzara y proporcionara mejoras en la atención de servicios a nivel de infraestructura TI.

3.2 Operacionalización de variables

En el siguiente cuadro se describe la operacionalización de variables la Tabla N° 13:

Tabla N° 13: Operacionalización de variables

	VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADOR	ESCALA DE MEDICION
Conectividad Punto a Punto	Seguridad Informatica	La seguridad Informatica o seguridad de las Tecnologias de la información es el area que se enfoca a la proteccion de datos	Proteccion de la información accesibles a puntos de red	Conexiones autorizadas	0-100% Conexiones autorizadas
			Capacidad de Red	Red usada / capacidad disponible x 100 %	0-100% Capacidad de Red
	Dimensionamiento de Trafico	Asegurar que la capacidad de Red sea la suficiente para satisfacer las demandas actuales del negocio (Con el analisis de tendencias de las proyecciones futuras)	Capacidad de Red	Red usada / capacidad disponible x 100 %	0-100% Capacidad de Red
			Estadistica de Datos	Uso de datos en empresas	% Proyeccion de crecimiento de datos
	Garantizar el tráfico de información de punto a punto	Es el uso de un canal de datos para la comunicación de dos redes a través de dos nodos	Velocidad de los enlaces	Velocidad en mbps	Medido en mbps
			Ancho de Banda	Troughput (Ancho de	Medido en mbps
			RSSI	Atenuación	Medido en dbm
Consumo			Consumo de	Medido en MB	

Fuente: Elaboración propia

3.3 Estrategia para la prueba de hipótesis

La estrategia de la prueba de Hipótesis se divide en tres etapas:

1. Es la recolección de datos de empresas en nuestro medio que reúnan los requisitos mencionados posteriormente en el punto 3.4.
2. Comparación y análisis de la información recolectada versus la información disponible de las operadoras móviles en el mercado peruano.
3. Diseño de red bajo estándar vigente en el mercado peruano e internacional y demostración de resultados.

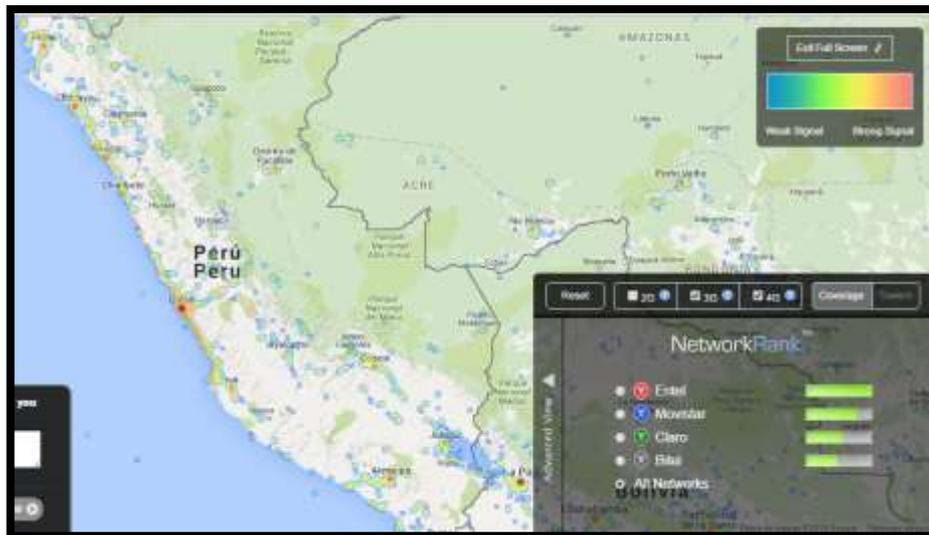
3.4 Población y muestra

La población estaría conformada por las medianas y grandes empresas que cumplan los requisitos detallados:

3.4.1 Zonas urbanas con cobertura móvil

Se estableció como primer requisito para la prueba de hipótesis que las empresas deben cumplir como requisito estar dentro de la zona de cobertura de los operadores móviles que actualmente se encuentran en el mercado peruano establecido dentro de la figura 51 mostrado a continuación donde se cuenta con cobertura de las tecnologías 3G y 4G objeto de estudio en esta tesis:

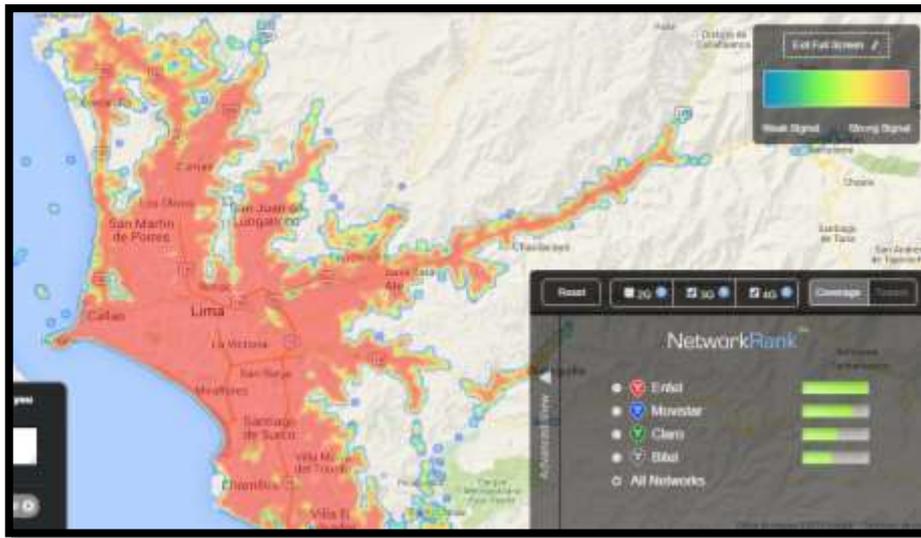
Figura 51: Coberturas de tecnologías 3G y 4G



Fuente: www.opensignal.com

Zona de cobertura urbana de Lima se muestra en la figura 52:

Figura 52: Zona de cobertura urbana de Lima



Fuente: www.opensignal.com

3.4.1.1 Estaciones Base 3G de los operadores Móviles

Actualmente las operadores móviles en el Perú son los siguientes Entel, Telefónica (Movistar), Claro y Bitel. A continuación mostraremos los gráficos de las Estaciones bases de las cuales tenemos información libre para el objeto de esta tesis mediante fuentes propias y del regulador (OSIPTEL).

En la figura 53 se muestra las EEBB 3G al 2013 con las que cuenta movistar al 2013. En la figura 54 se muestra las EEBB en total del operador CLARO.

Como herramienta adicional usamos el aplicativo de cobertura móvil del regulador de telecomunicaciones "OSIPTEL" en la figura 55 que mostraremos a continuación.

Figura 53: EEBB 3G al 2013 Movistar



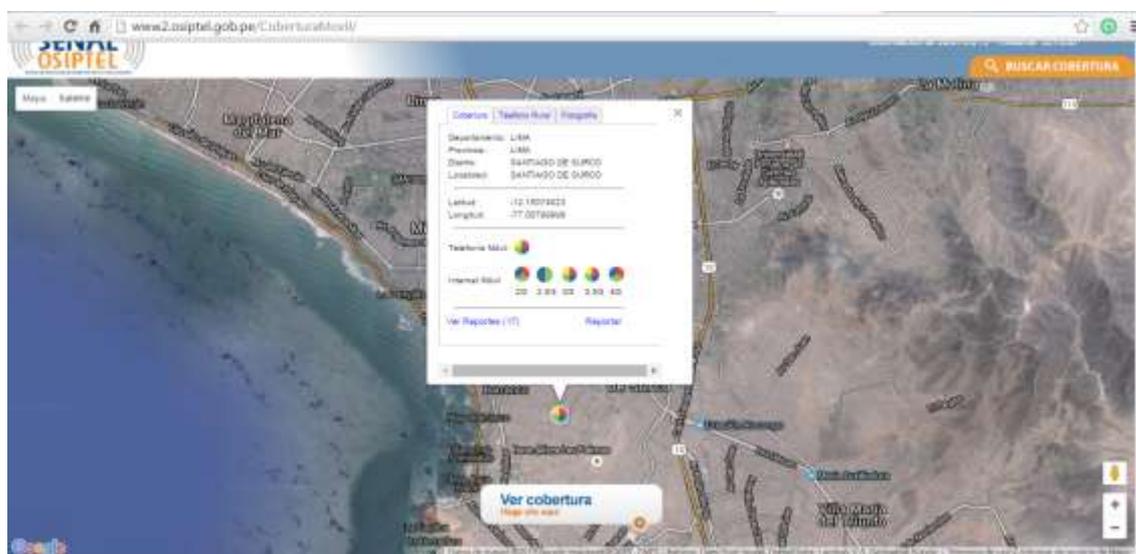
Fuente: Elaboración propia

Figura 54: EEBB 3G al 2013 Claro



Fuente: Elaboración propia

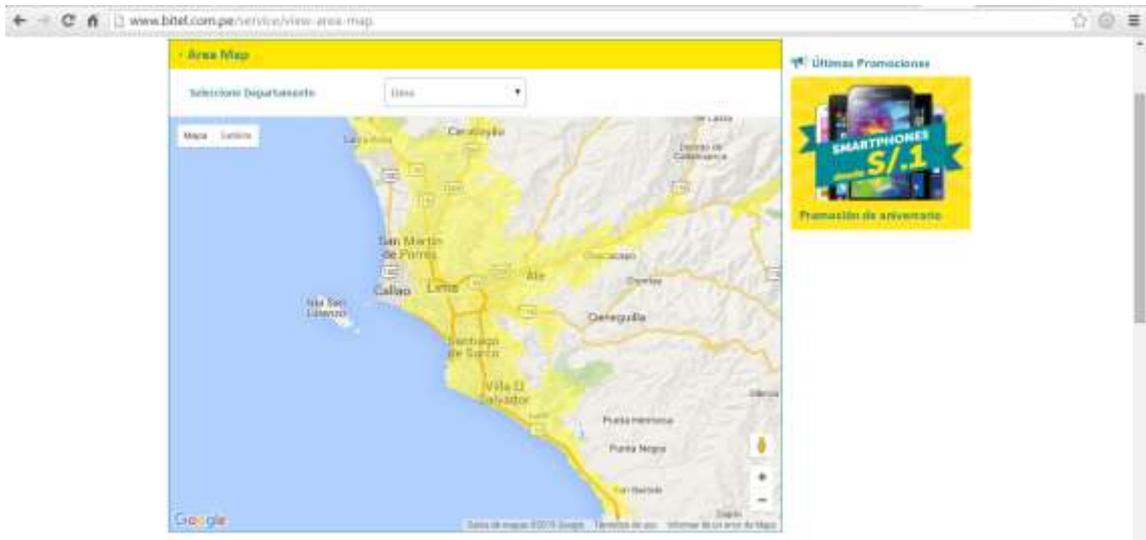
Figura 55: Cobertura Móvil



Fuente: www.osiptel.gob.pe/CoberturaMovil/

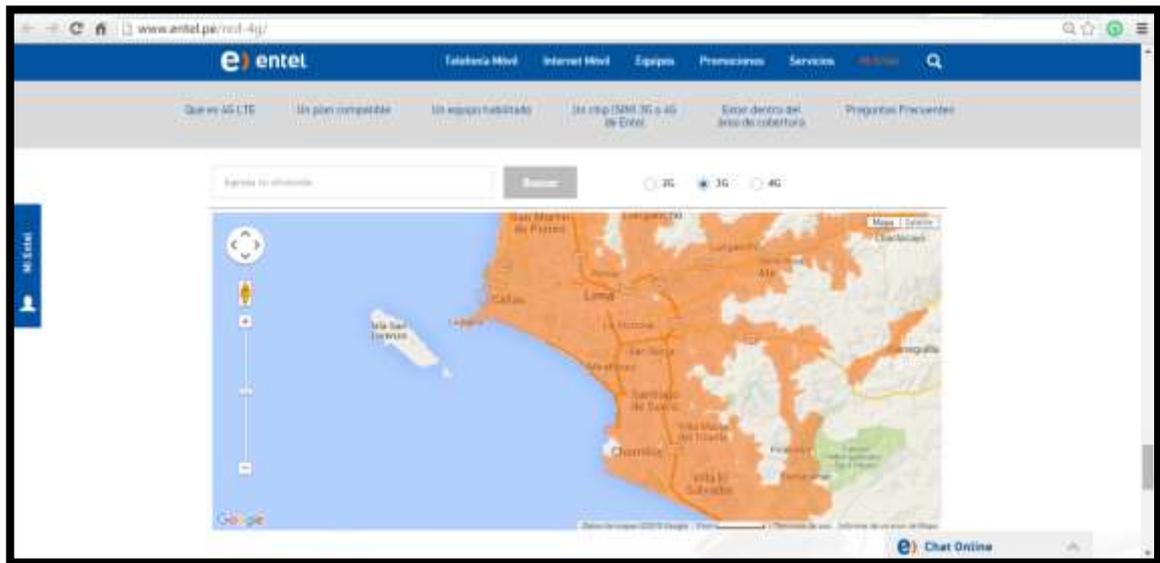
Adicional a estos operadores presentaremos también las herramientas de cobertura de los operadores BITEL y ENTEL en las figuras 56 y 57.

Figura 56: Cobertura BITEL



Fuente: <http://www.bitel.com.pe/service/view-area-map>

Figura 57: Cobertura ENTEL



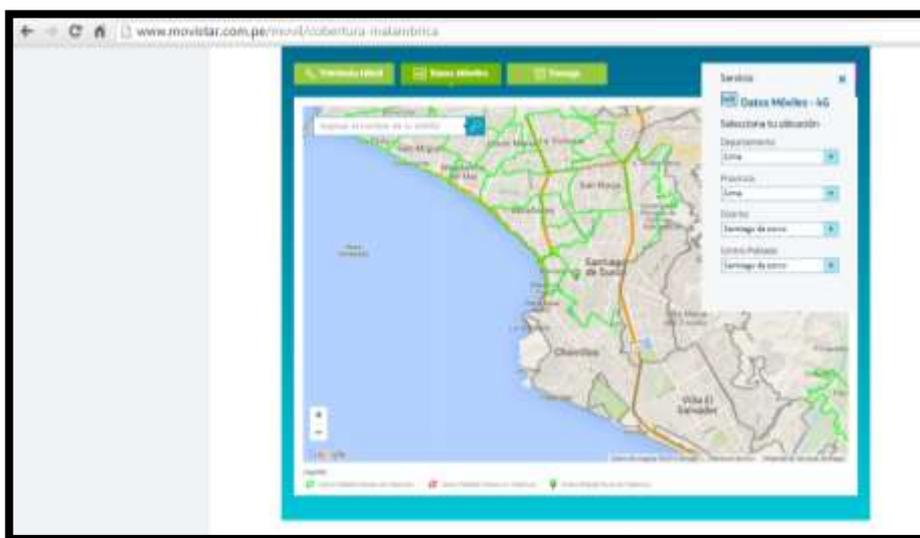
Fuente: <http://www.entel.pe/red-4g/>

3.4.1.2 Cobertura 4G

Actualmente los operadores que cuentan con las bandas para dar servicio de 4G LTE son los operadores MOVISTAR y ENTEL, los que han hecho reacomodo de frecuencias usando sus bandas actuales de 3G para prestar servicio de 4G es CLARO y los que próximamente van a tener servicio de 4G es BITEL. De estos operadores daremos un alcance de la cobertura que actualmente tienen en el Perú presentando gráficos de los mismos.

En la siguiente figura 58 se muestra la herramienta de cobertura de uno de los operadores en este caso empezaremos con movistar:

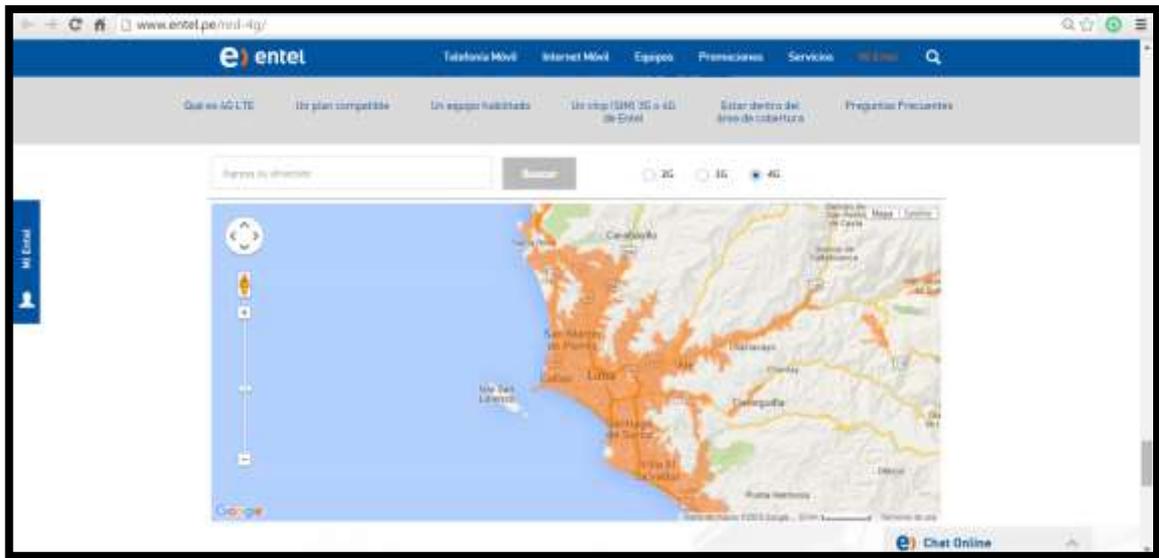
Figura 58: Cobertura 4G



Fuente: <http://www.movistar.com.pe/movil/cobertura-inalambrica>

En la siguiente figura 59 se muestra la herramienta de cobertura de uno de los operadores en este caso ENTEL:

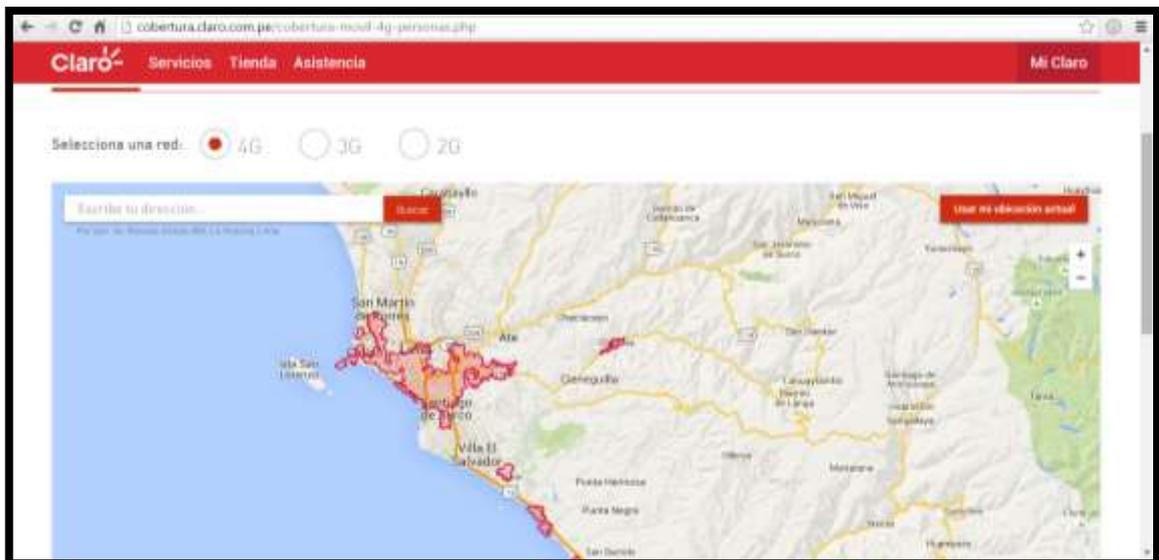
Figura 59: Cobertura Entel



Fuente: <http://www.entel.pe/red-4g/>

En la siguiente figura 60 se muestra la herramienta de cobertura de uno de los operadores en este caso CLARO:

Figura 60: Cobertura Claro

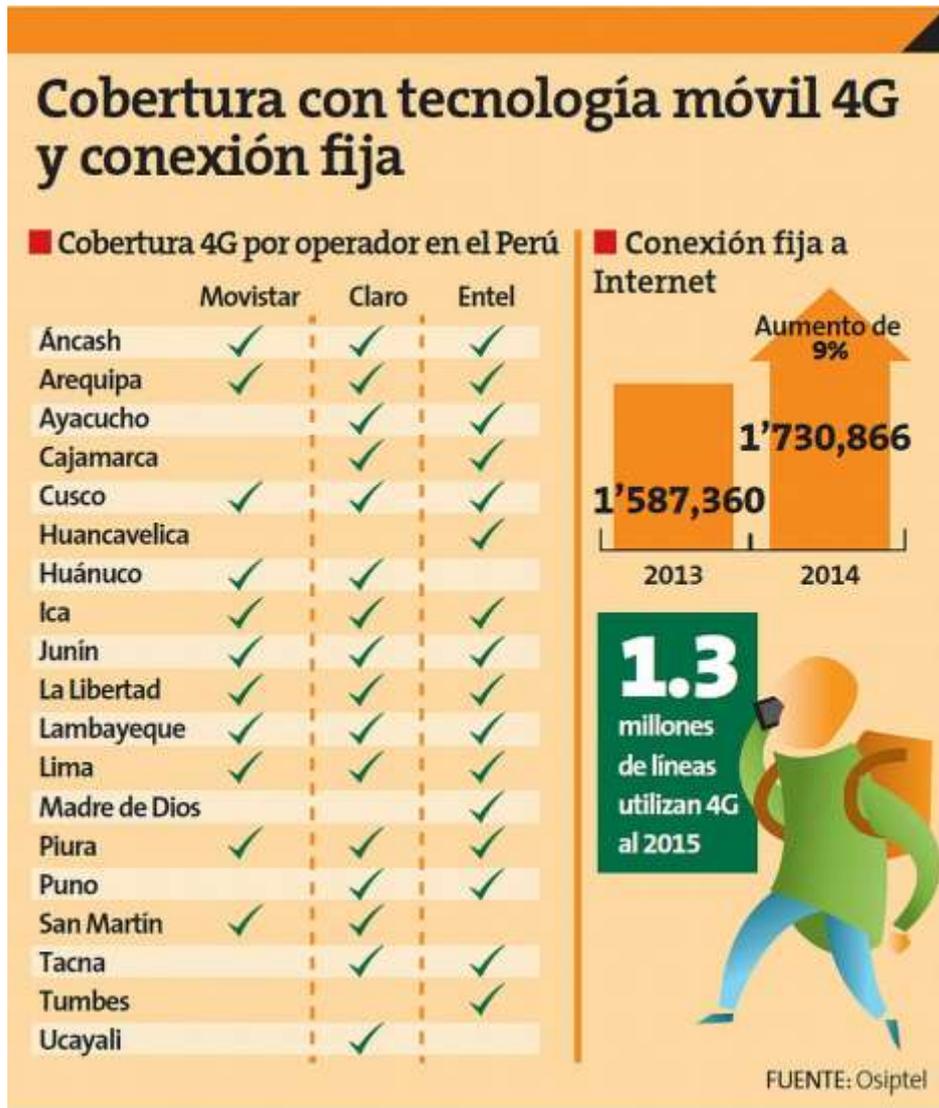


Fuente: <http://cobertura.claro.com.pe/cobertura-movil-4g-personas.php>

Para el caso de BITEL por el momento solo cuenta con servicio en 3G próximamente estará contando con servicio en provincias de 4G.

A continuación presentaremos una infografía de OSIPTEL en la figura 61.

Figura 61: Infografía Osiptel



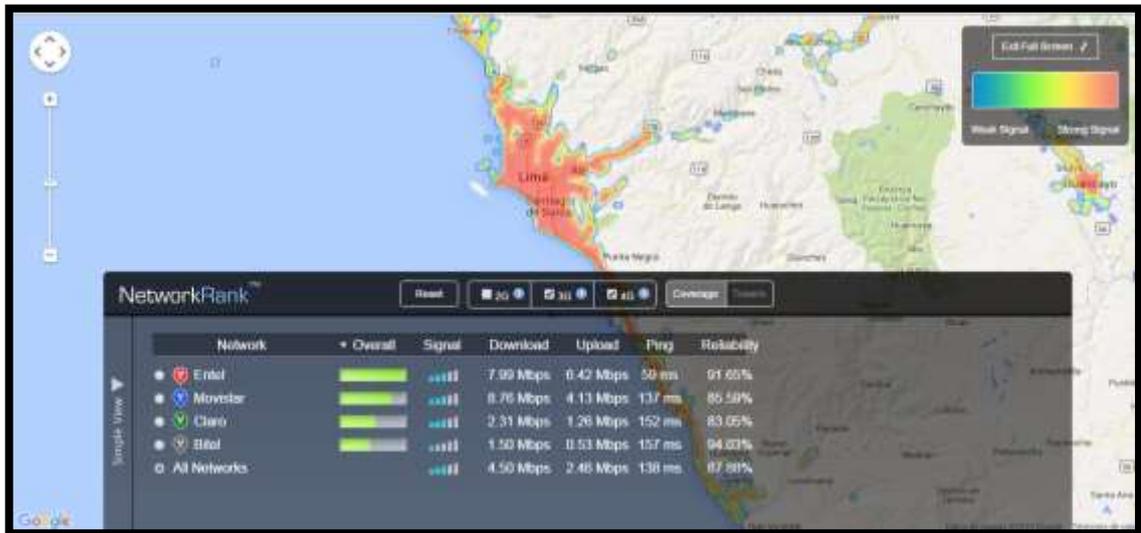
Fuente: Infografía publicada en diario Gestión OSIPTEL

3.4.2 Velocidad de transmisión de Datos

En la siguiente figura 62 se describe las velocidades promedio que existen actualmente en las operadoras móviles, open signal la fuente de estos datos se

encarga de hacer pruebas con aplicativo de la misma fuente estos son los datos que mostramos a continuación.

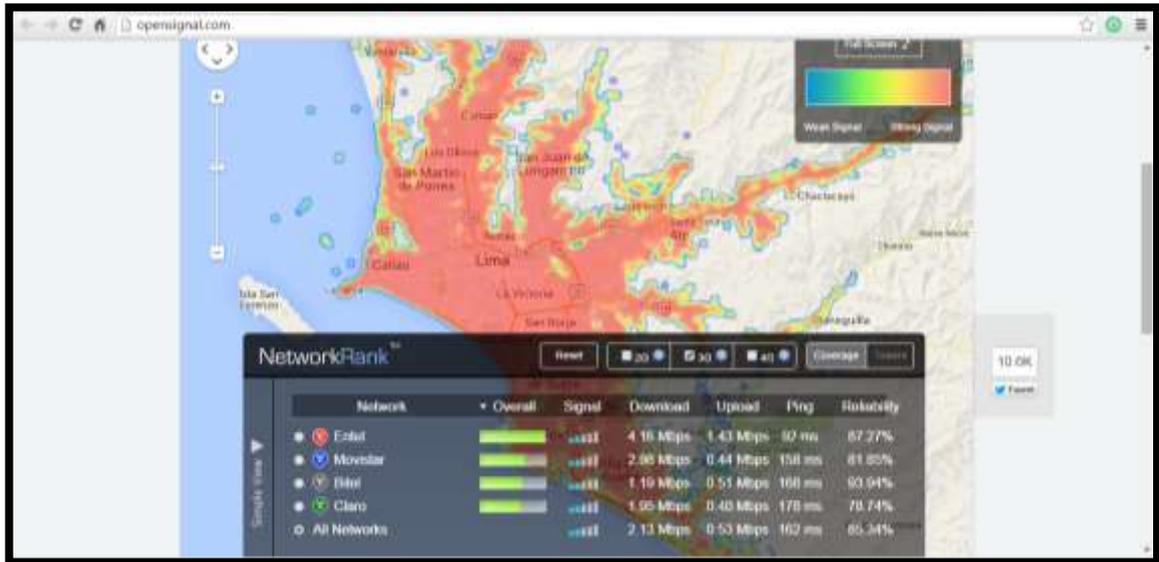
Figura 62 “Velocidades promedio operadores”



Fuente: www.opensignal.com

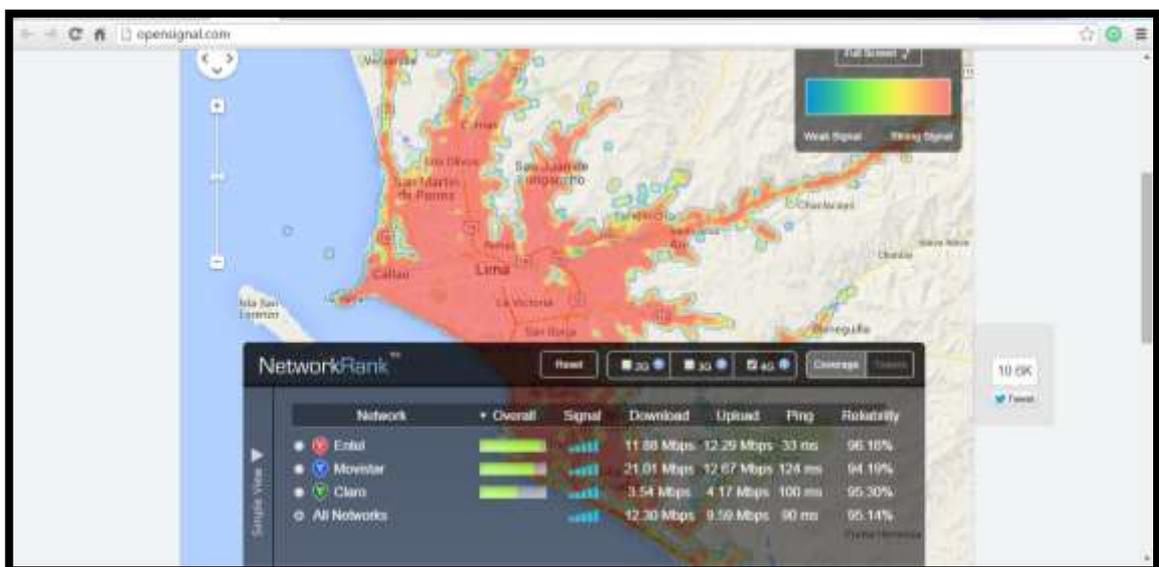
En los siguientes gráficos mostraremos por separado las velocidades de transmisión de 3G y 4G con el objetivo de demostrar luego que estas velocidades son suficientes para poder atender necesidades empresariales de empresas medianas. Ver Figura 63 y Figura 64.

Figura 63: Velocidades de transmisión de 3G



Fuente: www.opensignal.com

Figura 64: Velocidades de transmisión de 4G



Fuente: www.opensignal.com

3.4.3 Bandas de Frecuencias

En la siguiente parte de la tesis describiremos que bandas usan actualmente los operadores móviles para brindar servicio de 3G y 4G. En la siguiente Tabla N° 14 y la Tabla N° 15.

Tabla N° 14: Banda de frecuencia en 3G

	Operadora	Frecuencia
3G	Movistar	850 MHz
	Claro	850 MHz
	Entel	1900 MHz
	Bitel	1900 MHz

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 15: Banda de frecuencia en 4G

	Operadora	Frecuencia
4G	Movistar	1700/2100 MHz (Banda 4)
	Claro	1900 MHz (Banda 2)
	Entel	1700/2100 MHz (Banda 4)
	Bitel	Próximamente

Fuente: Elaboración Propia

3.4.4 Muestra de Empresas medianas

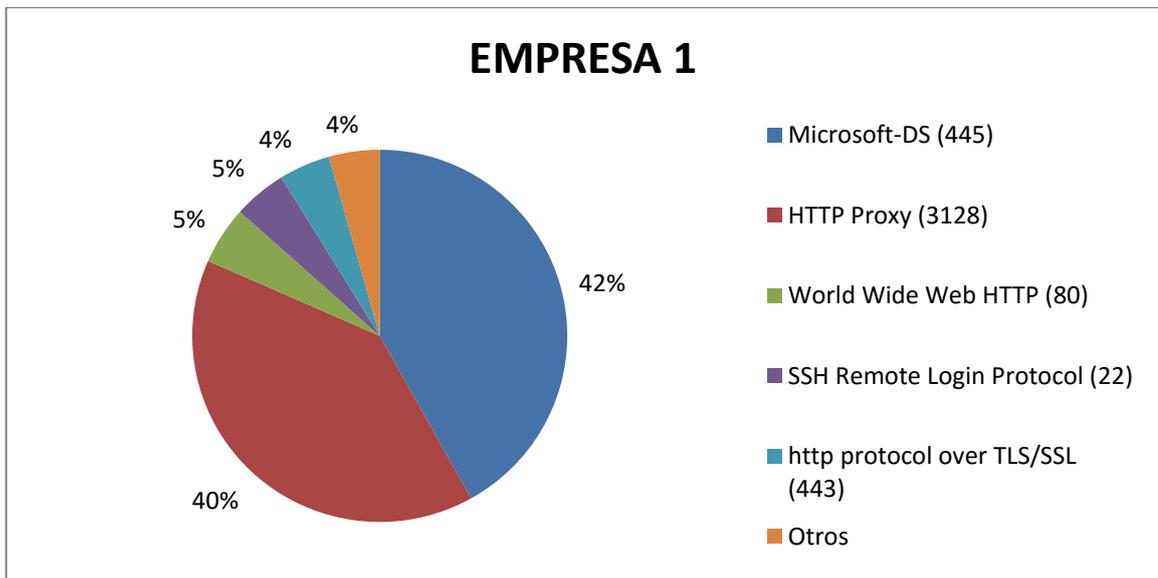
En la siguiente parte de esta tesis se mostrara los datos estadísticos recopilados de 5 empresas medianas de servicios que se encuentran en zonas urbanas de lima y cuentan con más de dos sedes. El objetivo de esta parte de la tesis es el mostrar la información de consumo de datos que tienen actualmente estas empresas en las cuales se puede aplicar el uso de tecnologías móviles con el fin de atender su demanda de datos que actualmente consumen.

En la muestra de las 5 empresas que hemos escogido para esta tesis se observaran los siguientes puntos:

- Aplicaciones que actualmente consumen.
- Ancho de banda consumido por las mismas aplicaciones.
- Porcentaje de consumo de cada una de estas aplicaciones.

A continuación en la figura 65 mostraremos el consumo de la empresa 1.

Figura 65: Consumo de la empresa 1



Fuente: Elaboración propia

Ancho de banda que consumen el total de estas aplicaciones serán mencionadas en la siguiente Tabla N° 16.

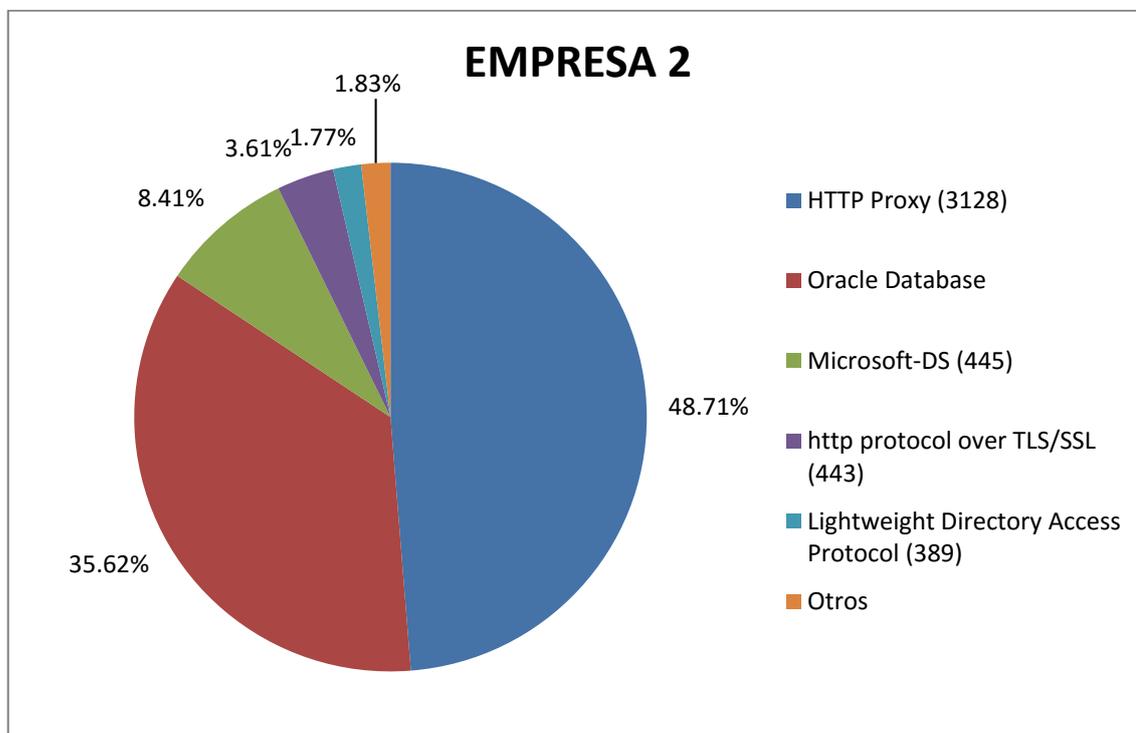
Tabla N° 16: Consumo de ancho de banda para Empresa 1

		Prom	Max		Prom	Max	CLARO	MOVISTAR	ENTEL
Enlace Principal	Subida	841.51 kbits/sec	3.48 Mbits/sec	Bajada	3.53 Mbits/sec	9.55 Mbits/sec	NA	OK	OK
Sede 1	Subida	352.65 kbits/sec	2.01 Mbits/sec	Bajada	2.18 Mbits/sec	6.82 Mbits/sec	NA	OK	OK
Sede 2	Subida	295.07 kbits/sec	2.18 Mbits/sec	Bajada	1.17 Mbits/sec	1.94 Mbits/sec	OK	OK	OK
Sede 3	Subida	811.38 kbits/sec	3.29 Mbits/sec	Bajada	156.23 bits/sec	176.59 bits/sec	OK	OK	OK

Fuente: Elaboración propia

A continuación en la figura 66 mostraremos el consumo de la empresa 2.

Figura 66: Consumo de la empresa 2



Fuente: Elaboración Propia

Ancho de banda que consumen el total de estas aplicaciones serán mencionadas en la siguiente Tabla N° 17.

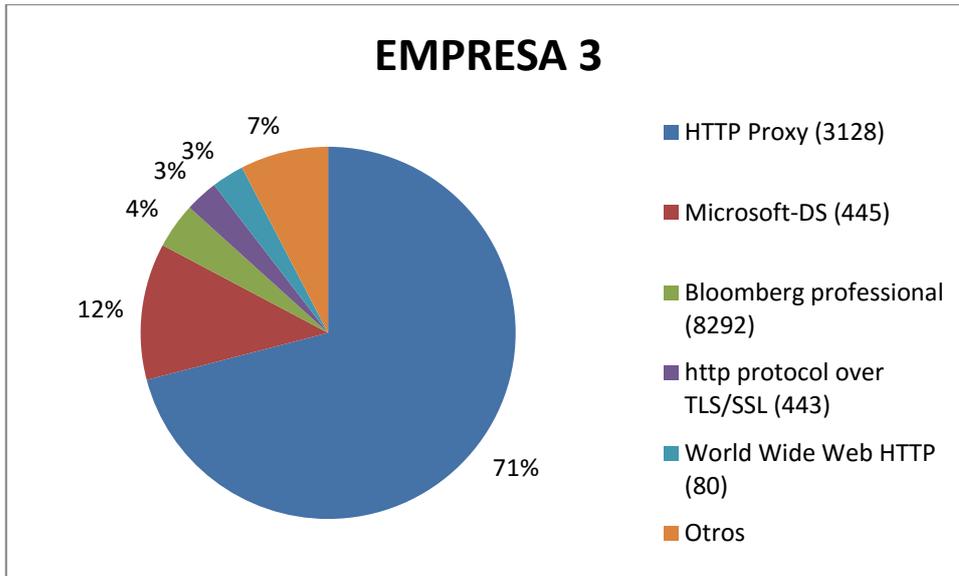
Tabla N° 17: Consumo de ancho de banda para Empresa 2

		Prom	Max		Prom	Max	CLARO	MOVISTAR	ENTEL
Enlace Principal	Subida	841.51 kbits/sec	3.48 Mbits/sec	Bajada	3.53 Mbits/sec	9.55 Mbits/sec	OK	OK	OK
Sede 1	Subida	352.65 kbits/sec	2.01 Mbits/sec	Bajada	2.18 Mbits/sec	6.82 Mbits/sec	OK	OK	OK
Sede 2	Subida	486.68 kbits/sec	1.80 Mbits/sec	Bajada	1.36 Mbits/sec	1.97 Mbits/sec	OK	OK	OK
Sede 3	Subida	157.85 bits/sec	2.16 kbits/sec	Bajada	114.18 bits/sec	114.71 bits/sec	OK	OK	OK

Fuente: Elaboración Propia

A continuación en la figura 67 mostraremos el consumo de la empresa 3.

Figura 67: Consumo de la empresa 3



Fuente: Elaboración propia.

Ancho de banda que consumen el total de estas aplicaciones serán mencionadas en la siguiente Tabla N° 18.

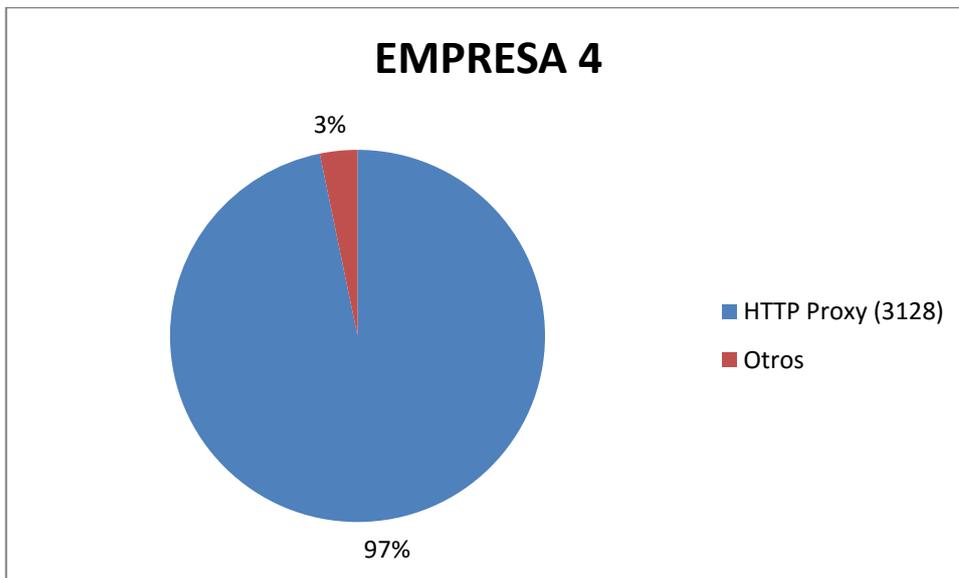
Tabla N° 18: Consumo de ancho de banda para Empresa 3

		Prom	Max		Prom	Max	CLARO	MOVISTAR	ENTEL
Enlace Principal	Subida	838.02 kbits/sec	5.92 Mbits/sec	Bajada	2.68 Mbits/sec	9.70 Mbits/sec	NA	OK	OK
Sede 1	Subida	571.57 kbits/sec	5.89 Mbits/sec	Bajada	1.98 Mbits/sec	5.78 Mbits/sec	NA	OK	OK
Sede 2	Subida	112.23 kbits/sec	392.01 kbits/sec	Bajada	740.83 kbits/sec	3.85 Mbits/sec	OK	OK	OK
Sede 3	Subida	156.44 kbits/sec	802.39 kbits/sec	Bajada	113.84 bits/sec	115.96 bits/sec	OK	OK	OK

Fuente: Elaboración propia

A continuación en la figura 68 mostraremos el consumo de la empresa 4.

Figura 68: Consumo de la empresa 4



Fuente: Elaboración propia.

Ancho de banda que consumen el total de estas aplicaciones serán mencionadas en la siguiente Tabla N° 19.

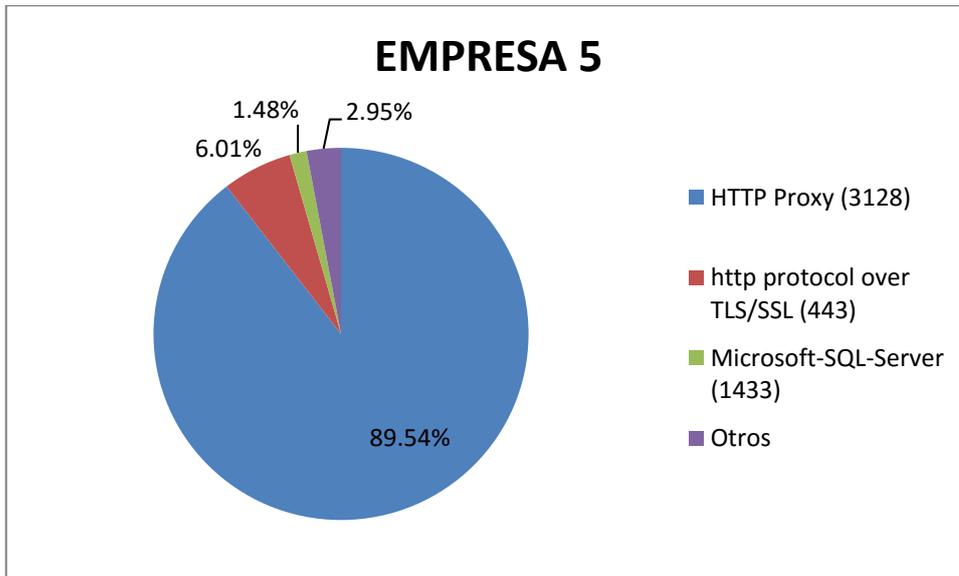
Tabla N° 19: Consumo de ancho de banda para Empresa 4

		Prom	Max		Prom	Max	CLARO	MOVISTAR	ENTEL
Enlace Principal	Subida	344.18 kbits/sec	1.72 Mbits/sec	Bajada	2.02 Mbits/sec	7.55 Mbits/sec	NA	OK	OK
Sede 1	Subida	290.44 kbits/sec	1.69 Mbits/sec	Bajada	1.98 Mbits/sec	4.09 Mbits/sec	NA	OK	OK
Sede 2	Subida	54.27 kbits/sec	456.77 kbits/sec	Bajada	28.32 kbits/sec	70.86 kbits/sec	OK	OK	OK
Sede 3	Subida	150.80 bits/sec	464.59 bits/sec	Bajada	134.58 bits/sec	135.92 bits/sec	OK	OK	OK

Fuente: Elaboración propia

A continuación en la figura 69 mostraremos el consumo de la empresa 5.

Figura 69: Consumo de la empresa 5



Fuente: Elaboración propia.

Ancho de banda que consumen el total de estas aplicaciones serán mencionadas en la siguiente Tabla N° 20.

Tabla N° 20: Consumo de ancho de banda para Empresa 5

		Prom	Max		Prom	Max	CLARO	MOVISTAR	ENTEL
Enlace Principal	Subida	609.41 kbits/sec	2.80 Mbits/sec	Bajada	3.61 Mbits/sec	8.15 Mbits/sec	NA	OK	OK
Sede 1	Subida	376.58 kbits/sec	2.25 Mbits/sec	Bajada	3.49 Mbits/sec	6.70 Mbits/sec	NA	OK	OK
Sede 2	Subida	27.17 kbits/sec	160.73 kbits/sec	Bajada	116.08 kbits/sec	270.85 kbits/sec	OK	OK	OK
Sede 3	Subida	204.61 kbits/sec	0.99 Mbits/sec	Bajada	124.64 bits/sec	127.26 bits/sec	OK	OK	OK

Fuente: Elaboración propia

3.5 Instrumentos de recolección de datos

A continuación describiremos en el siguiente cuadro el instrumento de recolección de datos que fue usado para esta tesis, ver Tabla N° 21.

Tabla N° 21: Instrumento de recolección de datos

Método	Técnica	Instrumento
Descriptivo Experimental	Observación	Información de Consumo de empresas Estadística de Cobertura de las Operadoras Móviles Topología Estandarizadas con la normativa actual Control de Avance Revisiones Eficiencia Simulaciones

Fuente: Elaboración propia

Capítulo IV

PRESENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACION

4.1 Presentación, análisis e interpretación de los datos obtenidos

4.1.1 Análisis sobre implementación de Data Center

En la presente tesis trata acerca del servicio de implementación, de un nuevo Data Center tipo container, en adelante CPD, como consecuencia de las necesidades de mejora dentro de los procesos de negocio de las empresa seleccionada en la muestra. El diseño y dimensionamiento de los diferentes componentes ofrecidos fueron validados por EL CLIENTE y están basados en sus requerimientos.

Es cierto que unos de los principales problemas de las empresas es determinar y asumir los costos de construcción de un Data Center dentro de sus instalaciones, en ese sentido, nace la necesidad de construir Data Centers móviles, los cuales cumple con las normas y estándares de los Data Center convencionales pues estos son perfectamente herméticos, físicamente más seguros, con mayores prestaciones para enfrentar desastres naturales, reduce tiempo de implementación y son más eficientes energéticamente.

El objetivo es presentar y detallar los servicios realizados respecto al acondicionamiento del CPD y el detalle de la implementación en los siguientes puntos específicos.

- Implementación de la Acometida Eléctrica.
- Dimensionamiento e implementación de los enlaces 3G o 4G.
- Diseño del Proyecto.

- Obras Civiles.
- Aires Acondicionados.
- Telecomunicaciones.
- Seguridad.

Dichos servicios, previamente mencionados, son requisitos mínimos para la construcción y habilitación del Data Center Móvil para ser usado en diferentes localidades del país.

El presente capítulo trata sobre la implementación y conexión de los enlaces (routers) que se conectarán a la red pública (BTS) en las diferentes localidades del Peru, realizando previamente un análisis de factibilidad para dicha conexión.

A continuación se presenta un listado de los actores que han participado en el proyecto en mención y una memoria descriptiva general del mismo. El cronograma de trabajo, a nivel macro, ejecutado incluyendo el tiempo de duración de cada actividad y la explicación técnica de cada especialidad (Arquitectura, Eléctrica, Mecánica, Sistemas Especiales y Telecomunicaciones).

4.1.1.1 Participantes

En la siguiente parte mencionaremos empresas a modo de ejemplo que participarían en la implementación del mencionado Data Center Móvil o CPD:

- IBM del Perú S.A.C: Empresa encarga del diseño, dimensionamiento y ejecución del Proyecto.
- OEM Electric S.A.C: Empresa encarga de la construcción del CPD. Asimismo, encargada de la provisión de un transformador de 44KVA.
- TSP Fire & Security S.A.C: Empresa encargada de suministrar los equipos para los Sistemas de Detección y Extinción de incendios, CCTV y Control de Accesos.

- Schneider Electric Perú S.A.C: Empresa encargada de suministrar los equipos para los Sistemas Eléctricos y Mecánicos: Aires acondicionados de precisión y UPS.
- Meacom Data S.A.C: Empresa encargada de suministrar cableado estructurado al interior del CPD e instalación de acometida de fibra óptica y eléctrica.
- Emerson del Perú S.A.C: Empresa encarga de suministrar los equipos para el sistema Mecánico: Aires acondicionado de confort.
- JASON S.A.C: Empresa encarga de suministrar las luminarias y el piso técnico al interior del CPD. Asimismo, encargada de realizar las obras civiles en la central de Santa Rosa: Estudio de suelos, implementación de losa instalación del sistema puesta a tierra, canalizaciones varias y anclaje del CPD.
- CIME comercial: Empresa encarga de implementar los equipos suministrados por Schneider Electric Perú S.A.C.
- Enersys IND S.A.C: Empresa encarga de implementar los equipos suministrados por Emerson del Perú S.A.C.
- Cisco Systems Perú S.A: Empresa encarga de suministrar un Switch para el Sistema de Telecomunicaciones.

4.1.1.2 Descripción General

Los OUTDOOR ENCLOSURE ELECTRIC SHELTER PREFABRICADOS en sí y todos los Equipamiento Eléctricos utilizados en sus Sistemas para la Protección, Control y Supervisión, están contruidos de acuerdo a las Normas vigentes de ANSI, NEMA, ASTM, IEEE, ISA, OSHA, los cuales además cuentan con Aprobaciones y Certificación de Calidad de Laboratorios como UL, CSA, SEC o Laboratorios de Control de Producción y de Certificación de Calidad equivalentes.

Los Estándares y las Certificaciones de los equipos y componentes de nuestros equipamientos de media y baja tensión, están basados en las siguientes Instituciones y sus publicaciones recientes:

- ANSI : American National Standard Institute
- ANSI C57.12.01/ ANSI C57.12.10 / ANSI C57.97
- IEEE : Institute of Electrical and Electronic Engineers
- ASTM : American Standard for Testing Materials
- AISC : American Institute of Steel Construction
- CSA : Canadian Standard Association
- ISA : Instrument Society of America
- NEC : National Electrical Code
- NEMA : National Electrical Manufacturers Association
- Publications ICS Part 322
- ICEA : Insulated Cable Engineers Association
- NESC : National Electric Safety Code (ANSI C2)
- NFPA : National Fire Protection Association
- NFPA No. 70
- UL : Underwriter's Laboratories
- 845-88: Motor Control Centers
- OSHA : Occupational Health and Safety Administration
- UBC : Uniform Building Code
- AWS : American Welding Society
- D 1.1. Structural Welding Code
- TIA/EIA : 568B y 569B

Las condiciones ambientales y características para el montaje del CPD consideradas en el proyecto son las detalladas a continuación:

- Altura de montaje sobre nivel del mar 0 - 1,000 Mts
- Temperatura mínima del ambiente interior + 10 °C
- Temperatura máxima del ambiente interior + 40 °C
- Variación máxima de Temperatura Diaria + 20 °C
- Temperatura máxima del ambiente exterior + 35 °C
- Temperatura mínima del ambiente exterior - 10°C
- Temperatura máxima de Cálculo + 40 °C
- Humedad relativa mínima del aire 15 %
- Humedad relativa promedio del aire 40 %
- Humedad relativa máxima del aire sin condensar 95 %
- Humedad relativa mínima del aire sin condensar 25 %
- Presión Barométrica máxima 93 KPa
- Condiciones sísmicas extremas UBC Zona 4
- Frecuencia Sísmica 1-20 Hz
- Sobrecarga de Viento 160 Km/Hora
- Sobrecarga de Nieve en Techo 100 Kg/m²
- Precipitación de Lluvia (Promedio Anual) 1800 mm/Año
- Precipitación de Lluvia máximo Diario 170 mm
- Nivel de Contaminación del Ambiente ETP20
- Ambiente: Con polvo fino en suspensión en alta concentración (en especial polvos de minerales, de pulpa o de humos metálicos), con una humedad relativa media a alta, además de un alto contenido de agentes corrosivos (líquidos, vapores y gases), especialmente los gases sulfuroso o clorhídricos, proveniente de los procesos de lixiviación y concentración de mineral, refinación, fundición y minería tajo abierto y subterránea, plantas químicas, junto a los manejos de materias primas.

4.1.1.3 Diseño de un Data Center

Especificaciones particulares del Data Center:

Dimensiones (Outside)

- Largo 10,411 mm
- Ancho 4,706 mm
- Alto 3,631 mm

Dimensiones (Inside) - Sala de Servidores (incluye sala de operador)

- Largo 7,253 mm
- Ancho 4,500 mm
- Alto 3,050 mm

Dimensiones (Inside) - Sala de Energía

- Largo 2,850 mm
- Ancho 4,500 mm
- Alto 3,050 mm

Peso

Peso estimado con equipos 34,000 Kg. Incluye:

- Estructura Metálica
- Blaze Shield II
- Escaleras y Plataformas
- Unidades Evaporadoras
- Equipos de Aire Acondicionado - Confort
- Transformadores de Aislamiento
- UPS & Gabinetes de Baterías
- Tableros Eléctricos

- Racks de Servidores y de Comunicaciones

4.1.1.4 ACONDICIONAMIENTO DE TERRENO

Se mencionarán los puntos que están ubicados en el siguiente plano:

- CPD (Centro de Procesamiento de Datos).
- Subestación.
- Cuarto de Comunicaciones CT1.
- Cuarto de Comunicaciones CT2.

En la figura 70 se menciona el detalle de donde se ubicaría el CPD:

Figura 70: Ubicación CPD cliente



Fuente: Elaboración Propia

4.1.1.5 Sistema de Aire Acondicionado

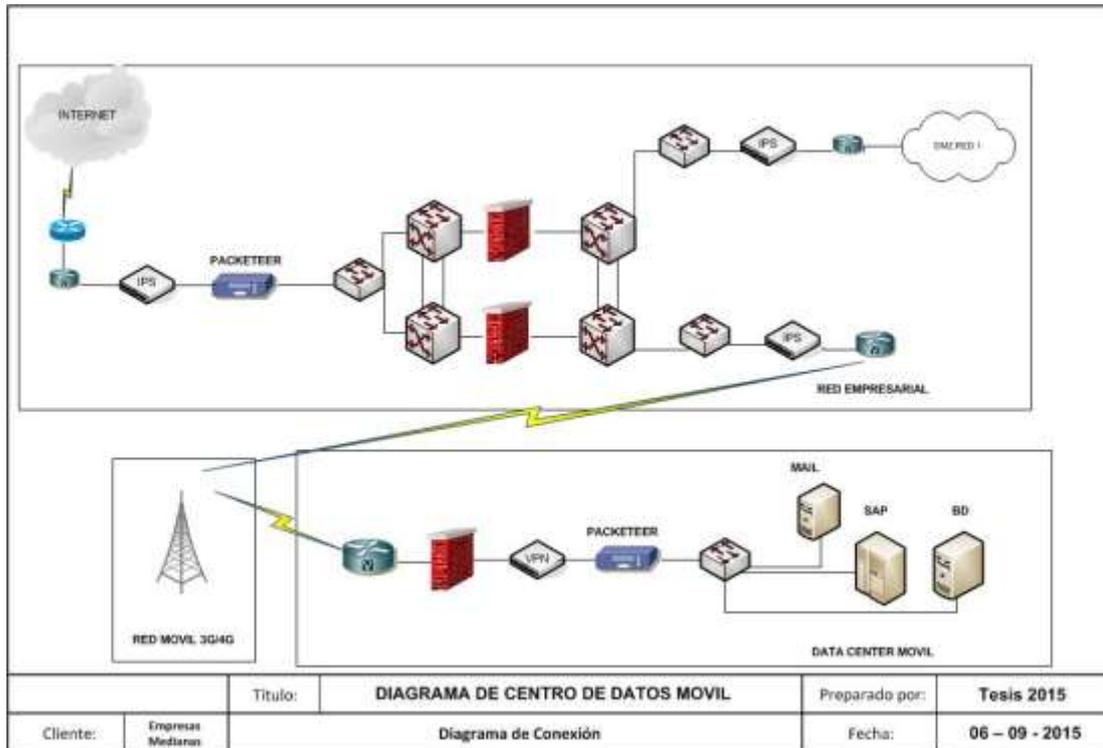
Características técnicas del sistema:

- El sistema de aire acondicionado instalado es un sistema específicamente diseñado para enfriar Data Centers y tiene control de temperatura.
- El sistema está orientado a enfriar los ocho (08) gabinetes del Data Center Con una potencia de enfriamiento de 10TR para garantizar que la caída de cualquiera de sus unidades no perjudique la operación del equipamiento informático, logrando con esto una configuración redundante N+1.
- Monitoreo remoto de capacidad en tiempo real.
- Visualización en tiempo real de capacidad de enfriamiento actual y disponible a través de un puerto de red.

4.1.2 Diseño de la red de Telecomunicaciones del Data Center.

En el siguiente diseño propuesto se elabora la solución propuesta para la presente tesis en la cual hemos propuesto una red IP aplicando conocimientos de networking y fusionándolos con los conocimientos de redes móviles en la cual vamos a presentar a continuación y luego detallaremos cada uno de los elementos involucrados en el data center los elementos de red propuestos para la red empresarial no se detallaran debido a que no es objeto de esta tesis detallar los mismo. Ver figura 69 de red propuesta.

Figura 71: Red de Telecomunicaciones del Data Center



Fuente: Elaboración propia

4.1.2.1 Elementos de Red

Los elementos de red propuestos para la siguiente red involucran los siguientes:

Router: Encargado del enrutamiento de red y siendo la interfaz de conexión con la red móvil. El router elegido para esta red ha sido el Router 2911 de Cisco que se observa en la figura 70.

Definición de router también conocido como enrutador o encaminador de paquetes, y españolizado como rúter es un dispositivo que proporciona conectividad a nivel de red o nivel tres en el modelo OSI. Su función principal consiste en enviar o encaminar paquetes de datos de una red a otra, es decir, interconectar subredes, entendiendo por subred un conjunto de máquinas IP que se pueden comunicar sin la intervención de un encaminador (mediante

puentes de red), y que por tanto tienen prefijos de red distintos. En nuestro caso intervendrá para realizar la comunicación hacia la red móvil.

Figura 72: Cisco Wireless LAN 2900



Fuente: http://www.cisco.com/c/en/us/products/routers/2911-integrated-services-router-isr/index/jcr_content/series_data_hero/data-hero-image/data-hero-image-trigger/parsys-for-c26v4/frameworkimage.img.jpg/2911.jpg

Las características de este equipo son las siguientes:

- Wireless LAN/WAN: Cisco Integrated Services Routers que soporta el Cisco Unified Wireless Architecture permite el despliegue de las redes LAN inalámbricas, manejables seguras (WLAN) optimizadas para sitios remotos y sucursales, incluida la movilidad rápida segura, autenticación de supervivencia, y la gestión simplificada. El módulo controlador de Cisco Wireless LAN en el Cisco 2900 Series permite a las pequeñas y medianas empresas (PYMES) y las sucursales de la empresa de manera rentable implementar y administrar redes WLAN seguras. Controladores de Cisco Wireless LAN trabajan en conjunto con Cisco puntos de acceso ligeros y el Sistema de control inalámbrico de Cisco (WCS) para proporcionar funciones WLAN en todo el sistema, la gestión de hasta 6, 12, y 25 puntos de acceso.

- **Wireless WAN :** Cisco tercera generación (3G) y cuarta generación inalámbrica WAN módulos (WWAN) combinan las funciones tradicionales del router de la empresa, tales como la gestión remota, servicios IP avanzados, como voz sobre IP (VoIP), y la seguridad, con capacidades de movilidad de acceso 3G WAN y 4G WAN. El uso de alta velocidad 3G y 4G redes inalámbricas, los routers pueden reemplazar o complementar la infraestructura de línea fija existente, como acceso telefónico, Frame Relay y RDSI. Soluciones Cisco 3G soportan estándares 3G-High Speed Packet Access (HSPA), Evolution Data Only / Evolution Data Optimized (EVDO) y Long Term Evolution que le proporciona una copia de seguridad WAN verdadera trayectoria múltiple y la capacidad de desplegar rápidamente la conectividad WAN primaria.
- **Integrated LAN Switching:** El Cisco 2900 Integrated Services Routers (Cisco 2911 hasta el Cisco 2951) soportan la nueva Cisco Enhanced EtherSwitch® Servicio módulos, que amplían enormemente las capacidades de router mediante la integración de Capa 2 o Capa 3 de conmutación líder en la industria con la función de conjuntos idénticos a los encontrados en el Cisco Catalyst 2960 y Catalyst 3650-E Series Switches realizar conmutación de velocidad de línea local y enrutamiento.
- **Seguridad:** La seguridad es esencial para proteger un negocio de "propiedad intelectual" al tiempo que garantiza la continuidad del negocio y ofrecer la posibilidad de ampliar el lugar de trabajo corporativo para los empleados que necesitan cualquier momento y lugar el acceso a los recursos de la empresa. Como parte del marco arquitectónico "SAFE Cisco" que permite a las organizaciones a identificar, prevenir y adaptarse a la red amenazas a la seguridad, los routers Cisco 2900 Series Integrated Services facilitar las transacciones comerciales seguras y la colaboración. El paquete de tecnología Cisco IOS Software de Seguridad para la serie Cisco 2900 ofrece una amplia gama de características de seguridad comunes, tales como la inspección avanzada de aplicaciones y control, protección contra amenazas y

arquitecturas de cifrado para permitir que las redes VPN más escalables y manejables. La serie Cisco 2900 ofrece a bordo cifrado aceleración basada en hardware para proporcionar un mayor rendimiento IPsec con menos sobrecarga para el procesador de ruta, en comparación con las soluciones de cifrado basadas en software. Cisco Integrated Services Routers ofrecen una solución de seguridad integral y adaptable para las sucursales que incluye características tales como:

- Conectividad segura: Asegurar las comunicaciones de colaboración con el Grupo de cifrado Transporte VPN, Dynamic Multipoint VPN (DMVPN) o Enhanced Easy VPN.
 - Control de amenazas integrado: En respuesta a los ataques de red sofisticados y amenazas que utilizan Cisco IOS Firewall, Servidor de seguridad basado en la Zona del IOS de Cisco, Cisco IOS IPS, Cisco IOS Content Filtering y paquetes flexibles Matching (FPM).
 - Gestión de la identidad: la protección de puntos finales de forma inteligente utilizando tecnologías tales como la autenticación, autorización y contabilidad (AAA) y la infraestructura de clave pública (PKI).
- Protocolos Soportados: Los protocolos soportados por este equipo se mostraran en la Tabla N° 22.

Tabla N° 22: Protocolo soportados para Cisco 2900 Series

Característica	Soporta
Protocolos	IPv4, IPv6, Static Routes, Open Shortest Path First (OSPF), Enhanced IGRP (EIGRP), Border Gateway Protocol (BGP), virtual router redundancy protocol (VRRP), BGP Router Reflector, Intermediate System-to-Intermediate System (IS-IS), Multicast Internet Group Management Protocol (IGMPv3) Protocol Independent Multicast sparse mode (PIM SM), PIM Source Specific Multicast (SSM), Distance Vector Multicast Routing Protocol (DVMRP), IPsec, Generic Routing Encapsulation (GRE), Bi-Directional Forwarding Detection (BFD), IPv4-to-IPv6 Multicast, MPLS, L2TPv3, 802.1ag, 802.3ah, L2 and L3 VPN.
Encapsulamiento	Ethernet, 802.1q VLAN, Point-to-Point Protocol (PPP), Multilink Point-to-Point Protocol (MLPPP), Frame Relay, Multilink Frame Relay (MLFR) (FR.15 and FR.16), High-Level Data Link Control (HDLC), Serial (RS-232, RS-449, X.21, V.35, and EIA-530), Point-to-Point Protocol over Ethernet (PPPoE), and ATM.
Gestión del Tráfico	QoS, Class-Based Weighted Fair Queuing (CBWFQ), Weighted Random Early Detection (WRED), Hierarchical QoS, Policy-Based Routing (PBR), Performance Routing (PfR), and Network-Based Advanced Routing (NBAR).

Fuente: Elaboración propia

Interfaz Wan: Cisco 4G LTE Wireless WAN EHWIC interfaz que nos permite la conexión con la red de datos 4G y 3G que para objeto de esta tesis usaremos dos interfaces para poder tener redundancia y alta disponibilidad en el enlace. En el grafico a continuación una vista de la tarjeta la cual cuenta con un slot para simcard necesaria para los fines de esta tesis.

Figura 73: Cisco 4G LTE Wireless WAN EHWIC



Fuente: http://www.cisco.com/c/dam/en/us/products/collateral/interfaces-modules/4g-lte-wireless-wan-enhanced-high-speed-wan-interface-card/datasheet_c78-710314.doc/jcr_content/renditions/datasheet_c78-710314_0.jpg

El Cisco 4G LTE WWAN EHWICs son la solución 4G LTE multimodo WWAN primera clase empresarial. Con 4G LTE, WWAN es una solución primaria enlace WAN. Las empresas ahora pueden ejecutar aplicaciones tales como video interactivo y tele presencia en un enlace primario 4G LTE WWAN, que es 10 a 15 veces más rápido y tiene 5 veces menor latencia que los enlaces 3G. Estas tarjetas soportan los últimos estándares de Proyecto de Asociación de Tercera Generación (3GPP) Release 8 LTE. Cisco 4G LTE multimodo WWAN EHWICs ofrece, conectividad LTE confiable persistente con repliegue y traspaso transparente a las tecnologías anteriores. La tarjeta ofrece un ancho de banda para soportar alta definición (HD) y (P2P) video llamadas peer-to-peer, proporcionando a los clientes una excelente experiencia de banda ancha móvil.

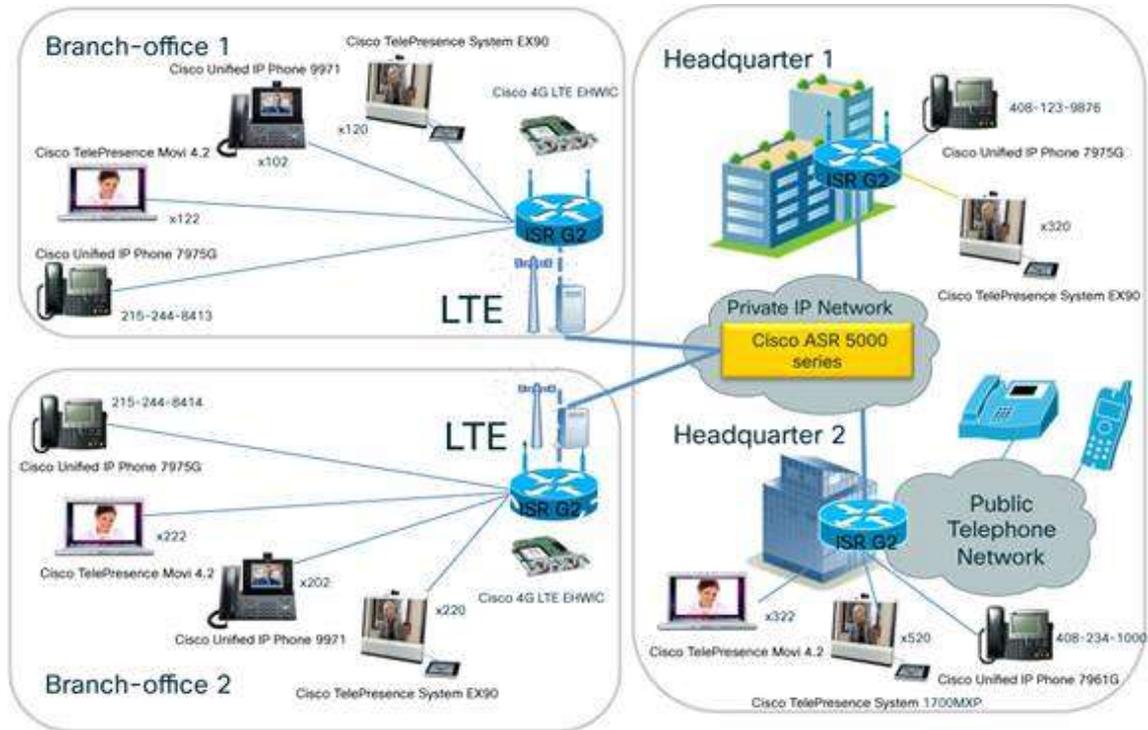
Los Cisco 4G LTE WWAN EHWICs están estrechamente integrados con los servicios prestados en los dispositivos Cisco ISR G2 premiados, que ofrecen datos, voz, video y servicios de movilidad. Los Cisco 4G LTE WWAN EHWICs son compatibles con los dispositivos G2 Series ISR modulares Cisco 1900, 2900, y 3900. En nuestro caso estamos usando el Router 2911 que es compatible con este tipo de tarjetas EHWICS 4G.

Las empresas están buscando maneras de reducir el tiempo de implementación, permitirá servicios de comunicación integrales, aumentar los ingresos y mejorar la continuidad del negocio. El Cisco 4G LTE WWAN EHWICs, cuando se combina con un plan de datos inalámbrica de un proveedor de servicios, proporcionar un alto ancho de banda de despliegue rápido, fiable y solución segura para sucursales y sitios remotos. Con velocidades de datos 4G LTE, los Cisco 4G LTE WWAN EHWICs ofrecen una solución primaria enlace WAN capaz de ejecutar los servicios de sucursales completas, incluidos los servicios de voz y video. Esta es una opción rentable de bajo costo en implementación y con la capacidad de atender las necesidades actuales del grupo de empresas que estamos analizando en nuestra tesis.

A continuación mostrare algunos gráficos de los usos actuales que tienen estas tarjetas en los “grafico xyz1”, “grafico xyz2”, “grafico xyz3”:

En la figura 74 se muestra “Cisco 4G LTE WWAN EHWIC for WAN”:

Figura 74



Fuente: <http://www.cisco.com/c/en/us/products/interfaces-modules/4g-lte-wireless-wan-enhanced-high-speed-wan-interface-card/index.html>

En la figura 75 se muestra “4G LTE como enlace primario WAN”:

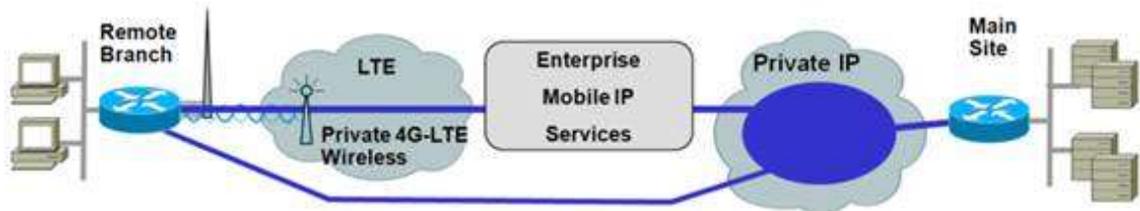
Figura 75



Fuente: <http://www.cisco.com/c/en/us/products/interfaces-modules/4g-lte-wireless-wan-enhanced-high-speed-wan-interface-card/index.html>

En la figura 76 se muestra “4G LTE como enlace primario WAN”:

Figura 76



Fuente: <http://www.cisco.com/c/en/us/products/interfaces-modules/4g-lte-wireless-wan-enhanced-high-speed-wan-interface-card/index.html>

Firewall: Elegimos para este caso el firewall Cisco ASA 5512-X por que cuenta con las siguientes características:

- Cisco AVC controla comportamientos específicos dentro de micro-aplicaciones permitidas.
- Cisco Web Security Essentials (WSE) restringe el uso de la web y de aplicaciones web basado en la reputación de un sitio.
- Amplio y seguridad de la red profunda a través de una serie de cloud-integrada y servicios de cortafuegos de próxima generación basados en software está respaldado por Cisco Security Intelligence Operaciones (SIO).
- Un sistema de prevención de intrusiones altamente efectiva (IPS) está provisto de Correlación Cisco Global.
- Una VPN de alto rendimiento y siempre en el acceso remoto se incluyen.

A continuación una imagen del equipo elegido en la figura 77.

Figura 77: Firewall Cisco ASA 5512-X



Fuente:

http://www.cisco.com/c/dam/en/us/support/docs/SWTG/ProductImages/Security-ASA-5512-X_frnt_rt_1000.jpg

Características Técnicas:

Ver Tabla N° 23.

Tabla N° 23: Características técnicas Firewall Cisco ASA 5512-X

Características	Valores
Stateful inspection throughput con un solo protocolo	1 Gbps
Stateful inspection throughput multiprotocolo	500 Mbps
Maximum application visibility and control (AVC) throughput	300 Mbps
Maximum AVC and NGIPS throughput	150 Mbps
Maximum concurrent sessions	100,000
Maximum new connections per second	10,000
Application control (AVC) or NGIPS sizing throughput [440 byte HTTP]	100 Mbps
Packets per second (64 byte)	450,000
Maximum 3DES/AES VPN throughput	200 Mbps
Maximum site-to-site and IPsec IKEv1 client VPN user sessions	250
Maximum Cisco AnyConnect IKEv2 remote access VPN or clientless VPN user sessions	2/250
Cisco Cloud Web Security users	2000
VLANs	50/100
High-availability support	A/A* and A/S*
Integrated I/O	6-port 10/100/1000

Expansion I/O	6-port 10/100/1000 or 6-port GE (SFP)
Power	AC/DC

Fuente: Elaboración Propia

PacketShaper: El traffic shaping o catalogación de tráfico (también conocido como catalogación de paquetes, por su nombre en inglés "packet shaping") intenta controlar el tráfico en redes de ordenadores para así lograr optimizar o garantizar el rendimiento, baja latencia, y/o un ancho de banda determinado retrasando paquetes. La catalogación de tráfico propone conceptos de clasificación, colas, imposición de políticas, administración de congestión, calidad de servicio (QoS) y regulación. Por otra parte, esto consiste en una práctica utilizada por diversos ISPs para no sobrepasar sus capacidades de servicio.

Principales características:

Supervisión del tráfico de aplicaciones (Ver Tabla N° 24)

Tabla N° 24: Características del tráfico de aplicaciones

Característica	Descripción
Clasificación del tráfico	Clasifica el tráfico según la firma de la aplicación, por protocolo, por identificador de puerto, URL, nombre del servidor "host", listas de servidores "host" vía LDAP (Protocolo de Acceso a Directorios), ajustes de Servicios Diferenciados (Diffserv), ISL, 802.1p/q, etiqueta MPLS, bits de prioridad de IP, dirección IP o MAC (Control de Acceso a Medio), dirección del flujo (hacia dentro/hacia fuera), fuente, destino, rango de velocidad del servidor "host", tipo de codificación MIME, navegador de Internet, base de datos de Oracle, aplicación publicada Citrix y LAN Virtual. Detecta asignaciones dinámicas a puertos, rastrea las transacciones con asignaciones a puertos en migración y diferencia entre aplicaciones que usan el mismo puerto.
Análisis y gestión del tiempo de respuesta	Permite revisar las mediciones de más de 30 variables: por ejemplo, tiempos de respuesta (divididos en retardos del servidor y de la red), clientes y servidores que sufren los mayores retardos, usuarios que reciben o generan el mayor tráfico de un determinado tipo, porcentaje de ancho de banda malgastado en retransmisiones, paquetes perdidos y su relación con las correspondientes aplicaciones y servidores.
Compromisos en el Nivel de Servicio (SLAs)	Permite establecer compromisos en tiempos de respuesta con una precisión de milisegundos. De este modo, se puede medir y rastrear el cumplimiento de los niveles de servicio. Por ejemplo, supongamos que un SLA establece que el 98% de las transacciones OneWorld de JDEdwards deben completarse en 1.100 ms. El tiempo de respuesta medio real es de 867 ms. Sin embargo, sólo el 95% de las transacciones se realizan dentro del límite establecido, por lo que se da una violación del SLA.
Top 10	Determina las clases que generan la mayor parte del tráfico. Esta característica ayuda a los usuarios a localizar los problemas y solucionarlos con rapidez y sin necesidad de un aprendizaje exhaustivo y costoso. Confirme cuánto de su ancho de banda se emplea en la navegación por Internet, en descargas de música, en MS Exchange, SAP, y otros.
Gestión e información centralizada	PolicyCenter gestiona de un modo centralizado múltiples unidades de PacketShaper vía una arquitectura de protocolo LDAP; ReportCenter agrega y realiza correlaciones entre métricas procedentes de múltiples unidades de PacketSeeker y PacketShaper, a fin de lograr una visión simplificada de grandes despliegues o como parte de un servicio de aplicación gestionada.

Fuente: Elaboración Propia

Conformación del tráfico de aplicaciones (Ver Tabla N° 25)

Tabla N° 25: Conformación del tráfico de aplicaciones

Característica	Descripción
Mínimo por aplicación	Protege el tráfico de una clase determinada. Se ha de especificar el tamaño reservado al enlace virtual, decidir si se puede exceder dicho tamaño y, de un modo opcional, limitar su crecimiento. Por ejemplo, se ha reservado un mínimo del 20% del enlace WAN para MS Exchange. Se podría permitir que Exchange exceda este mínimo si hay ancho de banda disponible, pero al mismo tiempo se podría establecer una limitación máxima del 60% del nudo.
Máximo por aplicación	Restringe todo el tráfico de una clase determinada. Así, incluso si el tráfico desborda este límite, el resto de aplicaciones no se verán afectadas. Por ejemplo, limitar el total transmitido vía Protocolo de Transferencia de Archivos (FTP) a 128 Kbps en un enlace E1.
Mínimo por sesión	Protege sesiones sensibles a la latencia. Se establece un flujo mínimo para cada sesión individual de un tipo de tráfico determinado, se decide si se otorga a la sesión acceso prioritario para poder exceder el ancho de banda, y se establece el límite máximo de ancho de banda que puede emplear.
Máximo por sesión	Limita el acceso simultáneo de sesiones que absorben un gran ancho de banda. Por ejemplo, limitando cada descarga vía FTP a 10 Kbps.
Mínimo y máximo dinámico por usuario	Controla dinámicamente el ancho de banda por usuario sin necesidad de configuraciones tediosas para cada usuario. En este modelo, el ancho de banda no empleado es prestado a otros.
Control de flujo en sesiones TCP	Impone un flujo suave y constante que maximiza la capacidad de procesamiento. Reduce la latencia tanto en el tráfico de entrada como de salida. Mide el tiempo de retardo de la red; realiza previsiones de tiempos de llegada de paquetes; ajusta el tamaño de la ventana de acuerdo con las previsiones; mide el acuse de recibo para asegurar la entrega a tiempo.
Control de flujo en sesiones UDP	Restringe el tráfico de entrada y de salida a un ritmo determinado, garantiza un ancho de banda concreto y controla el jitter. Por ejemplo, la transferencia de VoIP requiere un ancho de banda mínimo, y PacketShaper proporciona la cantidad precisa para eliminar el jitter y asegurar un comportamiento fiable.
Protección contra Ataques del tipo "Negación del Servicio" (DoS attacks)	Utiliza elementos de clasificación y control para defenderse contra ataques del tipo DoS. Detecta y detiene los desbordamientos de la Marca de Sincronización (SYN) o ataques similares de Negación del Servicio. Por ejemplo, detecta y bloquea las variantes del Protocolo de Mensajes de Control de Internet (ICMP) que pueden sembrar instrucciones nocivas. Bloquea los flujos hacia el servidor Web KeySales una vez se excede el límite de 15.000 flujos por minuto.

Fuente: Elaboración Propia

Aceleración del tráfico de aplicaciones (Ver Tabla N° 26)

Tabla N° 26: Aceleración del tráfico de aplicaciones

Característica	Descripción
Compresión con inteligencia a nivel de aplicación	El conocimiento de las aplicaciones y la arquitectura plug-in permiten a Xpress aplicar la técnica más efectiva. Los algoritmos adaptativos permiten aprender y construir dinámicamente librerías a través de los diferentes paquetes. La exclusión predecible limita la compresión a los datos susceptibles de ser comprimidos.
Gestión activa de túneles ActiveTunnel	Detecta dinámicamente y establece automáticamente túneles de compresión que proporcionan un sistema fácil de desplegar y gestionar. La gestión activa del tamaño asegura que el enlace virtual se llena basándose en algoritmos predictivos, maximizando de este modo la utilización de la red.
Gestión latencias	Se adapta a diferentes flujos de aplicaciones y utiliza técnicas avanzadas de gestión de tráfico para asegurar un rendimiento óptimo de las aplicaciones, incluso durante los momentos de tráfico intenso.

Fuente: Elaboración Propia

Para el caso de esta tesis hemos elegido el equipo:

“BlueCoat PacketShaper 1700-L010M Bundle Up to 10 Mbps of Shaping 512 Classes - Includes 1 Year 24x7 Software & NBD 8x5 Hardware Support PS1700-L010M-BDL”. Visto en la figura 78.

Figura 78



Fuente: <https://www.bluecoat.com/es/products/packetshaper>

4.1.2.2 Consideraciones de Red

Se consideró la topología establecida para esta red de data center móvil por las siguientes razones:

- Se consideró el uso de un router 2911 de cisco por la compatibilidad con la tarjeta HWIC 4G elegida para la implementación del enlace Wireless

WAN y su capacidad de manejo de más de una interfaz WAN ya que dentro del diseño de la red se ha establecido usar redundancia del enlace y la capacidad de balanceo de carga para mejorar el consumo de ancho de banda por ambos enlaces.

- Dentro de los parámetros de seguridad que tiene cumplir al conectarse a una red móvil pública, se tiene que cumplir parámetros de seguridad de conexión a una VPN segura y control de políticas de intrusiones (IPS) para mitigar ataques a la red del cliente o empresa mediana.
- Adicional al tema de seguridad el manejo adecuado de políticas en el firewall con el uso de web filter nos permite optimizar el uso de la red a los servicios que el cliente quiera priorizar y evitar el mal uso de la misma red.
- Se eligió el uso de un traffic shaper para optimizar el uso interno de aplicaciones y usando la información de top de aplicaciones usadas poder manejar mejor el ancho de banda que es un recurso limitado.

4.1.2.3 Costo de Implementación de Red

CAPEX considerado para implementación:

Ver Tabla N° 27

Tabla N° 27: CAPEX para la implementación

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	I. ADUANERO (16%)	IGV 18%	PRECIO TOTAL
1	Cisco CISCO2911/K9 2911 2900 Series Integrated Services Router	1	\$1,099.00	\$175.84	\$229.47	\$1,504.31
2	Cisco Firewall Edition (ASA5512-K9)	1	\$1,608.99	\$257.44	\$335.96	\$2,202.39
3	Cisco Wireless Cellular Modem - Ehwic(EHWIC-4G-LTE-G)	2	\$717.74	\$114.84	\$149.86	\$1,964.89
4	Antena 4G	2	\$40.83	\$6.53	\$7.35	\$109.41
6	BlueCoat PacketShaper 1700-L010M Bundle Up to 10 Mbps of Shaping 512 Classes - Includes 1 Year 24x7 Software & NBD 8x5 Hardware Support PS1700-L010M-BDL	1	\$11,372.40	\$1,819.58	\$2,374.56	\$15,566.54
7	Rack de 48 RU	1	\$677.97		\$122.03	\$800.00
8	Configuración e instalación de Equipos (30 %)	1	\$5,727.48		\$1,030.95	\$6,758.42
					TOTAL	\$28,905.96

Fuente: Elaboración propia

Costo Total de red es de: US\$ 28,906.96

4.2 Prueba de hipótesis

Para la prueba de hipótesis a continuación haremos el comparativo de la velocidad de transmisión de los operadores versus la carga promedio que tienen las empresas revisadas en el capítulo 3 de la presente tesis, a continuación mostraremos dos Tablas la N° 28 y N° 29 que mostraran las velocidades 3G y 4G tanto de Uplink como de Downlink registradas en la zona de Lima Metropolitana.

Tabla N° 28: Velocidad de Transmisión vs Carga Promedio en 3G

3G	Download	Upload	Ping
Entel	4.16 Mbps	1.43 Mbps	92 ms
Movistar	2.98 Mbps	0.44 Mbps	158 ms
Bitel	1.19 Mbps	0.51 Mbps	168 ms
Claro	1.95 Mbps	0.40 Mbps	178 ms

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 29: Velocidad de Transmisión vs Carga Promedio en 4G

4G	Download	Upload	Ping
Entel	11.88 Mbps	12.29 Mbps	33 ms
Movistar	21.01 Mbps	12.67 Mbps	124 ms
Claro	3.54 Mbps	4.17 Mbps	100 ms

Fuente: Elaboración propia

Basándonos en los consumos presentados en la muestra y tomando en cuenta los valores promedios:

4.2.1 Presentación de resultados:

En la siguiente parte de la tesis presentaremos el análisis de velocidades y consumos así como también un análisis económico de porque se eligió un enlace 4G en vez de tomar la elección de un enlace por otros medios de transporte como son Microondas y Fibra Óptica.

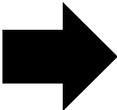
4.2.1.1 Presentación de resultados de Velocidades y Consumo de las empresas analizadas

En la siguiente parte de la tesis presentaremos los resultados obtenidos de comparar las velocidades obtenidas del aplicativo y el consumo actual de las empresas.

En la Tabla N° 30 se presentara comparativo con velocidad de transmisión de la tecnología 4G versus el consumo de Ancho de Banda promedio de los aplicativos de la empresa 1:

Tabla N° 30: Velocidad de Transmisión 4G vs Ancho de Banda por aplicaciones
Empresa 1

		Prom	Max		Prom	Max
Enlace Principal	Subida	841.51 kbits/sec	3.48 Mbts/se	Bajada	3.53 Mbts/sec	9.55 Mbts/sec
Sede 1	Subida	352.65 kbits/sec	2.01 Mbts/se	Bajada	2.18 Mbts/sec	6.82 Mbts/sec
Sede 2	Subida	295.07 kbits/sec	2.18 Mbts/se	Bajada	1.17 Mbts/sec	1.94 Mbts/sec
Sede 3	Subida	811.38 kbits/sec	3.29 Mbts/se	Bajada	156.23 bits/sec	176.59 bits/sec



		CLARO	MOVISTAR	ENTEL
4G	Enlace Principal	NA	OK	OK
	Sede 1	NA	OK	OK
	Sede 2	OK	OK	OK
	Sede 3	OK	OK	OK

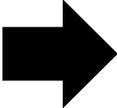
Leyenda: NA No Aplica OK Aplica para uso

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla N° 31 se presentara comparativo con velocidad de transmisión de la tecnología 4G versus el consumo de Ancho de Banda promedio de los aplicativos de la empresa 2:

Tabla N° 31: Velocidad de Transmisión 4G vs Ancho de Banda por aplicaciones
 Empresa 2

		Prom	Max		Prom	Max
Enlace Principal	Subida	841.51 kbits/sec	3.48 Mbits/se	Bajada	3.53 Mbits/sec	9.55 Mbits/sec
Sede 1	Subida	352.65 kbits/sec	2.01 Mbits/se	Bajada	2.18 Mbits/sec	6.82 Mbits/sec
Sede 2	Subida	486.68 kbits/sec	1.80 Mbits/se	Bajada	1.36 Mbits/sec	1.97 Mbits/sec
Sede 3	Subida	157.85 bits/sec	2.16 kbits/se	Bajada	114.18 bits/sec	114.71 bits/sec

		CLARO	MOVISTAR	ENTEL	
	4G	Enlace Principal	OK	OK	OK
		Sede 1	OK	OK	OK
		Sede 2	OK	OK	OK
		Sede 3	OK	OK	OK

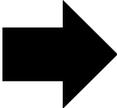
Leyenda: NA No Aplica OK Aplica para uso

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla N° 32 se presentara comparativo con velocidad de transmisión de la tecnología 4G versus el consumo de Ancho de Banda promedio de los aplicativos de la empresa 3:

Tabla N° 32: Velocidad de Transmisión 4G vs Ancho de Banda por aplicaciones
 Empresa 3

		Prom	Max		Prom	Max
Enlace Principal	Subida	838.02 kbits/sec	5.92 Mbits/se	Bajada	2.68 Mbits/sec	9.70 Mbits/sec
Sede 1	Subida	571.57 kbits/sec	5.89 Mbits/se	Bajada	1.98 Mbits/sec	5.78 Mbits/sec
Sede 2	Subida	112.23 kbits/sec	392.01 kbits/se	Bajada	740.83 kbits/sec	3.85 Mbits/sec
Sede 3	Subida	156.44 kbits/sec	802.39 kbits/se	Bajada	113.84 bits/sec	115.96 bits/sec

		CLARO	MOVISTAR	ENTEL	
	4G	Enlace Principal	NA	OK	OK
		Sede 1	NA	OK	OK
		Sede 2	OK	OK	OK
		Sede 3	OK	OK	OK

Leyenda: NA No Aplica OK Aplica para uso

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla N° 33 se presentara comparativo con velocidad de transmisión de la tecnología 4G versus el consumo de Ancho de Banda promedio de los aplicativos de la empresa 4:

Tabla N° 33: Velocidad de Transmisión 4G vs Ancho de Banda por aplicaciones
Empresa 4

		Prom	Max		Prom	Max
Enlace Principal	Subida	344.18 kbits/sec	1.72 Mbits/se	Bajada	2.02 Mbits/sec	7.55 Mbits/sec
Sede 1	Subida	290.44 kbits/sec	1.69 Mbits/se	Bajada	1.98 Mbits/sec	4.09 Mbits/sec
Sede 2	Subida	54.27 kbits/sec	456.77 kbits/s	Bajada	28.32 kbits/sec	70.86 kbits/sec
Sede 3	Subida	150.80 bits/sec	464.59 bits/s	Bajada	134.58 bits/sec	135.92 bits/sec

		CLARO	MOVISTAR	ENTEL	
	4G	Enlace Principal	NA	OK	OK
		Sede 1	NA	OK	OK
		Sede 2	OK	OK	OK
		Sede 3	OK	OK	OK

Leyenda: NA No Aplica OK Aplica para uso

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla N° 34 se presentara comparativo con velocidad de transmisión de la tecnología 4G versus el consumo de Ancho de Banda promedio de los aplicativos de la empresa 5:

Tabla N° 34: Velocidad de Transmisión 4G vs Ancho de Banda por aplicaciones
Empresa 5

		Prom	Max		Prom	Max
Enlace Principal	Subida	609.41 kbits/sec	2.80 Mbits/se	Bajada	3.61 Mbits/sec	8.15 Mbits/sec
Sede 1	Subida	376.58 kbits/sec	2.25 Mbits/se	Bajada	3.49 Mbits/sec	6.70 Mbits/sec
Sede 2	Subida	27.17 kbits/sec	160.73 kbits/s	Bajada	116.08 kbits/sec	270.85 kbits/sec
Sede 3	Subida	204.61 kbits/sec	0.99 Mbits/se	Bajada	124.64 bits/sec	127.26 bits/sec

		CLARO	MOVISTAR	ENTEL	
	4G	Enlace Principal	NA	OK	OK
		Sede 1	NA	OK	OK
		Sede 2	OK	OK	OK
		Sede 3	OK	OK	OK

Leyenda: NA No Aplica OK Aplica para uso

Fuente: Elaboración propia

4.2.1.2 Presentación de resultados de análisis económico con otros medios de transmisión

En el siguiente análisis en la Tabla N° 35: “Capex de Enlace 4G”, Tabla N° 36: “Capex de enlace MO” y Tabla N° 37: “Capex de enlace FO”, se mostrara el costo de la inversión con el enlace en 4G versus de los otros costos de trasmisión que son microondas y Fibra Óptica, A continuación los presentamos:

Tabla N° 35: Capex de enlace 4G

CAPEX ENLACE 4G						
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	I. ADUANERO (16%)	IGV 18%	PRECIO TOTAL
1	Cisco Wireless Cellular Modem - Ehwic(EHWIC-4G-LTE-G)	2	\$717.74	\$114.84	\$149.86	\$1,964.89
2	Antena 4G	2	\$40.83	\$6.53	\$7.35	\$109.41
3	Costo de SIMCARD	2	\$1.49			\$1.49
TOTAL						\$2,075.79

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 36: Capex de enlace FO

CAPEX ENLACE MO						
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	I. ADUANERO (16%)	IGV 18%	PRECIO TOTAL
1	COSTO DE IMPLEMENTACION DE ENLACE MO	2	\$750.00		\$135.00	\$885.00
TOTAL						\$885.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 37: Capex de enlace MO

CAPEX ENLACE FO						
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	I. ADUANERO (16%)	IGV 18%	PRECIO TOTAL
1	COSTO DE IMPLEMENTACION DE ENLACE FO x 100 mts	1	\$5,000.00		\$900.00	\$5,900.00
2	MODULO SFP CISCO	1	\$69.00	\$11.04	\$12.42	\$92.46
TOTAL						\$5,992.46

Fuente: Elaboración propia

Y a continuación mostraremos las tablas con el costo operativo o OPEX de cada uno de estos enlaces para realizar un comparativo del total de inversión durante 5 años mostrando cuanto ha sido el costo de inversión de cada uno de los medios y así comparar los costos y ver cuál de ellos es más rentable desde un punto de vista económico en la siguientes tablas: Tabla N° 38: “OPEX enlace 4G”, Tabla N° 39: “OPEX enlace MO” y Tabla N° 40: “OPEX enlace FO”

Tomando planes comerciales actualmente ofrecidos por los operadores se muestra el costo operativo solamente referido a la renta mensual que se tendría que pagar por el enlace en la Tabla 38 “OPEX enlace 4G”.

Tabla N° 38: OPEX enlace 4G

OPEX ENLACE 4G

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	PLAN 4G 5 GB 200	1	\$ 59.70	\$ 59.70
2	INTERNET MOVIL 10 GB ENTEL	1	\$ 44.78	\$ 44.78
			TOTAL	\$ 104.48

Fuente: Elaboración propia

En las siguientes tablas se tomó como referencia el costo de un enlace dedicado de 5 mbps de dos empresas conocidas en el medio Level 3 y Telefónica, a continuación lo mostramos en las tablas Tabla 39 “OPEX enlace MO” y Tabla 40 “OPEX enlace FO”.

Tabla N° 39: OPEX enlace MO

OPEX ENLACE MO

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	INTERNET DEDICADO 5 MBPS LEVEL 3	1	\$ 750.00	\$ 885.00
2	INTERNET DEDICADO 5 MBPS TELEFONICA	1	\$ 1,100.00	\$ 1,298.00
			TOTAL	\$ 2,183.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 40: OPEX enlace FO

OPEX ENLACE FO

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	INTERNET DEDICADO 5 MBPS LEVEL 3	1	\$ 750.00	\$ 885.00
2	INTERNET DEDICADO 5 MBPS TELEFONICA	1	\$ 1,100.00	\$ 1,298.00
			TOTAL	\$ 2,183.00

Fuente: Elaboración propia

A continuación en la Tabla N° 41: Análisis total del proyecto de inversión de enlaces, se muestra el costo total del proyecto de inversión por cada medio de transmisión para luego realizar el análisis comparativo.

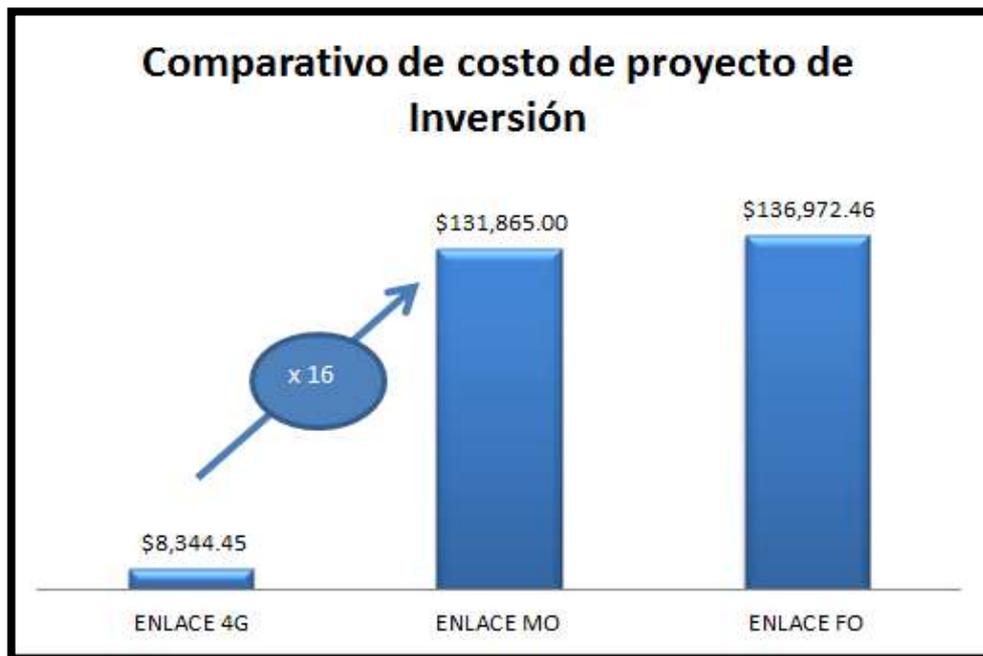
Tabla N° 41: Análisis total del proyecto de inversión de enlaces

CASO DE NEGOCIO	CAPEX	OPEX x 5 años						INVERSION TOTAL (CAPEX + OPEX)	
		Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Total		
ENLACE 4G	\$ 2,075.79	\$ 1,253.73	\$ 1,253.73	\$ 1,253.73	\$ 1,253.73	\$ 1,253.73	\$ 6,268.66	\$ 8,344.45	
ENLACE MO	\$ 885.00	\$ 26,196.00	\$ 26,196.00	\$ 26,196.00	\$ 26,196.00	\$ 26,196.00	\$ 130,980.00	\$ 131,865.00	MO VS 4G 16
ENLACE FO	\$ 5,992.46	\$ 26,196.00	\$ 26,196.00	\$ 26,196.00	\$ 26,196.00	\$ 26,196.00	\$ 130,980.00	\$ 136,972.46	FO VS 4G 16

Fuente: Elaboración propia

Luego de revisar los costos del proyecto de inversión se observa en el siguiente Grafico 79 “Comparativo de costo de proyecto de inversión” que el enlace en 5 años cuesta 16 veces menos que los otros dos medios de transmisión propuestos dejando en claro que por la parte económica el resultado es óptimo para optar por este tipo de solución.

Grafico 79 “Comparativo de costo de proyecto de inversión”



Fuente: Elaboración Propia

4.2.1.3 Presentación de resultados de comparación con otros medios de transmisión.

A continuación después de visto el análisis económico presentamos algunas ventajas y desventajas sobre estos medios de transmisión. Ver Tabla N° 42 “Comparativo de medios de Transmisión”

Tabla N° 42: Comparativo de medios de Transmisión

	VENTAJAS	DESVENTAJAS
MICROONDAS	<ul style="list-style-type: none"> . Inversion menor . Instalacion rapida. . Conservacion y mantenimiento economico y de actuacion rapida. 	<ul style="list-style-type: none"> . Explotacion restringida a tramos con visibilidad directa para los enlaces. . Necesidad de acceso adecuado a las estaciones repetidoras en las que hay que disponer de energia y acondicionamiento para los equipos y servicios de conservacion.
FIBRA OPTICA	<ul style="list-style-type: none"> . La fibra optica hace posible navegar po internet a una velocidad de 100MBps. . Acceso ilimitado y continuo las 24 horas del dia, sin congestiones. . Compatibilidad con la tecnologia digital. . Facil de instalar. 	<ul style="list-style-type: none"> . El costo de instalacion es demasiado caro. . Fragilidad de las fibras. . Disponibilidad limitada de conectores. . Dificultad de reparar un cable de fibra roto en el campo.
LTE (4G)	<ul style="list-style-type: none"> . Mayor velocidad a la usada por fibra optica, con tendencia a futuro de llegar a 1Gbps. . Presente menor saturacion, esto lleva a que puedan conectarse mayor usuarios en un mismo instante de tiempo. . Inversion menor. . Instalacion rapida. 	<ul style="list-style-type: none"> . Cobertura limitada . Plan de datos limitado.

Fuente: Elaboración Propia

4.3 Análisis y discusión de los resultados

La implementación de Datacenter móviles es una tendencia dinámica que permite llevar a cabo proyectos en muy corto plazo y con altos beneficios en lo que respecta a poder de cómputo y optimización del espacio físico, además se beneficia por las nuevas técnicas de enfriamiento forzado por agua a través de esquemas in-row, lo cual hace que no sea necesario la distribución clásica de pasillos frío y caliente. Este nuevo esquema de consolidación se realiza en contenedores especialmente diseñados para tal fin, y se puede estimar que el ahorro de espacio puede rondar en un cociente de 4:1 respecto al espacio ocupado por un Datacenter convencional, con capacidades similares de cómputo y con ahorros de energía de hasta un 40%, una de las ventajas competitivas de esta solución arquitectónica tecnológica a tener en cuenta.

Estas estructuras móviles cumplen los mismos estándares de exigencia que los sistemas convencionales, con un detalle particular en la eficiencia energética en el proceso de refrigeración de los equipos. Beneficios de esta tecnología:

- Escalabilidad: Dado su diseño modular, el crecimiento es un punto importante porque si se requiere mayor capacidad, solo restaría agregar módulos adicionales con su energía y climatización independiente, lo que evita operaciones complejas de migración.
- Eficiencia: Dependiendo de la cantidad de módulos y de la carga de los equipos en potencia consumida, con el sistema inteligente de climatización de áreas, se adapta al crecimiento dinámicamente.
- Economía: Al ser modular no se invierte en capacidad o espacio que no se usará, la optimización del uso de la energía y el enfriamiento conlleva a economías de costos operativos.
- Rapidez en la puesta operativa: Con un Datacenter móvil, se evitan los costos y retardos iniciales de tener que pasar por el proceso de Construcción de obras civiles y esto repercute en el desarrollo de un proyecto de esta envergadura. El Datacenter móvil está disponible en un tiempo mucho menor.

Este nuevo modo de conectividad permitirá que el Datacenter móvil sea realmente definido como tal, pues la conectividad que tendrá hacia las redes públicas hará que la conexión sea óptima en los distintos lugares que se requiera instalar.

CONCLUSIONES

1. Luego de realizar varios análisis sobre normas y diseños de red, se puede concluir que no siempre se cumplirá con la totalidad ya que las características de implementación de un data center móvil se definirá en el diseño final que el cliente considere. Lo que se debe procurar es buscar soluciones que más se acerquen a las recomendaciones de las diferentes normas.
2. Como hemos visto en el diseño de un data center móvil, basado en contenedores, el presupuesto para la implementación es bastante más económica respecto a una construcción civil dentro de las instalaciones de la empresa, pues esto demanda tiempo en la elaboración y ejecución. Con el paso del tiempo, la evolución tecnológica nos ayuda a optimizar los recursos con el fin de minimizar el impacto en cuanto a costos, dándonos la facilidad de aprovechar enlaces ya instalados que cumple las mismas consideraciones (normas) que las que comúnmente se instala en un data center.
3. En la implementación realizada, se ha podido concluir la factibilidad del uso de las redes públicas para optimizar el data center móvil, lo que nos permitirá instalarlo en cualquier punto, a nivel nacional, que cuentan con la tecnología de 3G y 4G.

RECOMENDACIONES

1. Recomendamos este tipo de implementación a medianas empresas ubicadas en zonas rurales o urbanas que presenten accesibilidad a las tecnologías 3G y LTE, ya que se usara solo los servicios de datos a una tasa de velocidad en subida y bajada aproximadamente de 8Mbps
2. El tipo de implementación presenta bajo costo en comparación de un data center convencional, debido a que se reducen la cantidad de dispositivos y equipos, principalmente el costo del cableado por fibra óptica.
3. El Data Center móvil tiene menor afectación ante los desastres naturales, debido a que prevé las condiciones ambientales óptimas para sus servidores sin importar lo severo del ambiente donde se encuentren, adicionalmente contempla mejor seguridad ya que mitiga los tiempos de atentados ante vandalismos.
4. Se recomienda la implementación debido al menor costo de traslado del equipamiento, esto debido a que los equipos se encuentran anclados a la tierra y el transporte será del container, en cambio en un data center convencional se tiene que cotizar el traslado por cada proveedor de los equipos y por ende el costo será mayor en este caso.
5. La implementación del enlace será más rápida, debido que no es necesario reconfigurar los parámetros de un router, esto siempre y cuando se use el mismo operador para los servicios de datos.

BIBLIOGRAFIA

Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM), detallada en el sitio [http://profesores.elo.utfsm.cl/~agv/elo322/1s14/projects/reports/G20/Redes%20Privadas%20Virtuales%20\(VPN\).pdf](http://profesores.elo.utfsm.cl/~agv/elo322/1s14/projects/reports/G20/Redes%20Privadas%20Virtuales%20(VPN).pdf), es utilizada en el área de networking. (Referencia: Capítulo II de la presente Tesis)

Universidad de Santo Carlos de Guatemala (USCG), detallada en el sitio http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0610_CS.pdf, es utilizada en el área de sistemas. (Referencia: Capítulo II de la presente Tesis)

Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), detallada en el sitio http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/196/CASTILLO_LILIANA_DISENO_INFRAESTRUCTURA_DATA_CENTER.pdf?sequence=2, es utilizada en el área de telecomunicaciones. (Referencia: Capítulo II de la presente Tesis)

Cisco (Cisco), detallada en el sitio http://www.cisco.com/c/dam/en/us/products/collateral/interfaces-modules/4g-lte-wireless-wan-enhanced-high-speed-wan-interface-card/ehwic_4g_ltehwh.pdf, es utilizada en el área de networking. (Referencia: Capítulo IV de la presente Tesis – Elementos de Red)

Cisco (Cisco), detallada en el sitio http://www.cisco.com/web/LA/docs/pdf/2900_data_sheet_c78_553896.pdf, es utilizada en el área de networking. (Referencia: Capítulo IV de la presente Tesis – Elementos de Red)

Cisco (Cisco), detallada en el sitio

<http://www.cisco.com/c/en/us/support/interfaces-modules/4g-lte-wireless-wan-enhanced-high-speed-wan-interface-card/model.html#CaseStudies>, es utilizada en el área de networking. (Referencia: Capítulo IV de la presente Tesis – Elementos de Red)

Cisco (Cisco), detallada en el sitio

<http://www.cisco.com/c/en/us/support/interfaces-modules/4g-lte-wireless-wan-enhanced-high-speed-wan-interface-card/model.html>, es utilizada en el área de networking. (Referencia: Capítulo IV de la presente Tesis – Elementos de Red)

Cisco (Cisco), detallada en el sitio

<http://www.cisco.com/c/en/us/products/interfaces-modules/4g-lte-wireless-wan-enhanced-high-speed-wan-interface-card/index.html>, es utilizada en el área de networking. (Referencia: Capítulo IV de la presente Tesis – Elementos de Red)

Cisco (Cisco), detallada en el sitio

<http://www.cisco.com/c/en/us/products/interfaces-modules/3g-wireless-wan-high-speed-wan-interface-card/index.html>, es utilizada en el área de networking. (Referencia: Capítulo IV de la presente Tesis – Elementos de Red)

Cisco (Cisco), detallada en el sitio

<http://www.cisco1900router.com/how-to-recover-cisco-2921-cisco-2951-router-password.html>, es utilizada en el área de networking. (Referencia: Capítulo IV de la presente Tesis – Elementos de Red)

Amazon (Amazon), detallada en el sitio [http://www.amazon.com/Cisco-](http://www.amazon.com/Cisco-CISCO2911-K9-Integrated-Services/dp/B002ZCUCLS)

[CISCO2911-K9-Integrated-Services/dp/B002ZCUCLS](http://www.amazon.com/Cisco-CISCO2911-K9-Integrated-Services/dp/B002ZCUCLS), es utilizada para la elaboración de presupuestos. (Referencia: Capítulo IV de la presente Tesis – Elementos de Red)

Anexo 1 Datasheet del Packetshaper

**BLUE
COAT**

Security
Empowers
Business

VISIBILITY AND OPTIMIZATION FOR NETWORKED TRAFFIC

Blue Coat PacketShaper

Blue Coat PacketShaper is a cloud-connected WAN and internet appliance that provides visibility into applications and web content on your network, along with powerful application-level QoS policy management. A core element of the Blue Coat Performance Center, PacketShaper is integrated with Blue Coat WebPulse to provide real-time traffic discovery and classification of hundreds of applications, millions of websites, and billions of web pages. With this intelligence, managers can configure bandwidth caps for disruptive applications and content, reserve bandwidth for key operational applications, or guarantee fair allocation of bandwidth across virtual desktop users.

Critical applications need to move at the speed of business. With PacketShaper, you can monitor and control application performance even web-connected applications while managing the increasing volume of web traffic based on content categories.

Monitoring

Before you can optimize application performance, you need an accurate picture of network traffic. The Monitoring Module, which delivers the core functionality of PacketShaper, automatically classifies and measures network traffic by application and in the case of web traffic by content category. Integration with Microsoft Active Directory provides a user-based view of traffic to help administrators understand who is driving traffic on their networks. This unmatched visibility into network traffic gives you the insight of a probe but with far more sophistication. PacketShaper offers application-intelligent Layer 7+ visibility that integrates with WebPulse, the collaborative defense providing real-time content categorization. In addition to reporting on network and application utilization and

performance, the Monitoring Module validates common protocols and tracks what happens to each connection established by any application.

As the proportion of web-based traffic continues to increase, PacketShaper provides invaluable management of web-connected applications such as SaaS, Social Media, recreational video, and audio/video communication. All web content requested by users is categorized under logical headings such as Collaboration, Games, and Social Networking. This latest advance in web content control and web threat visibility helps you assess the impact of recreational traffic, security threats such as malware and phishing, and undesirable content that can raise legal and compliance concerns.

Once traffic has been identified, PacketShaper monitors performance over 100 stats per application class in real time. PacketShaper tracks the bandwidth consumed by applications and web content categories, the response times of key applications by network and server delay, and key stats like TCP health, efficiency and retransmissions to aid

in troubleshooting. PacketShaper also powers targeted packet traces for use with protocol analysis tools.

Real-time performance metrics include mean opinion score (MOS), jitter, delay, and loss for voice and video conferencing traffic over RTP. All these capabilities can integrate into your performance management environment, providing intelligent thresholds and alerts when problems are about to occur.

Identify and classify applications, web content, and web threats. Monitor performance in real time and gather the evidence you need to solve performance issues.

Shaping

PacketShaper does more than just monitor and measure. The Shaping Module provides powerful QoS tools to protect preferred applications and web content categories while containing the impact of undesirable traffic. With PacketShaper, you can:

- Guarantee bandwidth to latency-sensitive applications such as voice, video and virtual desktops.

PR

BLUE COAT

Security
Empowers
Business

Allow access to social network sites like Facebook, but limit bandwidth to games like Farmville.

Control the impact of acceptable (but lower priority) web traffic on business-critical applications.

With patented TCP rate control, the Shaping Module can guarantee per-flow bandwidth and automatically enforce appropriate transfer rates for computers at the far end of the network to deliver bidirectional QoS.

Protect the best, contain the rest. Align network content with your priorities by speeding up or slowing down applications and web content categories.

Compression

Some types of network traffic make inefficient use of available bandwidth. By optimizing traffic in real time, the Compression Module instantly increases WAN capacity, improving application performance and user response

times. Using a symmetric, application-intelligent architecture, the Compression Module identifies compressible traffic and applies the appropriate compression technology, increasing capacity from two to four times, reducing bandwidth usage, and minimizing WAN latency.

Reclaim wasted bandwidth from existing physical links. Enhance the user experience.

PACKETSHAPER SERIES	1700	3500	7500	12000 12000 ISP ¹
MAXIMUM CAPACITY				
IP Connections	30,000	30,000	30,000	30,000 30,000
IP Flows (L2/L3)	10,000	20,000	100,000	225,000 400,000
Classes	512	1,024	1,024	2,048 5,000 / 10,000
Dynamic Partitions	1,024	1,024	10,000	30,000 30,000
CLASSIFICATION				
Shaping Policies	512	1,024	1,024	2,048 5,000
Max # of Matching Rules	2,500	2,500	5,120	12,288 30,000 / 25,000
IP Hops ²	10,000	20,000	100,000	300,000 640,000
SOFTWARE OPTIONS AND UPGRADES				
Monitoring Only	Yes	Yes	Yes	Yes
Link Speeds with	2 Mbps	2 Mbps	10 Mbps	200 Mbps
Shaping Options	6 Mbps 10 Mbps 40 Mbps	6 Mbps 10 Mbps 40 Mbps 100 Mbps	40 Mbps 100 Mbps 200 Mbps	300 Mbps 1 Gbps 2 Gbps
Capacity	10 Mbps	20 Mbps	40 Mbps	100 Mbps / 200 Mbps
INTERFACES				
Onboard Ports (Pair)	Copper: 1x10/100/1000 Mbps	Copper: 1x10/100/1000 Mbps	Copper: 1x10/100/1000 Mbps	Copper: 1x10/100/1000 Mbps
LAN Expansion Modules	N/A	Up to 2 dual-port modules Copper: 10/100/1000 Mbps Fiber: SFP	Up to 2 dual-port modules Copper: 10/100/1000 Mbps Fiber: SFP	Copper, dual-port (1): 10/100/1000BASE-T or 10GBASE-CM4 Copper, four-port (1): 10/100/1000BASE-F Fiber, dual-port (1): 1000BASE-SX, 1000BASE-LX, 10GBASE-SR, 10GBASE-LR Fiber, four-port (1): 1000BASE-SX or 1000BASE-LX
Network Band Management	Yes	Yes	Yes	Yes - 1000BASE-SX or 1000BASE-LX
Console Port	All have RS-232 (RT-compliant) with male DB-9 connectors			

BLUE COAT

Security Empowers Business



PACKETSHAPER SERIES	1700	3500	7500	12000 12000 ISP ¹
PHYSICAL PROPERTIES (19 INCH RACK-MOUNTABLE)				
Dimensions (L x W x H)	(16.87 x 14.1 cm) (17.4 x 14.2 cm) (17.2 x 14.43 cm)	(16 x 10.04 cm) (17.26 x 10.07 cm) (17.5 x 10.06 cm)	(16 x 10.04 cm) (17.35 x 10.07 cm) (17.5 x 10.06 cm)	(17.44 x 10.71 cm) (16.83 x 10.0 cm) (17.00 x 10.30 cm)
Weight	14.6 (6.35 kg)	16.04 (8.18 kg)	20.48 (9.29 kg)	36.5 (16.5 kg)
POWER				
Power Supply	Internal 100W AC Switching PSU	Internal 100W AC Switching PSU	Internal 100W AC Switching PSU	Internal 100W AC Switching PSU
Dual, Redundant Load Sharing	No	No	Yes, Hot-swappable	Yes, Hot-swappable
ADDITIONAL FEATURES				
Interoperability	XML, XML and CGI APIs, SNMP, MIB, SNMP event traps, HP Openview, Inroads, CA eHealth, IBM Trust, Microsoft Network			
Device Management	Console access, Web browser interface, Telnet CLI, SNMP Blue Coat MIB and MIB-II support			
REGULATION				
EMC/EMI	CISPR22/CISPR14 International, EN55022/EN55024 IEC/Furukawa, FCC part 15 515A, ICES-003 (Canada), VCCI V-3 (Japan), AS/NZS CISPR22 (Australia/New Zealand), CNS12458 (RSM), E1318-22/51218-24 (Taiwan), GS9034/GS17625 (China), EN55022/EN55024 (Europe), Tested to Class A Emissions for all standards.			
Environmental	RoHS-Directive 2011/65/EU, REACH-Registration No. 1907/03005			
More Info	Contact RegulatoryInfo@bluecoat.com for specific certifications or additional support.			

Note: Not all capacity specifications can be maximized simultaneously.
¹ PacketShaper can support more hosts and flows; these figures represent ideal maximums for producing optimal results; numbers are rounded up or down to the nearest thousand. These maximums represent concurrent flows.
² Flatters to post-compressed traffic rates - maximum compressed throughput specifications for PacketShaper are lower when compression is enabled due to the extra processing power required to compress traffic.
³ PacketShaper 12000 has a configuration option for ISP loads, which adds capacity for classes and flows but does NOT provide certain features including compression and response time statistics, among others. The higher values shown for PacketShaper 12000 are enabled by an optional license.

Blue Coat Systems Inc.
www.bluecoat.com

Corporate Headquarters
Sunnyvale, CA
+1.408.220.2200

EMEA Headquarters
Hampshire, UK
+44.1252.554800

APAC Headquarters
Singapore
+65.6826.7000

© 2014 Blue Coat Systems, Inc. All rights reserved. Blue Coat, the Blue Coat logo, ProxySG, PacketShaper, CatalystFlow, IntelligenceCenter, CatalystOS, CatalystFlow, CloudStream, WebSecure, WebFilter, WebFilter, WebFilter, ProxySG, ProxyClient, SSO, WebPulse, Socks Networks, the Socks Networks logo, Discover, See Everything, Know Everything, Security Empowers Business, and BlueCoat are registered trademarks or trademarks of Blue Coat Systems, Inc. or its affiliates in the U.S. and certain other countries. This list may not be complete, and the absence of a trademark here does not mean it is not a trademark of Blue Coat or that Blue Coat has stopped using the trademark. All other trademarks mentioned in this document owned by third parties are the property of their respective owners. This document is for informational purposes only. Blue Coat makes no warranties, express, implied, or statutory, as to the information in this document. Blue Coat products, technical services, and any other technical data referenced in this document are subject to U.S. export control and destination laws, regulations and requirements, and may be subject to export or import regulations in other countries. You agree to comply strictly with these laws, regulations and requirements, and acknowledge that you have the responsibility to obtain any licenses, permits or other approvals that may be required in order to export, re-export, transfer in country or import after delivery to you. a DS-PACKETSHAPER-EN-May-0814