



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA**

**METODOLOGÍAS, HERRAMIENTAS Y CRITERIOS PARA LA PLANIFICACIÓN
GENERAL DE PLATAFORMAS DE TELECOMUNICACIONES**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL ELECTRICISTA

ALEXIS RODRIGO IGA JADUE

**PROFESOR GUÍA:
ALFONSO EHIJO BENBOW**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
HELMUTH THIEMER WILCKENS
JORGE LÓPEZ HIDALGO**

**SANTIAGO DE CHILE
JULIO 2007**

RESUMEN DE LA MEMORIA
PARA OPTAR AL TITULO DE
INGENIERO CIVIL ELECTRICISTA
POR: ALEXIS RODRIGO IGA JADUE
FECHA: 23/07/2007
PROF. GUIA: ALFONSO EHIJO BENBOW.

METODOLOGÍAS, HERRAMIENTAS Y CRITERIOS PARA LA PLANIFICACIÓN DE PLATAFORMAS DE REDES DE TELECOMUNICACIONES

La demanda de servicios de telecomunicaciones ha estado siempre en un constante aumento, y además los usuarios van requiriendo nuevos servicios, por este motivo, las redes existentes necesitan periódicamente renovarse aumentando su capacidad e implementando nuevas tecnologías que soporten estos nuevos servicios. Lo anterior lleva a que las empresas estén obligadas a realizar enormes inversiones. La tarea del planificador es proponer un tamaño, capacidad, topología, tecnologías y ubicación de las redes de telecomunicaciones de manera que se adapten de la mejor manera a la situación de demanda actual y futura, para así invertir lo justo y necesario.

El futuro de las telecomunicaciones se enfoca en las redes NGN las cuales están orientadas principalmente al protocolo IP, la calidad de servicio, la utilización de una única red para soportar múltiples servicios y la adaptación a cualquier tecnología de acceso.

El trabajo realizado en este documento consiste en presentar una metodología de planificación general de plataformas de telecomunicaciones, separadas en plataformas cableadas e inalámbricas. Para esto primero se generalizan los elementos presentes en una red, llegando a la conclusión de que se compone de equipos de conmutación, servidores de red, equipos terminales y gateways. Luego se especifica cuáles son las entradas, salidas, restricciones y recursos que intervienen en el proceso de planificación, primero de manera general y luego de forma más detallada en la obtención de las salidas del sistema.

A lo anterior se le debe agregar una descripción de las características que deben poseer las herramientas de planificación, que se separan principalmente en un bloque de optimización, otro de simulación y por último uno de análisis de resultados.

Considerando el enfoque general que presenta esta memoria, la metodología conseguida en este documento, para redes cableadas como inalámbricas, consiste en el planteamiento de un problema de optimización que considera los principales aspectos que intervienen en la planificación, expresados de una manera que se adecua a cualquier solución tecnológica. Para probar el método propuesto se realizan dos ejemplos, uno de una red cableada y otro de una red inalámbrica, observando y comentando los resultados obtenidos.

Además, estas metodologías pueden ser adaptadas a cualquier situación, agregando nuevas variables al problema, y usualmente dejando casi intacto el planteamiento inicial que se muestra en este documento.

En el futuro, se pretende que esta memoria sea la base para la creación de un software de planificación que permita ayudar al planificador. También, este documento puede ser la base de un curso de planificación en donde se enseñen los conceptos más generales de este proceso. Finalmente se le puede realizar mejoras al modelo de planificación planteado, para ir complementándolo con nuevas consideraciones.

*“A mis abuelitos Choe y María,
a mi mamá Ivette,
a mi hermano Jorge y
a mi Negra”*

Agradecimientos

En esta etapa tan importante de mi vida, primero que nada quisiera agradecer a mi familia, mi madre que con su apoyo, dedicación y preocupación fue y seguirá siendo un pilar muy importante en el desarrollo de mi vida, mis abuelos, los cuales me dieron la oportunidad de tener una excelente educación, sin ellos no hubiera podido lograr todo lo que logré y mi camino sería muy distinto. También quisiera agradecer a mi hermano quién me enseñó muchas de las cosas básicas de la vida y por último a mi padre quien con sus palabras de aliento me impulsaban a no desesperar, los quiero mucho a todos.

También quisiera agradecer a una persona maravillosa, que estuvo en casi todo mi proceso de estudio, que me acompañó y alentó en los buenos y malos momentos, siempre ha sido un gran apoyo y me dio la tranquilidad que necesitaba en los momentos de mayor estrés. Giselle eres mi polola, mi mujer, mi compañera, mi consejera, mi negra.

Sin lugar a dudas, no puedo dejar de mencionar y agradecer a mis compañeros de universidad, con los que compartimos horas de estudio, trabajos, informes, risas y penas, los que siempre estuvieron ahí cuando necesitaba su apoyo o ellos necesitaban el mio, Priscila, Cristián, Juan, Khalil, Leiva, Italo, Feloch y Chascón.

No puedo dejar de mencionar a Choko, Mauricio, Paulina, Ariel, Cristián Jara y Romina, quienes me apoyaron mucho en este proceso de titulación y me ayudaron con ese impulso que es tan importante y que muchas veces uno necesita.

Quisiera agradecer también a mi profesor guía, Alfonso Ehijo, por darme la oportunidad y el apoyo para realizar esta memoria, y algunas enseñanzas que me servirán mucho en la vida laboral.

Finalmente quiero agradecer a mis amigos del colegio, esos incondicionales, esos que pocos logran llegar a tener, los amigos de toda mi vida, mis mejores amigos, Max, Juan, Raab, Eric, Aldunate, Bartolo, Christian, Augui, Clex, Limón y Albala.

Sin el Apoyo Todos Uds, Nada Tendría Sentido.

Los Quiero Mucho
Gracias

Índice General

AGRADECIMIENTOS	IV
ÍNDICE GENERAL	I
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
ÍNDICE DE ECUACIONES	X
INTRODUCCIÓN	1
1.1 MOTIVACIÓN	1
1.2 ALCANCE	1
1.3 OBJETIVOS	2
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.5 DESCRIPCIÓN DEL DOCUMENTO	3
ANTECEDENTES	5
2.1 CLASIFICACIÓN DE REDES	5
2.1.1 CAPA DE CORE	6
2.1.2 CAPA DE DISTRIBUCIÓN	7
2.1.3 CAPA DE ACCESO	7
2.2 CONCEPTO Y ARQUITECTURA DE LAS REDES NGN	7
2.2.1 DEFINICIÓN DE NGN	7
2.2.2 EXIGENCIAS EN LA INFRAESTRUCTURA DE UNA RED NGN	8
2.2.3 IMS	9
2.3 SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES	10
2.3.1 SERVICIOS DE RED	10
2.3.2 SERVICIOS DE VOZ	11
2.3.2.1 Telefonía IP	12
2.3.2.1.1 Descripción	12
2.3.2.1.2 Requerimientos	12
2.3.2.1.3 Arquitectura de una red VoIP	18
2.3.2.2 Voz en demanda	20
2.3.3 SERVICIOS DE VIDEO	22
2.3.3.1 Video Broadcast	22
2.3.3.2 Videoconferencia	23
2.3.3.3 Video en Demanda	24
2.3.4 SERVICIOS DE DATOS	24
2.4 PLATAFORMAS DE TELECOMUNICACIONES	26
2.4.1 PLATAFORMAS DE SERVICIOS	26

2.4.1.1	Plataforma E-learning	26
2.4.1.2	Plataforma de E-commerce	29
2.4.1.3	Plataforma IP Contact Center	29
2.4.1.4	Servidores de Datos	29
2.4.1.5	Servidores de Acceso	30
2.4.2	PLATAFORMAS DE RED	30
2.4.2.1	Plataforma IMS	30
2.4.2.1.1	Capa de conectividad	31
2.4.2.1.2	Capa de Control	32
2.4.2.1.3	Capa de Servicios y Aplicaciones	32
2.4.2.2	Plataforma UMTS	32
2.4.2.3	Plataforma IP-MPLS	36

METODOLOGÍA **38**

3.1	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	38
3.1.1	ENTRADAS	39
3.1.2	SALIDAS	41
3.1.2.1	Capacidades de los Equipos	41
3.1.2.2	Ubicación de Equipos	41
3.1.2.3	Cobertura de Equipos	41
3.1.2.4	Tipo de Tecnología, Equipos y Líneas de Transmisión	41
3.1.2.5	Distribución de Frecuencias	42
3.1.2.6	Tiempos	42
3.1.2.7	Infraestructura de Edificios	42
3.1.3	RESTRICCIONES	44
3.1.3.1	Restricción Temporal	44
3.1.3.2	Restricciones Técnicas	44
3.1.3.3	Restricción Geográfica	44
3.1.3.4	Restricción de Costos	44
3.1.3.5	Restricciones Estratégicas	44
3.1.3.6	Restricciones Legales	45
3.1.3.7	Restricciones Ambientales	45
3.1.3.8	Restricción de Frecuencias	45
3.1.4	RECURSOS	45
3.2	GENERALIZACIÓN DE LAS PLATAFORMAS DE TELECOMUNICACIONES	46
3.3	PASOS A SEGUIR	48
3.3.1	CONVERSIÓN DE DEMANDA DE SERVICIOS A PARÁMETROS DE RED	48
3.3.2	EVALUACIÓN DE EXPANSIÓN, REUTILIZACIÓN E INSTALACIÓN DE EQUIPOS EN INFRAESTRUCTURA YA EXISTENTE	49
3.3.3	PROCESO DE PLANIFICACIÓN CABLEADO	50
3.3.3.1	Planificación de Cobertura	50
3.3.3.2	Planificación de capacidad	51
3.3.3.3	Ubicación de los centros	52
3.3.3.4	Elección de Tecnología, Equipos y Líneas de Transmisión	53
3.3.3.5	Planificación Temporal	54
3.3.3.6	Planificación de Infraestructura de/en puntos de distribución y Edificio Corporativo	56
3.3.4	PROCESO DE PLANIFICACIÓN INALÁMBRICO	57
3.3.4.1	Ideas Generales	57
3.3.4.2	Planificación General de Redes Inalámbricas	58
3.3.4.2.1	Dimensionamiento de la Red	58
3.3.4.2.2	Planificación Detallada	58

3.3.4.2.3	Optimización	59
3.3.4.3	Planificación de cobertura	59
3.3.4.4	Planificación de capacidad	60
3.3.4.4.1	GSM / GPRS / EDGE	61
3.3.4.4.2	UMTS	62
3.3.4.4.3	WiMAX	63
3.3.4.5	Planificación de frecuencia	65
3.4	HERRAMIENTAS DE PLANIFICACIÓN	68
3.5	CONSIDERACIONES PARA EL DESARROLLO DE LOS EJEMPLOS DE PLANIFICACIÓN	69
3.5.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA CABLEADO	69
3.5.2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA INALÁMBRICO	71

RESULTADOS **73**

4.1	METODOLOGÍA DE PLANIFICACIÓN CABLEADA	73
4.1.1	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	73
4.1.2	VARIABLES	74
4.1.3	PARÁMETROS	74
4.1.4	CONJUNTOS	75
4.1.5	RESTRICCIONES	75
4.1.6	FUNCIÓN OBJETIVO	78
4.1.7	PROBLEMA DE OPTIMIZACIÓN	78
4.2	METODOLOGÍA DE PLANIFICACIÓN INALÁMBRICA	81
4.2.1	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	81
4.2.2	VARIABLES	81
4.2.3	PARÁMETROS	82
4.2.4	CONJUNTOS	82
4.2.5	RESTRICCIONES	83
4.2.6	FUNCIÓN OBJETIVO	85
4.2.7	PROBLEMA DE OPTIMIZACIÓN	85
4.3	CARACTERÍSTICAS DE LAS HERRAMIENTAS UTILIZADAS EN EL PROCESO DE PLANIFICACIÓN	86
4.3.1	PREPARACIÓN DE LOS DATOS DE ENTRADA	87
4.3.1.1	Mapa Digital	87
4.3.1.2	Plan	87
4.3.1.3	Editor de Antenas y de Equipos de Conmutación	88
4.3.1.4	Editor de Modelos de Propagación	88
4.3.2	PLANIFICACIÓN	88
4.3.2.1	Importar Información Histórica de la Red	88
4.3.2.2	Editar Nodos, Enlaces, Sitios y Celdas	88
4.3.2.3	Requerimientos de Servicio y Modelos de tráfico	88
4.3.2.4	Módulo de Optimización	89
4.3.3	SIMULACIÓN DE LA RED SOLUCIÓN	89
4.3.3.1	Simulación Simple	89
4.3.3.2	Simulación Avanzada	89
4.3.4	ANÁLISIS DE RESULTADOS	90
4.3.5	INFORMES DE RESULTADOS	90
4.3.6	COMPATIBILIDAD DE TRABAJO CON OTRAS HERRAMIENTAS	90
4.4	IMPLEMENTACIÓN DE LOS MODELOS DE OPTIMIZACIÓN	91
4.4.1	EJEMPLO DEL MODELO CABLEADO	91
4.4.1.1	Generación de parámetros	91
4.4.1.2	Prueba del Modelo	93
4.4.1.3	Resultados Obtenidos	96

4.4.2	EJEMPLO DEL MODELO INALÁMBRICO	99
4.4.2.1	Generación de Parámetros	99
4.4.2.2	Prueba del modelo	103
4.4.2.3	Resultados Obtenidos	104
4.4.2.3.1	Primer Caso	105
4.4.2.3.2	Segundo Caso	106
4.4.2.3.3	Tercer Caso	106
4.4.2.3.4	Cuarto Caso	108
DISCUSIONES		110
<hr/>		
5.1	DISCUSIÓN GENERAL	110
5.2	COMPARATIVA	113
5.3	ANÁLISIS DE LOS EJEMPLOS	114
5.3.1	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL EJEMPLO CABLEADO	114
5.3.2	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL EJEMPLO INALÁMBRICO	114
5.3.2.1	Caso 1: 15x15 Cuadrículas Con la Demanda Completa	114
5.3.2.2	Caso 2: 15x15 Cuadrículas con la Demanda Dividida en un Factor 100	115
5.3.2.3	Caso 3: 10x10 Cuadrículas con la Demanda Dividida en un Factor 100	115
5.3.2.4	Caso 4: 10x10 Cuadrículas con la Demanda Completa	115
5.4	MEJORAS A LOS MODELOS	116
CONCLUSIONES		118
<hr/>		
6.1	CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS	118
6.2	OPINIÓN PERSONAL	120
6.3	TRABAJOS FUTUROS	120
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		121
<hr/>		
7.1	LIBROS	121
7.2	MEMORIAS Y TESIS DOCTORALES	121
7.3	PUBLICACIONES	122
7.4	PÁGINAS WEB	123
DEFINICIONES Y ACRÓNIMOS		124
<hr/>		
8.1	DEFINICIONES	124
8.2	ACRÓNIMOS	126
ANEXOS Y TABLAS		130
<hr/>		
9.1	PLANES TÉCNICOS FUNDAMENTALES	130
9.1.1	PLAN DE ENCAMINAMIENTO	131
9.1.2	PLAN DE NUMERACIÓN	132
9.1.3	PLAN DE FACTURACIÓN	133
9.1.4	PLAN DE TRANSMISIÓN	133
9.1.5	PLAN DE SEÑALIZACIÓN	134
9.1.6	PLAN DE SINCRONIZACIÓN	135

9.1.7	CALIDAD DE SERVICIO	135
9.1.7.1	Seguridad de funcionamiento	135
9.1.7.2	Grado del servicio	135
9.1.7.3	Plan de mantenimiento	136
9.1.7.4	Plan de operaciones	136
9.2	PLANES DE DESARROLLO	136
9.2.1	PLANES ESTRATÉGICOS	137
9.2.2	PLANIFICACIÓN A LARGO PLAZO CON PLANES MAESTROS	137
9.2.3	PLANIFICACIÓN A MEDIANO PLAZO CON PROYECTOS	138
9.2.4	PLANIFICACIÓN A CORTO PLAZO CON PROGRAMAS ANUALES	138
9.2.5	IDEAS GENERALES	138
9.3	TECNOLOGÍAS DE REDES DE TELECOMUNICACIONES	139
9.3.1	REDES DE CORE	139
9.3.1.1	MPLS (Multiprotocol Label Switching)	139
9.3.1.1.1	Estructura de una red MPLS	140
9.3.1.1.2	Aplicaciones MPLS	141
9.3.1.1.3	Redes Privadas Virtuales MPLS	142
9.3.1.2	Asynchronous Transfer Mode (ATM)	142
9.3.1.3	Metro Ethernet	144
9.3.1.3.1	Modelo básico	145
9.3.1.3.2	Definición de Servicios MEF	146
9.3.2	REDES DE DISTRIBUCIÓN	148
9.3.2.1	Enlaces microondas	148
9.3.3	REDES DE ACCESO	149
9.3.3.1	Cableadas Fijas	149
9.3.3.1.1	ADSL	149
9.3.3.1.2	Ethernet	152
9.3.3.1.3	HFC	156
9.3.3.2	Inalámbrica Fijas	159
9.3.3.2.1	WiMAX	159
9.3.3.3	Inalámbricas Móviles	163
9.3.3.3.1	GSM	163
9.3.3.3.2	GPRS	163
9.3.3.3.3	EDGE	164
9.3.3.3.4	Transición a la 3 ^{era} Generación	164
9.3.3.3.5	IMT-2000 (3G)	166
9.4	REQUISITOS FUNDAMENTALES DE LAS REDES NGN	168
9.5	CALIDAD DE SERVICIO	170
9.5.1	CONCEPTOS BÁSICOS DE QOS	170
9.5.2	PARÁMETROS DE DESEMPEÑO DE QOS	171
9.5.3	FUNCIONAMIENTO DE QOS	172
9.5.4	TECNOLOGÍAS DE QOS	172
9.5.4.1	Servicios diferenciados (Diffserv)	172
9.5.4.2	802.1p	173
9.5.4.3	Servicios integrados (Intserv)	174
9.5.4.4	ATM e ISSLOW	174
9.5.5	SERVICE LEVEL AGREEMENT	174
9.6	FUENTES DE RETARDO DE TELEFONÍA IP	176
9.6.1	RETARDO POR CODIFICACIÓN	176
9.6.2	RETARDO DE PAQUETIZACIÓN	177
9.6.3	RETARDO DE SERIALIZACIÓN	177
9.6.4	RETARDO DE COLA	178
9.6.5	RETARDO DE PROPAGACIÓN	178

9.6.6	RETARDO DE CONMUTACIÓN	178
9.6.7	RETARDO DE “DE-JITTER”	178
9.6.8	RETARDO TOTAL	178
9.7	PROTOCOLOS DE LAS REDES VOIP	179
9.7.1	PROTOCOLO H.323	180
9.7.1.1	Dispositivos de una red VoIP H.323	180
9.7.1.2	Protocolos utilizados en H.323:	182
9.7.2	PROTOCOLO SIP	183
9.7.2.1	Componentes del protocolo SIP	184
9.7.2.1.1	Agente de Usuario	184
9.7.2.1.2	Servidores de Red	185
9.8	CODECS DE VIDEO	187
9.8.1	MPEG-1	187
9.8.2	MPEG-2	188
9.8.3	MPEG4	188
9.8.4	MJPEG	189
9.8.5	TIPOS DE VIDEO	189
9.9	TEORÍA DE PRONÓSTICO	191
9.9.1	REQUISITOS BÁSICOS DE UN PRONÓSTICO	191
9.9.2	CÓMO COMENZAR CON UN PRONÓSTICO	191
9.10	TIPOS DE MEDIOS DE TRANSMISIÓN ETHERNET	192
9.10.1	ETHERNET	192
9.10.1.1	1BASE-5	192
9.10.1.2	10BASE-5	192
9.10.1.3	10BASE-2	192
9.10.1.4	10BROAD-36	192
9.10.1.5	10BASE-T	192
9.10.1.6	10BASE-F	193
9.10.2	FAST ETHERNET	193
9.10.2.1	100BASE-TX	193
9.10.2.2	100BASE-T4	193
9.10.2.3	100BASE-FX	193
9.10.2.4	100BASE-T2	193
9.10.3	GIGABIT ETHERNET	193
9.10.3.1	1000BASE-SX	193
9.10.3.2	1000BASE-LX	193
9.10.3.3	1000BASE-CX	193
9.10.3.4	1000BASE-T	194
9.11	BLOQUES FUNCIONALES Y PROTOCOLOS DE LA ARQUITECTURA IMS	195
9.12	ESTÁNDARES DE COMPRESIÓN DE DATOS EN EL DOMINIO IP	198
9.12.1	RECOMENDACIÓN G.711	198
9.12.2	RECOMENDACIÓN G.728.	198
9.12.3	RECOMENDACIÓN G.723.1.	198
9.12.4	RECOMENDACIONES G.729 Y G.729A.	198
9.13	DESCRIPCIÓN DE PROCESOS UTILIZANDO METODOLOGÍA IDEF.	199
9.14	DATOS DE COSTOS USADOS EN LA CREACIÓN DE LOS EJEMPLOS	201
9.14.1	DATOS DE COSTOS DE INSTALACIÓN DE NODOS Y ENLACES	201
9.14.2	DATOS DE COSTOS DE INSTALACIÓN DE SITIOS	204

Índice de Figuras

FIGURA 1: MODELO JERÁRQUICO DE CISCO	6
FIGURA 2: MODELO DEL CONCEPTO PRINCIPAL DE LAS REDES NGN.....	8
FIGURA 3: ARQUITECTURA SIMPLIFICADA Y ENTIDADES FUNCIONALES DE IMS	9
FIGURA 4: EJEMPLO DE VARIADOS SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES	10
FIGURA 5: RED VOIP Y SUS FUENTES DE RETARDO	14
FIGURA 6: EJEMPLO DE LA CONDICIÓN HABITUAL DE TRANSMISIÓN DE VOZ.....	15
FIGURA 7: EJEMPLO DEL CÁLCULO DE LA VARIACIÓN DEL RETARDO (JITTER).....	16
FIGURA 8: ESQUEMA SIMPLIFICADO DE LOS PRINCIPALES COMPONENTES DE UNA VOIP.....	18
FIGURA 9: ARQUITECTURA DE CONTROL CENTRALIZADA VOIP.....	19
FIGURA 10: ARQUITECTURA DE CONTROL DISTRIBUIDA (ARRIBA) Y CENTRALIDAD (ABAJO) CON EL PROTOCOLO SIP.....	20
FIGURA 11: ASIGNACIÓN MÁXIMA DE CAPACIDAD ASEGURADA EN LAS COLAS SEGÚN EL TIPO DE DATOS.....	25
FIGURA 12: GRÁFICO DE LA DISTRIBUCIÓN DE ANCHO DE BANDA RECOMENDADO PARA ENLACES EN UNA RED IP.....	28
FIGURA 13: DIAGRAMA DE ARQUITECTURA IMS SEPARADA EN CAPAS.....	31
FIGURA 14: PLATAFORMA UMTS	33
FIGURA 15: ENCABEZADO MPLS.....	36
FIGURA 16: DIAGRAMA GENERAL DE LA PLANIFICACIÓN DE UNA PLATAFORMA DE TELECOMUNICACIONES	39
FIGURA 17: EJEMPLO DE DIVISIÓN EN CUADRÍCULAS DE UNA CIUDAD.....	40
FIGURA 18: DIAGRAMA DE CONVERSIÓN DE DEMANDA DE SERVICIOS A VARIABLES DE RED.....	48
FIGURA 19: DIAGRAMA DE DECISIÓN DE INICIO DEL PROCESO DE PLANIFICACIÓN.....	49
FIGURA 20: DIAGRAMA DE PLANIFICACIÓN DE COBERTURA.....	51
FIGURA 21: DIAGRAMA DE PLANIFICACIÓN DE CAPACIDAD.....	51
FIGURA 22: DIAGRAMA DE UBICACIÓN DE CENTROS Y ARMARIOS DE DISTRIBUCIÓN.....	52
FIGURA 23: DIAGRAMA DE ELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS VIABLES.....	53
FIGURA 24: DIAGRAMA DE ELECCIÓN DE EQUIPOS VIABLES.....	54
FIGURA 25: DIAGRAMA DE ELECCIÓN DE TECNOLOGÍA, EQUIPOS Y LÍNEAS DE TRANSMISIÓN.....	54
FIGURA 26: ESTIMACIÓN DE TIEMPOS DE EXPANSIÓN DE LA RED Y TIEMPOS DE INSTALACIÓN DE EQUIPOS.....	55
FIGURA 27: DIAGRAMA DE LA PLANIFICACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DE LOS PUNTOS DE DISTRIBUCIÓN.....	56
FIGURA 28: FASES DE LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED INALÁMBRICA	58
FIGURA 29: MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE FRECUENCIA.....	65
FIGURA 30: MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE FRECUENCIA ORTOGONAL.....	66
FIGURA 31: PROCESO DE PLANIFICACIÓN GENERAL DE FRECUENCIAS.....	67
FIGURA 32: IMÁGEN SATELITAL DE LA COMUNA DE LAS CONDES.....	69
FIGURA 33: EJEMPLO DE LA INTERFAZ DE USUARIO PRINCIPAL DE UNA HERRAMIENTA DE PLANIFICACIÓN DE REDES INALÁMBRICAS.....	86
FIGURA 34: ESQUEMA QUE MUESTRA EL RESULTADO DEL MODELO CABLEADO DE 5X5 CUADRÍCULAS CON DEMANDA COMPLETA.....	97
FIGURA 35: ESQUEMA QUE MUESTRA EL RESULTADO DEL MODELO CABLEADO DE 5X5 CUADRÍCULAS CON LA DEMANDA DIVIDIDA EN UN FACTOR 5.....	98
FIGURA 36: ESQUEMA DE UN PROBLEMA DE 15X15 CUADRÍCULAS CON DEMANDA COMPLETA.....	105
FIGURA 37: ESQUEMA DE UN PROBLEMA DE 15X15 CUADRÍCULAS CON LA DEMANDA DIVIDIDA EN UN FACTOR 100.....	106
FIGURA 38: ESQUEMA DE UN PROBLEMA DE 10X10 CUADRÍCULAS CON LA DEMANDA DIVIDIDA EN UN FACTOR 100.....	108
FIGURA 39: ESQUEMA DE UN PROBLEMA DE 10X10 CUADRÍCULAS CON DEMANDA TOTAL.....	109
FIGURA 40: RELACIÓN ENTRE LOS PLANES TÉCNICOS FUNDAMENTALES	130
FIGURA 41: PLAN DE ENCAMINAMIENTO	131
FIGURA 42: PLAN DE NUMERACIÓN	132
FIGURA 43: PLAN DE FACTURACIÓN	133
FIGURA 44: PLAN DE TRANSMISIÓN	134
FIGURA 45: PLAN DE SEÑALIZACIÓN.....	134
FIGURA 46: PLAN DE SINCRONIZACIÓN.....	135
FIGURA 47: ESTRUCTURA TÍPICA DE UNA RED MPLS.....	141
FIGURA 48: DIAGRAMA BÁSICO DEL FUNCIONAMIENTO DE ATM.....	143

FIGURA 49: EJEMPLO DE CONMUTACIÓN DE CIRCUITOS VIRTUALES Y DE RUTAS VIRTUALES	143
FIGURA 50: CARACTERÍSTICA DE REDES METRO ETHERNET	144
FIGURA 51: MODELO BÁSICO.....	145
FIGURA 52: SERVICIO PUNTO A PUNTO	146
FIGURA 53: SERVICIO MULTIPUNTO A MULTIPUNTO	147
FIGURA 54: DIAGRAMA DE SERVICIO DE MULTIPLEXACIÓN	147
FIGURA 55: ESQUEMA DE LA MODULACIÓN DMT UTILIZADA EN ADSL.....	150
FIGURA 56: DIAGRAMA DE FUNCIONALIDAD DE SPLITTER.....	150
FIGURA 57: ESQUEMA DE COMUNICACIÓN EN EL SISTEMA ADSL.....	151
FIGURA 58: ESQUEMA DE COMPOSICIÓN DE UN DSLAM	152
FIGURA 59: TRAMA ETHERNET	154
FIGURA 60: ESQUEMA COMPLETO UNA RED HFC.....	157
FIGURA 61: DIAGRAMA DE DESPLIEGUE DE WiMAX.....	160
FIGURA 62: TRANSICIONES POSIBLES ENTRE 2G Y 3G.....	165
FIGURA 63: ESQUEMA DE SEPARACIÓN DE PLANOS PARA LAS REDES NGN.....	168
FIGURA 64: EJEMPLO DE UN ENLACE CON TRES PRIORIDADES DE TRÁFICO EN UN MODELO DE RED CON QoS.....	171
FIGURA 65: CAMPOS DEL ESTÁNDAR 802.1P	173
FIGURA 66: POSIBLES RETARDOS EN UNA RED.	176
FIGURA 67: MODELO GENERAL DEL PROTOCOLO H.323.....	180
FIGURA 68: COMPONENTES PRINCIPALES DE UNA RED VOIP H.323	181
FIGURA 69: ARQUITECTURA DE PROTOCOLOS EN H.323.....	183
FIGURA 70: MODELO DE UNA RED SIP CON SERVIDOR DE REGISTRO.....	184
FIGURA 71: SECUENCIA GDI PARA UNA CODIFICACIÓN MPEG.....	188
FIGURA 72: ESTRUCTURA DEL DIAGRAMA IDEF.....	200

Índice de Tablas

TABLA 1: LÍMITES DE LOS RETARDOS (UIT G.114).....	13
TABLA 2: EJEMPLO DEL RETARDO TOTAL DE UNA RED SIMPLE.....	14
TABLA 3: CÁLCULO DE LÍMITE DE RETARDO EN NUBE IP PARA CONEXIÓN VPN.....	15
TABLA 4: COMPARATIVA DE TASA DE BITS PARA CODECS DE AUDIO.....	21
TABLA 5: RELACIÓN ENTRE TRXS Y TRÁFICO EXPRESADO EN ERLANGS.....	61
TABLA 6: PROMEDIO DE TS DISPONIBLE PARA EL SISTEMA GPRS O EDGE.....	61
TABLA 7: TABLA DE EB/NO PARA MSS EN MOVIMIENTO.....	63
TABLA 8: CAPACIDAD DE LAS SUBPORTADORAS SEGÚN EL TIPO DE MODULACIÓN.....	64
TABLA 9: PORCENTAJE DE CODIFICACIÓN PARA CADA TIPO DE MODULACIÓN.....	65
TABLA 10: DATOS DE LA COMUNA DE LAS CONDES.....	69
TABLA 11: VIVIENDAS QUE POSEEN SERVICIOS DE TELEFONÍA FIJA E INTERNET.....	70
TABLA 12: CANTIDAD DE VIVIENDAS QUE POSEEN CADA UNO DE LOS SERVICIOS INCLUIDOS EN ESTE EJEMPLO.....	71
TABLA 13: DATOS DE TELEFONÍA MÓVIL E INTERNET MÓVIL.....	72
TABLA 14: DATOS DE DEMANDA POR SERVICIOS DE VIDEOCONFERENCIA, ARCHIVOS FTP, PÁGINAS WEB Y VOZ IP.....	72
TABLA 15: DATOS DE LOS EQUIPOS DE CONMUTACIÓN USADOS EN EL EJEMPLO.....	92
TABLA 16: DATOS DE COSTOS Y CAPACIDADES DE NODOS Y ENLACES.....	92
TABLA 17: DATOS DE DEMANDA TOTAL DE SUBIDA, DE BAJADA, Y EN TIEMPO REAL DE SUBIDA Y DE BAJADA PARA EL EJEMPLO DE 5X5 CUADRÍCULAS CON DEMANDA COMPLETA.....	96
TABLA 18: DATOS DE DEMANDA TOTAL DE SUBIDA, DE BAJADA, Y EN TIEMPO REAL DE SUBIDA Y DE BAJADA PARA EL EJEMPLO DE 5X5 CUADRÍCULAS CON DEMANDA DIVIDIDA EN UN FACTOR 5.....	98
TABLA 19: CANTIDAD DE INFORMACIÓN QUE SE PUEDE TRANSMITIR EN CADA <i>TIME SLOT</i> PARA CADA TIPO DE MODULACIÓN Y CODIFICACIÓN.....	100
TABLA 20: DATOS DE COSTOS PARA INSTALACIONES INALÁMBRICAS.....	100
TABLA 21: COSTOS DE INSTALACIÓN DE SITIOS.....	100
TABLA 22: DATOS DE CAPACIDAD DE TS POR TRX Y CAPACIDAD DE CONEXIONES SIMULTÁNEAS POR TRX.....	101
TABLA 23: DATOS DE CAPACIDAD DE TS POR SITIO.....	101
TABLA 24: DATOS DE CAPACIDAD DE CONEXIONES SIMULTÁNEAS POR SITIO.....	101
TABLA 25: SENSIBILIDAD DE RECEPCIÓN REQUERIDA SEGÚN EL TIPO DE MODULACIÓN Y CODIFICACIÓN [15].....	102
TABLA 26: CÁLCULO DE COBERTURA DE BAJADA PARA UN TAMAÑO DE CUADRÍCULAS DE 381 METROS.....	102
TABLA 27: CÁLCULO DE COBERTURA DE SUBIDA PARA UN TAMAÑO DE CUADRÍCULAS DE 381 METROS.....	102
TABLA 28: COBERTURA DE BAJADA PARA UN TAMAÑO DE CUADRÍCULA DE 381 METROS.....	105
TABLA 29: COBERTURA DE SUBIDA PARA UN TAMAÑO DE CUADRÍCULA DE 381 METROS.....	105
TABLA 30: DEMANDA TOTAL PARA EL CASO DE 10X10 CUADRÍCULAS Y LA DEMANDA DIVIDIDA EN UN FACTOR 100.....	107
TABLA 31: COBERTURA DE BAJADA PARA UNA TAMAÑO DE CUADRÍCULA DE 571 METROS.....	107
TABLA 32: COBERTURA DE SUBIDA PARA UN TAMAÑO DE CUADRÍCULA DE 571 METROS.....	107
TABLA 33: DEMANDA TOTAL PARA EL CASO DE 10X10 CUADRÍCULAS Y LA DEMANDA TOTAL.....	108
TABLA 34: COMPARACIÓN DE TECNOLOGÍAS XDSL.....	149
TABLA 35: COMPARATIVA DE TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS.....	161
TABLA 36: CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LOS SISTEMAS GSM, GPRS Y UMTS.....	165
TABLA 37: SIGNIFICADO DEL CAMPO DE CLASE DE SERVICIO (CoS) EN ESTÁNDAR IEEE 802.1P.....	173
TABLA 38: RETARDOS DE PAQUETIZACIÓN MÁS COMUNES.....	177
TABLA 39: DEMORA DE SERIALIZACIÓN PARA DIFERENTES TAMAÑOS DE TRAMAS.....	177
TABLA 40: TABLA COMPARATIVA ENTRE LOS PROTOCOLOS H.323 Y SIP.....	179
TABLA 41: TIPOS DE VIDEOS Y SISTEMAS DE COMPRESIÓN.....	189
TABLA 42: DATOS DE COSTOS DE INSTALACIÓN DE NODOS Y ENLACES.....	203
TABLA 43: DATOS DE COSTOS PARA EL CASO INALÁMBRICO.....	204

Índice de Ecuaciones

ECUACIÓN 1: CÁLCULO DEL PACKET LOSS.	16
ECUACIÓN 2: CÁLCULO DE ANCHO DE BANDA PARA SERVICIO DE VIDEO BROADCAST.....	22
ECUACIÓN 3: DIMENSIONAMIENTO DE ANCHO DE BANDA EN TRANSMISIÓN DE VIDEO EN DEMANDA.....	27
ECUACIÓN 4: DIMENSIONAMIENTO DE ANCHO DE BANDA PARA TRANSMISIÓN DE UNA VIDEOCONFERENCIA.	28
ECUACIÓN 5: ESTIMACIÓN DE ANCHO DE BANDA EN SERVIDOR DE DATOS.....	30
ECUACIÓN 6: CÁLCULO DEL ÁREA DE COBERTURA DE UN EDIFICIO DEL PROVEEDOR.....	49
ECUACIÓN 7: CRITERIO DE ELECCIÓN DE CAPACIDAD DE UN ENLACE.	52
ECUACIÓN 8: CÁLCULO DE LOS PERÍODOS INVENTARIO.	55
ECUACIÓN 9: CÁLCULO DE LA COBERTURA DE UN ENLACE INALÁMBRICO.....	59
ECUACIÓN 10: LINK BUDGET DE UN ENLACE INALÁMBRICO.....	60
ECUACIÓN 11: TASA DE TRANSMISIÓN PROMEDIO DE UN SISTEMA GPRS/EDGE EN UNA CELDA.	61
ECUACIÓN 12: FACTOR DE CARGA DEL ENLACE UL.....	62
ECUACIÓN 13: FACTOR DE CARGA DEL ENLACE DE BAJADA.....	62
ECUACIÓN 14: ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CANAL EN WIMAX.....	64
ECUACIÓN 15: CAPACIDAD EFECTIVA DEL CANAL.....	65
ECUACIÓN 16: CÁLCULO DE LA DISTANCIA DE REUSO.....	66
ECUACIÓN 17: MÁXIMA CANTIDAD DE VIVIENDAS POR CUADRÍCULA.....	70
ECUACIÓN 18: RESTRICCIÓN DEL NÚMERO DE CASAS Y NÚMERO DE EDIFICIOS QUE PUEDE CONTENER CADA CUADRÍCULA.....	70
ECUACIÓN 19: COSTO DE INTALACIÓN DE ENLACES.....	93

Capítulo 1

Introducción

1.1 Motivación

Hace muchos años que las telecomunicaciones se han tornado indispensables para la vida diaria de un ciudadano común. Cada vez con más frecuencia éstas se utilizan en aplicaciones ya sean laborales, sociales, informativas, comunicacionales, etc. Incluso servicios de telecomunicaciones han llegado a ser vitales en situaciones donde antes no eran necesarios, así como por ejemplo, la telefonía móvil e Internet.

Ha quedado demostrado con el tiempo, que en cualquier país del mundo la demanda por servicios de telecomunicaciones, no reemplazados, tiene una curva ascendente por largos períodos de tiempo. Y en la mayoría de los casos, la demanda por estos servicios llega finalmente a un punto de saturación.

A través de la experiencia también se ha podido apreciar el fenómeno de que cuando aparecen nuevos servicios de telecomunicaciones, los mismos usuarios van necesitando nuevas aplicaciones, productos y servicios.

Debido a que la demanda de servicios de telecomunicaciones está en constante aumento, y además los usuarios van requiriendo nuevos servicios, las redes de telecomunicaciones existentes, necesitan aumentar su capacidad e implementar nuevas tecnologías periódicamente. Por este motivo, cada cierto tiempo las empresas de telecomunicaciones deben efectuar enormes inversiones en infraestructura, plataformas y gestión de telecomunicaciones.

Como el nivel de inversión es muy alto, es muy importante construir una red de telecomunicaciones a la medida justa, es decir, que no falte ni sobre capacidad. Por lo tanto es muy importante la acción de un planificador en la toma de decisiones que tenga la empresa antes de realizar dicha inversión. Por ese motivo es necesario tener una metodología completa y precisa de cuáles deben ser los pasos a seguir en el planteamiento y la organización de un proyecto de gran magnitud, cuya planificación es tremendamente complicada e indispensable.

El planificador debe ser capaz de entregar sugerencias sobre la topología de red, las tecnologías a utilizar, la ubicación y capacidad de equipos y nodos de la red, tipos de enlaces que se necesitan, alimentación, encaminamiento, señalización, etc.

1.2 Alcance

En la planificación de redes de telecomunicaciones, los planes se dividen en dos tipos, los planes de técnicos y los planes de desarrollo¹.

Los planes de desarrollo guardan relación con los objetivos que tiene la red en el largo, mediano y corto plazo. Esto incluye estrategias no inmediatas y por lo tanto pensadas a futuro, así como necesidades inmediatas que puede tener la red en un momento dado.

¹ Estos dos tipos de planes se explican con más detalle en los Capítulos 9.1 y 9.2 respectivamente.

Los planes técnicos en cambio están más ligados a la manera en cómo hacer funcionar la red, cómo diseñarla y construirla de manera de que funcione en la forma adecuada. Para esto se definen estándares y reglas.

En el contexto de esta memoria, se analizan sólo los planes de desarrollo, mostrando metodologías, criterios y sugerencias sobre las herramientas adecuadas para la planificación de plataformas de telecomunicaciones en el corto, mediano y largo plazo. Dicha planificación está orientada a redes NGN, las cuales plantean firmemente la idea de convergencia de todos los servicios de telecomunicaciones en una misma red. Éstas se caracterizan además por la flexibilidad, por la introducción de nuevos servicios, por la reducción en los costos, por la garantía de calidad de servicio y por la separación de las aplicaciones y funciones de control con los medios.

1.3 Objetivos

Con el desarrollo de este proyecto se plantea una idea generalizada de la metodología, los criterios y las herramientas que se deben tener en cuenta para efectuar la planificación de la infraestructura de cualquier plataforma de telecomunicaciones, tomando en consideración los aspectos más relevantes para este propósito.

Es importante destacar que uno de los objetivos principales de la metodología propuesta es reducir los costos del proyecto lo máximo posible, cumpliendo con todos los requerimientos de su arquitectura y calidad de servicio, teniendo siempre un horizonte de planificación bien definido en el cual se asegure dicha calidad.

En definitiva este trabajo busca facilitar la tarea del planificador dando pautas claras sobre los pasos a seguir, las metodologías a utilizar, los criterios que se deben considerar y finalmente entregar algunas sugerencias sobre las características de las herramientas que se deben utilizar.

1.4 Objetivos específicos

- Identificar los elementos comunes a todas las plataformas de telecomunicaciones necesarios para describir de manera completa y general cualquier red de telecomunicaciones de nueva generación.
- Formular un esquema que describa de manera general un problema de planificación de una plataforma de telecomunicaciones cualquiera, definiendo los parámetros de red y los criterios más relevantes de éste.
- Plantear una metodología de planificación para una plataforma cableada de telecomunicaciones que responda al esquema general propuesto en el punto anterior. Para esto se debe describir la equivalencia entre los servicios demandados por los clientes, y las variables de red manejadas por el proveedor, considerando QoS², para encontrar las salidas de dicho esquema a través de un modelo de optimización que represente y permita resolver el problema.
- Proponer una metodología de planificación para una plataforma de telecomunicaciones inalámbrica equivalente a la del punto anterior.

² QoS (Quality of Service): Calidad de Servicio

- Comentar las características y funcionalidades que deben tener las herramientas para la planificación de plataformas de telecomunicaciones, recomendando algunos Software especializados.
- Presentar un ejemplo de planificación para cada caso (inalámbrico y cableado) utilizando la metodología, los criterios y las herramientas propuestas.

1.5 Descripción del Documento

El presente documento corresponde al trabajo de Memoria de Título para optar al grado de Ingeniero Civil Electricista. Las descripciones de los nueve capítulos que lo componen son las que siguen:

1. **Introducción:** En este capítulo se realiza una breve descripción de la situación actual del escenario de las telecomunicaciones, siendo ésta lo que motiva el desarrollo del trabajo. También, se definen el alcance y los objetivos generales y específicos, que explican hasta dónde y cuáles son los resultados que se esperan. Del mismo modo, se incluye una reseña de lo que contienen cada capítulo.
2. **Antecedentes:** Se presentan las materias necesarias para la comprensión total del documento. Entre ellas se cuenta: la clasificación de redes basada en el Modelo Jerárquico de Cisco, la explicación del concepto y arquitectura de las redes NGN, la clasificación y descripción de cada categoría de servicios (datos, voz y video), y la descripción de las distintas plataformas de telecomunicaciones, explicitando cuáles son los equipos y software necesarios para el soporte de los servicios y presentando, además, ejemplos de dimensionamiento de equipos y enlace para cada una de ellas.
3. **Metodología:** En primer lugar, se presenta una descripción, en la que se plantean las entradas, salidas y restricciones del problema asociado al proceso de planificación de plataformas de redes; le sigue la generalización del problema, que permite la abstracción con respecto de la tecnología que se utilice, y la explicación de cada uno de los pasos que componen el procedimiento de planificación en sí. También, se presenta una breve descripción de las herramientas computacionales que facilitan lo anterior y de las consideraciones para el desarrollo del ejemplo que valida el método propuesto.
4. **Resultados:** Se entregan las metodologías para la planificación tanto de redes inalámbricas como cableadas, presentando una descripción del problema y definiendo las variables, los parámetros, los conjuntos en que se mueven las variables, las restricciones y la función objetivo, para formalizar el problema de optimización como tal, en ambos casos. También, se presenta una caracterización de las herramientas que se utilizan en el proceso de planificación, exponiendo cómo se deben preparar los datos de entrada, cuál es la información necesaria para una buena planificación y cómo ésta debe ser tratada, cuándo utilizar los tipos de simulación que existen, cómo analizar los resultados obtenidos y cómo éstos deben ser informados. Además, se comenta la compatibilidad de las herramientas y se presentan los ejemplos.
5. **Discusión:** Se discuten tanto las metodologías propuestas como los resultados obtenidos, estableciendo las diferencias y similitudes entre los procedimientos para la planificación de los dos tipos de redes vistos. Además, se comentan las ventajas y desventajas de lo anterior, específicamente en base a su uso en los ejemplos presentados.

6. **Conclusiones:** Basado en la discusión realizada, se plantean las conclusiones que ésta permite obtener. En ella, además, se repasa cada uno de los objetivos planteados y se explicita hasta qué punto fueron cumplidos.
7. **Referencias Bibliográficas:** Se listan los libros, memorias y tesis doctorales, publicaciones y páginas *web* utilizados en el desarrollo del trabajo.
8. **Definiciones y Acrónimos:** Se presentan una serie de definiciones de términos específicos al área de telecomunicaciones, además del significado de las abreviaciones que aparecen a lo largo del documento.
9. **Anexos y Tablas:** En este capítulo se entrega información complementaria a la presentada en el capítulo de antecedentes, la cual permite profundizar aún más en estas materias y, por ende, ayudar con la comprensión del documento. Algunos de los temas tratados son: descripciones de los planes de desarrollo, de trabajo y de las tecnologías más usadas en las redes de telecomunicaciones. Además se presentan los requisitos de las redes NGN, en qué consiste la calidad de servicio e información relativa a los servicios y tanto a la teoría de pronóstico como a los procesos de la metodología IDEF.

Capítulo 2

Antecedentes

Antes de comenzar a plantear los diferentes aspectos que se deben considerar en una planificación de plataformas de telecomunicaciones, se tiene que definir de manera clara el significado de plataformas y de servicios.

Una plataforma de manera general se define como la infraestructura necesaria para la implementación de un servicio o la utilización de una aplicación. En informática, una plataforma es precisamente la base, ya sea de hardware o software, sobre la cual un programa puede ejecutarse. Ejemplos típicos incluyen: arquitectura de hardware, sistema operativo, lenguajes de programación y sus librerías.

Por otra parte, un servicio es un conjunto de actividades que buscan responder a una o más necesidades de un cliente o también se le puede definir como el equivalente no material de un bien.

En el presente capítulo se presentará los elementos más importantes en lo que a plataformas y redes de telecomunicaciones se refiere.

Primero se muestra la clasificación de las redes de telecomunicaciones en tres etapas, describiendo la capa de core, la capa de distribución y la capa de acceso, siguiendo el “modelo jerárquico de Cisco”. Luego se define el concepto y se presentan las principales características de las redes de nueva generación o NGN. Sumado a lo anterior, se exponen los servicios que se ofrecen a través de una red de telecomunicaciones, catalogado en cuatro categorías, los servicios de red, datos, voz y video, mostrando sus principales características. Finalmente, se presentan las plataformas de servicios, en donde se aprecian sus características y requerimientos de red, y las plataformas de red, en donde se muestran algunos sistemas muy utilizados en redes NGN, como son UMTS, IP-MPLS e IMS, los cuales representan fielmente toda la generalidad que poseen este tipo de redes.

2.1 Clasificación de redes

Existen diversas maneras de clasificar las redes de telecomunicaciones: a través de su funcionalidad, de su cercanía al usuario final, de los servicios que presta, de los protocolos utilizados, etc.

En este documento, las redes de telecomunicaciones se dividirán de manera jerárquica en tres grupos o capas:

- La capa de core, que se caracterizan por tener grandes equipos de conmutación que enrutan millones de paquetes de manera confiable y rápida, y así comunicar a cientos de miles de usuarios, y servicios de éstos, con sus destinos.
- La capa de distribución que tienen como principal objetivo, el comunicar las redes del core con la red de acceso, para poder llegar a los usuarios finales. Normalmente se conforma por sub-redes punto a punto.
- Las redes de acceso, las cuales se preocupan de llegar desde los puntos de distribución, pertenecientes al proveedor de servicios, hasta el lugar donde se sitúa el usuario final.

Esta clasificación se llama “modelo jerárquico de Cisco” (Cisco Hierarchical Model) y se utiliza para ordenar las redes en capas, la cual da un orden para la planificación y la gestión de las redes. En cada una de estas capas se definen tareas claras que cada una debe cumplir. Este modelo ayuda en la práctica a asegurar que las redes sean más confiables, escalables, flexibles y simplificadas.

En la Figura 1 se muestra la estructura generalizada del modelo.

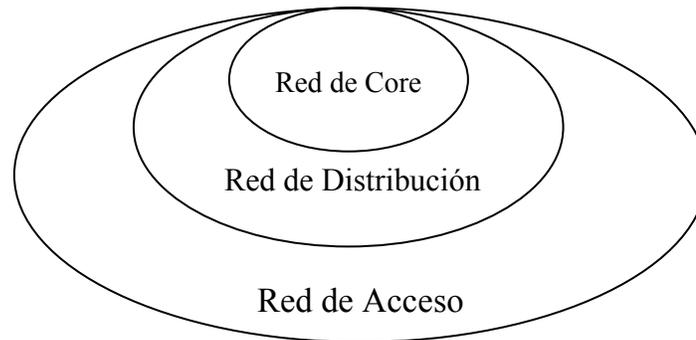


Figura 1: Modelo Jerárquico de Cisco

A continuación se describen estas tres capas en detalle.

2.1.1 Capa de Core

Las redes de core, normalmente llamadas núcleo o Backbone, tienen la función de transportar grandes cantidades de tráfico de forma rápida y confiable. Este tráfico puede provenir de diversas áreas de una ciudad, provincia y/o país. Están conformadas por equipos de gran capacidad de conmutación (switches) y de muy buen rendimiento. Este tipo de redes, al ser primordiales para el funcionamiento total de la red, utilizan líneas de transmisión redundantes, así en caso de que exista algún problema con una línea se tendrá la otra de respaldo, y en el caso de funcionamiento normal, estas líneas redundantes se utilizan para alivianar las cargas de las mismas.

Como se cita en el Anexo Capítulo 9.3.1, las principales consideraciones que se debe tener al dimensionar los equipos de esta capa son:

- Gran tasa de transferencia de datos.
- Redundancia en las conexiones que transportan el tráfico, para tener una alta confiabilidad.
- Baja latencia, se necesita conmutar los paquetes a gran velocidad.
- Crecer sólo reemplazando equipos por unos más rápidos.

El núcleo de las redes de los proveedores de servicio IP enfrenta un fuerte crecimiento en la actualidad y hacia el futuro, por lo que se requiere una gran expansión de capacidad y por lo tanto una gran inversión.

Hoy en día casi la totalidad de las redes de backbone utilizan IP/MPLS como protocolo de transmisión ya que se adapta a cualquier tecnología y por lo tanto facilita la convergencia de las redes de telecomunicaciones.

2.1.2 Capa de Distribución

La capa de distribución actúa como intermediaria entre la capa de acceso y la capa de núcleo. Normalmente, en una red bien diseñada, en esta capa se encuentran las funciones de ruteo y los demás servicios de red, así como el control de tráfico y la señalización. Esta capa sirve a una gran cantidad de propósitos, incluyendo la implementación de seguridad a través de listas de acceso y filtros.

Muchas subredes son escondidas con una tabla de ruteo para limitar el acceso a éstas, haciendo el enrutamiento más eficiente. También en esta capa se definen los dominios de broadcast y las subredes con ruteo dinámico o estático.

2.1.3 Capa de Acceso

La capa de acceso actúa como el punto en donde los equipos finales (hosts y servidores) se conectan a la red a través de equipos de capa 2, como switches o hubs. En esta capa se asegura que los paquetes sean repartidos a los usuarios finales.

Normalmente en la capa de acceso se define los dominios de colisión y a veces se utiliza para definir políticas adicionales de seguridad en la red y filtros si es necesario. Los equipos que se instalan del lado del cliente, incluyendo el equipo final, se llaman CPE (Customer premises Equipment).

2.2 Concepto y Arquitectura de las Redes NGN

Este capítulo está centrado en el estudio de la función, definición y arquitectura de las redes Next Generation Network (NGN). En un comienzo se presenta una definición generalizada de estas redes, para luego enumerar los requisitos y elementos que se consideran indispensables para esta arquitectura. Finalmente, se plantean las exigencias que deben tener estas redes en cuanto a los elementos que componen su infraestructura.

2.2.1 Definición de NGN

NGN es una red de transporte y conmutación a alta velocidad capaz de soportar un gran número de aplicaciones y servicios, ya sea voz, fax, datos y vídeo, realizados de forma integrada y usando una única red basada en conmutación de paquetes IP. Esta red multiservicio es una evolución de las redes IP mayoritariamente implementadas hasta ahora, ya que permite entregar servicios diferenciados según las necesidades de calidad de servicio de las aplicaciones de los clientes. Además este tipo de redes soportan cualquier medio de acceso, ya sea móvil o fijo y cualquier tecnología que se base en una arquitectura de datos.

A continuación se muestra un esquema que comparte la idea principal de las redes NGN.

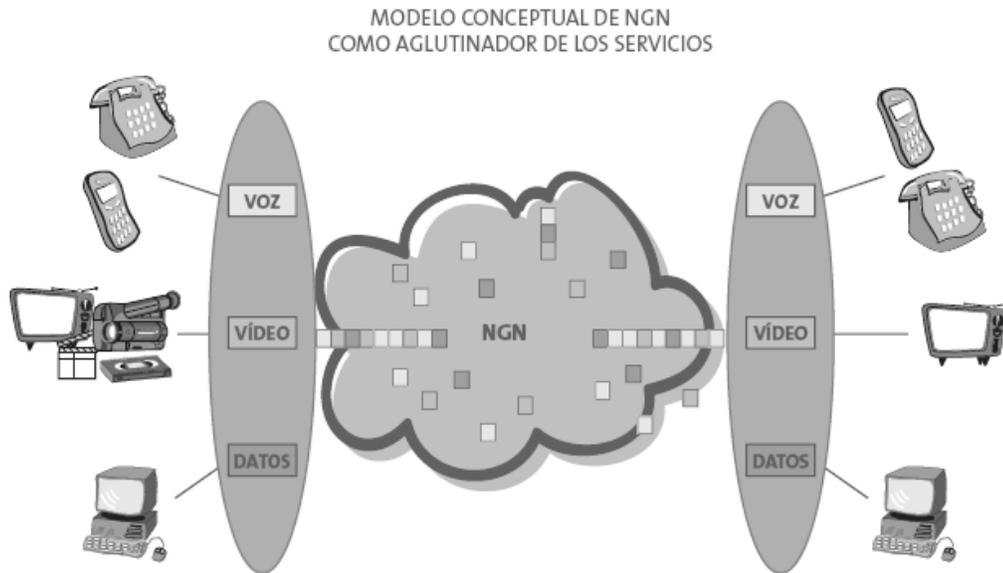


Figura 2: Modelo del concepto principal de las redes NGN.

2.2.2 Exigencias en la infraestructura de una red NGN

Los elementos indispensables con que debe contar toda implementación de red que pretenda ser considerada como una NGN son los siguientes:

- Los sistemas de transmisión deben ser de última generación y basados en tecnologías ópticas DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*).
- Para los elementos de conmutación se debe considerar equipos de tipo GSR (*Gigabit Switch-Router*) o TSR (*Terabit Switch-Router*), conformando una red IPv4/IPv6 con soporte de MPLS.
- La red debe disponer de políticas de QoS efectivas y totalmente operativas.
- Seguridad tanto a nivel de red como de cliente.
- La estructura de red debe ser escalable, de modo que permita evoluciones futuras de manera gradual.

Es muy importante destacar más detalladamente que hay aspectos y tecnologías que con la experiencia se ha vuelto imprescindibles en el modelo NGN, como son la calidad de servicio, MPLS, la fiabilidad, la disponibilidad, y para móviles, el protocolo IPv6.

En el Capítulo 9.4 del Anexo se especifican los requisitos que se debe cumplir para que una red sea considerada de nueva generación o NGN. Un elemento primordial en las redes NGN es la arquitectura IMS, la cual se especifica en el capítulo siguiente.

2.2.3 IMS

IP Multimedia Subsystem (IMS) es el subsistema de control, acceso y ejecución de servicios, que todas las aplicaciones de nueva generación tienen en común.

Este sistema permite controlar de manera centralizada y sin una locación fija, el diálogo entre los terminales de los abonados para prestar cualquiera de los servicios de voz, datos y/o video que éstos requieran.

IMS provee sesiones multimedia de tiempo real y sesiones que no requieren tiempo real y es compatible con cualquier tipo de red de acceso de banda ancha, ya sea móvil o fija, por eso se dice que IMS es una arquitectura agnóstica.

En definitiva, IMS parece ser la solución más cercana para la tan anhelada convergencia. En la Figura 3 se muestra las entidades funcionales y la arquitectura simplificada de IMS.

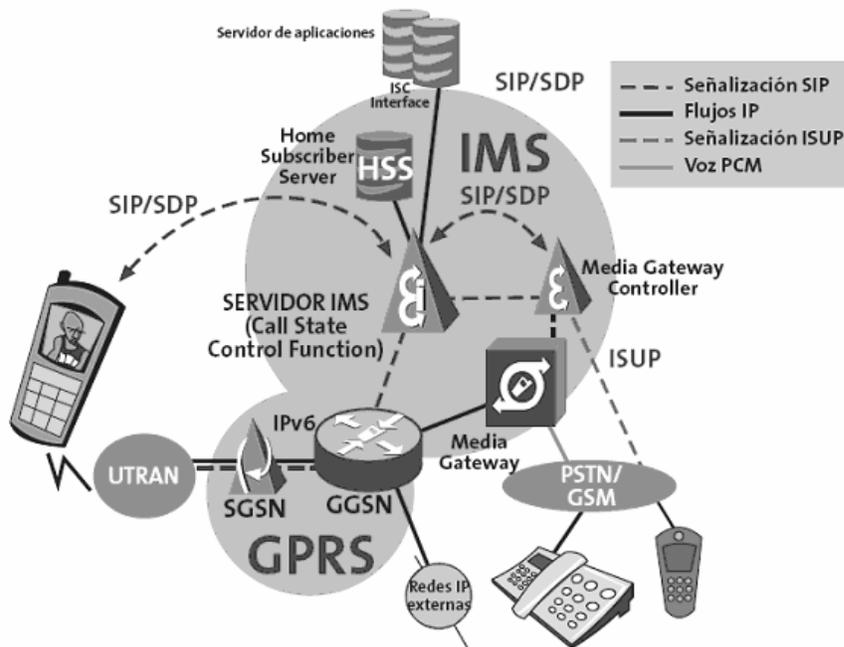


Figura 3: Arquitectura simplificada y entidades funcionales de IMS

En Anexos, Capítulo 9.11, se encuentra una descripción detallada de los distintos bloques funcionales que se aprecian en la Figura 3, y de los protocolos utilizados en la arquitectura IMS para su funcionamiento.

2.3 Servicios de telecomunicaciones

En una red de telecomunicaciones, todo el tráfico que circula por ésta es producido por múltiples servicios de red demandados por los usuarios. Estos servicios tienen variadas aplicaciones, las cuales con el pasar del tiempo han ido incrementándose muy rápido entre los usuarios, exigiendo nuevas necesidades para la red.

En las redes IP, poco a poco han ido apareciendo aplicaciones, como por ejemplo, los sistemas peer-to-peer para compartir archivos, los juegos en línea interactivos, VoIP y Mensajería instantánea, entre otros, los cuales no existían en estas redes hace 10 años atrás.

En la Figura 4 se aprecia una gran variedad de servicios de telecomunicaciones de uso común en la actualidad.

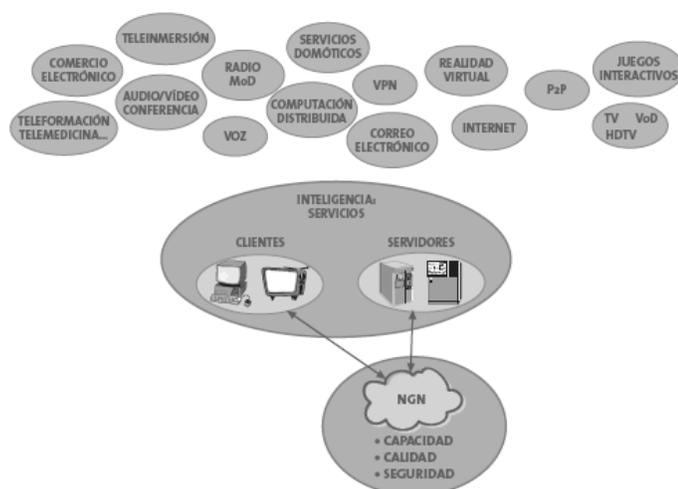


Figura 4: Ejemplo de Variados Servicios de Telecomunicaciones

En este documento, los servicios de telecomunicaciones se clasifican en cuatro grupos, servicios de red, servicios de voz, servicios de video y servicios de datos, los cuales son vistos en detalle en los capítulos siguientes. Para cada clase de servicio, se especifican los requerimientos que debe tener la red para soportar tales aplicaciones, y así lograr finalmente tener una noción de la conversión entre servicios de red y los requerimientos que ésta debe tener.

2.3.1 Servicios de Red

Los servicios de red, en este documento, son definidos como los servicios que el usuario no puede ver ni manejar, sin embargo los puede contratar al proveedor de servicios, exigiendo su buen funcionamiento a través de un SLA.

Este tipo de servicios, en ciertos casos, son esenciales para el buen funcionamiento de algunas aplicaciones que el usuario necesita implementar a través de la red.

Los servicios de red se clasifican según:

- El lugar de aplicación: Puede ser Borde a borde o extremo a extremo.
- La sensibilidad del tráfico: Muy sensible al retardo, algo sensible al retardo, muy sensible a pérdidas, nada sensible.
- Quién solicite el nivel de calidad de servicio:
 - Implícita: Se asigna un nivel de calidad de servicio entregado por el administrador, según el tipo de aplicación, el protocolo o la dirección de origen.
 - Explícita: El usuario o la aplicación de éste, solicita un cierto nivel de calidad de servicio, y si éste es aceptado por la red, se respeta.
- Garantías de Calidad de Servicio: Éstas pueden ser QoS garantizada, QoS no garantizada o QoS de servicios diferenciados.
- Control de acceso y seguridad: Firewalls, filtros, VLANs, VPNs, autenticación.
- La distribución del tráfico: Multipunto a Multipunto, punto a punto, multipunto a punto y punto a multipunto (Multicast, broadcast, unicast).
- Como servicios de red se consideran también los canales de señalización, los canales de control de la red, la información de ruteo IP y los servicios de tarificación.

2.3.2 Servicios de Voz

En las redes IP se pueden distinguir dos tipos de servicios de voz, en tiempo real y en demanda.

El servicio de voz en tiempo real se generaliza en lo que se denomina telefonía sobre IP (ToIP). El acceso de la telefonía sobre IP puede ser a través de Hardware, teléfonos IP, teléfonos móviles de tercera y cuarta generación, o Software, Softphones, Skype, MSN, etc.

Entre los servicios de voz en demanda se incluyen los servicios de mensajería de voz, música en demanda, programas de radio diferidos, etc.

A continuación se presentan estos dos tipos de servicios de voz, mostrando en principio una breve descripción y luego los requerimientos que son necesarios para su correcto funcionamiento, como por ejemplo la infraestructura, los protocolos y los servicios de red.

2.3.2.1 Telefonía IP

2.3.2.1.1 Descripción

El servicio de voz sobre IP (VoIP) es el transporte de las conversaciones de voz en tiempo real en forma de paquetes de datos sobre cualquier red basada en el protocolo IP. Ésta puede ser la Internet o una red de área local cualquiera.

Este servicio posee la ventaja de que las llamadas tienen un costo muchísimo menor para el usuario y para el proveedor, ya que se utiliza la misma infraestructura de red para la transmisión normal de datos y para la transmisión de conversaciones de voz. Con esto el proveedor invierte una sola vez en equipos, líneas de transmisión y servidores, y entrega los mismos servicios que podía ofrecer con la infraestructura de red anterior, aumentando la eficiencia de ésta.

Este servicio de voz debe ser transportado obligatoriamente en una red NGN, para poder cumplir con los mismos estándares de calidad de servicio que se cumplen en las redes de telefonía tradicional. Las redes NGN tienen la característica de ser muy flexibles y fácilmente expandibles, a un costo no muy alto comparado con la situación anterior en donde se tenía una red para cada servicio.

Otra de las ventajas más significativas del servicio VoIP es que las llamadas telefónicas locales pueden ser automáticamente enrutadas al teléfono IP, ya sea software o hardware, en cualquier parte del mundo donde se tenga acceso a Internet con calidad de servicio asegurado, lo que permite acceder a una característica de movilidad bastante amplia. Incluso los servicios adicionales típicamente pagados en la telefonía tradicional, como conferencia, llamada en espera y la identificación de llamadas son incluidos gratuitamente en la telefonía IP.

Según lo descrito anteriormente todo servicio de voz en tiempo real necesita de estrictos niveles de calidad de servicio para su correcto funcionamiento.

2.3.2.1.2 Requerimientos

2.3.2.1.2.1 Retardos

Cuando se diseñan redes que transportan voz en paquetes es importante entender todos los posibles causales de retardos teniendo en cuenta cada uno de los factores y así analizar la manera de mantener la red en un estado aceptable. La calidad de la voz es función de muchos factores, como lo son, los algoritmos de compresión, los errores y las pérdidas de tramas, la cancelación del eco y los retardos.

En la tabla siguiente se muestran los límites de los retardos aconsejados en la recomendación G.114 de la UIT para la apreciación aceptable del servicio de VoIP por parte de los usuarios.

Rango (ms)	Descripción
0-150	Aceptable para las aplicaciones más comunes.
150-400	Aceptable, teniendo en cuenta que un administrador de red conozca las necesidades del usuario.
Sobre 400	Inaceptable para la mayoría de planeaciones de red, sin embargo, este límite puede ser excedido en algunos casos aislados.

Tabla 1: Límites de los retardos (UIT G.114).

Cuando se comunica con redes RTC, las señales transportadas en las redes análogas son rebotadas por la diferencia de impedancias en los medios, por lo que se produce un “eco”, el cual normalmente es imperceptible para el usuario, pues los retardos son muy pequeños, pero en el caso de comunicación entre VoIP y el teléfono convencional, existen una mayor posibilidad de recibir el “eco”, ya que los retardos son mucho mayores.

Según la recomendación UIT G.131, para vías con retardos mayores a los 25 ms, se debe utilizar equipos canceladores de eco.

Es muy importante revisar los retardos en una comunicación de voz puesto que el servicio de VoIP debe poseer los mismos estándares de calidad que los que tiene la telefonía tradicional. En el Capítulo 9.6 se detallan las distintas fuentes de retardo, para finalmente estimar la tasa de transferencia óptima que debe tener una comunicación de voz sobre IP.

El cálculo del retardo extremo a extremo de los paquetes de información en una comunicación se llama retardo total o “Delay Budget”, y se efectúa sumando todos los retardos citados en el Capítulo 9.6.

Si se desea tener una calidad aceptable en una comunicación de voz, el retardo total no debe superar los 150 ms. Quizás, para llamadas de larga distancia, los usuarios puedan estar dispuestos a recibir una comunicación más “cortada” o estilo “walkie-talkie”, por lo que en esos casos el retardo aceptable puede llegar hasta los 400 ms.

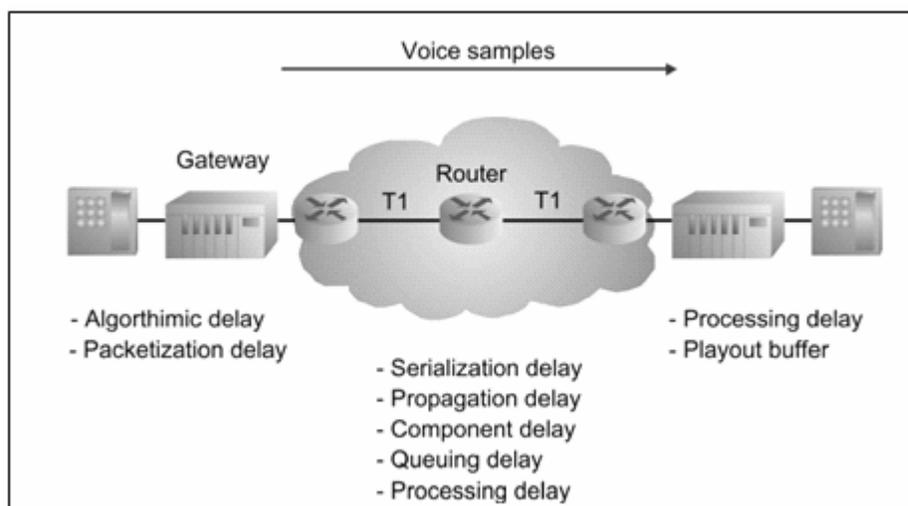


Figura 5: Red VoIP y sus Fuentes de Retardo

En la tabla siguiente se entrega un ejemplo de cómo se calcula el retardo total para la red mostrada en la Figura 5. Se asume que el retardo extremo a extremo requerido es menor que 150 ms.

DISPOSITIVO	RETARDO (ms)
G.723.1 (retardo algorítmico)	37.5
G.723.1 (retardo de paquetización)	30
Retardo de Serialización (dos T1's)	2
Retardo de propagación (5000 km de fibra)	25
Retardos de componentes	2
Total retardo fijo	96.5
Límite de retardo aceptable	150
Jitter máximo tolerable	53.5

Tabla 2: Ejemplo del Retardo Total de una Red Simple.

En este ejemplo, el retardo total fijo calculado es de 96.5 ms. La existencia de jitter en la comunicación añade retardo a ésta, por lo tanto el jitter máximo que se puede tolerar es la resta entre el retardo máximo tolerable y el retardo total calculado en la red.

La suposición es que el jitter será compensado por un buffer de destino (De-Jitter buffer), el cual puede retardar las tramas hasta 53.5 ms.

El ejemplo anterior asume que se conoce la topología exacta de la red, y entonces se pudo calcular todos los componentes de retardos. Sin embargo el ejemplo que sigue muestra la condición que se tiene habitualmente en las redes actuales, en donde los gateways o los conmutadores de borde del núcleo de la red están conectados a través de una VPN, ofrecido por un ISP, que dirige el flujo de paquetes hasta su destino.

En la Figura 6 se muestra la situación descrita anteriormente.

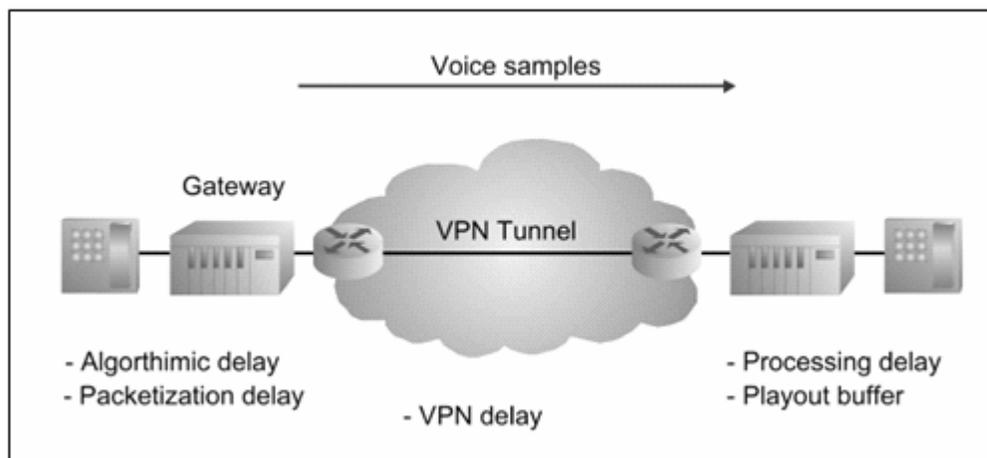


Figura 6: Ejemplo de la condición habitual de transmisión de voz.

En la Tabla 3 se muestra el cálculo del retardo límite que puede tener la “nube IP” para la transmisión extremo a extremo de una transmisión de voz usando una conexión VPN.

DISPOSITIVO	RETARDO (ms)
G.723.1 (retardo algorítmico)	37.5
G.723.1 (retardo de paquetización)	30
Retardo total hasta el borde	67.5
Limite de retardo aceptable	150
Retardo límite de Internet o “nube IP”	82.5

Tabla 3: Cálculo de límite de retardo en nube IP para conexión VPN.

En este ejemplo, se puede identificar los retardos debido a los dos gateways. Para mantener el retardo deseado de 150 ms, el retardo introducido por el ISP no debe exceder los 82.5 ms. Notar que esto representa ambos retardos fijos y variables. Visto de otra manera, el retardo a lo largo de la ruta VPN podría ser de 50 ms y en ese caso el sistema tendría una tolerancia al jitter de hasta de 32.5 ms, el cual será compensado por el buffer De-jitter de destino.

En la actualidad, muchos ISPs ofrecen un servicio VPN con cierto SLA (Service Level Agreement), el cual garantiza el retardo extremo a extremo entre sitios de la red.

2.3.2.1.2.2 Jitter

El Jitter indica la variación del retardo extremo a extremo que experimentan las tramas que se envían a través de una red.

Cuando estas tramas son transmitidas, la cantidad de retardo experimentado por una de éstas puede diferir. Esto es causado por la cantidad de retardo de encolamiento y tiempo de procesamiento que puede variar dependiendo de la carga de tráfico en la red. No obstante, el gateway de origen genera tramas de

voz a intervalos regulares de aproximadamente 20 ms, mientras que las tramas que llegan al gateway de destino, lo hacen a intervalos variables.

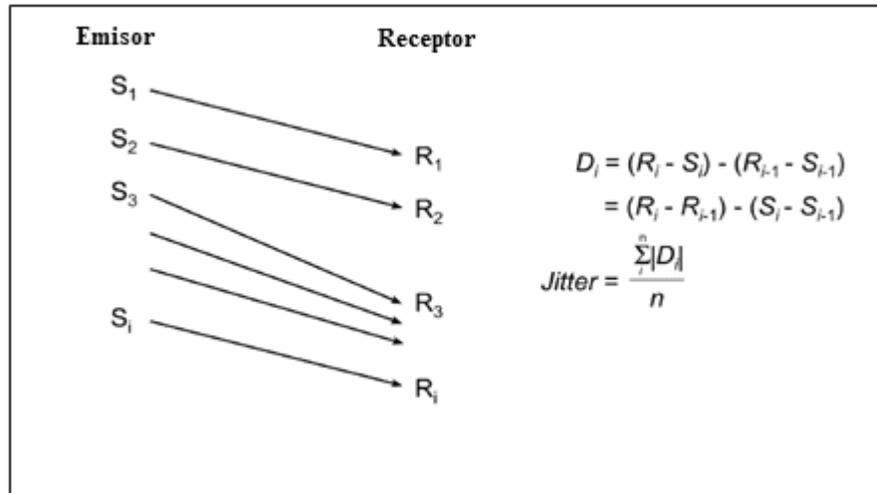


Figura 7: Ejemplo del Cálculo de la variación del retardo (Jitter)

Las tramas recibidas en el destino son almacenadas en un buffer grande, de modo que permita a las tramas más lentas llegar a tiempo para ser reubicadas en la secuencia que corresponde. Este buffer genera un retardo adicional, hasta que se ordenen las tramas, para luego ser retransmitidas al destino final en el orden correcto. Para minimizar el retardo debido al buffering, muchas aplicaciones usan un buffer jitter adaptivo, lo que significa que si la cantidad de jitter en la red es pequeño, entonces el tamaño del buffer será pequeño, y si el jitter se incrementa debido al aumento del tráfico en la red, el tamaño del buffer de destino se incrementará automáticamente para compensarlo. Por consiguiente, el jitter en la red empeorará la calidad de voz en la magnitud que crece el retardo de extremo a extremo debido al buffer de destino.

2.3.2.1.2.3 Packet Loss

La pérdida de paquetes o Packet Loss es un cálculo estadístico que mide el porcentaje de paquetes que llegaron erróneamente a destino o que simplemente no llegaron, con respecto a la totalidad de paquetes que fueron enviados.

$$Packet Loss (\%) = \frac{Paquetes\ Erróneos}{Total\ de\ Paquetes\ Enviados} \times 100$$

Ecuación 1: Cálculo del Packet Loss.

La pérdida de paquetes en una comunicación VoIP es muy importante, ya que puede provocar una degradación considerable en una comunicación de voz, notándose saltos y cortes.

Existe una técnica llamada Packet Loss Concealment (PLC), la cual enmascara los efectos provocados por la pérdida o descarte de paquetes VoIP. Esta técnica depende del tipo de CODEC utilizado, por ejemplo para G.711, el PLC repite la última muestra correcta que llegó en el lugar de la muestra errónea, por lo que en la mayoría de los casos la forma de onda casi no cambia y permite encubrir hasta 20 ms de muestras continuas. Como el intervalo de paquetización estándar para G.711 es de 20 ms, la pérdida de dos o más paquetes consecutivos provoca una notoria pérdida en la calidad de la voz. En este caso, si se elige un intervalo de paquetización de 30 ms, el sistema PLC no sería efectivo.

Existe un sistema PLC más sofisticado, el cual reemplaza la muestra errónea por el promedio entre la muestra anterior y la muestra siguiente, logrando llegar a enmascarar hasta 30 o 40 ms pérdidas con una calidad de voz tolerable. El inconveniente de esta solución es que agrega un retardo igual al intervalo de paquetización y además utiliza capacidad extra de procesamiento en el DSP utilizado para decodificación.

En definitiva, las redes VoIP típicas deben estar diseñadas para un porcentaje muy cercano a 0 % de pérdidas de paquetes. Aunque con el sistema PLC pueden llegar a una tasa de error de no más del 1%.

2.3.2.1.2.4 Seguridad

Desafortunadamente, las nuevas tecnologías traen también consigo detalles a tener en cuenta respecto a la seguridad. De pronto, se presenta la necesidad de tener que proteger dos infraestructuras diferentes: voz y datos.

Los dispositivos de red, como servidores, sistemas operativos, protocolos, teléfonos y su software, todos son vulnerables a ataques en la red de la misma forma en que se atacan hoy en día sitios web y servidores de cualquier parte del mundo.

La conversación en sí misma es un riesgo, ya que si alguna persona ajena al proveedor consigue una entrada a una parte clave de la infraestructura de la red, como una puerta de enlace VoIP, se pueden capturar y volver a montar paquetes con el objetivo de escuchar una conversación.

Las llamadas son también vulnerables al "secuestro". En este escenario, un atacante puede interceptar una conexión y modificar los parámetros de la llamada. Se trata de un ataque que puede causar bastante pavor, ya que las víctimas no notan ningún tipo de cambio. Las posibilidades incluyen diversas técnicas como robo de identidad, y redireccionamiento de llamada, haciendo que la integridad de los datos estén bajo un gran riesgo.

La disponibilidad de las redes VoIP es otro punto sensible. Los efectos demolidores de los ataques traen como consecuencia la denegación de servicio. Si se dirigen a puntos clave de la red, se podría incluso destruir la posibilidad de comunicación vía voz o datos.

Los teléfonos y servidores son blancos por sí mismos. Aunque sean de menor tamaño o parezcan elementos simples, son en base computadores con software. Obviamente, este software es vulnerable con los mismos tipos de falencias de seguridad que pueden hacer que un sistema operativo pueda estar a plena disposición del intruso. El código puede ser insertado para configurar cualquier tipo de acción maliciosa.

En resumidas cuentas, los riesgos que implica usar el protocolo VoIP no son muy diferentes de los que se puede encontrar en las redes IP habituales. Desafortunadamente, en los esquemas iniciales de diseño de hardware, software y protocolos para voz, la seguridad no es un punto fuerte.

La encriptación es la única manera de prevenir un ataque, aunque desafortunadamente se consume ancho de banda. Existen múltiples métodos de encriptación, como las VPNs y SRTP (secure RTP). La clave, de cualquier forma, es elegir un algoritmo de encriptación rápido, eficiente, y emplear un procesador dedicado de encriptación.

Es preciso tener en cuenta la certeza de todos los elementos que componen la red VoIP: servidores de llamadas, enrutador, switches, centros de trabajo y teléfonos. Se necesita configurar cada uno de esos dispositivos para asegurarse de que están en línea con las demandas en términos de seguridad. Los servidores pueden tener pequeñas funciones trabajando y sólo abiertos los puertos que sean realmente

necesarios. Los enrutador y switches deben estar configurados adecuadamente, con acceso a las listas de control y a los filtros.

Es posible emplear un firewall y un IDS (intrusion detection system) para ayudar a proteger la red de voz. Los firewalls de VoIP son complicados de manejar y tienen múltiples requerimientos. Los servidores de llamada están constantemente abriendo y cerrando puertos para las nuevas conexiones. Este elemento dinámico hace que su manejo sea más complicado. No obstante, el costo es equiparable a la cantidad de beneficios. Se debe prestar especial atención al perfeccionamiento de los controles de acceso.

2.3.2.1.3 *Arquitectura de una red VoIP*

Los componentes principales de una red VoIP se aprecian en la Figura 8, en donde el gateway es el encargado de convertir las señales provenientes de las interfaces de telefonía tradicional, ya sea POTS, T1, E1 o ISDN, a señales paquetizadas compatibles con las redes IP, y viceversa. Por otra parte un teléfono IP es un terminal que tiene soporte nativo de VoIP y puede conectarse directamente a una red IP. También, el servidor provee el manejo de funciones administrativas para soportar el enrutamiento de llamadas a través de la red. En un sistema basado en H.323, el servidor es conocido como un Gatekeeper, en un sistema SIP, el servidor es un servidor SIP y en un sistema basado en MGCP o MEGACO, el servidor es un Agente de llamadas o Call Agent.

Finalmente, la red IP provee conectividad entre todos los terminales, pudiendo ésta ser una red IP privada, una Intranet o el Internet.

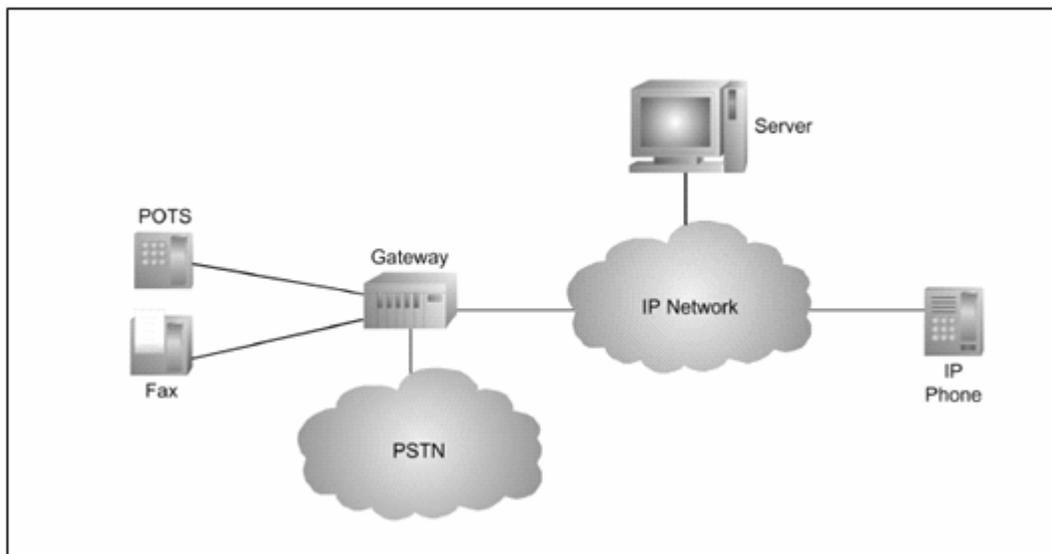


Figura 8: Esquema simplificado de los principales componentes de una VoIP

Las primeras redes de voz fueron construidas usando una arquitectura centralizada en la cual los teléfonos eran controlados por conmutadores centralizados. Sin embargo este modelo trabajó bien para los servicios de telefonía básica.

Uno de los beneficios de la tecnología VoIP, es que permite a las redes ser construidas usando una arquitectura centralizada o bien distribuida. Esta flexibilidad permite a las compañías construir redes caracterizadas por una administración simplificada y la innovación de los Endpoints o terminales.

2.3.2.1.3.1 Arquitectura Centralizada

En general, la arquitectura centralizada esta asociada con los protocolos MGCP y MEGACO. Estos protocolos fueron diseñados para un dispositivo centralizado llamado Controlador Media Gateway o Call Agent, el cual maneja la lógica de conmutación y control de llamadas. Este dispositivo centralizado comunica a los Media Gateways de cada usuario entre si, enrutando y transmitiendo la información de las llamadas de voz.

En la arquitectura centralizada, la inteligencia de la red está en el dispositivo centralizado, y por lo tanto los dispositivos terminales de usuario son relativamente mudos y presentan características limitadas.

La Figura 9 muestra un esquema de la arquitectura de control centralizada VoIP con protocolo MEGACO.

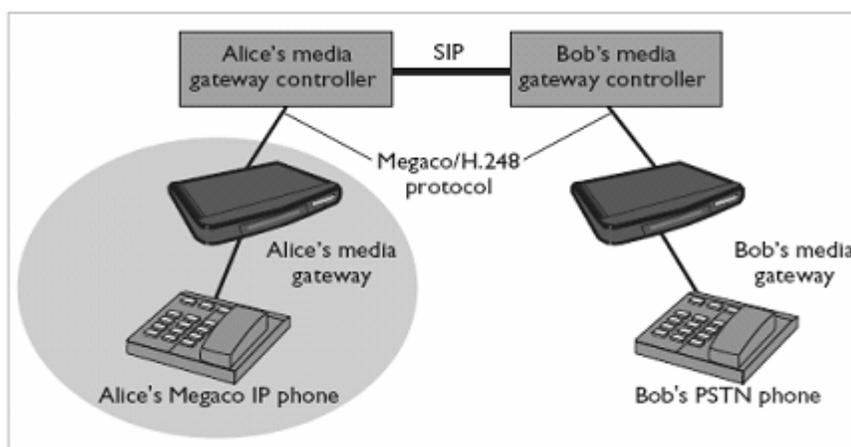


Figura 9: Arquitectura de Control Centralizada VoIP

2.3.2.1.3.2 Arquitectura Distribuida

La arquitectura distribuida esta asociada con los protocolos H.323 y SIP. Estos protocolos permiten que la inteligencia de la red se distribuya entre los dispositivos de control de llamadas y los equipos terminales. En este caso la inteligencia se refiere al establecimiento de las llamadas, las características de las llamadas, el enrutamiento de las llamadas, el aprovisionamiento, la facturación y cualquier otro aspecto de manejo de llamadas. Los equipos terminales pueden ser Gateways VoIP, teléfonos IP, servidores media, o cualquier dispositivo que pueda iniciar y terminar una llamada VoIP. En una red H.323, los dispositivos de control de llamadas son llamados Gatekeepers, mientras que en una red SIP éstos se llaman servidores Proxy.

La arquitectura VoIP de red distribuida se caracteriza por su flexibilidad, ya que permite que sus aplicaciones sean tratadas como cualquier otra aplicación IP distribuida, y permite la libertad de añadir inteligencia a cualquier dispositivo de control de llamadas o terminal, dependiendo de los requerimientos tecnológicos y comerciales de esta red. También esta arquitectura es mucho más fácil de entender para los ingenieros que normalmente manejan redes de datos IP.

En la Figura 10 se muestra las arquitecturas de control VoIP distribuida y centralizada utilizando el protocolo SIP.

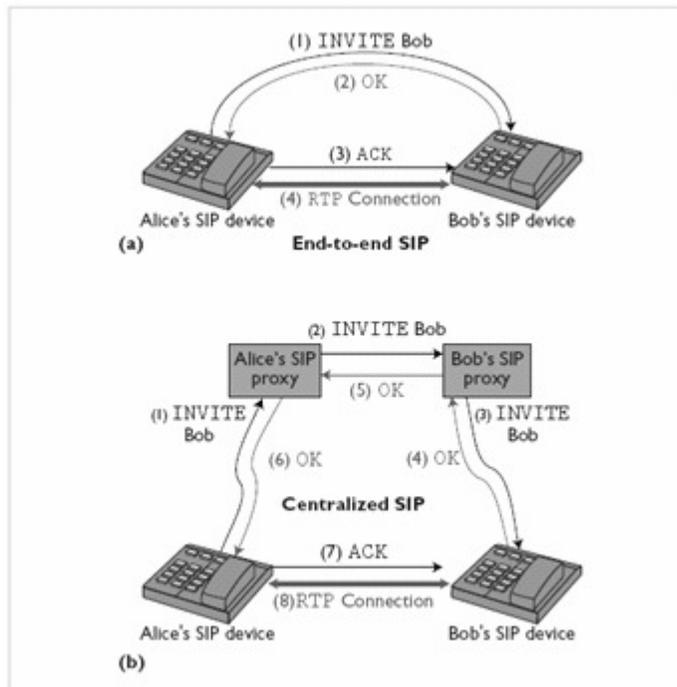


Figura 10: Arquitectura de Control Distribuida (Arriba) y Centralidad (Abajo) con el protocolo SIP.

En el Capítulo 9.7 se describen en detalle los protocolos más utilizados en la actualidad, H.323 y SIP.

2.3.2.2 Voz en demanda

En telecomunicaciones, el término “en demanda” o “streaming” indica el ver u oír un archivo multimedia directamente de Internet, sin la necesidad de descargar el archivo completo al disco duro para poder reproducirlo. Este sistema ha provocado una revolución en la Web ya que permite que los usuarios puedan ver y escuchar contenidos multimedia continuamente, mientras éste se está descargando, disminuyendo considerablemente el tiempo de espera de la descarga.

Este tipo de servicio es presentado normalmente en páginas Web en donde se comparte audio y video, a través de archivos almacenados en servidores para que los usuarios puedan tener acceso a éstos.

La distribución de estos datos multimedia puede sufrir retardos a causa de las sobrecargas de ancho de banda, por lo que es habitual almacenar una cantidad de datos de reserva en un buffer del destino para que la reproducción no sufra interrupciones.

El retardo no es un problema esencial en el sistema de reproducción streaming, ya que el usuario de destino puede reservar tanta información como quiera en el buffer. Sin embargo lo ideal es que el usuario no tenga un tiempo de espera muy elevado, por lo que el retardo estaría limitado a este tiempo de espera y a la reserva de buffer que posea el reproductor multimedia.

Si durante la transmisión, el sistema sufriera una saturación momentánea en el ancho de banda, éste debe poseer una tasa de transmisión más elevada que la tasa de reproducción, para así recuperar paulatinamente la reserva que se tenía. Claramente, si la velocidad de transmisión es menor que la velocidad de reproducción, se consumirá en poco tiempo el buffer de reserva, provocando una detención

en la reproducción y un nuevo almacenamiento en el buffer, lo que es considerado como una mala calidad de servicio.

La tasa de transmisión recomendable para un archivo de audio depende directamente del sistema de codificación y de la compresión que se utilice. Por lo tanto, si se quiere tener una buena calidad en la transmisión de audio en demanda, el cliente debe tener muy claro qué codificación y compresión utilizará, antes de exigir los requerimientos que necesita al proveedor de red.

Según la página *CiscoPress*³, la exigencia que se debe tener en una conexión de audio y video en demanda es principalmente un ancho de banda dedicado mayor a la tasa de reproducción del archivo multimedia, un retardo de no más de 4 a 5 segundos y una tasa de error menor al 5%.

A continuación se presenta una tabla comparativa que muestra una variedad de CODECs con sus respectivas tasas de bits y características principales.

CODEC	Frecuencia de Muestreo (KHz)	Ancho de Banda (Kbps)	Ancho de Banda Nominal (Kbps)	Tamaño de Bloque (ms)	Ventajas	Desventajas
G.711	8	64	87.2	20	Máxima Calidad de Voz Muy Bajo consumo de CPU	Consume más de 64 Kbps en cada dirección
G.722	16	48	Desconocido	30		
		56				
		64				
G.723.1	8	5.3	20.8	30	Compresión muy alta Excelente calidad	Requiere Mucha CPU
		6.3	21.9			
G.726	8	16	Desconocido	20		
		24	47.2			
		32	55.2			
		40	Desconocido			
G.728	Desconocido	16	31.5			
G.729	8	8	31.2	20	Excelente uso de Ancho de Banda. Funciona bien bajo errores de bits aleatorios.	Requiere una Licencia para su uso

Tabla 4: Comparativa de Tasa de Bits para CODECs de Audio

³ <http://www.ciscopress.com>

2.3.3 Servicios de Video

En la actualidad, con la evolución tecnológica que se ha experimentado, la transmisión de video a través de Internet o cualquier red IP se está haciendo cada vez más alcanzable. Interfaces de usuario cada vez más rápidas (Gbps), sistemas de compresión mucho más sofisticados y la incorporación de calidad de servicio a las redes IP, han permitido un acercamiento del servicio de video a variadas aplicaciones dentro de una gran diversidad de rubros. El aprendizaje a distancia, los sistemas médicos remotos, los sistemas de seguridad manejados y enviados a través de la red, son un pequeño recuento dentro del abanico de posibilidades que esta tecnología permite entregar.

En los capítulos siguientes se presentan los sistemas de video separados en aplicaciones generales, como son el video broadcast, la videoconferencia y el video en demanda.

2.3.3.1 Video Broadcast

El video broadcast sobre IP es una transmisión unidireccional de un archivo de video en una red IP. Los terminales de este servicio son solamente visualizadores pasivos, por lo que no tienen el control sobre la sesión y la transmisión recibida. El video broadcast puede ser unicast o multicast desde el servidor.

En una configuración unicast, el servidor hace un replica de la transmisión para cada visualizador terminal. En cambio, en una configuración multicast, la misma señal es enviada sobre la red como una sola transmisión, pero hacia varios puntos terminales.

Esta tecnología está siendo implementada en ambientes corporativos como un medio de distribuir capacitación, presentaciones, minutas de reuniones y discursos. También está siendo utilizada por universidades, centros de educación técnica, emisoras o proveedores de webcast.

Existen tres factores para determinar cuánto ancho de banda se requerirá para implementar esta tecnología:

- El número de usuarios.
- El ancho de Banda que disponen los usuarios.
- Las características Técnicas del Video (Bitrate)
 - La resolución de video
 - El nivel de compresión utilizado
 - Los Cuadros por segundo del video
 - Definición de Colores

Para calcular el ancho de banda que necesita un servidor que quiera ofrecer este servicio, se debe utilizar la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} \text{Ancho de Banda} &= \text{Bitrate} \times \text{factor} \times N^{\circ} \text{ usuarios} = \\ &= \frac{\text{Alto} \times \text{Ancho} \times \text{DefCol} \times \text{Im Seg} \times \text{factor} \times N^{\circ} \text{ usuarios}}{\text{Compresión}} \end{aligned}$$

Ecuación 2: Cálculo de Ancho de Banda para Servicio de Video Broadcast.

Donde:

- **Bitrate:** Es la tasa de datos, expresada en bits por segundo, que se necesita para la correcta reproducción del archivo de video.
- **Factor:** Es un factor de corrección entre el Bitrate del video y el Bitrate efectivo en la transmisión.
- **Nº de usuarios:** Es la cantidad de usuarios a los que se le entrega el servicio (este valor no debe considerarse en una comunicación multicast).
- **Defcol:** Es la definición de colores, expresada en bits por pixel. Normalmente se utilizan 16, 24 o 32 bits.
- **ImSeg:** Es la cantidad de imágenes por segundo que posee el video transmitido.
- **Ancho:** En la resolución de una imagen, representa el ancho en pixeles que ésta posee.
- **Alto:** En la resolución de una imagen, representa la altura en pixeles que ésta posee.
- **Compresión:** Es el nivel de compresión derivado de la etapa de Codificación y compresión que se

En cuanto a QoS, este servicio requiere de las mismas exigencias que en transmisión en demanda de voz, en donde las pérdidas de paquetes no pueden superar el 5 %, el delay debe ser menor a 4 o 5 segundos y se debe poseer un ancho de banda asegurado igual al valor del bitrate del archivo, aunque en este caso se requiere de una tasa de transmisión mayor que para la voz, ya que es video. Adicionalmente a lo anterior, debido a la utilización de codificaciones MPEG, es imperativo tener un nivel máximo de pérdida de paquetes de uno en un millón (10^{-6}), lo cual es considerado un requisito básico en la industria de IPTV [11].

2.3.3.2 Videoconferencia

La video conferencia es una comunicación en tiempo real de información de audio y video en dirección ascendente y descendente (full-duplex), la cual permite que usuarios ubicados en distintos lugares del mundo se puedan ver y oír mutuamente, tal como si estuvieran conversando uno frente al otro.

Para la implementación de esta tecnología es necesario que cada uno de los terminales involucrados utilice una cámara y un micrófono, para capturar las señales de vídeo y audio respectivamente, para luego enviarlas a destino. Estas comunicaciones usualmente no son almacenadas.

Como ya se ha dicho en capítulos anteriores, las técnicas o protocolos más utilizados para la comunicación de audio y video en tiempo real son H.323 y SIP. Estos protocolos ya han sido descritos en el Capítulo 9.7 por lo que no se detallan sus funcionalidades nuevamente.

Los servicios de videoconferencia pueden utilizarse para diversas aplicaciones, incluyendo comunicaciones corporativas, telemedicina, telehealth, capacitación, e-learning y servicio a usuarios. Con la ayuda de estos protocolos, la videoconferencia puede ser una comunicación punto a punto (de usuario a usuario), o multipunto (varios usuarios participando en la misma sesión).

En cuanto a la calidad de servicio que requiere, las exigencias para una buena comunicación en videoconferencia, son las mismas que para una comunicación VoIP, una combinación entre delay y jitter de no más de 150 ms, una tasa de errores de no más del 1 % y un ancho de banda asegurado de no menos que el Bitrate de la transmisión conjunta de video y audio. Sin embargo en cisco systems⁴ se recomienda otorgar un 20 % de Bitrate adicional a las transmisiones de videoconferencia para un buen

⁴ www.cisco.com

funcionamiento. También se debe tener mucho cuidado en la elección de los buffers de De-jitter, ya que la tasa de bits para servicios de video, es considerablemente más grande que la de transmisión de audio.

2.3.3.3 Video en Demanda

Video en Demanda (VOD) es un sistema que permite a un usuario pedir una determinada secuencia de vídeo almacenada en un servidor. Esta tecnología se diferencia del video broadcast en que el usuario tiene las opciones de parar, iniciar, adelantar o regresar el vídeo a voluntad, ya que el servicio es interactivo. VOD también posee otras características que permiten la visualización (Softwares) y también la tarificación por tiempo de uso.

Aunque este sistema se puede usar para visualización en tiempo real, generalmente se utiliza para archivos almacenados de vídeo. Las implementaciones más comunes de esta tecnología son en plataformas de e-learning, capacitación, mercadeo, entretenimiento, broadcasting, y otras áreas donde el usuario final requiere visualizar los archivos en el momento de su elección y no en un horario estipulado por el proveedor del servicio.

Una aplicación típica de VOD sobre una red IP, contiene los siguientes elementos:

- El Servidor de Vídeo (puede ser un servidor de archivos o un cluster de servidores).
- El Servidor Controlador de Aplicaciones el cual inicia la transmisión (puede estar incluido en el servidor de archivos).
- Un punto terminal con un convertidor para responder a la petición de visualización y control de reproducción.
- Software de Administración y/o software de tarificación.
- PC o Dispositivo de Red para registrar/convertir los archivos de vídeo.

2.3.4 Servicios de Datos

Los servicios de datos son catalogados en seis clases distintas, las cuales están ordenadas de acuerdo a su prioridad en la red:

- **Servicios de Control de Red:** Se compone de aplicaciones de ruteo IP, como BGP, IGP, OSPF, etc, y aplicaciones de gestión de red, tal como SNMP, syslog, DNS, etc.
- **Servicios Localmente Definidos como de Misión Crítica:** Son aplicaciones Interactivas y/o transaccionales de una gran prioridad para la empresa.
- **Servicios Interactivos y/o Transaccionales:** Son aplicaciones del tipo Cliente-Servidor y aplicaciones de mensajería instantánea. Se caracterizan por el hecho de que los usuarios se encuentran esperando respuesta en la aplicación utilizada. Por este motivo el retardo no debería superar 1-2 segundos y la tasa de errores debe ser alta, no menor al 95 %.
- **Servicios de Gran Masa (Bulk):** Se compone de aplicaciones normalmente no interactivas, insensibles a pérdidas de datos, que típicamente operan durante largos períodos de tiempo y

que necesitan transferencia de archivos de gran tamaño. Entre estas aplicaciones se incluye el servicio FTP, servicios de E-mail, aplicaciones de respaldo a través de la red, aplicaciones de sincronización y réplica de bases de datos y distribución de contenidos de video. Estas aplicaciones normalmente son llamadas de “background” ya que son aplicaciones que se debe esperar a que finalice, por lo tanto para el usuario no es su aplicación principal.

- **Servicios de Mejor Esfuerzo:** Se compone de todo tipo de aplicaciones que no han sido asignados a otra clase, ya que es la clase definida por defecto para todas las aplicaciones.
- **Servicio Carroñero:** Si datos de una aplicación son marcados como carroñeros, éstos serán los primeros en ser descartados de la red en momentos de congestión. Normalmente se utiliza para aplicaciones peer-to-peer para compartir archivos, juegos en línea y cualquier tráfico de entretenimiento.

En un libro de “Cisco Press”⁵ se cita lo siguiente: “La experiencia de los usuarios y los tests efectuados por Cisco Systems muestran una disminución significativa en el tiempo de respuesta de las aplicaciones de datos cuando las aplicaciones de tiempo real superan un 33 % de la capacidad total del link del equipo en cuestión”.

Por lo tanto se sugiere una limitación en la asignación de capacidad de colas en un 33 % del enlace total para las aplicaciones de tiempo real. Luego, se opta por limitar la asignación de capacidad de las aplicaciones best-effort en un 25 %, las de bulk en un 4 % y las carroñeras en un 1 %. El resto de la asignación de colas es para las aplicaciones de datos críticos, así como video en demanda, gestión y control de red, datos de transacciones, datos de misión crítica y señalización de llamadas.

En la Figura 11 se muestra un esquema de la asignación máxima de capacidad asegurada que debe existir en las colas de los equipos para el buen funcionamiento de una red.

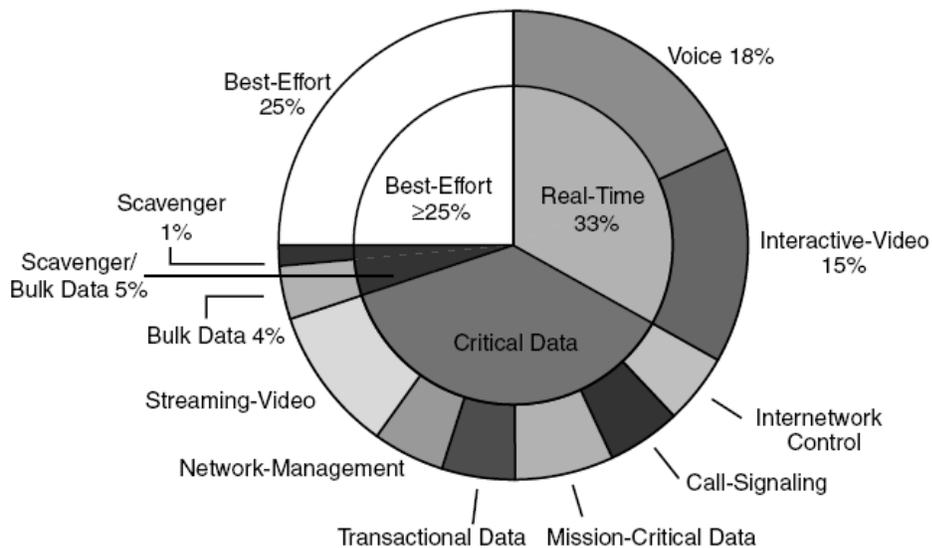


Figura 11: Asignación máxima de capacidad asegurada en las colas según el tipo de datos.

⁵ Capítulo 2 del libro “End to End QoS Network Design: Quality of Service in LANs, WANs and VPNs”.

2.4 Plataformas de Telecomunicaciones

Como se vio en el capítulo anterior, en las redes de telecomunicaciones existen múltiples servicios, generalizados en voz, video, datos, y además servicios de red que permiten la entrega de manera adecuada de estos últimos.

En este capítulo se aborda el dimensionamiento de los equipos y enlaces que deben existir en la red, para una óptima entrega de servicios, según el tipo de plataforma que se quiera soportar en ésta.

Como se definió al comienzo del capítulo 2, una plataforma es la infraestructura, tanto de hardware como de software, necesaria para soportar algún servicio. En este documento, se denomina a las plataformas de servicio como las plataformas que integran variados servicios (voz, video y datos) orientados al usuario.

Por otra parte, las plataformas de red se separan en plataformas de acceso, distribución y core.

En los capítulos siguientes, en un comienzo, se muestran en detalle plataformas de servicio las cuales tienen como característica principal, el soporte de las aplicaciones para la entrega de servicios “de valor agregado” a los usuarios. Finalmente se detallan algunas plataformas de red esenciales en el desarrollo de las redes de nueva generación, como lo son las plataformas IP-MPLS, principalmente utilizadas como backbone, IMS, que generaliza el tipo de acceso al medio que posee el usuario y UMTS que muestra de manera muy general las redes móviles indicando los bloques que se necesitan para el desarrollo de este tipo de redes.

2.4.1 Plataformas de Servicios

Las plataformas de servicios son generalmente servidores que se conectan en algún punto de la red para entregar ciertos servicios a los usuarios de Internet o alguna red local en la que se esté.

Para dimensionar las plataformas con respecto a los servicios que éstas entregan, se separarán los servicios en 3 grupos ordenados por prioridad, de mayor a menor:

- Grupo 1: Aplicaciones de tiempo real y señalización de llamadas en tiempo real.
- Grupo 2: Aplicaciones interactivas, transaccionales, de video en demanda y de señalización y gestión de red.
- Grupo 3: Se incluye todas las aplicaciones que no fueron asignadas en los otros grupos.

De manera adicional se debe volver a separar las aplicaciones según la dirección de la transmisión que éstas necesitan, ya sea de subida (hacia la red) o de bajada (desde la red).

2.4.1.1 Plataforma E-learning

La plataforma de e-learning es una plataforma de telecomunicaciones que tiene como principal rol entregar información sobre cursos a usuarios a través de redes IP. Estas plataformas normalmente consisten en una página web con acceso restringido (autenticación), en donde se comparten ficheros con la información del curso, foros, Chat, comunicación de voz en conferencia, y publicación de notas.

También existen plataformas e-learning más sofisticadas y completas, como la “plataforma vértice”⁶, que cuenta con una página web, foros, e-mail, pizarras electrónicas, Chat, biblioteca electrónica (FTP), espacio para videoconferencia, publicación de notas, pizarra para colocar comentarios y afiches, un software de seguimientos de las actividades de los usuarios y un sistema de e-commerce para realizar pagos por la red.

Para la implementación de una plataforma de e-learning se necesita un servidor y una conexión de acceso a Internet. En este trabajo se dimensionan los requerimientos de red necesarios para esta plataforma y no el dimensionamiento del servidor, ya que ese es un problema que debe resolver el cliente dependiendo de cuántas plataformas tiene implementadas en el mismo servidor.

Cada una de las aplicaciones disponibles en el servidor, requieren de un cierto ancho de banda de subida, de bajada y requerimientos de QoS. En el caso de una plataforma e-learning se tendrá:

- Grupo 1: Servicios y señalización de video conferencia. Se asumirá que el codificador de video utilizado es MPEG-4 (320x240, 15 fps y 96 Kbps), que el de audio es G.729a (39,2 kbps) y que la señalización es SIP y por lo tanto es despreciable en comparación con la transmisión de los datos RTP.
- Grupo 2: Foros, pizarra electrónica, Chat y servicio de e-commerce.
- Grupo 3: E-mail, Biblioteca Electrónica y página Web.

Como ya se especificó en capítulos anteriores, las aplicaciones del grupo 1 son sensibles al retardo y a la transmisión errónea de paquetes, por lo tanto se le otorgará primera prioridad a este grupo.

Si se asume que los cursos son transmitidos a través de video en demanda y que el software utilizado y la red soportan el uso de distribución multicast, entonces sólo se requerirá de un ancho de banda, de grupo 2, equivalente a la transmisión del video y audio conjunto.

Ahora si también se asume que, de vez en cuando, se realizan reuniones virtuales programadas entre el profesor y sus alumnos, y que el sistema completo acepta la distribución multicast, entonces se requerirá un ancho de banda de subida y de bajada, del grupo 1, igual a la multiplicación del ancho de banda de videoconferencia y de la cantidad de asistentes a ésta.

Por ejemplo, se tomará como supuesto que se dictan 50 cursos y una reunión virtual cada dos días, y se tienen 20 alumnos por curso, y hay 5 reuniones simultáneas. También se supondrá que como máximo el 50 % de los cursos son consultados al mismo tiempo.

Entonces el dimensionamiento del ancho de banda de subida necesario para las transmisiones de video en demanda multicast de 25 cursos es:

$$25 \text{ cursos simultáneos} = 25 \cdot 140 = 3500 \text{ Kbps}$$

Ecuación 3: Dimensionamiento de Ancho de Banda en Transmisión de Video en Demanda

Para el cálculo de la ecuación anterior se dimensionó el ancho de banda de subida tomando los 25 cursos enviados por el servidor. En este caso no se considera ancho de banda Downlink, puesto que la señalización es despreciable en comparación con el ancho de banda de la señal enviada.

⁶ www.verticelearning.com

Luego, el dimensionamiento del ancho de banda necesario para las videoconferencias multicast de 5 cursos simultáneos es:

$$5 \text{ videoconferencias simultáneas} = 1.2 \cdot 5 \cdot 20 \cdot 140 = 16800 \text{ Kbps}$$

Ecuación 4: Dimensionamiento de Ancho de Banda para Transmisión de una Videoconferencia.

Para calcular la Ecuación 4 se considera que las 20 personas de cada uno de los 5 cursos envían su videoconferencia al servidor, por lo tanto se tendrá un requerimiento de ancho de banda de subida y de bajada de 16800 Kbps. Recordar que para las aplicaciones en tiempo real, se sugiere utilizar un 20 % más de ancho de banda que el calculado originalmente según el bitrate de éstas.

A los cálculos anteriores, se debe agregar el tráfico por visitas a la página web, en donde se supuso 500 visitas diarias, un tamaño de página de 400 KBytes y la navegación a través de 10 páginas por visita. Para el cálculo de este ancho de banda, se utilizó un “Server Bandwidth Requirement Calculator”⁷, el cual dio como resultado un ancho de banda promedio de 550 Kbps.

Faltaría adicionar el ancho de banda de la biblioteca electrónica, que para 1000 alumnos se estima en 20 consultas simultáneas, sin embargo en la página de “CiscoPress”⁸ se sugiere que para que aplicaciones de tiempo real funcionen dentro del rango de retardo que requieren, el ancho de banda de éstas debe ser a lo más un 33 % del ancho de banda total del enlace. Para el grupo 2 se debe reservar un 37 % y para la categoría Best-Effort (grupo 3), se debe reservar un 30 % de la capacidad del enlace, ya que en el caso de esta memoria se une el tráfico Best-Effort con el tráfico de gran tamaño (Bulk) y el tráfico carroñero (Scavenger).

Esto se aprecia en la Figura 12, extraída de aquella página.

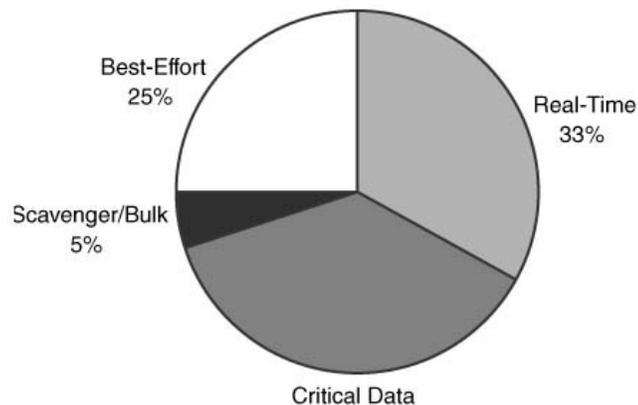


Figura 12: Gráfico de la Distribución de Ancho de Banda Recomendado para Enlaces en una red IP.

Por lo tanto si se tiene un requerimiento de 16,8 Mbps de ancho de banda de subida y de bajada aproximadamente para aplicaciones de tiempo real, el enlace debe ser de por lo menos 50,4 Mbps de subida y de bajada.

⁷ <http://www.csgnetwork.com/servbwreqcalc.html>

⁸ <http://www.ciscopress.com> - Artículo “Quality of Service Design Overview”.

Finalmente, para obtener la capacidad que debe tener el enlace de subida y de bajada del servidor e-learning, se debe aproximar estas estimaciones, al tamaño de enlace más próximo, más confiable y barato. En este caso lo más lógico sería utilizar un enlace Fast-Ethernet (100 Mbps) directo con la red del proveedor.

2.4.1.2 Plataforma de E-commerce

Una plataforma de e-commerce, es una plataforma que permite a los usuarios comprar artículos de cualquier clase a través de Internet. Para esto la plataforma debe soportar el levantamiento de páginas Web, sistema codificación de seguridad SSL, y opcionalmente puede poseer una VPN con el organismo de transacciones bancarias.

2.4.1.3 Plataforma IP Contact Center

Una plataforma IPCC es un servidor que tiene como objetivo principal el de comunicar a las personas entre si. Para lograr esto, en las IPCC se implementan varias aplicaciones, como por ejemplo, Chat, un servidor Web, llamadas de voz, videoconferencias y mensajes de voz y video.

En este caso, las llamadas de voz y videoconferencias se asignan al grupo 1, en cambio los servicios de Chat, mensajes de voz y de video, y el Chat se asignan al grupo 2, y finalmente el servicio Web se asigna al grupo 3.

Para el dimensionamiento de las necesidades del enlace que debe poseer este servidor se hace un razonamiento parecido al realizado para la plataforma de e-learning. Lo único difícil de estimar es la cantidad de llamadas realizadas conjuntamente entre los clientes de esta plataforma y el número de usuarios que ingresan al sistema al mismo tiempo a recuperar sus mensajes de voz y de video, los cuales son entregados en forma de voz y video en demanda.

2.4.1.4 Servidores de Datos

Un servidor de datos tiene como principal objetivo el de entregar un servicio FTP o de transferencia de Archivos a través de la red. Esta plataforma normalmente se utiliza para respaldar archivos, compartir archivos no interactivamente, una biblioteca virtual, guardar bases de datos o cualquier aplicación en donde se necesite guardar grandes cantidades de información en archivos.

Estos datos en la red no tienen mucha prioridad, y para efectos de esta memoria serán considerados en el grupo 3, como un tipo de tráfico Best-Effort. Para la entrega de este servicio en la red se necesita un ancho de banda sin garantías (como los utilizados en la actualidad) o un ancho de banda con garantías, pero que le asigne a este tráfico la prioridad que merece.

Para la estimación de la capacidad de este enlace, se debe disponer de la cantidad total de clientes que posee este servidor y de la capacidad máxima que se le otorgará a cada uno dependiendo de capacidad de conexión hogareña promedio al momento de hacer la estimación.

Con estos datos se hace una estimación de cuántos de estos usuarios utilizan el servicio simultáneamente, para otorgarles el máximo de ancho de banda ya establecido.

Por ejemplo, en un Campus en donde se tienen 1000 alumnos, se supone que no más del 10 % utiliza el servicio FTP al mismo tiempo desde la red WAN, y que a cada uno a lo más se le entrega una capacidad de 600 Kbps, que es la capacidad promedio de una conexión hogareña en la actualidad.

En definitiva se tendrá que el ancho de banda de la conexión WAN que deberá tener esta plataforma FTP para entregar un servicio óptimo, es:

$$BW = \text{Porc. Estimado} \cdot \text{Cant. Clientes} \cdot \text{Cap. Pr omedio}$$
$$BW = 0,1 \cdot 1000 \cdot 600 = 60000 \text{ Kbps} = 58,6 \text{ Mbps}$$

Ecuación 5: Estimación de Ancho de Banda en Servidor de Datos.

Por lo tanto para este ejemplo, la conexión WAN que debe tener el servidor es de 58,6 Mbps, por lo que el valor que más se aproxima es el de una conexión Fast-Ethernet de 100 Mbps.

2.4.1.5 Servidores de Acceso

Estos servidores son utilizados normalmente en los bordes de la red o en zonas especiales de ésta, en donde se debe tener especial cuidado en quién se deja ingresar y quién no. Para esto se tienen algunos criterios de acceso, como pueden ser la dirección IP origen, el tipo de tráfico, los puertos utilizados, etc.

Se trata de equipos que integran una base de datos con los criterios que se deben considerar y que permiten el acceso de paquetes que cumplen con los criterios, los demás son descartados.

En este caso, se debe tener un ancho de banda de entrada igual al ancho de banda de salida, y estimar se debe estimar la cantidad de tramas por segundo que el procesador de este servidor puede evaluar y la cantidad de memoria de buffers que se necesitan para cumplir con los requerimientos de QoS de cada tipo de tráfico.

2.4.2 Plataformas de Red

En este documento, cuando se hable de plataformas de red se refiere a plataformas que son parte de la red misma, es decir que son parte del proveedor de la red, y que pueden abarcar la capa de acceso, de distribución y de core.

En los capítulos siguientes se muestran algunas tecnologías que se caracterizan por ser generales, como por ejemplo IMS que es agnóstico con respecto a la tecnología de acceso a la red e IP-MPLS que es un servicio multi-protocolo, que es compatible con el protocolo IP, que es esencial para las redes actuales por su gran expansión, y además acepta una multitud de tecnologías de la capa de enlace del modelo OSI. Dentro de las plataformas de acceso, se muestra el ejemplo de UMTS que dentro de las plataformas de acceso inalámbricas es bastante general pues es compatible con GSM, GPRS, EDGE e incluso se le ha implementado en su nuevo utilizando IMS como el medio de control. Sin embargo se verá su arquitectura original puesto que ya se abarcó a IMS.

2.4.2.1 Plataforma IMS

La plataforma IMS es un arquitectura de Core que permite la comunicación entre servidores y clientes, y que abre una gran posibilidad a la convergencia entre las redes móviles y fijas. IMS está compuesto por una arquitectura unificada, ordenada en capas, que permite el manejo de los medios a través de la red independiente de su posición y que logra entregar la integración necesaria para comunicar servicios Multimedia IP para las redes cableadas e inalámbricas por igual.

Esta arquitectura define el control, ruteo y protocolo de servicios a través de la red independiente del dispositivo o del formato de datos. Estos servicios son soportados por los servidores de aplicaciones.

En la Figura 13 se presenta la arquitectura IMS, identificando sus componentes y la separación en tres capas que ésta posee:

- **Capa de Conectividad:** Se compone de la capa de acceso y la capa de transporte.
- **Capa IMS:** También es llamada la capa de Control, se preocupa de la gestión y control de las comunicaciones.
- **Capa de Servicios y Aplicaciones:** Esta capa posee servidores de aplicaciones y medios, los cuales procesan y guardan los datos de la red y generan servicios para los clientes.

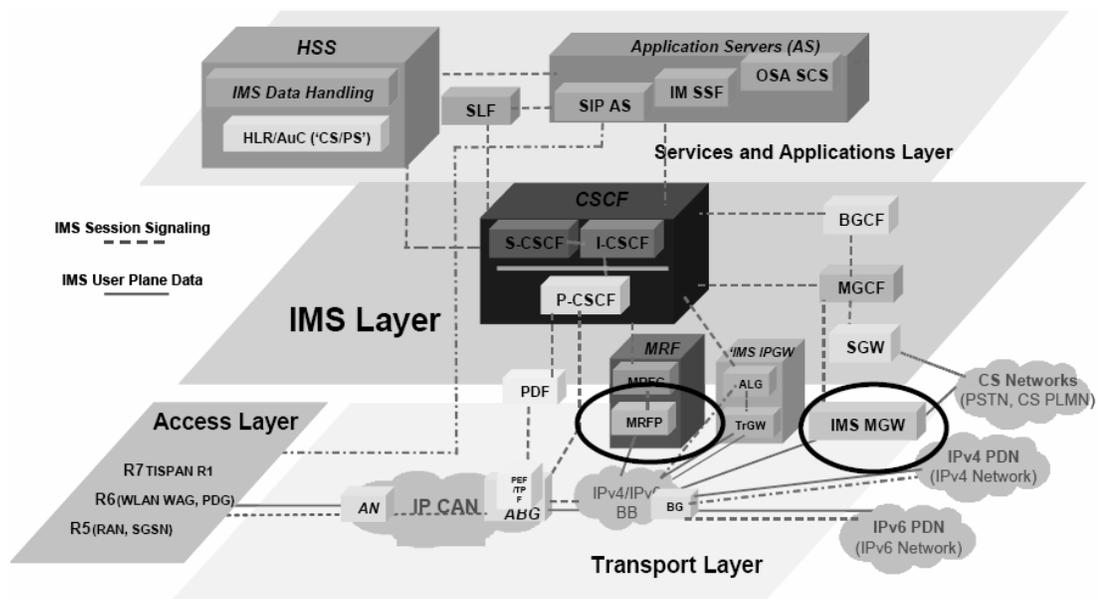


Figura 13: Diagrama de Arquitectura IMS Separada en Capas.

2.4.2.1.1 Capa de conectividad

La capa de conectividad se compone de la capa de acceso, que puede ser cualquiera, y la capa de transporte IP que se muestran en la figura anterior. Esta capa se compone de switches, routers, BTS, UEs, de la red de acceso, de la red de distribución, de la red backbone, de los gateways con las redes PSTN e IP externas, y de un servidor MRF (Media Resource Function).

Éste último se preocupa de enviar y gestionar la transmisión RTP, procesar, codificar y decodificar la información de audio y video, y gestionar las videoconferencias de múltiples usuarios.

Un UE se comunica a través de la red IP con el S-CSCF que le fue asignado, para que se le gestione la comunicación, verificando el acceso a los servicios, haciéndole disponible recursos de red y finalmente buscando y estableciendo la conexión con el UE de destino.

Finalmente, el IMS – MGW permite la comunicación de voz entre al red IP y la red PSTN, traduciendo la comunicación hacia y desde ambos lados.

2.4.2.1.2 Capa de Control

La capa de control se compone del CSCF⁹, BGCF¹⁰ y del MGCF¹¹.

El primero es un servidor que realiza la gestión para la comunicación en los UEs, verificando, con el MRF, si es que se tiene recursos de red disponibles para la comunicación y se comunica con el HSS para ver si es que el usuario tiene permiso para ingresar a la red y para utilizar ciertos servicios.

Luego se tiene el BGCF, el cual su única función es la de seleccionar en su misma red el MGFC y en una red externa, el BGCF de aquella red.

Finalmente, se tiene el MGFC, que es el encargado de enviar y traducir la información de señalización y control desde la red IP a la red PSTN y viceversa. De este modo controla al IMS-MGW y además determina el destino de las llamadas originadas en la PSTN que tienen como destino la red IMS.

2.4.2.1.3 Capa de Servicios y Aplicaciones

En esta capa se encuentran el bloque HSS y los servidores de aplicaciones (AS).

El HSS es un servidor que contiene la base de datos de todos los clientes IMS y de todos los servicios que éstos tienen accesible. Este servidor es el responsable de todo lo referente al usuario, su identificación, su numeración, su dirección, su información de seguridad y su ubicación.

Los ASs son servidores de la red IMS que entregan servicios de valor agregado a ésta. Normalmente se compone de aplicaciones SIP que ejecutan aplicaciones y servicios IMS a través de la manipulación de la señalización SIP, y la interfaz con otros sistemas.

El CSCF, el BGCF, el MRF, el HSS y el AS pueden ser implementados en un mismo servidor, sin embargo todo depende de si la cantidad de aplicaciones y de usuarios pueden ser soportados por la capacidad de procesamiento y de almacenamiento de este servidor.

2.4.2.2 Plataforma UMTS

Universal Mobile Telecommunications System es una tecnología de acceso inalámbrica de 3era Generación que permite la transmisión de voz en tiempo real y transmisión de datos de hasta 2 Mbps. Esta plataforma fue diseñada para poseer total compatibilidad con las redes GSM pudiendo conectarse fácilmente con redes de conmutación de circuitos (MSC), como con redes de conmutación de paquetes IP (SGSN).

⁹ Call State Control Function

¹⁰ Breakout Gateway Control function

¹¹ Media Gateway Control Function

Esta plataforma se compone principalmente de cuatro Dominios:

- **Dominio Central (Core Network):** La función principal de la red Core es proveer enrutamiento, conmutación y tránsito para la información de tráfico y señalización de los usuarios, sin embargo también posee las bases de datos de los usuarios, los servidores de gestión de la red y los gateways de conexión con redes PDN¹², ISDN y PSTN. Este dominio se conecta con el dominio AN a través de la interfaz Iu. Esta partición permite que la CN pueda estar conectada con ANs basadas en diferentes tecnologías de acceso, y que la CN pueda estar también basada en diferentes tecnologías.
- **Dominio de Red de Acceso (Access Network):** Es la red de acceso de radio que proporciona la conexión entre los terminales móviles y el Core Network. En UMTS recibe el nombre de UTRAN y se compone de una serie de sistemas de red radio o RNCs¹³ y una serie de Nodos B dependientes de él. Los Nodos B son los elementos de la red que corresponden a las estaciones bases o antenas.
- **Dominio de Equipo Móvil (Mobile Equipment):** El ME puede subdividirse en dos partes, la Terminación Móvil, que realiza las funciones relacionadas con la transmisión radio, y el Equipo Terminal que contiene las aplicaciones extremo a extremo. Este dominio se conecta con el dominio AN a través de la interfaz Uu.
- **Dominio USIM (User Services Identity Module):** El USIM contiene datos y procedimientos que identifican de forma segura y sin ambigüedad al usuario, y éstos están normalmente incluidos en una tarjeta inteligente. Dicha tarjeta está asociada a un usuario que se puede identificar independientemente del ME usado.

En la Figura 14 se aprecia un diagrama detallado de la plataforma UMTS.

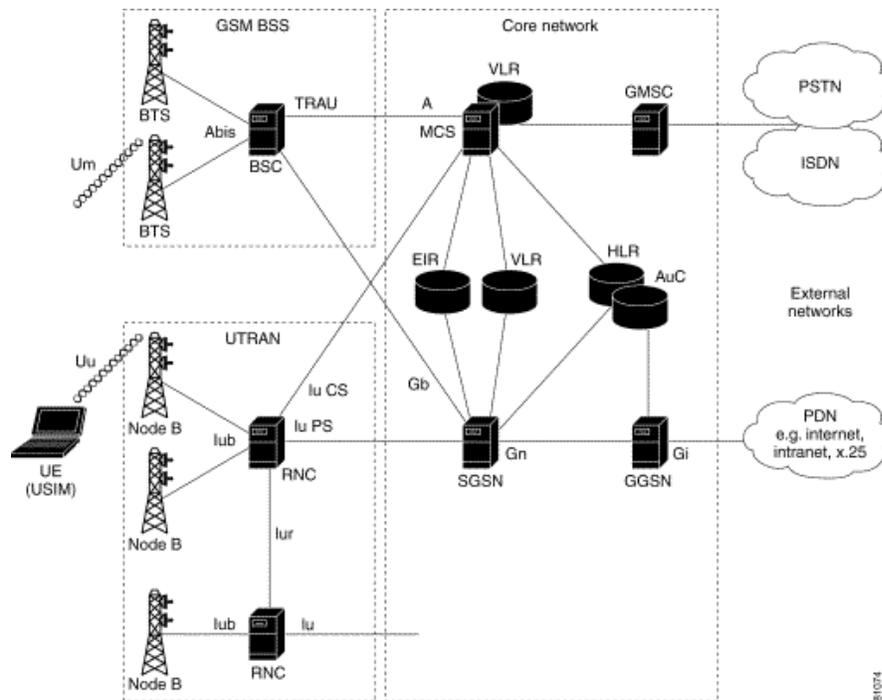


Figura 14: Plataforma UMTS

¹² Public Data Network

¹³ Radio Network Controller

Como se puede apreciar en la figura anterior, la arquitectura de red UMTS incorpora la red de acceso GSM y la red UTRAN, y la red central incluye un dominio con conmutación de circuitos (CS) y un dominio con conmutación de paquetes (PS).

A continuación se detalla cada uno de los componentes de la red UMTS.

- **Mobile Station (MS):** Una MS es un UE y está compuesta por el equipo móvil y la tarjeta de identificación de abonado UMTS (USIM).
- **Base Station System (BSS):** La Red de Acceso GSM consiste de uno o varios BSSs. El BSS realiza la asignación y liberación de recursos radio para permitir la comunicación con MSs en una cierta área. Un BSS está compuesto de un BSC, y uno o varios BTSs.
- **Base Station Controller (BSC):** El BSC es la entidad controladora de un BSS y se encarga del control general de los recursos de radio proporcionados por uno o varios BTSs.
- **Base Transceiver Station (BTS):** Es el componente responsable de la transmisión y recepción de radio hacia y desde MSs en una o más celdas GSM.
- **Radio Network System (RNS):** La Red de acceso UTRAN está compuesta de uno o varios RNSs. El RNS realiza la asignación y liberación de recursos radio para permitir la comunicación con los MSs en una cierta área. Un RNS está compuesto de un RNC, y uno o varios nodos B.
- **Radio Network Controller (RNC):** El RNC es la entidad controladora de un RNS y se encarga del control general de los recursos de radio proporcionados por uno o varios nodos B. El RNC es responsable de las decisiones de handover que requieren señalización al MS.
- **Node B:** Es el componente responsable de la transmisión y recepción de radio hacia y desde MSs en una o más celdas UMTS. Un nodo B puede soportar el modo FDD, el modo TDD, o una operación en modo dual.
- **Home Location Register (HLR):** El HLR contiene una base de datos encargada de gestionar a los abonados móviles. Una PLMN puede contener uno o varios HLRs. El HLR almacena información de suscripciones y datos de ubicación que permiten la tasación y encaminamiento de llamadas y mensajes hacia el MSC o el SGSN donde se ha registrado la MS.
- **Visitor Location Register:** El VLR se encarga de controlar el roaming de las MSs en un área MSC. Cuando una MS entra en una nueva área de ubicación se comienza un procedimiento de registro. El MSC encargado de dicha área notifica este registro y transfiere al VLR la identidad del área de ubicación donde la MS está situada. Si dicha MS no está todavía registrada, el VLR y el HLR intercambian información para permitir el adecuado manejo de las llamadas de esta MS. El VLR puede estar encargado de una o varias áreas MSC.

- **Authentication Centre (AuC):** El AuC contiene una base de datos que mantiene los datos de cada abonado móvil para permitir la identificación internacional de abonados móviles (IMSI) para poder realizar la autenticación del abonado y para poder cifrar la comunicación por el camino radio entre la MS y la red. El AuC transmite los datos requeridos para la autenticación y cifrado a través del HLR hasta el VLR, MSC y SGSN que necesitan autenticar al abonado móvil. El AuC está asociado a un HLR y almacena claves de identificación para cada abonado móvil registrado en ese HLR.
- **Equipment Identity Register (EIR):** El EIR contiene una base de datos que mantiene los identificadores internacionales de equipos móviles (IMEI) para controlar el acceso a la red de los equipos móviles.
- **Mobile Switching Centre (MSC):** El MSC es una central que realiza todas las funciones de señalización y conmutación requeridas para el manejo de servicios CS hacia y desde las MSs localizadas en una determinada área geográfica. La principal diferencia con una central de una red fija es que incorpora funciones para la gestión de la movilidad como los procedimientos para el registro de posición y para el handover. Una CN puede estar constituida por uno o varios MSCs.
- **Gateway MSC (GMSC):** En el caso de llamadas entrantes a una PLMN, la llamada es encaminada hacia un MSC, si la red fija no es capaz de interrogar a un HLR. Este MSC interroga el HLR apropiado y entonces encamina la llamada al MSC donde esté la MS llamada. El MSC que realiza la función de encaminamiento hasta la ubicación de la MS se denomina GMSC.
- **Serving GPRS Support Node (SGSN):** El SGSN sigue y mantiene la posición de las MSs en su área, y realiza funciones de seguridad y control de acceso. El SGSN establece contextos PDP (Packet Data Protocol) activos que son usados para el encaminamiento con el GGSN que el abonado este usando. La función de registro de posición en un SGSN almacena información de suscripciones y datos de ubicación de los abonados registrados en el SGSN para servicios con conmutación de paquetes. Dicha información es necesaria para llevar a cabo la transferencia entrante o saliente de paquetes de datos.
- **Gateway GPRS Support Node (GGSN):** El GGSN proporciona el funcionamiento con redes externas con conmutación de paquetes. La función de registro de posición en un GGSN, almacena información de suscripciones y datos de encaminamiento para cada abonado que tenga al menos un contexto PDP activo. Dicha información es recibida desde el HLR y el SGSN, y es necesaria para poder establecer un túnel de tráfico de paquetes de datos, destinado a una MS, a través del SGSN donde el MS esta registrado. El SGSN y el GGSN poseen funciones de encaminamiento IP, por lo tanto pueden estar interconectados por un router. Cuando el SGSN y el GGSN están en diferentes PLMNs, ellos utilizan una función de seguridad requerida para la comunicación inter-PLMN (VPN).

En definitiva, en la UTRAN o BSS se tiene es un nodo B o una BTS, que hace las funciones de switch entre todos los UEs o MSs que tienen a su alcance. Luego se tiene el RNC o BSC que cumple las funciones de gestión de las celdas y decisiones de handovers, y que además juega el papel de un switch.

La red central contiene entidades de bases de datos, y de gestión de tráfico y llamadas. De manera general, se podría juntar todas las entidades de base de datos (EIR, VLR, HLR y AuC) en un solo servidor, conectado a las otras entidades a través de un router, y que posea la funcionalidad de base de datos.

También se puede utilizar un servidor con la funcionalidad de un servidor de acceso, que genere las gestiones de red, que conecte las redes PSTN y PDN con la PLMN, y que tenga una base de datos con la ubicación de cada MS.

2.4.2.3 Plataforma IP-MPLS

IP-MPLS es una red privada IP utilizada normalmente en el core y que combina la flexibilidad de las comunicaciones punto a punto o Internet y la fiabilidad, calidad y seguridad de los servicios Private Line, Frame Relay o ATM.

Esta plataforma ofrece niveles de rendimiento diferenciados y de priorización de tráfico, así como aplicaciones de voz y multimedia, y todo esto en una red única.

Esta tecnología principalmente lo que hace es incluir un encabezado más entre el encabezado de capa 2 y el encabezado de capa 3. Este encabezado, mostrado en la Figura 15, posee un campo de 20 bits para la identificación de etiquetas, 3 bits para el campo *EXP* que hoy en día se utiliza para la diferenciación de servicios, 1 bit para el campo *S* que identifica a la primera etiqueta introducida, y 8 bits para el campo TTL (Time To Live) que se incrementa en uno en cada paso por un LSR.

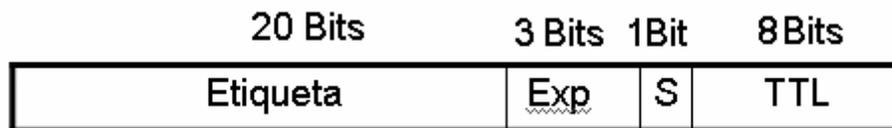


Figura 15: Encabezado MPLS

Este tipo de plataformas se compone de un conjunto de LSRs, algunos situados en el borde de la red, los edge LSRs, y otros en el interior de ésta, los Internal LSRs.

Los Edge-LSRs son los encargados del etiquetado de cada uno de los frames o paquetes que necesiten ingresar a la red MPLS y también de la elaboración de los Label Switch Path (LSPs). Los LSRs internos por su parte son como routers pero que funcionan en base al intercambio de etiquetas según se le asignó en el LSP.

Un LSP es un canal virtual unidireccional, con garantías de QoS, de borde a borde de la red MPLS que deben seguir todos los paquetes que tengan el mismo origen, destino y que posean un cierto FEC (Forward Equivalence Class). Éste es creado por el Edge-LSR utilizando las técnicas de enrutamiento, como RIPv2, IS-IS o OSPF, pero reservando recursos, con Int-Serv o DiffServ, para este canal y distribuyendo de manera óptima la carga a través de la red, no tomando como criterio primordial el camino más corto, como en el protocolo LDP.

Una de las características principales de MPLS es que la concatenación de múltiples LSPs permite, de manera muy simple, la creación de VPNs, lo que a su vez facilita la administración de la red, la seguridad para los clientes, la distribución óptima de recursos de red y la función de aislamiento, que permite que una empresa contrate una VPN para conectar dos o más sucursales distanciadas, simulando una conexión directa entre éstas, con garantías de calidad de servicio y con una privacidad absoluta.

En resumen, MPLS posee una gran cantidad de ventajas sobre las redes “legacy”, ya que permite la tan anhelada convergencia de voz, video y datos en una misma plataforma y además soporta la utilización de múltiples protocolos de capa de enlace, ATM, Frame Relay, Ethernet, etc.

A continuación se presentan las principales características y ventajas de MPLS, que explican porqué MPLS es una tendencia tecnológica obligada mundial.

- **Flexibilidad:** La topología de una MPLS VPN puede acomodarse acorde a cada necesidad, dada su naturaleza que brinda conexiones "Any-to-Any" entre los distintos puntos que comprenden la VPN, contando así con el mejor camino o ruta entre cada punto.
- **Escalabilidad:** Cada vez que se necesite incluir un nuevo punto a una VPN, sólo hay que configurar el equipamiento del proveedor de Servicios que conecte este nuevo punto. De esta forma, se evitan tareas complejas y riesgosas, como las que se producen cuando se activa un nuevo punto en una red basada en circuitos virtuales de Frame Relay o ATM, en donde es necesario re-configurar todos los puntos involucrados.
- **Accesibilidad:** La arquitectura de MPLS VPN permite utilizar prácticamente todas las tecnologías de acceso para interconectar las oficinas del cliente con el Proveedor de Servicios. Por este motivo, versatilidad que esta red permite al conectarse redes pequeñas, así como redes grandes, permite cada punto de la VPN acorde a sus necesidades, sin restringir la de los demás.
- **Calidad de servicio (QoS) y Clases de servicio (CoS):** Mediante la utilización de técnicas y herramientas de Calidad de Servicio se ofrecen distintas clases de servicio dentro de una MPLS VPN para cumplir con los requerimientos de cada servicio o aplicación. Esto permite la convergencia de datos, con aplicaciones de voz y video interactivas, y la transmisión de video de alta calidad.
- **Monitoreo y SLAs:** Las MPLS VPN son monitoreadas, controladas y con un constante seguimiento en forma permanente, las 24 horas los 7 días de la semana, por parte del proveedor de servicios. Además, se extienden SLAs para garantizar y asegurar la estabilidad y rendimiento que el cliente necesite.
- **Fácil Migración:** La simplicidad de la tecnología determina que las tareas de aprovisionamiento, administración y mantenimiento sean actividades sencillas para el proveedor de servicios, obteniendo una migración del servicio actual sin complicaciones.
- **Seguridad:** Los niveles de seguridad entregados por una MPLS VPN son comparables con los entregados por los circuitos virtuales de Frame Relay y ATM. Sin embargo, en aplicaciones donde estos niveles no son suficientes, como por ejemplo en transacciones financieras, una MPLS VPN puede también ser combinada con la encriptación y autenticación de IPSec, elevando aún más la seguridad de la VPN.
- **Bajo Costo:** Es posible afirmar que un servicio MPLS VPN reduce los costos de la red, ya que esta red es independiente del CPE y por lo tanto no requiere de la instalación de un hardware específico ni costoso, y además al ser una red que soporta múltiples clases de servicios, se puede unificar los servicios de voz, video y datos en esta estructura de red única, reduciendo los costos significativamente ya que se puede aprovechar al máximo las capacidades de ésta.

Capítulo 3

Metodología

Este capítulo abarca un esbozo de los métodos y el desarrollo de los criterios que se deben considerar en la planificación de una plataforma de telecomunicaciones, describiendo la metodología utilizada para desarrollar y cumplir cada uno de los objetivos específicos propuestos en el capítulo 1.4.

3.1 Descripción del problema

El objetivo de este trabajo de titulación es generar una metodología general de planificación en donde se planteen explícitamente los criterios que se consideran en el proceso y efectuar un análisis de las herramientas de software necesarias para encontrar en la práctica una solución óptima a un problema dado.

Con la experiencia acumulada en este rubro, se ha llegado a la conclusión de que es esencial separar la planificación de las redes de acceso inalámbricas de las cableadas, ya que en las primeras se tiene por ejemplo que la cobertura y la capacidad varían con respecto a la calidad del enlace, la que a su vez varía con el medio ambiente que “rodea” las antenas. En cambio, para las redes cableadas se tiene una cobertura fija y una calidad de enlace fija.

Para entablar una base sobre lo que se tiene (entradas) y a lo que se quiere llegar (salidas), se realiza un esquema especificando las entradas, restricciones, recursos y salidas que el sistema posee. Este esquema entrega una visión general de las variables involucradas en un problema típico de planificación.

En todos los diagramas mostrados en este documento se utiliza la metodología IDEF-0, especificada en el capítulo 9.13.

La Figura 16 muestra el esquema general planteado para la planificación de una plataforma de telecomunicaciones.

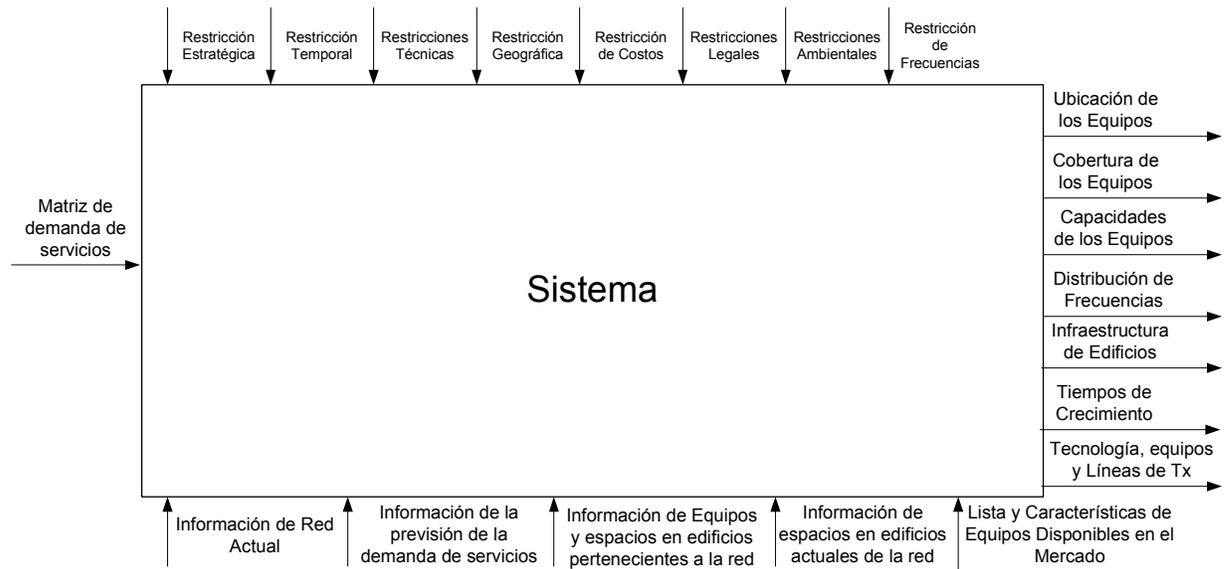


Figura 16: Diagrama General de la Planificación de una plataforma de Telecomunicaciones

En el diagrama presentado anteriormente, la planificación de plataformas de telecomunicaciones se muestra como un sistema con sus respectivas entradas, salidas, recursos y restricciones, sin embargo ésta se describe internamente a través de un proceso de múltiples etapas en donde cada etapa es compuesta por un subsistema. En el Capítulo 3.3 se describe cada uno de estos subsistemas por separado, sin embargo, todos están relacionados entre sí. Estos se encuentran interconectados y retroalimentados de manera que iterativamente se llegue a resultados cada vez más óptimos.

A continuación se entrega una explicación de cada una de las entidades que intervienen en el diagrama de la Figura 16.

3.1.1 Entradas

La única entrada a este sistema es una matriz de demanda de servicios de telecomunicaciones. Se trata de una matriz que cubre toda el área de estudio, en la cual cada cuadrícula tiene un lado de entre 10 a 500 metros y debe contener información adicional, como por ejemplo:

- La fila a la que pertenece cada cuadrícula.
- La columna a la que pertenece cada cuadrícula.
- La demanda de servicios de tiempo real para todos los periodos de tiempo en estudio.
- La demanda del resto de los servicios (Best-Effort, Transaccionales e Interactivos) para todos los periodos de tiempo en estudio.
- La demanda de VPNs.
- La demanda de VLANs

Un ejemplo de esta matriz de demanda se muestra a continuación en la Figura 17.

		Columnas																																														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30																	
Filas	1																					1	2	3	4	5																						
	2																				6	7	8	9	10	11	12	13																				
	3																			14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24																		
	4																			25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38															
	5																			39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54													
	6																		55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71													
	7																		72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87														
	8																		88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103														
	9																		104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118															
	10																		119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132																
	11																		133	134																												
	12																		135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150														
	13																		151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175					
	14																		176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201				
	15																		202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227				
	16																		228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254			
	17																		255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281			
	18																		282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308			
	19																		309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333					
	20																		334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357						
	21																		358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382					
	22																		383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406						
	23																		407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428								
	24																		429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447											
	25																		448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462															
	26																		463	464	465	466	467	468																								
	27																		474	475	476	477																										
	28																		481	482	483	484																										
	29																		486	487	488																											
	30																		489	490	491																											
	31																		492	493	494																											
	32																		495	496	497																											
																		498	499																													

Figura 17: Ejemplo de división en cuadrículas de una ciudad.

3.1.2 Salidas

3.1.2.1 Capacidades de los Equipos

Una de las salidas de este esquema son las capacidades de los equipos, entre las que se encuentran:

- La capacidad de ancho de banda de los enlaces.
- La capacidad de Compuertas.
- La capacidad de VPNs y VLANs.

3.1.2.2 Ubicación de Equipos

Esta salida del sistema representa la ubicación física que deben tener los equipos de una cierta capacidad para abastecer una determinada área dentro de la zona de evaluación. Muchas veces, la ubicación perfecta no está disponible para el asentamiento del proveedor de servicios, en esos casos se debe reevaluar la opción, analizando los cambios que esto provoca. En este trabajo se consideran sólo las ubicaciones disponibles, para la instalación de los equipos en el área de estudio. Así se evalúan solamente las posibilidades reales de instalación y no se debe realizar una segunda inspección para elegir la situación óptima en la red.

3.1.2.3 Cobertura de Equipos

La cobertura representa los límites de abastecimiento de cada uno de los equipos o emplazamientos que componen la red. Esta salida, para sistemas cableados e inalámbricos puede estar limitada por la tecnología que se esté utilizando. Adicionalmente, para las redes inalámbricas la cobertura puede variar también dependiendo del entorno, ya sea debido a la densidad de construcciones en una ciudad o por las condiciones climáticas, provocando un deterioro en la calidad del enlace entre las antenas y los equipos terminales de la red.

3.1.2.4 Tipo de Tecnología, Equipos y Líneas de Transmisión

La salida presentada en este punto se refiere a la elección del tipo de tecnología seleccionando entre varias soluciones factibles para el problema en estudio, es decir soluciones que cumplan con los requerimientos de los clientes.

Se debe recordar que la elección de las tecnologías está limitada por muchos factores, como por ejemplo el tiempo de aprovisionamiento, de instalación y familiarización con la tecnología, la geografía, los costos, la calidad de servicio y el tamaño de la infraestructura.

La elección de una tecnología adecuada también está ligada a la elección de los equipos y las líneas de transmisión de los enlaces de éstos.

La elección de los equipos en cierto modo está limitada a la tecnología elegida, sin embargo la incorporación al mercado de tecnologías agnósticas¹⁴ provoca una disminución cada vez mayor de esta dependencia.

El criterio primordial para la elección de esta salida, es encontrar la combinación más económica de tecnología, equipos, y líneas de transmisión que cumplan con los requisitos de los clientes.

3.1.2.5 Distribución de Frecuencias

En una red inalámbrica, la planificación de las frecuencias es primordial para el buen funcionamiento de dicho sistema. En esta planificación se determina el tamaño de *clusters*, el factor de reutilización y distribución de las frecuencias.

Este plan está totalmente ligado a la cobertura y la capacidad que puede tener dicha red en la zona de planificación, por lo tanto la planificación de cobertura, capacidad y frecuencias en una red inalámbrica se debe realizar en conjunto.

3.1.2.6 Tiempos

La planificación temporal es fundamental para el éxito de un proyecto de telecomunicaciones. En el proceso de planificación, el tiempo juega un papel fundamental debido a que en cada decisión que se tome, se debe considerar el tiempo que demora implementar dicha elección, teniendo cuidado de no sobrepasar el tiempo máximo (restricción temporal) estipulado para finalizar el proyecto. De esta manera se evita generar retrasos en el desarrollo de éste.

Además, al considerar la demanda de servicios distribuida en el tiempo, esta salida indica al planificador “¿Cuándo es el mejor momento para hacer crecer la red, debido al aumento de la demanda de ésta?”. Esta respuesta incorpora la inclusión de nuevos emplazamiento en la red, y el cambio de tecnologías en enlaces y nodos de ésta.

3.1.2.7 Infraestructura de Edificios

La salida de infraestructura de edificios se refiere a la planificación del emplazamiento del proveedor de servicios y/o *datacenters*, en donde se instalan la mayoría de los equipos de la plataforma de red.

Los aspectos que se deben planificar son:

- **La alimentación:** Potencia consumida mensualmente por los equipos, los sistemas de ventilación, los sistemas de seguridad, la luminaria, etc.
- **La ventilación:** Los sistemas de ventilación se estiman con respecto a la potencia disipada en calor por todos los equipos pertenecientes al edificio, considerando los rangos de temperaturas aceptables para el buen funcionamiento de los equipos.
- **Seguridad:** Se debe tener un sistema de seguridad total, con circuito cerrado de cámaras, guardias, alarmas, identificación con tarjeta y huellas digitales, etc.

¹⁴ Independientes de la red de acceso, protocolo y servicio

- **Espacio:** El espacio es un factor primordial en estos edificios, ya que éste debe ser capaz de almacenar los racks necesarios para instalar todos los equipos, cumpliendo con las distancias de separación con los muros que el fabricante recomienda.

Esta planificación está restringida por el costo de inversión, las dimensiones, los permisos municipales, y el tiempo de instalación y aprovisionamiento.

3.1.3 Restricciones

3.1.3.1 Restricción Temporal

Se debe tener claro cuáles son los plazos que se deben cumplir en el proyecto completo, por ejemplo, los tiempos de aprovisionamiento, licencias y permisos municipales podrían sobrepasar el límite temporal estipulado para el proyecto, descartando las decisiones tomadas en éste.

3.1.3.2 Restricciones Técnicas

Las restricciones técnicas se refieren a los requerimientos de QoS, VRF, VLANs y VPNs que son requeridos por los usuarios en ciertas zonas de la red.

3.1.3.3 Restricción Geográfica

Se descartan algunas tecnologías, equipos y líneas de transmisión al no cumplir con los requerimientos geográficos, ya sea porque se sitúa en una isla, lago, montaña o porque se está más lejos de lo que la tecnología puede cubrir. La cobertura podría también estar limitada por algún escenario geográfico abrupto.

3.1.3.4 Restricción de Costos

Se descartan las opciones de proyectos que necesiten de una gran inversión (CAPEX), la cual no se está dispuesto a pagar. También existe la posibilidad que la solución elegida se encuentre dentro del rango de costos de inversión de la empresa, sin embargo puede estar fuera del rango de los costos operacionales (OPEX), estimados por el área comercial de la compañía, analizando los ingresos que pueda tener dicho proyecto.

3.1.3.5 Restricciones Estratégicas

Las restricciones estratégicas se refieren a consideraciones a largo plazo que la compañía tiene en mente y que no necesariamente es lo más conveniente como opción de corto plazo.

Dentro de los planes estratégicos se encuentran restricciones de:

- **Interoperabilidad:** La interoperabilidad se refiere a la posibilidad de interacción de un sistema que se esté implementando ya sea con algún sistema de otro fabricante o con otros que utilicen tecnologías más antiguas. En algunos proyectos es necesario instalar sistemas nuevos y que los antiguos puedan seguir funcionando en la red.
- **Tendencia Tecnológica:** La tendencia tecnológica se refiere a la migración de la mayoría de los proveedores de servicios a una cierta tecnología debido a una característica primordial que ésta posee. Esto la hace indispensable para continuar con la tendencia tecnológica mundial.
- **Escalabilidad:** La escalabilidad se refiere a la facilidad de aumento de capacidad que posee una cierta tecnología o equipo, esto facilita la planificación de mediano y largo plazo, ya que con una pequeña inversión se puede expandir la cobertura y la capacidad de alguna plataforma.

- Tendencia del Mercado (Estrategia comercial): En telecomunicaciones se pueden tomar algunas decisiones según la tendencia del mercado ya sea, por moda, propaganda, alguna política de la empresa o por algún *slogan*. Algunos ejemplos de esto son: Ser el único en llegar a sectores aislados, ser el que entrega a sus clientes mayor ancho de banda, etc.

Estas restricciones pueden ser un factor importante en la elección de tecnologías, equipos y líneas de transmisión, puesto que marca la tendencia que debe poseer la plataforma.

3.1.3.6 Restricciones Legales

Estas restricciones se refieren a los trámites legales que se deben hacer al construir un edificio, canalizaciones, instalar antenas, hacer excavaciones, etc.

Este tipo de trámite debe ser debidamente considerado en el cálculo del tiempo de implementación del proyecto, ya que a veces gran parte del tiempo se consume consiguiendo permisos.

Muchas veces, la implementación de una antena es la solución más rápida, pero sin los permisos requeridos, ésta se puede tornar en una situación extremadamente demorosa.

3.1.3.7 Restricciones Ambientales

Las restricciones ambientales se refieren a limitaciones en las emisiones de radiación de las antenas. Debido a esto la cobertura de sistemas inalámbricos se ve limitada con respecto a la radiación que emanan.

3.1.3.8 Restricción de Frecuencias

La restricción de frecuencias se refiere a la limitación que se tiene en el espectro de frecuencias debido a las licitaciones y distribución del espectro en cada país.

3.1.4 Recursos

Los recursos se refieren a información adicional requerida para la realización de la planificación, entre los que se destacan:

- Lista de precios y características de equipos disponibles en el mercado.
- Información sobre distribución de los espacios en los edificios del proveedor de servicios.
- Información comercial sobre pronóstico de demanda.
- Información sobre la red actual.

3.2 Generalización de las plataformas de telecomunicaciones

En el Capítulo 2.4, se revisaron las plataformas de telecomunicaciones IMS, UMTS y MPLS. Éstas fueron elegidas ya que se quiso abarcar de la manera más general posible las distintas opciones que se tienen al momento de desarrollar una plataforma de telecomunicaciones.

Se eligió IMS debido a que en esta arquitectura se revisa de manera amplia los bloques de bases de datos de usuarios, autenticación, gestión, control y señalización de un rango amplio de plataformas de acceso de telecomunicaciones, y además está orientado a la utilización de protocolos de señalización, como SIP o H.323 en IP, los cuales facilitan la implementación de protocolos de tiempo real y además permiten una gran movilidad del usuario, y la convergencia entre las redes móviles y fijas. Estos factores le dan exactamente el enfoque de convergencia de servicios (NGN) y de redes (Convergencia fijo-móvil), que se quiere abordar desde el comienzo en esta memoria.

De la misma manera se eligió MPLS, ya que es un sistema de red backbone que cumple con todos los requisitos que debe tener una red actual, ya sea porque soporta múltiples servicios en una misma red respetando la QoS, es compatible con el mundo IP, se puede realizar VPNs de manera fácil y siendo reconocidas por la red, puede manejar la calidad de servicio según reservas de recursos (IntServ) o Diferenciación de servicios (DiffServ), y que además pueda funcionar sobre cualquier tecnología de backbone legacy, como ATM o Frame Relay y sobre cualquier tecnología de la capa de enlaces, como PPP, Ethernet, etc.

Finalmente se eligió UMTS como una tecnología de red de acceso bastante general dentro de las redes inalámbricas, puesto que es compatible con las tecnologías GSM, GPRS, EDGE y HSDPA, que van desde 2G a 3.5G. Al igual que IMS, como UMTS es una tecnología orientada a la transmisión de voz, debe tener un gateway que haga compatible el sistema VoIP con el sistema de telefonía tradicional. De la misma manera se debe poseer un gateway para conectar la red de datos propia con una exterior, haciendo las funciones de transmisión y aislamiento.

En definitiva, lo que se puede extraer de los ejemplos de plataformas mostrados anteriormente es que las redes se componen principalmente de:

- **Equipos de Conmutación:** Se componen de equipos de conmutación de celdas (Switches), equipos de conmutación de paquetes (Routers) y/o equipos de conmutación de etiquetas (LSRs).
- **Servidores de Red:** Los servidores de red son computadores de gran capacidad que realizan las funciones de gestión, control y señalización de las redes de telecomunicaciones y además algunos contienen bases de datos sobre los usuarios de una cierta red, la cual es consultada para averiguar la identificación, la dirección, la ubicación, la autenticación y los servicios a los que el usuario tiene disponibilidad.
- **Equipos Terminales:** Los equipos terminales se pueden considerar como cualquier NICs en computadoras personales de escritorio, portátiles, en equipos móviles, teléfonos IP y servidores externos a la red.
- **Gateways:** Son equipos que permiten la interconexión entre redes de distinta naturaleza y tecnología, realizando la conversión necesaria de las señales desde una red a otra, y viceversa. Para esto es necesario también realizar la “traducción” o conversión de las señales de control y gestión de ambas redes. Este trabajo es normalmente realizado por un servidor de red.

La asignación de los componentes mostrados anteriormente permite representar de manera íntegra una plataforma de telecomunicaciones cualquiera, con lo que se puede plantear el problema de manera más simplificado y generalizado.

3.3 Pasos a Seguir

En los capítulos siguientes se muestran bloques individuales que componen esta planificación, lo cual permite visualizar cada situación de manera más específica en cuanto a los criterios que se deben considerar en cada una de éstas.

3.3.1 Conversión de Demanda de Servicios a Parámetros de Red

Para cualquier planificación de telecomunicaciones, lo que se tiene es una demanda de servicios distribuida a lo largo y ancho de toda el área de estudio. Sin embargo, los proveedores de servicios miden éstos de manera distinta, en parámetros de red, como son el ancho de banda, el retardo, el BER, el Jitter, las VPNs, etc.

Para que el proveedor de servicios pueda planificar su red, es sumamente importante realizar esta transformación de buena manera y así poder representar todos los servicios que se entregan a través de la red, de una forma común.

Un diagrama de esta conversión se presenta en la Figura 18.

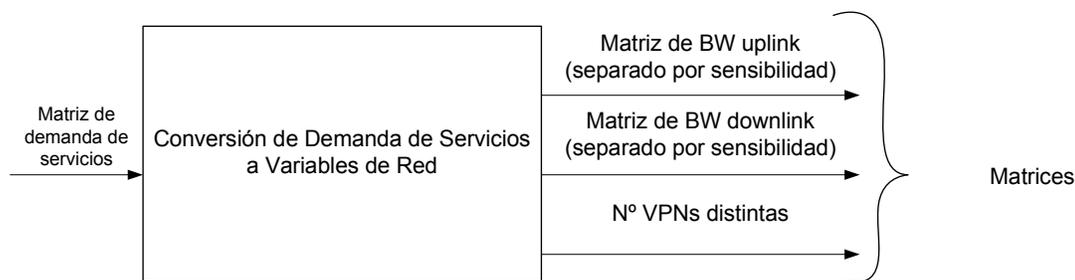


Figura 18: Diagrama de Conversión de Demanda de Servicios a Variables de Red

En el Capítulo 2.3 se especifican requerimientos, en variables de red, de los servicios de telecomunicaciones de datos, voz y video. El proveedor de servicios debe estandarizar la manera en que quiere hacer llegar los servicios al usuario. Por ejemplo se debe elegir el tipo de codificación de audio que se utiliza para las llamadas telefónicas, proveyendo a todos sus clientes de dispositivos que soporten dicha codificación. Un caso podría ser la elección de la codificación de audio G.729A la cual requiere de un ancho de banda de 31,2 Kbps con un encabezado Ethernet. Lo mismo se debe hacer para los servicios de videoconferencia, en los cuales se puede elegir un CODEC MPEG-4 que requiere de 96 Kbps (15 fps, 320x240). Los dos servicios especificados anteriormente constituyen servicios de tiempo real. Luego se debe hacer una estimación de los servicios interactivos y transaccionales expresados en Kbps. En este tipo de servicios, se toman en cuenta los servicios de mensajería instantánea, de transacciones bancarias, de audio y video streaming. Finalmente se consideran los servicios Best-effort, los cuales se componen de todos los servicios que faltan, como servicios FTP, e-mail, navegado en la Web, o cualquier servicio que no se haya nombrado anteriormente.

También se debe realizar una repartición óptima de las VPNs, ya que se tiene un número limitado de éstas. Los servicios empresariales, institucionales y transaccionales utilizan VPNs. Por lo tanto se le debe asignar una a cada empresa que quiera mantener en la misma red, todas sus sucursales. También se le debe asignar una VPN a todas las conexiones a Internet. Finalmente, las VPNs se pueden utilizar en transacciones bancarias para mayor seguridad. En este caso el cliente debe conectarse a la red bancaria,

ingresando a su VPN utilizando una autenticación, para luego realizar las transacciones bancarias a través de SSL que es otro tipo de conexión segura, que codifica todos los datos en dicha conexión.

La distribución de VLANs es totalmente análoga a la distribución de las direcciones IP dentro de la red del proveedor. Estas suelen ser agrupadas de modo de que cada switch que conecta a los usuarios con la red forme una VLAN. Por otra parte las VLANs internas dentro de la red de los clientes, son independientes a las VLANs que se definen en la red que maneja el proveedor.

3.3.2 Evaluación de Expansión, Reutilización e Instalación de Equipos en Infraestructura ya Existente

En esta etapa se evalúa si la red actual es suficiente para abastecer la demanda de servicios que existe en dicha red. La Figura 19 muestra el diagrama de decisión de inicio del proceso de planificación.

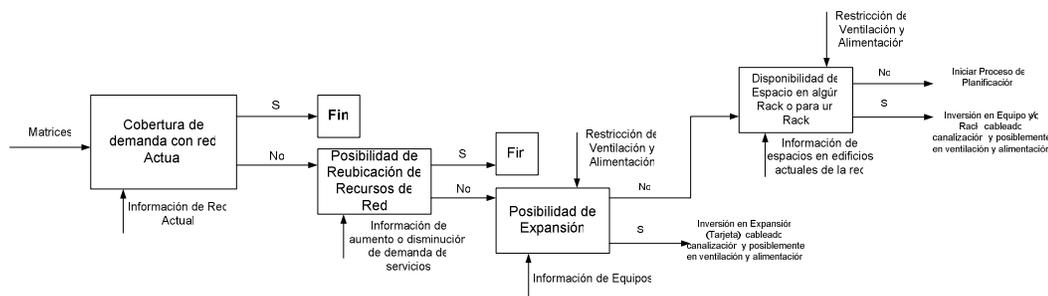


Figura 19: Diagrama de Decisión de Inicio del Proceso de Planificación.

Para evaluar la situación, lo primero que se debe hacer es analizar a través del monitoreo que se tiene en la red, si es que existe algún dispositivo que esté trabajando a su máxima capacidad o mayor a un 90 % de su capacidad total (según criterio)¹⁵.

Si existiese ese caso, se debe evaluar la posibilidad de reubicar algún equipo que en la práctica no esté siendo utilizado o esté siendo muy poco utilizado, y así sea posible la reubicación o el intercambio entre algunos equipos de la red. Esta situación no debería suceder en la práctica si es que se ha hecho una buena planificación, sin embargo no siempre es así y se debe incluir en este proceso.

Si no fuese posible reubicar o intercambiar los equipos, se debe ver si el equipo sobre-exigido soporta la expansión a través de la inserción de una tarjeta más dentro del mismo. En la gran mayoría de los casos esta situación es más conveniente que la compra y ubicación de un nuevo equipo o de la construcción de un nuevo emplazamiento del proveedor. Por lo tanto se debe decidir por esta opción. Sólo se debe expandir, si es que se quiere abastecer a algún cliente dentro del área de cobertura del emplazamiento o sitio del proveedor. El área de cobertura de un emplazamiento se calcula de la siguiente forma:

$$Radio (km) = \frac{Costo_{Nuevo Edificio}}{Costo_{/ km / línea} \cdot N_{líneas}}$$

Ecuación 6: Cálculo del área de cobertura de un Edificio del Proveedor.

Esta ecuación se utiliza para estimar cuál es el área de cobertura de un edificio de proveedor en la decisión sobre el inicio del proceso de planificación.

¹⁵ Para la elección de un buen criterio se debe calcular los períodos inventario de este equipo, el cual no debería superar la suma del tiempo de aprovisionamiento, instalación y capacitación de la instalación de un nuevo equipo.

Finalmente si existe la posibilidad de ubicar un nuevo equipo en el emplazamiento existente, ya que existen espacios libres en racks, se debe tomar esta opción puesto que es una solución más económica que la construcción de un nuevo edificio. En caso contrario, se debe iniciar el proceso de planificación para lograr abastecer a los clientes.

Se debe destacar también que la expansión e instalación de equipos en un edificio existente, están limitadas por la alimentación y la ventilación del lugar. En dicha situación se debe iniciar el proceso de planificación y así también se debe proceder si es que existen clientes sin abastecimiento de servicios que se encuentren a una distancia mayor al área de cobertura del edificio.

3.3.3 Proceso de planificación cableado

En el proceso de planificación de redes cableadas, el problema propuesto busca abastecer a todos los clientes de la manera más económica posible, sin degradar la calidad de servicio. Para este propósito se utilizan centros y armarios de distribución, los cuales deben ser ubicados de manera óptima. Esto implica, que para cada armario de distribución¹⁶ se debe planificar su cobertura, su posición, su capacidad, y una tecnología (equipos, líneas de transmisión) que cumpla con todos estos requisitos y al menor costo posible.

De la misma manera se elige la capacidad, ubicación, cobertura y tecnología de los centros de distribución¹⁷, los cuales tienen como objetivo abastecer a los armarios de distribución de un cierto sector del área de estudio.

Finalmente se puede realizar el mismo razonamiento para la elección de la ubicación, capacidad y tecnología de la central del proveedor de la red¹⁸, la cual abastece a los centros de distribución. Si la central ya existe, se debe planificar los centros y armarios de distribución teniendo en cuenta que la ubicación de la central está fija.

Un punto muy importante y que no se debe dejar de lado es la redundancia en las redes de telecomunicaciones. Antes de comenzar la planificación de la red se debe tener claro, desde qué nivel jerárquico se quiere tener redundancia, ya que esta decisión está directamente relacionada a cómo reaccionará la red en caso de avería o falla en alguno de sus enlaces o nodos.

3.3.3.1 Planificación de Cobertura

Para la elección de la cobertura de un centro o de un armario de distribución, lo que se hace es evaluar cuál es la manera de abastecer a todos los clientes, minimizando el costo total de abastecimiento.

Para la realización de la planificación de cobertura se asume una ubicación fija de los centros o armarios de distribución activos y una tecnología fija a utilizar. Esta última define las restricciones técnicas, en cuanto a capacidad de los nodos y enlaces, cantidad de puertos, soporte de QoS, VPNs y VLANs, y capacidad que puede manejar y distribuir.

¹⁶ 2do nivel jerárquico.

¹⁷ 3er nivel jerárquico.

¹⁸ Backbone de la Red

En la Figura 20 se observa un diagrama que muestra de manera resumida lo expuesto anteriormente.

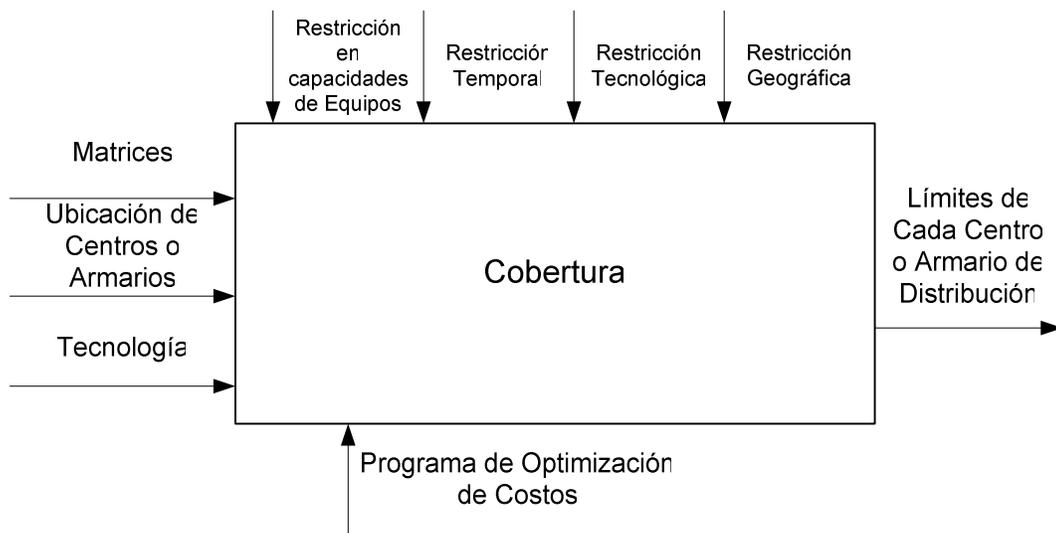


Figura 20: Diagrama de Planificación de Cobertura.

3.3.3.2 Planificación de capacidad

Para la planificación de capacidad de un centro o armario de distribución, Figura 21, primero se asume que la cobertura, la tecnología y la ubicación de éste están fijas. Luego, se extraen los datos de la hora *peak* de las matrices de demanda de los distintos tipos de ancho de banda.

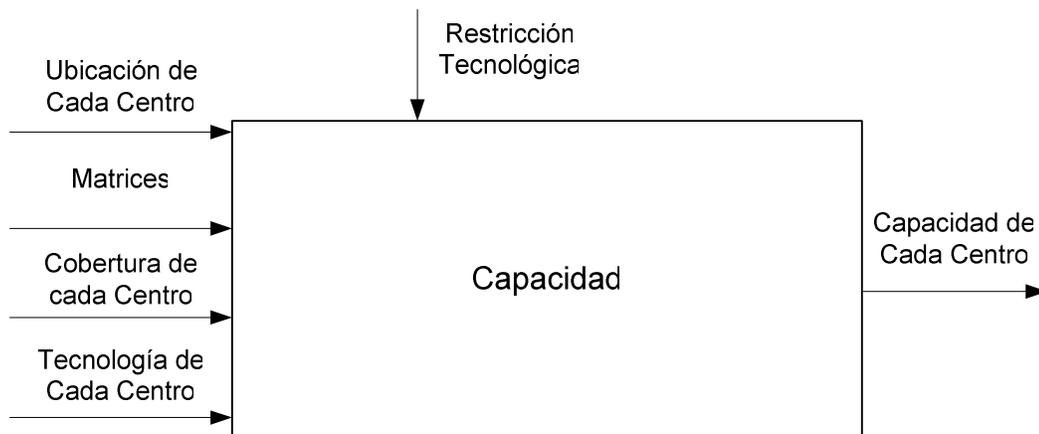


Figura 21: Diagrama de Planificación de Capacidad.

Según sugerencias de *CiscoPress*¹⁹, en cualquier equipo de conmutación con soporte de QoS, el tráfico reservado para las aplicaciones de tiempo real no puede superar el 33,3 % del ancho de banda total del enlace de salida, ya que de lo contrario las demás aplicaciones no funcionarían de la manera que corresponde.

¹⁹ www.ciscopress.com

Por este motivo, se toma como ancho de banda *peak* el valor máximo entre el triple del máximo de ancho de banda utilizado en aplicaciones de tiempo real, y el máximo de ancho de banda del enlace en total.

La Ecuación 7 muestra la expresión anterior.

$$\text{Max} (3 \cdot \text{Max} (BW_{RT}), \text{Max} (BW_{Total}))$$

Ecuación 7: Criterio de Elección de Capacidad de un enlace.

3.3.3.3 Ubicación de los centros

Para la elección de la ubicación óptima de cada centro de la red, primero se debe asumir como fijo, la tecnología y la cobertura de cada centro. Luego se debe calcular el costo de conectar a todos los clientes a la red, minimizando los costos que esto implica. Este proceso es totalmente análogo a lo que se hizo para encontrar la cobertura óptima, sólo que en este caso es el centro el que se mueve y no se agregan clientes al dominio de dichos centros. Sin embargo se deben considerar las restricciones tecnológicas, como es el alcance máximo que puede tener cada enlace.

En la Figura 22 se muestra un diagrama simplificado para la ubicación óptima de centros y armarios de distribución.

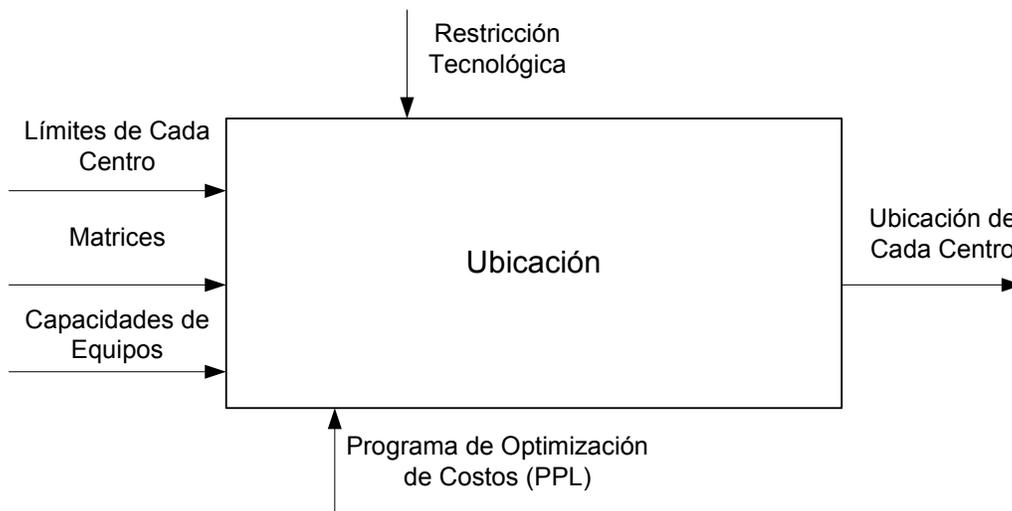


Figura 22: Diagrama de Ubicación de Centros y Armarios de Distribución.

3.3.3.4 Elección de Tecnología, Equipos y Líneas de Transmisión

Antes de realizar cualquier decisión sobre la tecnología a utilizar, se debe mirar este problema de manera amplia, descartando las tecnologías que no cumplan con las restricciones geográficas, temporales, estratégicas o técnicas.

En la Figura 23 se muestra un esquema en donde se realiza una primera selección de las tecnologías viables para su utilización en la red objetivo.

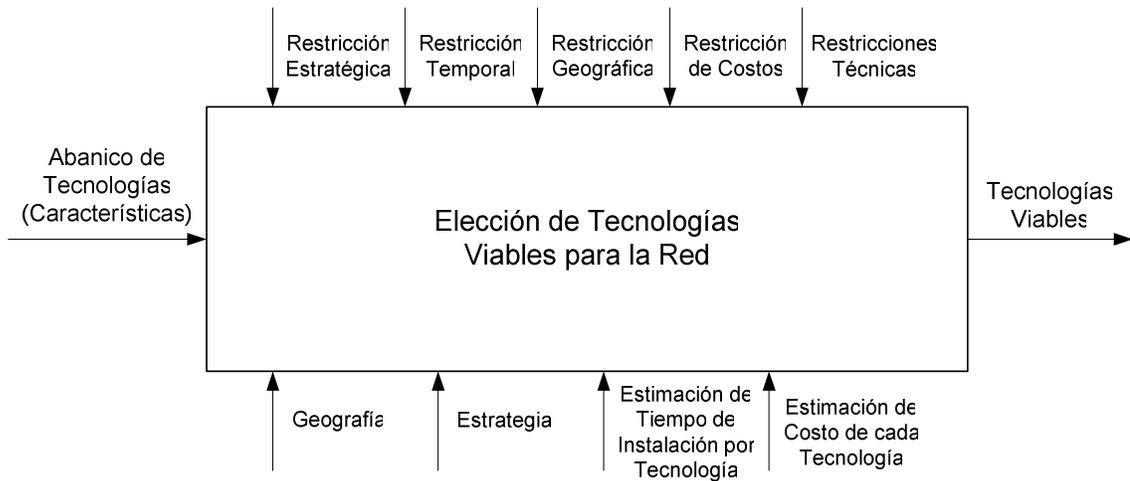


Figura 23: Diagrama de Elección de Tecnologías Viables.

Para realizar este primer paso, se debe tener información sobre la geografía del área de estudio, las estrategias planeadas por la empresa, una estimación de manera global del tiempo que demora implementar cada una de las tecnologías y la estimación de su costo asociado.

Ahora, para la elección de la tecnología más adecuada a ser utilizada en la red que se quiere implementar, se deja fija la capacidad de ancho de banda que se debe tener en cada enlace, la cobertura del centro de distribución, la ubicación y la cantidad de bocas que se necesitan.

Para resolver este problema, se eligen todos los equipos que cumplen con los requisitos de ancho de banda, distancia hasta los clientes, cantidad de bocas que se necesitan y el soporte de QoS, VPNs y VLANs. En este paso, se pueden descartar algunos equipos y tecnologías que se caractericen por su gran complejidad, teniendo que realizar una gran inversión en ingeniería para su implementación. En la Figura 24 se muestra un diagrama que representa lo descrito anteriormente.

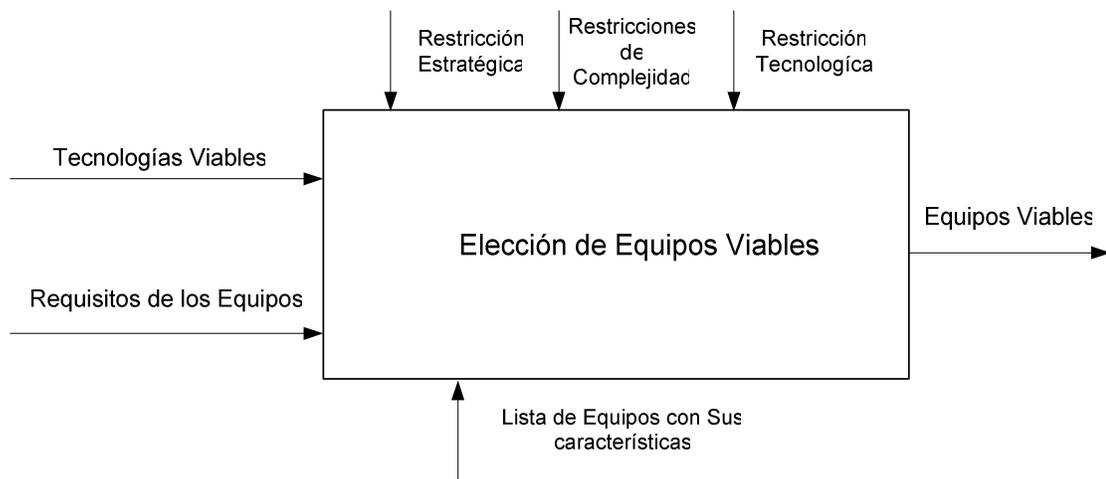


Figura 24: Diagrama de Elección de Equipos Viables.

Para la elección de líneas de transmisión se realiza de la misma manera que para la elección de los equipos viables. Finalmente, teniendo un abanico de posibilidades para la elección de la tecnología, las líneas de transmisión y los equipos definitivos, se debe elegir la combinación más económica de éstos en conjunto. Este esquema completo se describe en la Figura 25.

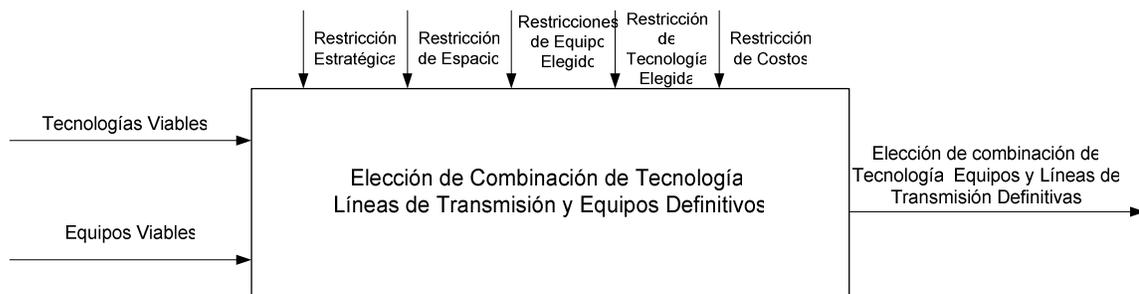


Figura 25: Diagrama de Elección de Tecnología, Equipos y Líneas de Transmisión.

3.3.3.5 Planificación Temporal

En un proceso de planificación, una etapa muy importante es la planificación temporal, la cual entrega una estimación de cuanto tiempo demora cada elección hecha en este proceso, ya sea elección de tecnología, equipos y líneas de transmisión. Para esto se deja fijo dicha elección y se estiman los tiempos totales de instalación tomando en cuenta los tiempos de aprovisionamiento, de instalación y de permisos municipales, que son los más relevantes en este ámbito.

Además esta etapa permite estimar cuando es más conveniente aumentar las capacidades de la red. Para esto se debe calcular los "períodos inventario" de cada equipo y línea de transmisión existente en la red, lo que indica la cantidad de períodos de tiempo que la red puede soportar sin realizar cambios en ésta, siempre y cuando se mantenga la tasa de crecimiento de la demanda actual. Con esta información y las estimaciones de los tiempos totales de instalación, se estima el momento óptimo para realizar los pedidos de nuevos elementos de red (equipos y líneas de transmisión) y por lo tanto los momentos óptimos para aumentar las capacidades de la red.

En la Figura 26 se observa el diagrama de planificación temporal.

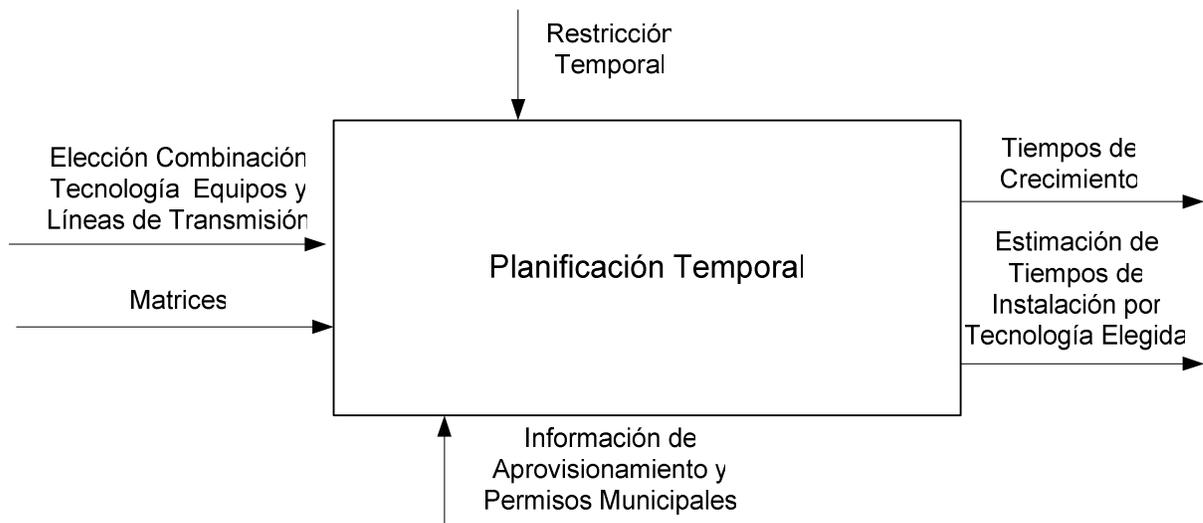


Figura 26: Estimación de Tiempos de Expansión de la red y Tiempos de Instalación de Equipos.

En la memoria del ingeniero Cesar Lazcano [14], los períodos inventario son definidos como: “una medida de la capacidad en base al actual ritmo de consumo de recursos” y son llamados días inventario, ya que obliga a tomar períodos de un mes y multiplicar el resultado del cálculo de éstos por 30.

Los períodos inventario son una medida que depende de tres parámetros, el ritmo de consumo, la capacidad libre y el factor de consumo.

La manera de calcular el valor de períodos inventario se muestra en la siguiente expresión:

$$\text{Períodos Inventario} = \frac{\text{Capacidad Libre}}{\text{Ritmo Consumo} \cdot \text{Factor Promoción}}$$

Ecuación 8: Cálculo de los períodos inventario.

En la Ecuación 8, la capacidad libre se obtiene al sustraer la capacidad máxima y la capacidad utilizada, en cualquier elemento de la red. El ritmo de consumo es la tendencia de consumo de un recurso, y normalmente se calcula en base al promedio de consumo en los distintos períodos. Por último, el factor de promoción es un valor mayor o igual a 1 que entrega seguridad al cálculo efectuado, ya que si los datos de ritmo de consumo son muy dispersos, éstos no son tan fiables, por lo que este valor le da seguridad al cálculo de los períodos inventario asegurando que el equipo en cuestión no quede sin recursos para abastecer la demanda.

Los períodos inventario pueden ser calculados para cualquier tipo de recurso que un equipo posea, ya sea el ancho de banda, la cantidad de puertas, el número de VPNs, etc.

En este proceso, la idea es calcular los períodos inventario de cada uno de los recursos y elementos de la red, para así poder obtener una lista con un orden prioritario para los elementos de la red que deben ser reemplazados.

3.3.3.6 Planificación de Infraestructura de/en puntos de distribución y Edificio Corporativo

En cualquier planificación de telecomunicaciones, se debe incluir en el problema los costos derivados de la construcción de los puntos de distribución y del edificio corporativo. Es primordial para la optimización de la red, considerar los costos asociados a la compra o arriendo del terreno en donde se instalarán los equipos a utilizar, la construcción del edificio y la ingeniería que conlleva la instalación del punto de distribución. Para cada uno de los puntos que se instalen, se debe estimar cuánto es el espacio necesario para la instalación de los equipos y líneas de transmisión, el consumo de energía eléctrica en dicho punto, la ventilación que se debe tener y la inversión en seguridad, según la importancia de dicho edificio para el buen funcionamiento de la red. Es muy importante que la solución encontrada no sobrepase los costos de inversión ni tampoco el tiempo estipulado para este proceso. Lo anterior se describe en la Figura 27.

Como esta memoria abarca la planificación de plataformas de telecomunicaciones y no solamente redes, en el *data center* del edificio corporativo se debe planificar el espacio para la inserción de nuevos servidores de red, gateways y conmutadores del *Backbone*, cumpliendo con las recomendaciones del fabricante para el buen funcionamiento de éstos.

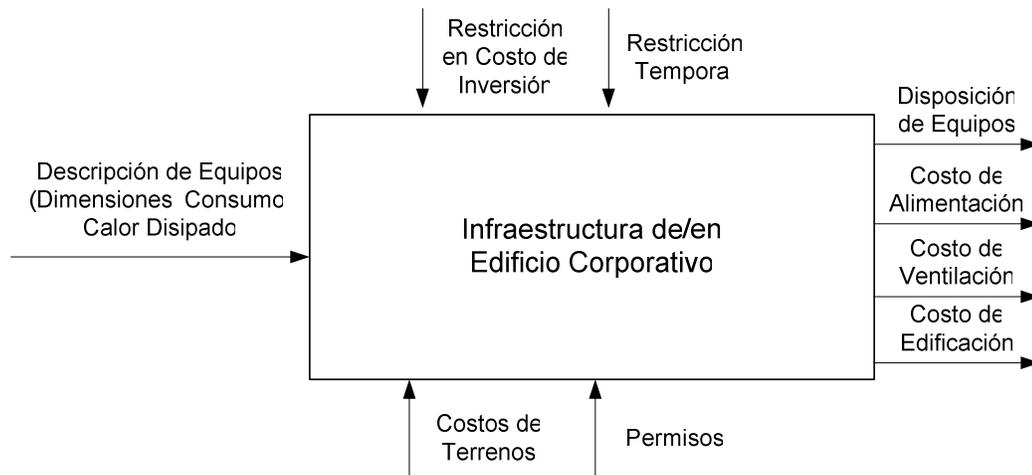


Figura 27: Diagrama de la planificación de la infraestructura de los Puntos de Distribución.

3.3.4 Proceso de Planificación Inalámbrico

En el presente sub-capítulo se utilizan extractos de la memoria del ingeniero Marco Muñoz Valdebenito²⁰, en donde se especifican las características y consideraciones más relevantes en una planificación de redes inalámbricas.

En esta memoria se consideran tecnologías de redes inalámbricas bastante generales, como son las tecnologías ya probadas como GSM, así como tecnologías más contemporáneas como UMTS y WiMAX.

3.3.4.1 Ideas Generales

Las redes inalámbricas se caracterizan por ser redes en que la información se transmite por el aire, siendo éste el medio común a todos los usuarios del sistema.

Para diferenciar las comunicaciones de los distintos usuarios se utilizan diferentes canales de frecuencia (FDMA) o diferentes espacios de tiempo (TDMA), y así cada uno tiene “espacio” para comunicarse. Sin embargo, existe otra manera de comunicarse, la cual comparte los canales de frecuencia y los espacios de tiempo, pero utiliza códigos de identificación (CDMA) para diferenciar a un usuario del otro.

En una red inalámbrica, también se debe definir la diferenciación de la comunicación de subida y de bajada. En este caso la comunicación puede ser FDD, la cual asigna un ancho de banda para la comunicación de subida y otro ancho de banda para la comunicación de bajada, o TDD, la cual comparte el mismo ancho de banda para la comunicación de subida y de bajada, pero se reparten los espacios de tiempo.

En cualquier problema de redes inalámbricas, se debe planificar la cobertura y capacidad de cada celda y la distribución de frecuencias para cada una de éstas.

²⁰ Título : Metodologías, Criterios y Herramientas para la Planificación de Redes Inalámbricas.
Autor : Marco Muñoz Valdebenito.
Año : 2007

3.3.4.2 Planificación General de Redes Inalámbricas

En la memoria del Ingeniero Marco Muñoz se cita que: “El Proceso de planificación de las redes inalámbricas puede ser dividido en tres fases; la planificación inicial o dimensionamiento, la planificación de detalle, y el proceso de optimización, operación y mantenimiento”.

En la Figura 28 se muestra un esquema más detallado de las tres fases citadas anteriormente para el proceso de planificación inalámbrica.



Figura 28: Fases de la Planificación de una Red Inalámbrica

3.3.4.2.1 Dimensionamiento de la Red

En esta fase de la planificación se debe estimar el número de sitios, su característica, los enlaces presentes entre éstos, los elementos de red y los requerimientos de los clientes del área de estudio.

Este primer proceso entrega una apreciación superficial de los elementos de la red, por lo que entrega una primera aproximación de los costos asociados al proyecto y de la inversión que se necesita.

Este proceso necesita información de los usuarios, tanto de la distribución de éstos como de la estimación de la demanda de servicios.

3.3.4.2.2 Planificación Detallada

Esta fase presenta una planificación detallada que entrega por ejemplo la ubicación definitiva de los sitios y sus condiciones de propagación, el análisis de las interferencias interceldas, los requisitos de capacidad, y la planificación y optimización de coberturas. Todos esto se realiza pensando en el cumplimiento de la calidad de servicio de los servicios ofrecido.

Los datos requeridos en esta fase son:

- Datos cartográficos que entregan información de la distribución de construcciones, edificios y características geográficas del área de estudio.
- Distribución y ubicación de los sitios potenciales que existen en el área de estudio, y los tipos de antena y equipos que están disponibles para ser implementados en estos sitios.
- Distribución del tráfico en forma de mapa de usuarios.

3.3.4.2.3 Optimización

En esta fase se logra llegar a una red optimizada manteniendo un compromiso entre capacidad, cobertura, costos y calidad de servicio. Este proceso es iterativo y permite encontrar la opción más conveniente para la estrategia de la empresa.

3.3.4.3 Planificación de cobertura

Para la planificación de cobertura el problema se puede resumir en el cálculo del *link budget*, el cual considera la potencia de transmisión del emisor, las ganancias y pérdidas del enlace, y la sensibilidad del receptor, para estimar la cobertura que posee dicho enlace.

Las pérdidas que se tienen en el enlace dependen del medio ambiente. Por ejemplo, la humedad ambiental, los edificios, los árboles y la lluvia contribuyen a la degradación de la señal transmitida. También se debe considerar el efecto de desvanecimiento en la degradación de la señal. Además algunos rangos de frecuencias son más susceptibles que otros a las condiciones ambientales. A estas pérdidas se debe agregar la pérdida de propagación, la cual depende del medio ambiente, el tamaño de la celda, la altura efectiva del emisor y receptor, y de la distancia del enlace.

Finalmente, se debe cumplir la Ecuación 9 para que exista comunicación entre el origen y el destino de la comunicación.

$$P_t + G_{tot} - L_{tot} - S_m \geq S_u$$

Ecuación 9: Cálculo de la Cobertura de un enlace Inalámbrico.

En donde:

P_t : Corresponde a la potencia en el transmisor del emisor.

G_{tot} : Corresponde a la suma de las ganancias existentes en el enlace, ya sea la ganancia isotrópica de la antena, la ganancia por procesamiento en WCDM y/o la ganancia por diversidad (handover).

L_{tot} : Corresponde a la suma de las pérdidas existentes en el combinador, en el cable y conectores de la BS, debidos al cuerpo del usuario, a la propagación de las ondas, al clima y/o pérdidas producidas por la penetración en edificios y en automóviles (en este último caso, se elige el factor que produzca la mayor pérdida).

- S_m : Se refiere a los márgenes que se deben dejar por concepto de la interferencia y del desvanecimiento lento, rápido y log-normal.
- S_u : Determina la sensibilidad útil de la antena del receptor de la comunicación.

La Ecuación 9 debe cumplirse para el enlace uplink como para el enlace downlink.

Si se quiere calcular la cobertura máxima que puede tener una celda de un cierto sistema, se debe reescribir la Ecuación 9 separando las pérdidas totales L_{tot} en pérdidas de propagación L_{prop} y las otras pérdidas L_{otr} , como se muestra en la Ecuación 10.

$$P_t + G_{tot} - L_{tot} - S_m - S_u \geq L_{prop}$$

Ecuación 10: Link Budget de un enlace Inalámbrico.

La ecuación anterior define una cota superior para las pérdidas de propagación. La ecuación que estima las pérdidas de propagación dependen de la distancia R entre el receptor y el emisor, por lo tanto con la cota superior encontrada para las pérdidas de propagación, se estima la máxima distancia R que puede haber entre un MS y la BS. Para el cálculo anterior se debe encontrar el link budget de subida y de bajada, y utilizar la menor cota encontrada.

Las ecuaciones utilizadas para estimar las pérdidas de propagación pueden ser, para GSM y WCDMA, la ecuación COST 231 Walfisch-Ikegami que se utiliza en microceldas (menos de 1 km) y la ecuación COST 231 Hata que se utiliza en macroceldas (más de 1 km), y para WiMAX, la ecuación propuesta por la IEEE 802.16.

Sin embargo existe una gran variedad de modelos para estimar las pérdidas de propagación en los enlaces inalámbricos. Una descripción más detallada de cada uno de los modelos citados anteriormente se puede obtener en la memoria “Metodologías, criterios y Herramientas para la planificación de redes inalámbricas” del ingeniero Marco Muñoz Valdebenito [20].

3.3.4.4 Planificación de capacidad

La planificación de capacidad en redes inalámbricas es una sección muy importante, ya que define la calidad de servicio que se quiere entregar a los usuarios, y muchas veces limita el tamaño de las celdas que se deben implementar.

En todo tipo de redes inalámbricas, el sistema posee una capacidad limitada que puede manejar y procesar.

3.3.4.4.1 GSM / GPRS / EDGE

En las redes TDMA, como GSM, GPRS o EDGE, tienen una cantidad fija de TRXs, según la cantidad de tráfico en cada celda, y en cada uno de estos TRXs se tiene un número limitado de canales de tiempo o *Time Slots* (TS). Si el tráfico supera la capacidad del sistema en alguna celda, se debe reducir el tamaño de las celdas en dicha zona y así poder abastecer el tráfico requerido. En la Tabla 5 obtenida en la memoria de Marco Muñoz, se puede apreciar una equivalencia entre el número de TRX y el tráfico en Erlangs.

TRXs	Time Slots	TS de Tráfico	TS de Señalización	Tráfico (1%)	Tráfico (2%)	Tráfico (5%)
1	8	7	1	2.5	2.9	3.7
2	16	15	1	8.1	9.0	10.6
3	24	22	2	13.7	14.9	17.1
4	32	30	2	20.3	21.9	24.8
5	40	38	2	27.3	29.2	32.6

Tabla 5: Relación entre TRXs y Tráfico expresado en Erlangs.

Por otra parte, el número de TRX por BTS viene dado de la división entre número de canales disponibles y el factor de reutilización de frecuencias.

Para los sistemas GPRS y EDGE, se utiliza la capacidad “libre” o margen que deja el sistema GSM cuando no se está en una hora peak.

En la Tabla 6 se muestra el promedio de TS por celda, que se puede asignar al tráfico de paquetes en función de la cantidad de TRX y la probabilidad de bloqueo.

TRX (TCH)/celda	Carga CS de TCH con un 1% de bloqueo	Carga CS de TCH con un 2% de bloqueo	Prom. de TCH disponibles para EDGE (caso 1% bloqueo)	Prom. de TCH disponibles para EDGE (caso 2% bloqueo)
1 (6)	1.9	2.2	4.1	3.8
2 (14)	7.3	8.0	6.7	6.0
3 (21)	12.7	13.8	8.3	7.2
4 (29)	19.3	20.6	9.7	8.4
5 (36)	25.3	26.8	10.7	9.2
6 (44)	32.2	34.0	11.8	10.0

Tabla 6: Promedio de TS disponible para el sistema GPRS o EDGE.

Con los datos de la tabla anterior, se puede estimar un valor promedio de la capacidad que soporta una celda en un sistema GPRS o EDGE, como se muestra en la Ecuación 11.

$$Throughput = BW_{TS} \cdot TS_{Disp} \cdot (1 - BLER)$$

Ecuación 11: Tasa de Transmisión Promedio de un Sistema GPRS/EDGE en una Celda.

Donde:

- BW_{TS} es la tasa de bits disponible en cada Time Slot.
 TS_{disk} es la cantidad de Time Slots disponibles para el sistema GPRS y/o EDGE.
 $BLER$ es la tasa de error por bloques de información enviados.

3.3.4.4.2 UMTS

La capacidad de cada una de las celdas en las redes CDMA, como UMTS, se estima a través de una expresión llamada “factor de carga”, el cual estima el nivel de saturación del sistema en la celda debido a la interferencia producida en la misma. Esta tecnología no es limitada por cobertura, sino que es limitada por interferencia.

La expresión del factor de carga del enlace de subida se observa en la Ecuación 12 obtenida en [20].

$$\eta_{UL} = (1 + i) \cdot \sum_{j=1}^N L_j = (1 + i) \cdot \sum_{j=1}^N \frac{1}{1 + \frac{W}{(E_b / N_0)_j \cdot R_j \cdot v_j}}$$

Ecuación 12: Factor de carga del enlace UL.

En donde:

- i es la razón entre la potencia recibida de los MSs conectados a otras BSs y la potencia recibida de los MSs conectados a la BS propia.
- W es la tasa de chip del sistema WCDMA (3,84 Mcps).
- N es el número de usuarios por celda.
- v_j es el factor de actividad del usuario j a nivel de capa física (0,67 voz y 1 datos).
- E_b/N_0 es la razón de energía por bit a densidad espectral del ruido, el cual incluye el ruido térmico y la interferencia.
- R_j es la tasa de bits del usuario j .

Por otra parte en [20] se tiene que la expresión del factor de carga para el enlace de bajada es:

$$\eta_{DL} = \sum_{j=1}^N v_j \cdot \frac{(E_b / N_0)_j}{W / R_j} \cdot [(1 - \alpha_j) + i_j]$$

Ecuación 13: Factor de Carga del Enlace de Bajada.

En donde los parámetros nuevos son:

α_j es el valor de la ortogonalidad del canal para el usuario j , la cual depende de las multitraectorias del enlace j entre la BS y el MS_j .

i_j es la razón entre la potencia recibida por el MS_j de los MSs conectados a otras BSs y la potencia recibida por el MS_j de los MSs conectados a la BS propia.

El término α_j corresponde a un factor de ortogonalidad en el enlace DL. WCDMA emplea códigos ortogonales en el enlace DL para separar el tráfico de cada usuario. Cuando la ortogonalidad es 1, los códigos están perfectamente ortogonales. Generalmente la ortogonalidad está entre 0.4 y 0.9, en canales con multitraectorias.

Si se quisiera agregar en la planificación el factor de la velocidad de los MSs se puede utilizar los resultados obtenidos en [7] para los valores de E_b/N_0 en movimiento. Éstos se muestran en la Tabla 7 presentada a continuación.

$UL Rx E/N_0$ [dB]	12.2 kbps voice, 20 ms interleaving			CS data 3 km/h, 40 ms interleaving		
	3 km/h	20 km/h	120 km/h	64 kbps	128 kbps	384 kbps
	4	4.5	5	2	1.5	1
	PS data 3 km/h, 10 ms interleaving			PS data 120 km/h, 10 ms interleaving		
	64 kbps	128 kbps	384 kbps	64 kbps	128 kbps	384 kbps
	2	1.5	1	3.3	3	2
$DL Tx E_b/N_0$ [dB]	12.2 kbps voice, 20 ms interleaving			CS data 3 km/h, 40 ms interleaving, BLER 1%		
	3 km/h	20 km/h	120 km/h	64 kbps	128 kbps	384 kbps
	6.5	6	6.5	5	5	5
	PS data 3 km/h, 10 ms interleaving, BLER 10%			PS data 120 km/h, 10 ms interleaving, BLER 10%		
	64 kbps	128 kbps	384 kbps	64 kbps	128 kbps	384 kbps
	5.5	5	4.5	5	4.5	4

Tabla 7: Tabla de E_b/N_0 para MSs en Movimiento.

3.3.4.4.3 WiMAX

En las redes OFDMA, como WiMAX, se tiene un rango de frecuencia fijo en cada celda, de 5 MHz o 10 MHz según se elija en la planificación de frecuencia. Este rango de frecuencia es subdividido en un número fijo de subportadoras. La capacidad de cada una de éstas depende del tipo de modulación que se utilice. WiMAX utiliza un sistema de modulación adaptativa la cual asigna un tipo de modulación a cada subportadora según la calidad de señal recibida (nivel C/I).

La capacidad por subportadora se aprecia en la siguiente tabla.

Modulación	Capacidad [bit/subportadora]
BPSK	1
QPSK	2
16QAM	4
64QAM	6

Tabla 8: Capacidad de las Subportadoras según el Tipo de Modulación.

Las subportadoras son asignadas a los usuarios a medida lo necesiten.

El canal de comunicación se divide en 256 portadoras, de las cuales se eliminan las 28 inferiores y las 27 superiores, como resguardo para disminuir las posibles interferencias con canales adyacentes. También se eliminan algunas subportadoras del centro del canal, las que indican la frecuencia central de éste. Además se utilizan 8 subportadoras como referencia y sincronización. En definitiva se tienen 192 subportadoras para la comunicación de datos.

Para realizar una estimación de la capacidad del canal de comunicación en WiMAX, se debe efectuar el siguiente cálculo:

$$C_{aprox} = \frac{N^{\circ} \text{ de Subportadoras} \cdot b}{T_s}$$

Ecuación 14: Estimación de la capacidad de canal en WiMAX.

Donde:

b es el número de bits que se puede enviar por símbolo.

T_s es el tiempo total del símbolo T_s .

El número de subportadoras que se utiliza en esta ecuación son las que se usan para el tráfico de datos.

Otro factor que interviene en el cálculo de la capacidad de canal es el tipo de codificación de los datos enviados por cada subportadora. En la Tabla 9 se observa los tipos de modulación y codificación que se puede utilizar para la transmisión, destacando el porcentaje de datos útiles o Overall coding rate (OCR) para cada caso.

Modulación	Tamaño del bloque sin codificar [Bytes]	Tamaño del bloque codificado [Bytes]	Overall coding rate	CC code rate
BPSK	12	24	1/2	1/2
QPSK	24	48	1/2	2/3
QPSK	36	48	3/4	5/6
16QAM	48	96	1/2	2/3
16QAM	72	96	3/4	5/6
64QAM	96	144	2/3	3/4
64QAM	108	144	3/4	5/6

Tabla 9: Porcentaje de Codificación para Cada Tipo de Modulación.

Luego, la capacidad efectiva del canal se muestra en la Ecuación 15:

$$C = C_{approx} \cdot OCR$$

Ecuación 15: Capacidad Efectiva del Canal.

De manera general, la capacidad de cualquier sistema es fija y se divide en pequeños fragmentos con capacidad fija. Estos fragmentos son administrados y asignados entre los usuario, de manera de que cada uno tenga a su disposición la capacidad necesaria para la utilización de los servicios que ofrece la red. Las tecnologías más nuevas, como UMTS o WiMAX, poseen un sistema de asignación más dinámica e inteligente de los recursos de la red.

3.3.4.5 Planificación de frecuencia

La planificación de frecuencia es un problema característico y muy importante dentro de las redes inalámbricas. La resolución de este problema permite la distribución inteligente del espectro de frecuencias de manera de disminuir lo máximo posible las interferencias entre comunicaciones de celdas adyacentes.

En todos los sistemas inalámbricos, se tiene un rango de frecuencias limitado, el cual debe ser repartido de la manera más eficiente posible a cada uno de sus abonados.

En los sistemas FDM se tiene portadoras separadas las unas de las otras por una banda de guarda, la cual asegura que no se traslape la información de cada portadora. En la Figura 29 se muestra un ejemplo de este tipo de modulación. Cada una de estas portadoras es asignada a un usuario para la comunicación unidireccional.



Figura 29: Multiplexación por División de Frecuencia.

Así como FDM, los sistemas OFDM utilizan múltiples subportadora, sin embargo estas se encuentran muy cercanas las unas de las otras y sin causar interferencias entre ellas ya que se utilizan portadoras ortogonales. Éstas tienen la propiedad de que cuando una está en su *peak* las adyacentes pasan por cero. Esto permite eliminar las bandas de guarda y lograr una eficiencia espectral muchísimo mayor. En la Figura 30 se observa el caso citado.

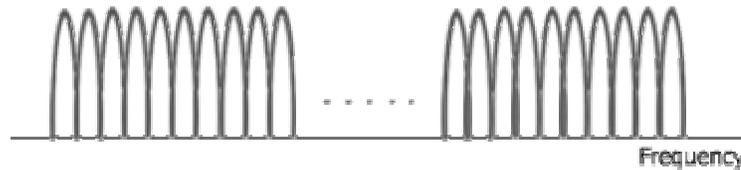


Figura 30: Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal.

En definitiva, en los dos casos mostrados anteriormente se tiene una cantidad de portadoras fijas para un rango de frecuencias fijo, por lo que la cantidad de información y las conversaciones que se pueden transmitir simultáneamente son limitadas. Por este motivo es primordial una buena asignación de las frecuencias para cada cliente y por lo tanto es tremendamente necesario planificarlas.

Para solucionar el problema de tener un ancho de banda limitado, se utiliza lo que se llama el “reuso de frecuencias”, lo que permite reutilizar las frecuencias disponibles para el proveedor a una distancia prudente, de manera que la interferencia causada por las transmisiones realizadas a la misma frecuencia no impida la comunicación. De este modo se establece una interferencia máxima para cada tecnología inalámbrica.

En la práctica lo primero que se debe hacer es ver la disponibilidad de canales que se tiene según el ancho de banda asignado a la compañía y el ancho de banda que utiliza la tecnología que se desea implementar.

Si se dispone de una cantidad n de canales se puede crear un *cluster* de n celdas.

Por otra parte, se define el factor de reuso el que indica, en términos de celdas, la distancia a la cual una frecuencia se repite. Otra manera de expresar lo mismo es a través de la distancia de reuso, en donde se calcula la distancia entre dos celdas que utilizan la misma frecuencia.

La distancia de reuso se calcula de la siguiente manera:

$$D = \sqrt{3N} \cdot R$$

Ecuación 16: Cálculo de la Distancia de Reuso.

En donde:

- D es la distancia de reuso.
- R es el radio de las celdas.
- N es el tamaño del cluster.

Este proceso indica cuál debe ser la repartición de las frecuencias en las celdas, definiendo el tamaño del *cluster* y pudiendo estimar de mejor manera la interferencia en cada una de dichas celdas.

Una cierta tecnología puede imponer un máximo de interferencia para el buen funcionamiento del sistema, y por lo tanto definir un mínimo para la distancia de reuso. Este hecho impone restricciones a la planificación de frecuencia del problema.

Por otra parte, es muy importante la elección del tipo de antenas a utilizar en la red, ya que las antenas omnidireccionales producen un mayor nivel de interferencia entre celdas contiguas que las antenas direccionales.

El ingeniero Marco Muñoz, en su memoria [20], presenta el diagrama de planificación general de frecuencias mostrado en la Figura 31. En este proceso secuencial de planificación primero se realizan predicciones de propagación, luego se calcula la cobertura, estableciendo los niveles de interferencia entre celdas, con lo que después se construye una matriz de interferencia, donde los elementos x_{ij} de la matriz representan la estimación de la interferencia entre las comunicaciones de la celda j en los MSs que pertenecen a la celda i . Finalmente teniendo la matriz de interferencia, las requerimientos de TRXs y las restricciones de separación se obtiene el plan de frecuencia.

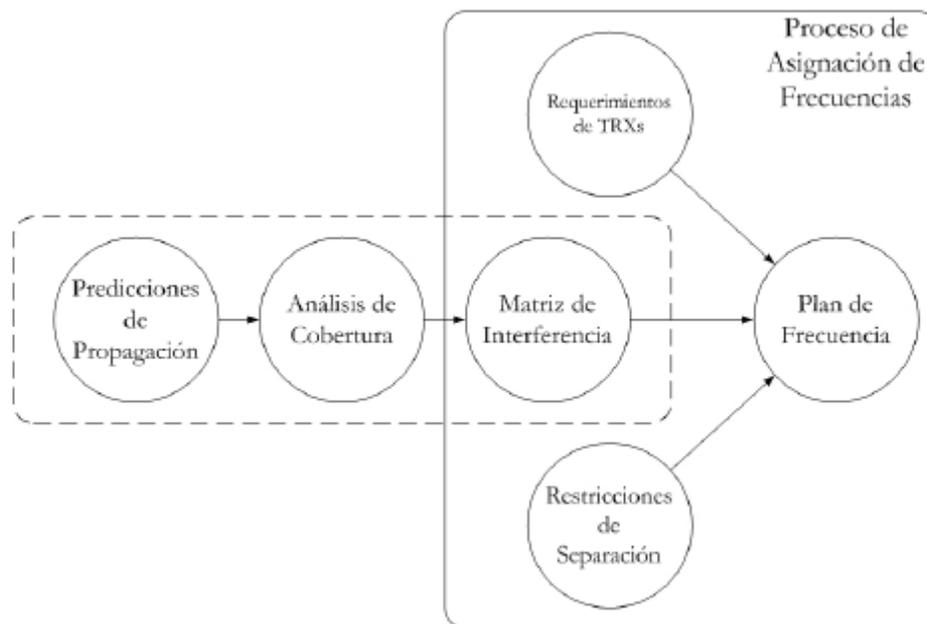


Figura 31: Proceso de Planificación General de Frecuencias.

3.4 Herramientas de planificación

Si se quiere realizar la planificación de una red de telecomunicaciones, se puede aprender el funcionamiento de las distintas tecnologías, teniendo métodos de planificación y de cálculos, sin embargo, la única manera de llevarlo a la realidad es a través de herramientas computacionales ya que normalmente se necesita una gran cantidad de iteraciones para llevar a cabo dichos métodos y cálculos.

Viéndolo de una manera general, los bloques más importantes que deben incluir las herramientas de planificación son:

- **Bloque de Optimización:** Permite encontrar una configuración de red óptima, es decir una red que cumpla con los requisitos planteados al mínimo costo.
- **Bloque de Simulación:** Permite correr una simulación de la red en funcionamiento, pudiendo recrear distintos escenarios de ésta, y posibilitando que el planificador vea y analice el rendimiento de la red creada.
- **Bloque de Análisis de Resultados:** Una vez efectuada la simulación de la red en funcionamiento, este bloque permite decidir si la configuración de la nueva red es aceptable, dada las condiciones de la demanda adoptada en este proceso.

En el Capítulo 4.3 se discute en forma más detallada las características generales, propias de las herramientas de planificación, y se muestra con un poco más de profundidad los bloques descritos anteriormente en este subcapítulo.

3.5 Consideraciones para el desarrollo de los ejemplos de planificación

En esta sección se expone la metodología utilizada para el desarrollo de los ejemplos de planificación de redes cableadas e inalámbricas expuestos en el capítulo 4.4. En éste se especifica cual es el área de estudio considerada, cuales son los supuestos que se utilizan y de qué manera se crean estos ejemplos.

3.5.1 Planteamiento del problema Cableado

Para la realización de estos ejemplos se tomará como área de estudio la comuna de “Las Condes” situada en la ciudad de Santiago de Chile. En la Tabla 10 se presentan algunos datos de esta comuna, que se utilizan para sentar las bases del ejemplo y llevarlo a una situación realista.

Datos Comuna Las Condes	
Superficie Urbana	3267 Ha
Población	249.893
Nº Viviendas	74879
Nº Casas	32285
Nº Departamentos	42594
Penetración Telefonía Fija	94,1
Penetración Internet	50,5

Tabla 10: Datos de la Comuna de Las Condes.²¹

Como se puede apreciar en la Figura 32, la zona poblada o urbana de la comuna de Las Condes es de forma triangular, sin embargo como primer supuesto se toma una forma cuadrada para simplificar el ejemplo ya que no se posee información sobre las distancias en la imagen de esta comuna.



Figura 32: Imágen Satelital de la Comuna de Las Condes.

²¹ Datos Obtenidos de la Página Web de la Ilustre Municipalidad de Las Condes: www.lascondes.cl

De esta manera con el dato de la superficie de la comuna se puede obtener distancias de referencia y así separar el área de estudio en varias divisiones pequeñas. Para este caso se tiene un área de 3267 hectáreas, lo que equivale a tener un cuadrado de 57,16 hectometros de lado, lo que es igual a 5716 metros.

En primer lugar, lo que se quiere es separar el área de estudio en cuadrículas iguales. Mientras más pequeño sea el tamaño de estas cuadrículas, más preciso es el modelo, sin embargo con una resolución muy detallada se aumenta mucho la complejidad de éste. En un principio se pensó en separar cada lado del área de estudio (ahora cuadrada) en 57 segmentos de 100 metros, pero en la implementación, al crear los parámetros del problema, se obtuvo que los archivos de los parámetros eran extremadamente grandes, siendo algunos de 800 MB únicamente con texto. Esto provoca una saturación de los medios de procesamiento utilizados al momento de ejecutar el *solver* de optimización CPLEX. Por este motivo se realizaron pruebas para elegir un tamaño factible del problema a ser resuelto. Un tamaño factible para la optimización de un modelo de las características que se plantean en esta memoria podría ser entre 10 x 10 y 15 x 15 cuadrículas dependiendo de la cantidad de variables y restricciones utilizadas, lo que equivale a tener un área de estudio separada en cuadrículas de 571,6 x 571,6 metros o 381 x 381 metros respectivamente.

Para estimar el requerimiento de servicios en el área de estudio, se distribuye al azar las casas y los departamentos en ésta, sin superar un número máximo de viviendas por cuadrículas calculado de la siguiente manera.

$$MaxViviendas = \frac{15 \cdot LadoCuadrícula^2}{100^2}$$

Ecuación 17: Máxima Cantidad de Viviendas por Cuadrícula.

Esta ecuación fue obtenida al estimar que en una superficie de 100 x 100 metros se puede contener un número máximo de 15 casas, suponiendo una superficie promedio por casa de 650 m². Después para estimar la cantidad total de edificios que existen en el área de estudio, se supone que los edificios se componen de 12 pisos con 4 departamentos por cada piso, lo que en el caso de la comuna de Las Condes entrega una cantidad de 888 edificios. Luego para estimar la cantidad de edificios que puede contener una cuadrícula, se estimó que cada edificio utiliza la superficie de 5 casas. Por lo tanto se debe cumplir que:

$$n^{\circ} Casas + n^{\circ} Edificios \cdot 5 \leq MaxViviendas$$

Ecuación 18: Restricción del Número de Casas y Número de Edificios que puede contener cada cuadrícula.

Teniendo la penetración de la telefonía fija e Internet en la comuna, se estima la cantidad de viviendas que poseen estos servicios, como se muestra en la Tabla 11.

	Internet	Telefonía Fija
Penetración (%)	50,5	94,1
Viviendas con:	37791	70461

Tabla 11: Viviendas que Poseen Servicios de Telefonía Fija e Internet

Luego se separa el servicio de Internet en tres tipos de servicios: videoconferencia, descarga de archivos FTP y navegación en páginas Web. Finalmente se supone una situación en horario *peak* en la cual el 70 % de las viviendas que poseen telefonía fija están hablando por teléfono, el 10 % de las viviendas que poseen Internet están utilizando videoconferencia, el 20 % está descargando archivos FTP y

el 40 % está navegando en páginas Web. Con los valores presentados para la hora *peak* en el caso de estudio propuesto se obtienen los siguientes valores para la demanda de servicios:

	Video Conferencia	Archivos FTP	Páginas Web	Teléfono
Demanda de Servicios en Horario Peak	3780	7560	15118	49324
Demanda por Unidad de Servicio en Mbps	0,32	0,3	0,05	0,04
Demanda Total Por Servicio en Mbps	1209,6	2268	755,9	1972,96

Tabla 12: Cantidad de Viviendas que Poseen cada uno de los Servicios incluidos en este ejemplo.

Después de tener claro cuantas viviendas poseen cada uno de los servicios, se elige al azar qué viviendas utilizan estos servicios, o dicho de otra manera, se elige al azar la demanda de estos servicios para cada cuadrícula, sin superar la cantidad de viviendas otorgadas a cada cuadrícula.

Con este procedimiento se logra obtener una matriz de demanda distribuida en el área de estudio cumpliendo todos los supuestos adoptados en este ejemplo.

En el capítulo 4.4.1 se especifica cómo se obtienen todos los parámetros utilizados en el modelo de optimización cableada. Una vez que se tengan todos los parámetros requeridos en el problema de optimización, se utiliza el programa GAMS como medio de planteamiento y solución de dicho problema. Si es que se logra obtener un resultado factible al problema propuesto, se debe realizar un análisis de esos resultados de modo de saber cuál debe ser la disposición de los elementos de la red, las capacidades de estos, y los puntos críticos de la red.

3.5.2 Planteamiento del problema inalámbrico

En esta sección se presenta la metodología usada para crear el ejemplo de planificación de redes inalámbricas que se muestra en el capítulo 4.4.2. Para realizar esta tarea se utiliza la misma área de estudio que para el caso cableado, la misma separación en cuadrículas, y la misma asignación de casas y departamentos en cada una de éstas. Sin embargo, para la repartición de la demanda en el área de estudio se realiza otro procedimiento, el cual es mostrado a continuación.

Para el ejemplo de una red inalámbrica se elige la tecnología WiMAX móvil. Como se trata de un caso inalámbrico móvil, se supone que los dispositivos de los usuarios pertenecen a personas individuales y no por ejemplo a un grupo familiar. En la información obtenida de la “Ilustre Municipalidad de Las Condes” se tiene la penetración de la telefonía celular GSM, la cual es utilizada para suponer la penetración de la tecnología WiMAX. Se adopta esta suposición debido a que la tendencia de los servicios móviles apunta a que cada usuario posea una conexión de banda ancha en su dispositivo personal. A continuación se muestran los datos y la metodología utilizados para generar este ejemplo.

Utilizando los datos de la Tabla 10 se tiene que la población total en la comuna de Las Condes es de 249.893 personas y que la penetración de la telefonía móvil es de un 79,5 %. Con esta información se calcula que la cantidad de personas con telefonía móvil es de 198.665. La distribución de los clientes con telefonía móvil se realiza al azar a través de un programa realizado en “Visual Basic”. Éste supone un promedio de 4 personas por vivienda, por lo tanto se tiene un número máximo de 192 personas por edificio y un número máximo de 4 personas por casa, estableciendo un límite para la asignación de móviles por cuadrícula. Luego se supone que sólo el 30 % de las personas con telefonía móvil posee el servicio de Internet móvil obteniendo una cifra de 59.600 personas. En la Tabla 13 se aprecian los resultados comentados anteriormente.

	Internet Móvil	Telefonía Móvil
Penetración (%)	30,0	79,5
Personas con:	59.600	198.665

Tabla 13: Datos de Telefonía Móvil e Internet Móvil.

Luego, para obtener la demanda para cada servicio, se separa el servicio de Internet móvil en 3 servicios menores, la videoconferencia, la descarga de archivos FTP y la navegación Web. Después se supone una situación para el horario *peak*, en donde el 10 % de las personas que poseen Internet móvil están utilizando videoconferencia, el 20 % se encuentra descargando archivos FTP y el 40 % navega en páginas Web. Por otra parte se estima que el 40 % del total de personas con Telefonía móvil está utilizando el servicio de voz sobre IP. Los resultados de los supuestos presentados anteriormente, la demanda por unidad de servicio en Mbps y la demanda total por servicio en Mbps se muestran en la Tabla 14.

	Video Conferencia	Archivos FTP	Páginas Web	Voz
Demanda de Servicios en Horario Peak	5960	11920	23840	79466
Demanda por Unidad de Servicio en Mbps	0,32	0,3	0,05	0,04
Demanda Total Por Servicio en Mbps	1907,2	3576	1192	3178,64

Tabla 14: Datos de Demanda por Servicios de Videoconferencia, Archivos FTP, Páginas Web y Voz IP.

Finalmente para obtener la matriz de demanda se realiza un programa en Visual Basic, el cual distribuye aleatoriamente la demanda de cada uno de los servicios, sin sobrepasar la cantidad de teléfonos móviles asignada a cada cuadrícula.

En el capítulo 4.4.2 se especifica como se obtienen todos los parámetros utilizados en el modelo de optimización inalámbrica. Una vez que se tengan todos los parámetros requeridos en el problema de optimización, se utiliza el programa GAMS como medio de planteamiento y solución de dicho problema. Si es que se logra obtener un resultado factible al problema propuesto, se debe realizar un análisis de esos resultados de modo de saber cuál debe ser la ubicación, la cantidad de antenas, *transceivers*, potencia de transmisión y cobertura de cada uno de los sitios de la red.

Capítulo 4

Resultados

4.1 Metodología de planificación Cableada

En este subcapítulo se muestra cómo plantear un problema de planificación cableada, con una visión general, y que ayude a resolver los problemas propuestos en el Capítulo 3.3.3. Para esto, se diseña un problema de optimización en donde se dispone de las entradas, se consideran las restricciones y se obtienen las salidas, todas éstas, descritas en el capítulo anterior.

4.1.1 Descripción del problema

Antes de plantear un problema de optimización, se debe tener muy claro el problema en estudio, cuáles son los datos de entrada, las restricciones a considerar, los recursos o parámetros, y cuáles son las respuestas, o salidas, que se quiere obtener.

Para un problema de planificación de red cableada se desea averiguar la ubicación, cobertura y capacidad óptima de los nodos instalados en la red, así como también, encontrar la disposición y la capacidad óptima de los enlaces que abastecen los puntos de demanda repartidos en el área de estudio y los enlaces que unen los nodos entre sí. Lo anterior se analiza también en el tiempo, separando el problema en varios períodos de tiempo.

Para la planificación de una red cableada se considera que:

- Existen lugares en donde no es posible instalar un sitio.
- Se pueden crear nodos de diferentes tecnologías, sin embargo sólo se puede instalar un nodo por cada coordenada del área de estudio.
- La tecnología y la cantidad de unidades de expansión del equipamiento de un nodo definen su capacidad en ancho de banda y en cantidades de puertas.
- Se presentan costos por instalación de nodos con una cierta tecnología y un cierto nivel de expansión, y costos para la creación de enlaces, por tecnología, ya sean entre nodos, o entre un nodo y un punto de demanda.
- Se tienen además costos de traslado de equipos debido a su reasignación en la red.
- La cobertura de un nodo depende de la capacidad de éste y de la cantidad de puertas que posee.
- El costo del terreno y la edificación es el mismo para toda el área de estudio.
- Todos los puntos de demanda deben ser conectados a algún nodo.
- Se debe satisfacer la demanda *uplink* como la *downlink* de todos los puntos del área de estudio, no sobrepasando en ningún momento la capacidad de los enlaces o de los nodos. Para generalizar ésto, se debe realizar una conservación de flujo en todos los nodos del área de estudio.
- Se considera la restricción obtenida en la página de *Ciscopress* en donde se sugiere que el tráfico de tiempo real que circula por un equipo no supere el 33,3% de la capacidad de éste, y así lograr tener una buena calidad de servicio (sobre todo *delay*) en todos los puntos de la red. Este método se utiliza como una simplificación del problema, ya que evita crear nuevas variables que midan y limiten el *delay* de todos los extremos de la red.

4.1.2 Variables

x_{ijkt}	Variable binaria que toma el valor 1 con la existencia del nodo de tecnología “i” en la coordenada (j, k) en el tiempo “t”.
y_{ijklmt}	Variable binaria que toma el valor 1 con la existencia del enlace de tecnología “i” que une el nodo de las coordenadas (j, k) con el nodo de las coordenadas (l, m) en el tiempo “t”.
u_{ijklmt}	Variable binaria que toma el valor 1 con la existencia del enlace de tecnología “i” que une los nodos de las coordenadas (j,k) con los puntos de demanda en las coordenadas (l,m) en el tiempo “t”.
$existDem_{jkt}$	Variable binaria que toma el valor 1 en las coordenadas (j,k) en donde existe demanda, ya sea de subida como de bajada, en el tiempo t.
f_{jklmt}	Variable real que indica la cantidad de flujo que circula entre los nodos existentes en las coordenadas (j, k) y (l, m) en el tiempo “t”.
ftr_{jklmt}	Variable real que indica la cantidad de flujo de tráfico de tiempo real que circula entre los nodos existentes en las coordenadas (j, k) y (l, m) en el tiempo “t”.

4.1.3 Parámetros

cn_{ijk}	Costo de instalación del nodo de tecnología “i” en la coordenada (j, k). Incluye el terreno, la obra civil y los equipos.
ce_{ijklm}	Costo del enlace de tecnología “i” que une las coordenadas (j, k) con las coordenadas (l, m). Incluye la obra civil de canalización.
cap_n	Capacidad de un nodo de tecnología “i”.
cap_{ijklm}	Capacidad de un enlace de tecnología “i” que va desde las coordenadas (j, k) a las coordenadas (l, m). La capacidad depende de la tecnología, sin embargo los subíndices j, k, l, m, se utilizan para marcar la dirección de la capacidad del enlace.
cp_i	Cantidad de puertas de un nodo de tecnología “i”.
$Prohib_{jk}$	Parámetro binario que toma el valor 0 en las coordenadas (j, k) donde no se puede instalar un nodo.
Zup_{jkt}	Demanda de tráfico (Mbps) total de subida en las coordenadas (j, k) en el tiempo “t”.
$Zdown_{jkt}$	Demanda de tráfico (Mbps) total de bajada en las coordenadas (j, k) en el tiempo “t”.
$Ztrup_{jkt}$	Demanda de tráfico (Mbps) de tiempo real de subida en las coordenadas (j, k) en el tiempo “t”.

Z_{trdown}_{jkt} Demanda de tráfico (Mbps) de tiempo real de bajada en las coordenadas (j, k) en el tiempo “t”.

4.1.4 Conjuntos

- I Conjunto de tecnologías disponibles.
- X Conjunto de coordenadas horizontales de los recuadros del área de estudio.
- Y Conjunto de coordenadas verticales de los recuadros del área de estudio.

4.1.5 Restricciones

$$\begin{aligned} \sum_i y_{ijklmt} &\leq \sum_i x_{ijkt} && \forall j, l \in X, \quad \forall k, m \in Y \quad \forall t \in T \\ \sum_i y_{ijklmt} &\leq \sum_i x_{ilm} && \forall j, l \in X, \quad \forall k, m \in Y \quad \forall t \in T \\ \sum_i u_{ijklmt} &\leq \sum_i x_{ijkt} && \forall j, l \in X, \quad k, m \in Y \quad \forall t \in T \\ \sum_i u_{ijklmt} &\leq existDem_{lmt} && \forall j, l \in X, \quad k, m \in Y \quad \forall t \in T \end{aligned}$$

Esta restricción obliga a que en cada período de tiempo “t”, si existe un enlace entre nodos, también deben existir sus respectivos nodos. Lo mismo se repite para el enlace desde el nodo a los puntos de demanda.

$$Z_{up}_{jkt} + z_{down}_{jkt} \leq existDem_{jkt} \cdot M \quad \forall j \in X, \quad \forall k \in Y, \quad \forall t \in T$$

Esta restricción obliga a que si existe algún valor de demanda en las coordenadas (j,k) en el tiempo “t”, la variable binaria “existDem” toma valor 1. Se incluye la multiplicación por un número grande para que se cumpla la restricción sin importar los valores de la demanda.

$$\begin{aligned} \sum_{j,k} \left(z_{up}_{jkt} \cdot \sum_i u_{ilmjkt} + f_{ijklmt} \right) &= \sum_{j,k} \left(f_{lmjkt} + z_{down}_{jkt} \cdot \sum_i u_{ilmjkt} \right) \\ &\forall l \in X, \quad \forall m \in Y, \quad \forall t \in T \\ \sum_{j,k} \left(z_{trup}_{jkt} \cdot \sum_i u_{ilmjkt} + f_{trijklmt} \right) &= \sum_{j,k} \left(f_{trlmjkt} + z_{trdown}_{jkt} \cdot \sum_i u_{ilmjkt} \right) \\ &\forall l \in X, \quad \forall m \in Y, \quad \forall t \in T \end{aligned}$$

La restricción precedente es de conservación de flujo para todo tiempo “t”, y especifica que el flujo entrante a un nodo, sea igual al flujo saliente de éste. Lo mismo se repite para el tráfico de tiempo real. Se destaca que los enlaces “u” poseen una única dirección, desde el nodo hacia el punto de demanda.

$$\begin{aligned}\sum_i y_{ijklmt} &\leq 1 \quad \forall j, l \in X, \quad \forall k, m \in Y, \quad \forall t \in T \\ \sum_i x_{ijkt} &\leq 1 \quad \forall j \in X, \quad \forall k \in Y, \quad \forall t \in T \\ \sum_i u_{ijklmt} &\leq 1 \quad \forall j, l \in X, \quad \forall k, m \in Y, \quad \forall t \in T\end{aligned}$$

La restricción anterior indica que en cada nodo y en cada enlace del área de estudio se pueda utilizar sólo una solución tecnológica.

$$\begin{aligned}zup_{jkt} &\leq \sum_{l,m} \sum_i cape_{ijklm} \cdot u_{ilmjkt} \quad \forall j \in X, \quad \forall k \in Y, \quad \forall t \in T \\ zdown_{jkt} &\leq \sum_{l,m} \sum_i cape_{ilmjk} \cdot u_{ilmjkt} \quad \forall j \in X, \quad \forall k \in Y, \quad \forall t \in T \\ f_{jklmt} &\leq \sum_i cape_{ijklm} \cdot y_{ijklmt} \quad \forall j, l \in X, \quad \forall k, m \in Y, \quad \forall t \in T\end{aligned}$$

Las restricciones anteriores se utilizan para especificar que si existe un enlace, el tráfico circulando en él, no debe sobrepasar su capacidad límite.

$$\begin{aligned}\sum_{j,k} \left(f_{jklmt} + zup_{jkt} \cdot \sum_i u_{ilmjkt} \right) &\leq \sum_i capn_i \cdot x_{ilmt} \quad \forall l \in X, \quad \forall m \in Y, \quad \forall t \in T \\ 3 \cdot \sum_{j,k} \left(ftr_{jklmt} + ztrup_{jkt} \cdot \sum_i u_{ilmjkt} \right) &\leq \sum_i capn_i \cdot x_{ilmt} \quad \forall l \in X, \quad \forall m \in Y, \quad \forall t \in T\end{aligned}$$

Las restricciones anteriores describen la limitación que tiene cada nodo para distribuir el tráfico entrante a éste. Los fabricantes de equipos de telecomunicaciones sugieren que el tráfico de tiempo real no debe superar el tercio de la capacidad total que posee el equipo.

$$\sum_{i,t} x_{ijkt} \leq prohib_{jk} \cdot M \quad \forall j \in X, \quad \forall k \in Y, \quad M \text{ grande}$$

La restricción anterior prohíbe que un nodo se instale en las coordenadas (j, k) para cualquier período de tiempo y de cualquier tecnología.

$$\sum_i \sum_{j,k} (u_{ilmjkt} + y_{ijklmt}) \leq \sum_i cp_i \cdot x_{ilmt} \quad \forall l \in X, \quad \forall m \in Y, \quad \forall t \in T$$

La restricción precedente describe la limitación que existe con respecto a la cantidad de puertas que posee un equipo de tecnología "i".

$$\begin{aligned}f_{jklmt} &\leq M \cdot \sum_i x_{ijkt} \quad \forall j, l \in X, \quad \forall k, m \in Y, \quad \forall t \in T, \quad M \text{ grande} \\ f_{jklmt} &\leq M \cdot \sum_i x_{ilmt} \quad \forall j, l \in X, \quad \forall k, m \in Y, \quad \forall t \in T, \quad M \text{ grande} \\ f_{jklmt} &\leq M \cdot \sum_i y_{ijklmt} \quad \forall j, l \in X, \quad \forall k, m \in Y, \quad \forall t \in T, \quad M \text{ grande}\end{aligned}$$

$$ftr_{jklmt} \leq M \cdot \sum_i x_{ijkt} \quad \forall j, l \in X, \quad \forall k, m \in Y, \quad \forall t \in T, \quad M \text{ grande}$$

$$ftr_{jklmt} \leq M \cdot \sum_i x_{ilm} \quad \forall j, l \in X, \quad \forall k, m \in Y, \quad \forall t \in T, \quad M \text{ grande}$$

$$ftr_{jklmt} \leq M \cdot \sum_i y_{ijklmt} \quad \forall j, l \in X, \quad \forall k, m \in Y, \quad \forall t \in T, \quad M \text{ grande}$$

Estas restricciones obligan en todo tiempo “t” a que sólo puede existir flujo entre extremos en donde se hayan instalado nodos y un enlace de origen a destino. En todos los casos anteriores se elige un valor M grande comparado con los valores máximos esperados para el tráfico.

$$y_{jkjkt} = 0 \quad \forall j \in X, \quad \forall k \in Y, \quad \forall t \in T$$

$$f_{jkjkt} = 0 \quad \forall j \in X, \quad \forall k \in Y, \quad \forall t \in T$$

$$ftr_{jkjkt} = 0 \quad \forall j \in X, \quad \forall k \in Y, \quad \forall t \in T$$

Estas restricciones impiden que existan flujos y enlaces entre un mismo nodo.

$$\sum_i \sum_{l,m} u_{ilmjkt} = existDem_{jkt} \quad \forall j \in X, \quad \forall k \in Y, \quad \forall t \in T$$

Esta restricción obliga a que cada punto de demanda se pueda conectar sólo con un nodo a la vez.

$$y_{ijklmt} = y_{ilmjkt} \quad \forall j, l \in X, \quad \forall k, m \in Y, \quad \forall i \in I, \quad \forall t \in T$$

La restricción anterior establece que la creación de enlaces es la misma en ambos sentidos.

$$x_{ijkt} - x_{ijk(t-1)} \geq 0 \quad \forall j \in X, \quad \forall k \in Y, \quad \forall i \in I, \quad \forall t > 1 \in T$$

$$y_{ijklmt} - y_{ijklm(t-1)} \geq 0 \quad \forall j, l \in X, \quad \forall k, m \in Y, \quad \forall i \in I, \quad \forall t > 1 \in T$$

$$u_{ijklmt} - u_{ijklm(t-1)} \geq 0 \quad \forall j, l \in X, \quad \forall k, m \in Y, \quad \forall i \in I, \quad \forall t > 1 \in T$$

Estas restricciones obligan a que si se elige un nodo y/o enlace, éste debe permanecer en el tiempo.

$$0 \leq f_{jklmt}, \quad 0 \leq ftr_{jklmt}, \quad \forall j, l \in X, \quad \forall k, m \in Y, \quad \forall t \in T$$

$$x_{ijkt} \in \{0, 1\}, \quad \forall j \in X, \quad \forall k \in Y, \quad \forall t \in T, \quad \forall i \in I$$

$$y_{ijklmt}, u_{ijklmt} \in \{0, 1\}, \quad \forall j, l \in X, \quad \forall k, m \in Y, \quad \forall t \in T, \quad \forall i \in I$$

Finalmente se establece la naturaleza de las variables utilizadas en este problema de optimización.

4.1.6 Función Objetivo

$$\begin{aligned}
 MIN \quad & \sum_{i,t>1} \left(\sum_{j,k} \left((x_{ijkt} - x_{ijk(t-1)}) \cdot cn_{ijk} + \sum_{l,m} (y_{ijklmt} - y_{ijklm(t-1)}) \cdot ce_{ijklm} + (u_{ijklmt} - u_{ijklm(t-1)}) \cdot ce_{ijklm} \right) \right) \\
 & + \sum_i \left(\sum_{j,k} \left(x_{ijk1} \cdot cn_{ijk} + \sum_{l,m} y_{ijklm1} \cdot ce_{ijklm} + u_{ijklm1} \cdot ce_{ijklm} \right) \right)
 \end{aligned}$$

En la función objetivo se tienen seis términos de costos, en donde el primero describe los costos totales de instalación de todos los nodos de la red en todos los períodos de tiempo mayores que 1, el segundo y el tercer término muestran los costos de la instalación de los enlaces en la red y finalmente el cuarto, quinto y sexto representan los mismos costos respectivos que los términos anteriores, pero sólo en el primer período de tiempo. Todo esto se realiza buscando el mínimo costo.

4.1.7 Problema de optimización

A continuación se muestra el problema de optimización completo.

$$\begin{aligned}
 MIN \quad & \sum_{i,t>1} \left(\sum_{j,k} \left((x_{ijkt} - x_{ijk(t-1)}) \cdot cn_{ijk} + \sum_{l,m} (y_{ijklmt} - y_{ijklm(t-1)}) \cdot ce_{ijklm} + (u_{ijklmt} - u_{ijklm(t-1)}) \cdot ce_{ijklm} \right) \right) \\
 & + \sum_i \left(\sum_{j,k} \left(x_{ijk1} \cdot cn_{ijk} + \sum_{l,m} y_{ijklm1} \cdot ce_{ijklm} + u_{ijklm1} \cdot ce_{ijklm} \right) \right)
 \end{aligned}$$

s.a.

$$\begin{aligned}
 \sum_i y_{ijklmt} &\leq \sum_i x_{ijkt} && \forall j, l \in X, \forall k, m \in Y \quad \forall t \in T \\
 \sum_i y_{ijklmt} &\leq \sum_i x_{ilm1} && \forall j, l \in X, \forall k, m \in Y \quad \forall t \in T \\
 \sum_i u_{ijklmt} &\leq \sum_i x_{ijkt} && \forall j, l \in X, \forall k, m \in Y \quad \forall t \in T \\
 \sum_i u_{ijklmt} &\leq existDem_{mt} && \forall j, l \in X, \forall k, m \in Y \quad \forall t \in T \\
 Zup_{jkt} + zdown_{jkt} &\leq existDem_{kt} \cdot M && \forall j \in X, \forall k \in Y, \forall t \in T
 \end{aligned}$$

$$\sum_{j,k} zup_{jkt} \cdot \sum_i u_{ilmjkt} + \sum_{j,k} f_{jklmt} = \sum_{j,k} f_{lmjkt} + \sum_{j,k} zdown_{jkt} \cdot \sum_i u_{ilmjkt}$$

$$\forall l \in X, \forall m \in Y, \forall t \in T$$

$$\sum_{j,k} ztrup_{jkt} \cdot \sum_i u_{ilmjkt} + \sum_{j,k} ftr_{jklmt} = \sum_{j,k} ftr_{lmjkt} + \sum_{j,k} ztrdown_{jkt} \cdot \sum_i u_{ilmjkt}$$

$$\forall l \in X, \forall m \in Y, \forall t \in T$$

$$\sum_i y_{ijklmt} \leq 1 \quad \forall j, l \in X, \forall k, m \in Y, \forall t \in T$$

$$\sum_i x_{ijkt} \leq 1 \quad \forall j \in X, \forall k \in Y, \forall t \in T$$

$$\sum_i u_{ijklmt} \leq 1 \quad \forall j, l \in X, \forall k, m \in Y, \forall t \in T$$

$$zup_{jkt} \leq \sum_{l,m} \sum_i cape_{ijklm} \cdot u_{ilmjkt} \quad \forall j \in X, \forall k \in Y, \forall t \in T$$

$$zdown_{jkt} \leq \sum_{l,m} \sum_i cape_{ilmjk} \cdot u_{ilmjkt} \quad \forall j \in X, \forall k \in Y, \forall t \in T$$

$$f_{jklmt} \leq \sum_i cape_{ijklm} \cdot y_{ijklmt} \quad \forall j, l \in X, \forall k, m \in Y, \forall t \in T$$

$$\sum_{j,k} \left(f_{jklmt} + zup_{jkt} \cdot \sum_i u_{ilmjkt} \right) \leq \sum_i capn_i \cdot x_{ilm} \quad \forall l \in X, \forall m \in Y, \forall t \in T$$

$$3 \cdot \sum_{j,k} \left(ftr_{jklmt} + ztrup_{jkt} \cdot \sum_i u_{ilmjkt} \right) \leq \sum_i capn_i \cdot x_{ilm} \quad \forall l \in X, \forall m \in Y, \forall t \in T$$

$$\sum_{i,t} x_{ijkt} \leq prohib_{jk} \cdot M \quad \forall j \in X, \forall k \in Y, \quad M \text{ grande}$$

$$\sum_i \sum_{j,k} (u_{ilmjkt} + y_{ijklmt}) \leq \sum_i cp_i \cdot x_{ilm} \quad \forall l \in X, \forall m \in Y, \forall t \in T$$

$$f_{jklmt} \leq M \cdot \sum_i x_{ijkt} \quad \forall j, l \in X, \forall k, m \in Y, \forall t \in T, \quad M \text{ grande}$$

$$f_{jklmt} \leq M \cdot \sum_i x_{ilm} \quad \forall j, l \in X, \forall k, m \in Y, \forall t \in T, \quad M \text{ grande}$$

$$f_{jklmt} \leq M \cdot \sum_i y_{ijklmt} \quad \forall j, l \in X, \forall k, m \in Y, \forall t \in T, \quad M \text{ grande}$$

$$ftr_{jklmt} \leq M \cdot \sum_i x_{ijkt} \quad \forall j, l \in X, \forall k, m \in Y, \forall t \in T, \quad M \text{ grande}$$

$$ftr_{jklmt} \leq M \cdot \sum_i x_{ilm} \quad \forall j, l \in X, \forall k, m \in Y, \forall t \in T, \quad M \text{ grande}$$

$$ftr_{jklmt} \leq M \cdot \sum_i y_{ijklmt} \quad \forall j, l \in X, \forall k, m \in Y, \forall t \in T, \quad M \text{ grande}$$

$$y_{jkjt} = 0 \quad \forall j \in X, \quad \forall k \in Y, \quad \forall t \in T$$

$$f_{jkjt} = 0 \quad \forall j \in X, \quad \forall k \in Y, \quad \forall t \in T$$

$$ftr_{jkjt} = 0 \quad \forall j \in X, \quad \forall k \in Y, \quad \forall t \in T$$

$$\sum_i \sum_{l,m} u_{ilmjkt} = existDem_{jkt} \quad \forall j \in X, \quad \forall k \in Y, \quad \forall t \in T$$

$$y_{ijklm} = y_{ilmjk} \quad \forall j, l \in X, \quad \forall k, m \in Y, \quad \forall i \in I, \quad \forall t \in T$$

$$x_{ijkt} - x_{ijk(t-1)} \geq 0 \quad \forall j \in X, \quad \forall k \in Y, \quad \forall i \in I, \quad \forall t > 1 \in T$$

$$y_{ijklmt} - y_{ijklm(t-1)} \geq 0 \quad \forall j, l \in X, \quad \forall k, m \in Y, \quad \forall i \in I, \quad \forall t > 1 \in T$$

$$u_{ijklmt} - u_{ijklm(t-1)} \geq 0 \quad \forall j, l \in X, \quad \forall k, m \in Y, \quad \forall i \in I, \quad \forall t > 1 \in T$$

$$0 \leq f_{jklmt}, \quad 0 \leq ftr_{jklmt}, \quad \forall j, l \in X, \quad \forall k, m \in Y, \quad \forall t \in T$$

$$x_{ijkt} \in \{0, 1\}, \quad \forall j \in X, \quad \forall k \in Y, \quad \forall t \in T, \quad \forall i \in I$$

$$y_{ijklmt}, u_{ijklmt} \in \{0, 1\}, \quad \forall j, l \in X, \quad \forall k, m \in Y, \quad \forall t \in T, \quad \forall i \in I$$

4.2 Metodología de planificación Inalámbrica

En este subcapítulo se utiliza lo expresado en el Capítulo 3.3.4 para representar la planificación de redes inalámbricas de una manera generalizada. Este propósito se logra tomando los elementos mostrados en dicho capítulo y agrupándolos de una manera común. También se utiliza lo expresado en el Capítulo 3.1 para definir cuáles son los parámetros de entrada, las restricciones, los recursos y las variables de salida, que se deben considerar en un proceso de planificación general inalámbrico.

4.2.1 Descripción del problema

Para un problema de planificación de red inalámbrica se desea saber cuál es la ubicación, capacidad, cobertura y el número de sectores óptimos para la instalación de sitios en un área de estudio en particular, satisfaciendo los puntos de demanda de cada coordenada de dicha área.

Para la planificación de una red inalámbrica se considera que:

- Existen lugares en donde no es posible instalar un sitio.
- Cada sitio puede tener un número de sectores distinto.
- El número de TRX es el mismo para todas las antenas de un sitio.
- Se tienen costos por instalación de sitios con su número respectivo de antenas y TRXs, y costo por la potencia transmitida desde un sitio.
- La cobertura de un sitio depende de su potencia de transmisión, de la densidad de edificios del área en donde se encuentre y de la distancia del enlace, debido a los diferentes modelos de propagación existentes. Se considera que la potencia de transmisión de todos los MSs es fija y es la máxima.
- Todos los puntos de demanda deben ser conectados a un sitio. Esta restricción se puede aumentar a dos o más dependiendo del criterio de *handover* que se desea tener.
- Se debe satisfacer la demanda *uplink* como *downlink* de todos los puntos del área de estudio.
- Puede ser instalado como máximo un sitio por coordenada.
- Puede existir transmisión de potencia sólo en los lugares donde se haya instalado un sitio.

4.2.2 Variables

x_{ijknpt} Variable binaria que toma el valor 1 si se instala un sitio en el período de tiempo “t” en la coordenada (j, k) con un n° de antenas “i”, un n° de *transceivers* “n” y que transmite a una potencia “p”. Se asume que cada sitio posee un número de *transceivers* igual para cada una de sus antenas.

y_{jklmt} Variable binaria que toma el valor 1 si es que el sitio situado en la coordenada (j, k) se conecta con el punto de demanda en la coordenada (l, m) con un método de modulación y codificación “c” en el período de tiempo “t”.

existDem_{jkt} Variable binaria que toma el valor 1 con la existencia de demanda de subida o de bajada en los puntos de coordenadas (j,k) en el período de tiempo “t”.

4.2.3 Parámetros

$prohib_{jk}$	Parámetro binario que toma valor 1 para indicar que el lugar de coordenadas (j, k) es un lugar con potencial para instalar un sitio. O dicho de otra manera, si el valor es 0, indica que está prohibido instalar un sitio en este lugar.
$demup_{jkt}$	Indica la demanda en el sentido de subida en Mbps en las coordenadas (j, k).
$demdown_{jkt}$	Indica la demanda en el sentido de bajada en Mbps en las coordenadas (j, k).
c_{ijknp}	Costo de instalación de un sitio en las coordenadas (j, k) con n° de antenas “i”, n° de <i>transceivers</i> “n” y potencia de transmisión “p”.
$capup_{in}$	Capacidad de subida de un sitio con n° de antenas “i” y n° de <i>transceivers</i> “n”.
$capdown_{in}$	Capacidad de bajada de un sitio con n° de antenas “i” y n° de <i>transceivers</i> “n”.
$maxConex_{in}$	Cantidad máxima de conexiones que puede manejar un sitio con n° de antenas “i” y n° de <i>transceivers</i> “n”.
$clientes_{jkt}$	Parámetro que indica la cantidad de clientes que hay en cada coordenada (j, k) del área de estudio en el período de tiempo “t”.
$Pdown_{jklmp}$	Parámetro binario que indica con valor 1 si la cobertura de un sitio localizado en las coordenadas (j, k) llega al punto de coordenadas (l, m) utilizando un nivel de potencia de transmisión “p”.
Pup_{jklm}	Parámetro binario que indica con valor 1 si la cobertura de un MS situado en las coordenadas (j, k) llega al punto de coordenadas (l, m). Se supone un nivel de potencia de transmisión fijo para los MSs.

4.2.4 Conjuntos

X	Conjunto de coordenadas horizontales de los recuadros del área de estudio.
Y	Conjunto de coordenadas verticales de los recuadros del área de estudio.
N	Conjunto del número de TRX que se puede usar en una antena.
P	Conjunto de los niveles de potencia de transmisión.
I	Conjunto de tipos de sectores que se puede implementar en los sitios (ej: trisectorial, omnidireccional).

4.2.5 Restricciones

$$\sum_{p,t} \sum_{i,n} x_{ijknpt} \leq prohib_{jk} \cdot M \quad \forall j \in X, \quad \forall k \in Y$$

Esta restricción obliga que sólo pueda existir un sitio en los lugares potenciales.

$$y_{jklmt} \leq \sum_{i,n,p} x_{ijknpt} \quad \forall j,l \in X, \quad \forall k,m \in Y, \quad \forall t \in T$$

$$y_{jklmt} \leq existDem_{lmt} \quad \forall j,l \in X, \quad \forall k,m \in Y \quad \forall t \in T$$

La restricción anterior obliga a que los extremos de los enlaces creados sean sitios por un extremo y un punto de demanda por el otro, ya sea de subida o de bajada.

$$demup_{jkt} + demdown_{jkt} \leq existDem_{jkt} \cdot M \quad \forall j \in X, \quad \forall k \in Y, \quad \forall t \in T, \quad M \text{ Grande}$$

Esta restricción obliga a que si existe algún valor de demanda en las coordenadas (j,k) en el tiempo t, la variable binaria “existDem” toma valor 1. Se incluye la multiplicación por un número grande para que se cumpla la restricción sin importar los valores de la demanda.

$$\sum_{l,m} demup_{lmt} \cdot y_{jklmt} \leq \sum_{i,n,p} x_{ijknpt} \cdot capup_{in} \quad \forall j \in X, \quad \forall k \in Y, \quad \forall t \in T$$

$$\sum_{l,m} demdown_{lmt} \cdot y_{jklmt} \leq \sum_{i,n,p} x_{ijknpt} \cdot capdown_{in} \quad \forall j \in X, \quad \forall k \in Y, \quad \forall t \in T$$

La restricción anterior permite cumplir con la demanda que abarca cada sitio sin sobrepasar la capacidad máxima de éste, ya sea de subida o de bajada.

$$\sum_{j,k} y_{lmjkt} \cdot clientes_{jkt} \leq \sum_{i,n,p} \max Conex_{in} \cdot x_{ilmnpt} \quad \forall l \in X, \quad \forall m \in Y, \quad \forall t \in T$$

Esta restricción indica que, para cualquier período de tiempo “t”, la cantidad de clientes conectados al sitio situado en la coordenada (l, m) no debe superar la cantidad máxima de conexiones que soporta éste.

$$y_{jklmt} \leq \sum_{i,n,p} Pdown_{jklmp} \cdot x_{ijknpt} \quad \forall j,l \in X, \quad \forall k,m \in Y, \quad \forall t \in T$$

$$y_{jklmt} \leq Pup_{lmjk} \quad \forall j,l \in X, \quad \forall k,m \in Y, \quad \forall t \in T$$

Esta restricción prohíbe la creación de enlaces en donde la cobertura del sitio no alcance de un extremo al otro y/o la cobertura del MS tampoco alcance para llegar al sitio.

$$\sum_{i,n,p} x_{ijknpt} \leq 1 \quad \forall j \in X, \quad \forall k \in Y, \quad \forall t \in T$$

Esta restricción obliga a que como máximo pueda existir un solo sitio por coordenada (j, k).

$$\sum_{l,m} y_{lmjkt} = existDem_{jkt} \quad \forall j \in X, \quad \forall k \in Y, \quad \forall t \in T$$

La restricción precedente obliga a que cada punto de demanda se pueda enlazar con un solo sitio a la vez.

$$x_{ijknpt} - x_{ijknp(t-1)} \geq 0 \quad \forall j \in X, \quad \forall k \in Y, \quad \forall i \in I, \quad \forall n \in N, \quad \forall p \in P, \quad \forall t > 1 \in T$$

Estas restricciones obligan a que si se elige un nodo y/o enlace, éste debe permanecer en el tiempo.

$$x_{ijknt} \in \{0,1\}, \quad \forall j \in X, \quad \forall k \in Y, \quad \forall t \in T, \quad \forall i \in I, \quad \forall n \in N, \quad \forall p \in P$$

$$y_{jklmt} \in \{0,1\}, \quad \forall j,l \in X, \quad \forall k,m \in Y, \quad \forall t \in T$$

Finalmente se establece la naturaleza de las variables utilizadas en este problema de optimización.

4.2.6 Función Objetivo

$$MIN \sum_{p,t>1} \sum_{j,k} \sum_{i,n} c_{ijknp} \cdot (x_{ijknpt} - x_{ijknp(t-1)}) + \sum_{j,k} \sum_{i,n,p} c_{ijknp} \cdot x_{ijknp1}$$

En la función objetivo se tienen tres términos de costos, en donde el primero describe los costos totales de instalación de todos los sitios de la red para períodos de tiempos mayores que 1, el segundo muestra los costos asociado a la potencia utilizada en las transmisiones generadas en todos los sitios de la red y el tercero es el costo de instalar todos los sitios de la red en el primer período de tiempo. Todo esto se realiza buscando el mínimo costo.

4.2.7 Problema de Optimización

$$MIN \sum_{p,t>1} \sum_{j,k} \sum_{i,n} c_{ijknp} \cdot (x_{ijknpt} - x_{ijknp(t-1)}) + \sum_{j,k} \sum_{i,n,p} c_{ijknp} \cdot x_{ijknp1}$$

s.a.

$$\sum_{p,t} \sum_{i,n} x_{ijknpt} \leq prohib_{jk} \cdot M \quad \forall j \in X, \quad \forall k \in Y$$

$$y_{jklmt} \leq \sum_{i,n,p} x_{ijknpt} \quad \forall j, l \in X, \quad \forall k, m \in Y, \quad \forall t \in T$$

$$y_{jklmt} \leq existDem_{lmt} \quad \forall j, l \in X, \quad \forall k, m \in Y \quad \forall t \in T$$

$$demup_{jkt} + demdown_{jkt} \leq existDem_{jkt} \cdot M \quad \forall j \in X, \quad \forall k \in Y, \quad \forall t \in T, \quad M \text{ Grande}$$

$$\sum_{l,m} demup_{lmt} \cdot y_{jklmt} \leq \sum_{i,n,p} x_{ijknpt} \cdot capup_{in} \quad \forall j \in X, \quad \forall k \in Y, \quad \forall t \in T$$

$$\sum_{l,m} demdown_{lmt} \cdot y_{jklmt} \leq \sum_{i,n,p} x_{ijknpt} \cdot capdown_{in} \quad \forall j \in X, \quad \forall k \in Y, \quad \forall t \in T$$

$$\sum_{j,k} y_{lmjkt} \cdot clientes_{jkt} \leq \sum_{i,n,p} \max Conex_{in} \cdot x_{ilmnpt} \quad \forall l \in X, \quad \forall m \in Y, \quad \forall t \in T$$

$$y_{jklmt} \leq \sum_{i,n,p} Pdown_{pjklm} \cdot x_{ijknpt} \quad \forall j, l \in X, \quad \forall k, m \in Y, \quad \forall t \in T$$

$$y_{jklmt} \leq Pup_{lmjk} \quad \forall j, l \in X, \quad \forall k, m \in Y, \quad \forall t \in T$$

$$\sum_{i,n,p} x_{ijknpt} \leq 1 \quad \forall j \in X, \quad \forall k \in Y, \quad \forall t \in T$$

$$\sum_{l,m} y_{lmjkt} = existDem_{jkt} \quad \forall j \in X, \quad \forall k \in Y, \quad \forall t \in T$$

$$x_{ijknpt} - x_{ijknp(t-1)} \geq 0 \quad \forall j \in X, \quad \forall k \in Y, \quad \forall i \in I, \quad \forall n \in N, \quad \forall p \in P, \quad \forall t > 1 \in T$$

$$x_{ijknpt} \in \{0,1\}, \quad \forall j \in X, \quad \forall k \in Y, \quad \forall t \in T, \quad \forall i \in I, \quad \forall n \in N, \quad \forall p \in P$$

$$y_{jklmt} \in \{0,1\}, \quad \forall j, l \in X, \quad \forall k, m \in Y, \quad \forall t \in T$$

4.3 Características de las herramientas utilizadas en el proceso de planificación

Las herramientas de planificación siempre han jugado un rol significativo en el día a día de los operadores de redes. Cuando los requerimientos del negocio para las demandas de servicios son basados en los planes del negocio, el objetivo de la planificación de las redes es el de cumplir con los requerimientos del sistema con una inversión mínima de capital.

Normalmente, los parámetros de entrada al sistema incluyen requerimientos relacionados con la calidad, la capacidad y la cobertura para cada servicio.

Para la planificación es necesario encontrar un equilibrio óptimo entre estos criterios de calidad, capacidad y cobertura para todos los servicios que entrega el operador.

En las aplicaciones actuales, todas las herramientas están integradas en un solo paquete que se compone de un grupo de herramientas separadas. Éstas se dividen en dimensionamiento, planificación de la red y optimización.

En este capítulo se entregan los requerimientos que deben poseer las herramientas de planificación de redes cableadas e inalámbricas. Se debe destacar que éstas son estáticas, lo que quiere decir que el simulador modela un instante de tiempo, en vez de un modelamiento dinámico de la situación de la red.

En la Figura 33 se muestra la pantalla principal de una herramienta de planificación.

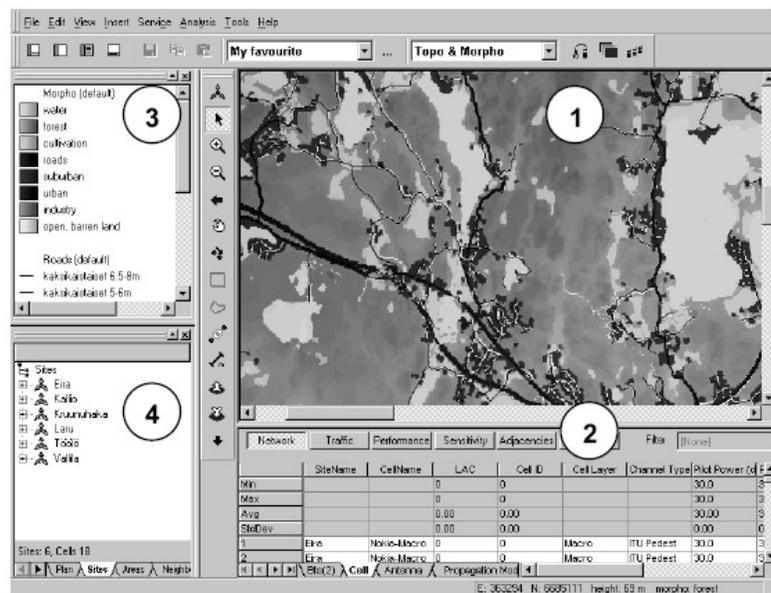


Figura 33: Ejemplo de la Interfaz de Usuario Principal de una Herramienta de Planificación de Redes Inalámbricas.

Esta consiste en:

1. Un mapa.
2. Un conjunto de tablas en donde se ingresan los datos.
3. La leyenda del mapa.
4. Elementos de la red, en vista de árbol.

En una herramienta de planificación de redes, las etapas se dividen en los siguientes pasos:

- Preparar los datos de entrada.
- Planificar la red.
- Simular la red optimizada.
- Analizar los resultados.
- Informar los resultados.
- Trabajar con otras herramientas.

Algunas de las ideas planteadas en este subcapítulo, fueron extraídas del libro de John Wiley e hijos Ltda.²².

4.3.1 Preparación de los datos de entrada

4.3.1.1 Mapa Digital

El elemento más importante en la preparación para una herramienta NP (Network Planning) es el mapa geográfico del área de estudio. Este mapa es utilizado en el cálculo de las pérdidas en los enlaces de las redes inalámbricas para las predicciones de cobertura y para mostrar de manera global la cobertura y la topología de la red. Un mapa debe poseer datos topológicos (altura de terrenos), datos morfográficos (tipo de terreno), la ubicación de las construcciones con sus respectivas alturas, y la ubicación de las calles y canalizaciones. Existen empresas que se dedican a recolectar este tipo de información por todo el mundo, como la empresa Computamaps²³.

4.3.1.2 Plan

Un plan siempre es creado y definido antes de comenzar las actividades de la planificación de la red. Éste contiene toda la configuración y los valores de los parámetros para los elementos que se utilizarán en la planificación.

Un plan está definido en los siguientes puntos:

- Mapa Digital
- Área de estudio
- Tecnologías de acceso seleccionadas
- Parámetros de entrada
- Modelo de las antenas

²² John Wiley e Hijos, “Radio Network Planning and Optimization for UMTS”, Capítulo 3.2.1.

²³ Computamaps: Suministra Datos Geoespaciales, con una cobertura de 150.000.000 km² de la superficie terrestre, y 1200 ciudades en todo el mundo.

Sitio Web: www.computamaps.com

Una herramienta NP debe ser capaz de crear, definir, salvar y recuperar varios planes al mismo tiempo, de manera de poder comparar diferentes versiones que resuelvan el mismo problema objetivo, y así poder elegir el plan que más se adecue a los requerimientos de calidad, capacidad y cobertura.

4.3.1.3 Editor de Antenas y de Equipos de Conmutación

En las herramientas NP, se debe disponer de las características de las antenas, así como su patrón o *pattern* de radiación, su ganancia y su banda de frecuencia óptima de utilización. También se debe disponer de las características de los equipos de conmutación a utilizar en la red, así como su ancho de banda, la cantidad de puertas y cobertura límite de la tecnología. Una vez definidas las antenas y los equipos, éstos pueden ser asignados y usados en las celdas y puntos de distribución seleccionados, respectivamente.

4.3.1.4 Editor de Modelos de Propagación

En las herramientas de redes inalámbricas, los operadores normalmente separan la planificación en regiones o zonas, dentro del área de estudio. Uno de los objetivos de dividir el área completa en zonas más pequeñas, es el hecho de que se utilizan diferentes modelos de propagación, dependiendo del tipo de área y de las condiciones que ésta posee. Algunos de los modelos más usados en la práctica para estimar las pérdidas de propagación son Okumura–Hata, Walfisch–Ikegami y el modelo Ray-Tracing.

4.3.2 Planificación

4.3.2.1 Importar Información Histórica de la Red

Cuando se planifican las redes de telecomunicaciones, un escenario típico es que el operador necesite utilizar la mayor cantidad posible de información histórica de la red. Esto incluye el posicionamiento y tipo de nodos de la red actual y el efecto en la red de eventos producidos en la demanda, como por ejemplo la construcción de edificios, condominios, etc. Para las redes inalámbricas, importar por ejemplo datos de las redes 2G, para la planificación de las redes 3G, en donde existe mucha información que se puede reutilizar, en donde es muy importante saber la ubicación y la altura de los sitios, la disposición de celdas, y la dirección de las antenas, así como también el comportamiento de los clientes.

4.3.2.2 Editar Nodos, Enlaces, Sitios y Celdas

Después de importar los datos de la red actual, puede ser todavía necesario agregar, modificar o eliminar algunas de las características de la red importada. Se trata de la edición de nodos, sitios, enlaces, disposición de antenas, ángulo de éstas, la demanda y parámetros de cualquier tipo que se necesite cambiar.

4.3.2.3 Requerimientos de Servicio y Modelos de tráfico

El modelamiento del tráfico y los requerimientos de servicios forman una base para la evaluación de la interacción entre cobertura y capacidad. Las características de modelado de servicios y tráfico deben proveer una herramienta flexible para el pronóstico de éstos.

Las herramientas NP deben ser capaces de visualizar tráfico de datos por lo menos en 2D, y preferentemente en una vista 3D, pudiendo guardar esta información para su uso futuro.

4.3.2.4 Módulo de Optimización

En este bloque del software de planificación se realiza la optimización del problema. Aquí se especifica el problema, cuáles son los objetivos, las restricciones y las variables. Normalmente los parámetros han sido descritos en los bloques anteriores, ya sea de manera visual en un mapa, importándolos de información histórica o de forma manual.

Este módulo realiza los cálculos de la solución del problema, encontrando una optimización de la ubicación de los nodos, enlaces, tecnologías, sitios, antenas, capacidades y coberturas, encontrando la configuración óptima de todos los elementos de la red.

Los resultados del proceso de optimización deben poder ser visualizados en un mapa, mostrando la cobertura, ubicación y capacidades de los sitios y/o nodos, y la distribución de las celdas en el caso inalámbrico.

4.3.3 Simulación de la Red Solución

La simulación de la red optimizada se puede realizar de dos maneras, una simulación simple o avanzada. Estas simulaciones buscan visualizar si la nueva red puede resistir cambios factibles en las demandas supuestas al momento de realizar la optimización. Así se puede concluir si la red es robusta o no, frente a cambios factibles, de distinta naturaleza, en la demanda.

4.3.3.1 Simulación Simple

Con una herramienta NP el planificador debe ser capaz de analizar la situación puntual de una red con un par de iteraciones, una de subida y otra de bajada, de manera de encontrar rápidamente áreas no suficientemente cubiertas y otras en que la calidad es deficiente.

4.3.3.2 Simulación Avanzada

La idea básica en el análisis avanzado es generar una gran cantidad de instantes o imágenes de la red, de manera de generar un análisis muy confiable de la red actual. Por ejemplo, la técnica de simulación Monte Carlo es utilizada para verificar cambios en la red al variar la lista de MSs usados durante la misma condición de tráfico. Esta simulación considera distribuciones de probabilidad de las demandas de la red para generar un instante de demanda estimada según un gran número de iteraciones.

El bloque de simulación avanzada en herramientas NP modernas, está basada en la generación automática de múltiples condiciones o listas de demanda. Cada lista de demanda representa una “imagen” de la situación del tráfico de la red en un instante de tiempo, lo que se traduce a la ubicación de cada punto de demanda de la red en un instante de tiempo dado.

El resultado del análisis de cada imagen es combinado para proveer resultados estadísticos relevantes y confiables.

Es esencial verificar que la cobertura, la capacidad y el QoS planificados se logren alcanzar con la configuración de la red actual.

Los resultados entregados por las herramientas NP normalmente consisten en gráficos basados en todas las iteraciones e indicadores de rendimiento que son relevantes para el análisis.

Para todos estos resultados normalmente se obtiene un promedio, un mínimo, un máximo, una desviación estándar y un resumen completo, el cual permite identificar de forma rápida y fácil posibles problemas, la verificación de la cobertura, la capacidad y el QoS de la red.

En este tipo de herramientas, el usuario debe poder configurar los parámetros relacionados con el análisis, como por ejemplo:

- El número de iteraciones.
- El máximo tiempo de cálculo.
- Si la lista de demanda es creada automáticamente o se utiliza una existente.
- Configuración general de los cálculos.

4.3.4 Análisis de resultados

Cuando los cálculos y las simulaciones ya han sido ejecutados, el paso más importante es verificar y analizar si los resultados son aceptables. Las herramientas NP deben proveer etapas de post-procesamiento, análisis y visualización de los resultados obtenidos en las iteraciones de los bloques anteriores. De esta forma se facilita la labor del planificador para decidir si la red actual es factible o no.

Naturalmente, si la cobertura, la capacidad y el QoS no fueron alcanzados, se debe volver a realizar las actividades de planificación para así cambiar el punto de operación de la red a un punto aceptable.

4.3.5 Informes de Resultados

Las herramientas NP deben proveer un gran set de funciones para el informe de los resultados, usualmente incluyendo la entrega de los siguientes elementos:

- Diagramas de los nodos, sitios y/o celdas seleccionados.
- La configuración de parámetros y de los elementos de la red.
- Gráficos y tendencias.

4.3.6 Compatibilidad de trabajo con otras herramientas

Todas las herramientas RNP deben soportar la comunicación bidireccional con distintas herramientas utilizadas durante la planificación. Usualmente, los operadores de red utilizan herramientas para la gestión de negocios e información de clientes, herramientas de dimensionamiento, de planificación de la transmisión, de mediciones, y de sistemas de manejo y gestión de red.

4.4 Implementación de los Modelos de Optimización

En esta sección se presenta la serie de pasos que conforman los ejemplos de los modelos de optimización cableados e inalámbricos mostrados en los capítulos 4.1 y 4.2 respectivamente. Con estos ejemplos se pone en práctica las metodologías planteadas anteriormente. Para los dos casos, como no se tienen datos reales y/o estadísticos de cada uno de los parámetros requeridos en los modelos, se opta por tomar datos reales pero generales del área de estudio, para así construir aleatoriamente parámetros realistas de la situación que se tiene en esta área.

4.4.1 Ejemplo del modelo cableado

La creación del ejemplo del modelo cableado de optimización se separa en tres etapas, primero la generación de parámetros que son necesarios para correr el optimizador del problema, segundo la problemática que se crea al correr el modelo, dado a los posibles problemas o errores que se pueden tener y se van descubriendo a medida que se realizan las pruebas pertinentes, y tercero mostrar los resultados finalmente obtenidos, al plantear de la mejor manera posible el problema. Se debe tener en cuenta que un modelo es una aproximación de la realidad debido a las simplificaciones que se consideran en éste y por lo tanto no siempre logra cubrir todas las variables existentes en la realidad.

4.4.1.1 Generación de parámetros

Para generar el ejemplo del modelo cableado se necesita, primero que nada, crear el conjunto de parámetros que se utilizan en éste, los cuales son mostrados a continuación:

- cn
- ce
- capn
- cape
- cp
- prohib
- zup
- zdown
- ztrup
- ztrdown

Para esto se utiliza el programa Microsoft Excel y su herramienta “Visual Basic For Applications”. Como se expuso en la sección 3.5.1, se tiene una matriz de demanda que incluye los servicios de videoconferencia, descarga de archivos FTP, navegación en páginas Web y telefonía fija, y que indica el origen y destino de cada una de estas demandas. Por lo tanto, para generar los parámetros de demanda del modelo de optimización, para el servicio de tiempo real (videoconferencia y telefonía fija) se eligen las coordenadas de “zup” y “ztrup” como el origen de la demanda, y las coordenadas de “zdown” y “ztrdown” como el destino de dicha demanda.

Para los servicios que no son de tiempo real (archivos FTP y Páginas Web) se genera al azar las coordenadas donde se sitúan los servidores que entregan estos servicios. Se supone que las posiciones factibles para los servidores son a lo más un 10 % del total de cuadrículas que existen. Luego de situar los

servidores, se asigna a “zup” las coordenadas del servidor que está enviando el servicio y a “zdown” las coordenadas del cliente que está requiriendo dicho servicio.

Con la suma de las demandas elegidas con el procedimiento anterior se generan los parámetros “zdown”, “zup”, “ztrup” y “ztrdown” para cada coordenada dentro del área de estudio. Esta técnica se repite para cada período de tiempo “t”, incluyendo para cada coordenada un aumento lineal de la demanda con respecto al tiempo. En este ejemplo se asume un aumento lineal del 1% entre cada período de tiempo.

Luego para los parámetros de costo y capacidad se utilizan datos extraídos del trabajo de memoria del ingeniero Ariel Muñoz [18], los cuales son presentados en el Anexo 9.14.

Los equipos que se utilizan en este ejemplo se muestran en la Tabla 15.

EQUIPOS DE TELECOMUNICACIONES			
Actividad	Costos Recursos [US\$]	CAPACIDAD [Mbps]	Nº PUERTAS
Switch Cisco 2950-24T	1300	1500	24
Switch Cisco 3560-48PS-S	6500	3000	48
Switch Cisco 3750-12S-S	8000	7500	12

Tabla 15: Datos de los equipos de Conmutación Usados en el Ejemplo.

Con los datos obtenidos de [18] se genera la Tabla 16 con los datos que se ingresan al programa de *Visual Basic* para generar los parámetros que faltan en el problema de optimización.

	Tecnología 1	Tecnología 2	Tecnología 3	Tecnología 4	Tecnología 5
Costo Nodo [Miles US\$]	118	123	124	1000	1000
Capacidad Nodo [Mbps]	1500	3000	7500	0	0
Capacidad Puertas Nodo	24	48	12	0	0
Costo Enlace [Miles US\$/km]	100	100	100	43,77	45,27
Capacidad Enlace [Mbps]	0	0	0	100	1000

Tabla 16: Datos de Costos y Capacidades de Nodos y Enlaces.

En la tabla anterior, la tecnología 1, 2 y 3 representan la instalación de los nodos con los *switches* Cisco 2950, 3560 y 3750 respectivamente. En cambio las tecnologías 4 y 5 representan la instalación de enlaces Ethernet de 100 Mbps y 1000 Mbps.

Ahora para generar los parámetros “cn” se supone que el costo de los nodos no depende de la posición, sino que depende solamente de la tecnología elegida, por lo que se utilizan los valores presentados en la tabla anterior. Para los parámetros “ce” si se desea instalar un enlace desde la cuadrícula (j,k) hasta la (l,m) se utiliza la siguiente ecuación para el cálculo del costo:

$$(|l-j|+|m-k|) \cdot \frac{\text{Costo}}{\text{km}} \cdot \frac{\text{km}}{\text{cuadrículas}}$$

Ecuación 19: Costo de Intalación de Enlaces.

En la expresión anterior el primer término depende del origen y del destino de la instalación, el segundo término se obtiene de la Tabla 16 y el tercero depende del tamaño de las cuadrículas que se adopten en el ejemplo. En el caso de este ejemplo el último término se obtiene de la división del largo total del lado del área de estudio (5,7 km) con el número de cuadrículas en que se divide dicho lado (13), lo que da un total de 0,438 km por cuadrícula.

Para los parámetros “capn”, “cape” y “cp” que dependen sólo de la tecnología, se obtienen de la Tabla 16.

Cabe destacar que para este ejemplo también se supone que los enlaces tienen la misma capacidad para ambas direcciones de éste.

Después de haber creado todos los parámetros necesarios para correr el problema de optimización, se debe elegir un *solver*, en este caso, “CPLEX” y para traducir el problema a lenguaje de “CPLEX” se utiliza el programa de optimización “GAMS”.

4.4.1.2 Prueba del Modelo

Para llevar a cabo la prueba del modelo planteado en el capítulo 4.1 se utiliza el programa de optimización “GAMS”.

Para la primera prueba del modelo se utiliza una división del área de estudio de 5 x 5 cuadrículas para poder realizar un análisis rápido de la situación y ver si el modelo está funcionando como se quiere. Una vez ejecutado el programa, éste muestra un mensaje que indica que el modelo no es factible. Después de mucho analizar y realizar pruebas, se encuentra que si se omite la restricción de conservación de flujo, el problema se vuelve factible. Luego se llega a la conclusión que efectivamente existe un error en la restricción de conservación de flujo, ya que por ejemplo para el flujo que sale desde un nodo en (l,m) a otros nodos conectados a éste, se debe contabilizar toda la demanda de subida que está conectada con dicho nodo, mientras que con la propuesta inicial se está incluyendo la suma de las demandas de subida conectadas al nodo en (l,m) y se le está restando la demanda de bajada, todo como un conjunto, lo cual no está del todo bien, pues no se le obliga al flujo a tomar los valores que debería.

Para remediar este problema, se modifica la restricción proponiendo las siguientes restricciones:

$$\sum_{j,k} \left(zup_{jkt} \cdot \sum_i u_{ilmjkt} \right) = \sum_{j,k} f_{lmjkt}$$

$$\sum_{j,k} \left(zdown_{jkt} \cdot \sum_i u_{ilmjkt} \right) = \sum_{j,k} f_{jklmt}$$

Con estas restricciones se obliga al flujo saliente del nodo situado en las coordenadas (l,m) a ser igual a la demanda de subida conectada a dicho nodo, y al flujo entrante a ser igual a la demanda de bajada conectada a dicho nodo.

Luego de este cambio, se realizan pruebas en donde nuevamente el problema se torna infactible. Después de un análisis profundo al modelo recientemente propuesto, se llega a la conclusión que nuevamente existe un problema con la restricción de conservación de flujo. Esto se debe a que existen algunos casos en donde la demanda de subida que está conectada a un nodo en (l,m) tiene como destino una demanda de bajada conectada al mismo nodo, o dicho de otra manera, se puede dar el caso en qué dos clientes conectados al mismo nodo hablen entre sí. Estos casos no están albergados en las restricciones propuestas recientemente, por lo tanto se produce la infactibilidad del modelo.

Para solucionar este problema se decidió utilizar una propuesta hecha por el ingeniero Pablo Cortés²⁴ para este mismo problema en donde la demanda es definida por pares origen-destino y la variable de flujo depende del enlace y del par origen-destino al que pertenezca dicho flujo. A continuación se presenta la propuesta correspondiente:

$$\sum_{l,m} f_{jklmabcdt} - \sum_{l,m} f_{lmjkabcdt} = \begin{cases} dem_{abcd} & si (j,k) = (a,b) \\ -dem_{abcd} & si (j,k) = (c,d) \\ 0 & en otro caso \end{cases} \quad \forall j,l,a,c \in X, \quad k,m,b,d \in Y, \quad t \in T$$

En la restricción anterior los flujos poseen 9 subíndices, por ejemplo en $f_{jklmabcdt}$ (j,k) son las coordenadas de un extremo del enlace que se está analizando, (l,m) son las coordenadas del otro extremo de dicho enlace, (a,b) son las coordenadas del origen de la demanda, (c,d) son las coordenadas del destino de la demanda y “t” es el período de tiempo.

Esta restricción soluciona todos los problemas que se tenían anteriormente puesto que se consideran flujos individuales para cada par de demanda origen-destino y así, si se desea saber el flujo total a través de un enlace, sólo se debe sumar el flujo sobre todos los pares origen-destino del área de estudio para dicho enlace. De esta manera se consideran todas las demandas de esta área para fabricar los flujos totales y además no se pierde la información de saber cuál es el origen y el destino de los flujos. Sin embargo, ejecutar un modelo de estas características es imposible con las capacidades de procesamiento que se poseen en la actualidad, puesto que en un problema simple de 10 x 10 cuadrículas, se deberían crear 100 millones de variables de flujo por cada período de tiempo. Encontrar una solución óptima con dicha cantidad de variables tomaría muchísimo tiempo de procesamiento y lo más probable es que además se necesite como mínimo 8 GBytes de memoria RAM para poder ejecutarse, siendo esta cantidad la máxima permitida por los sistemas computacionales actuales.

²⁴ Tesis Doctoral: Diseño y Planificación de Redes de Telecomunicaciones por Cable – Universidad de Sevilla.

Luego de que las propuestas anteriores no llegaran a buen término, se encontró una cuarta propuesta, la cual utiliza la información del origen y destino de los parámetros de demanda, y crea bastante menos variables que en el caso anterior. Para el desarrollo de este ejemplo se necesita generar pares origen-destino de demanda notados como “ z_{jkabt} ” donde (j,k) son las coordenadas del punto de demanda origen y (a,b) son las coordenadas del punto de demanda destino.

Después, para el planteamiento de las restricciones de conservación de flujo se tienen dos opciones, una convierte el problema a no-lineal pero no existe la necesidad de crear más variables y la otra permite que el modelo siga siendo lineal a cambio de la creación de un gran número de variables y restricciones.

Propuesta No-lineal:

$$\sum_{j,k} \sum_{a,b} z_{jkabt} \cdot \sum_i u_{ilmjkt} - \sum_{j,k} \sum_{a,b} z_{jkabt} \cdot \sum_i u_{ilmjkt} \cdot \sum_i u_{ilmabt} = \sum_{j,k} f_{lmjkt} \quad \forall l \in X, \quad \forall m \in Y, \quad \forall t \in T$$

La restricción anterior indica que los flujos que salen del nodo en (l,m) deben ser igual a todos las demandas que se originen en puntos de demanda conectados al nodo en (l,m) menos las demandas que en las cuales el punto de demanda origen y el punto de demanda destino están conectados al nodo en (l,m).

$$\sum_{j,k} \sum_{a,b} z_{abjkt} \cdot \sum_i u_{ilmjkt} - \sum_{j,k} \sum_{a,b} z_{abjkt} \cdot \sum_i u_{ilmjkt} \cdot \sum_i u_{ilmabt} = \sum_{j,k} f_{jklmt} \quad \forall l \in X, \quad \forall m \in Y, \quad \forall t \in T$$

Esta restricción es la misma que la anterior sólo que se tiene que los destinos de los puntos de demanda son los subíndices “fijos” y la equivalencia es sobre la suma de los flujos que entran al nodo situado en (l,m).

Propuesta Lineal:

Para esta propuesta, se crea una variable denominada “ $mismo_{lmjkabt}$ ” la cual indica si es que existen los enlaces “u” entre el nodo situado en la coordenada (l,m) y los puntos de demanda situados en las coordenadas (j,k) y (a,b).

$$mismo_{lmjkabt} \leq \sum_i u_{ilmjkt} \quad \forall j,l,a \in X, \quad \forall k,m,b \in Y, \quad \forall t \in T$$

$$mismo_{lmjkabt} \leq \sum_i u_{ilmabt} \quad \forall j,l,a \in X, \quad \forall k,m,b \in Y, \quad \forall t \in T$$

La variable “mismo” sólo toma valor 1 si es que existen los enlaces “u” respectivos.

$$\sum_{j,k} \sum_{a,b} z_{jkabt} \cdot \sum_i u_{ilmjkt} - \sum_{j,k} \sum_{a,b} z_{jkabt} \cdot mismo_{lmjkabt} = \sum_{j,k} f_{lmjkt} \quad \forall l \in X, \quad \forall m \in Y, \quad \forall t \in T$$

$$\sum_{j,k} \sum_{a,b} z_{abjkt} \cdot \sum_i u_{ilmjkt} - \sum_{j,k} \sum_{a,b} z_{abjkt} \cdot mismo_{lmjkabt} = \sum_{j,k} f_{jklmt} \quad \forall l \in X, \quad \forall m \in Y, \quad \forall t \in T$$

Estas restricciones son muy parecidas a las expuestas en el problema no lineal, sin embargo se utiliza la variable “mismo” para restar al tráfico la demanda que se comunica a través de un mismo nodo, sin pasar por el resto de la red.

Luego, se ejecuta este modelo con dimensiones de 10 x 10 sin poder obtener resultado alguno ya que éste rápidamente dejaba sin memoria al computador, colapsando el sistema y finalmente terminando la ejecución. Después se intenta nuevamente correr este modelo con dimensiones de 7 x 7 cuadrículas sin

problemas al cargar, sin embargo pasado dos días de ejecución éste no llega a ningún resultado por lo que se tuvo que detener su ejecución.

Sin más opciones, finalmente se opta por probar con un modelo de dimensiones de 5x5 cuadrículas con el que después de 6 horas de ejecución se obtiene resultados con un 17,7% de error con respecto al óptimo, según lo que estima el programa CPLEX. Este resultado se muestra en la sección siguiente.

4.4.1.3 Resultados Obtenidos

Para el modelo de planificación cableado se tiene un ejemplo de 5x5 cuadrículas considerando la demanda completa, en el cual se obtuvo los siguientes resultados.

Demanda Total de Bajada				
197,15	205,27	201,32	212,36	214,62
206,2	205,45	194,61	210,95	201
209,26	202,31	214,92	205,6	200,83
219,92	217,26	197,85	208,61	200,6
202,81	203,38	219,14	216,07	204,57

Demanda Total de Subida				
101,4	104,92	100,52	109,56	100,72
104,6	108	101,56	114	947,25
962,06	106,36	106,72	105,6	106,08
115,12	109,36	102,4	107,36	105,4
925,71	102,28	107,64	113,72	103,72

Demanda de Tiempo Real de Subida y de Bajada				
101,4	104,92	100,52	109,56	100,72
104,6	108	101,56	114	104
112,96	106,36	106,72	105,6	106,08
115,12	109,36	102,4	107,36	105,4
98,16	102,28	107,64	113,72	103,72

Tabla 17: Datos de Demanda Total de Subida, de Bajada, y en Tiempo Real de Subida y de Bajada para el Ejemplo de 5x5 Cuadrículas Con Demanda Completa.

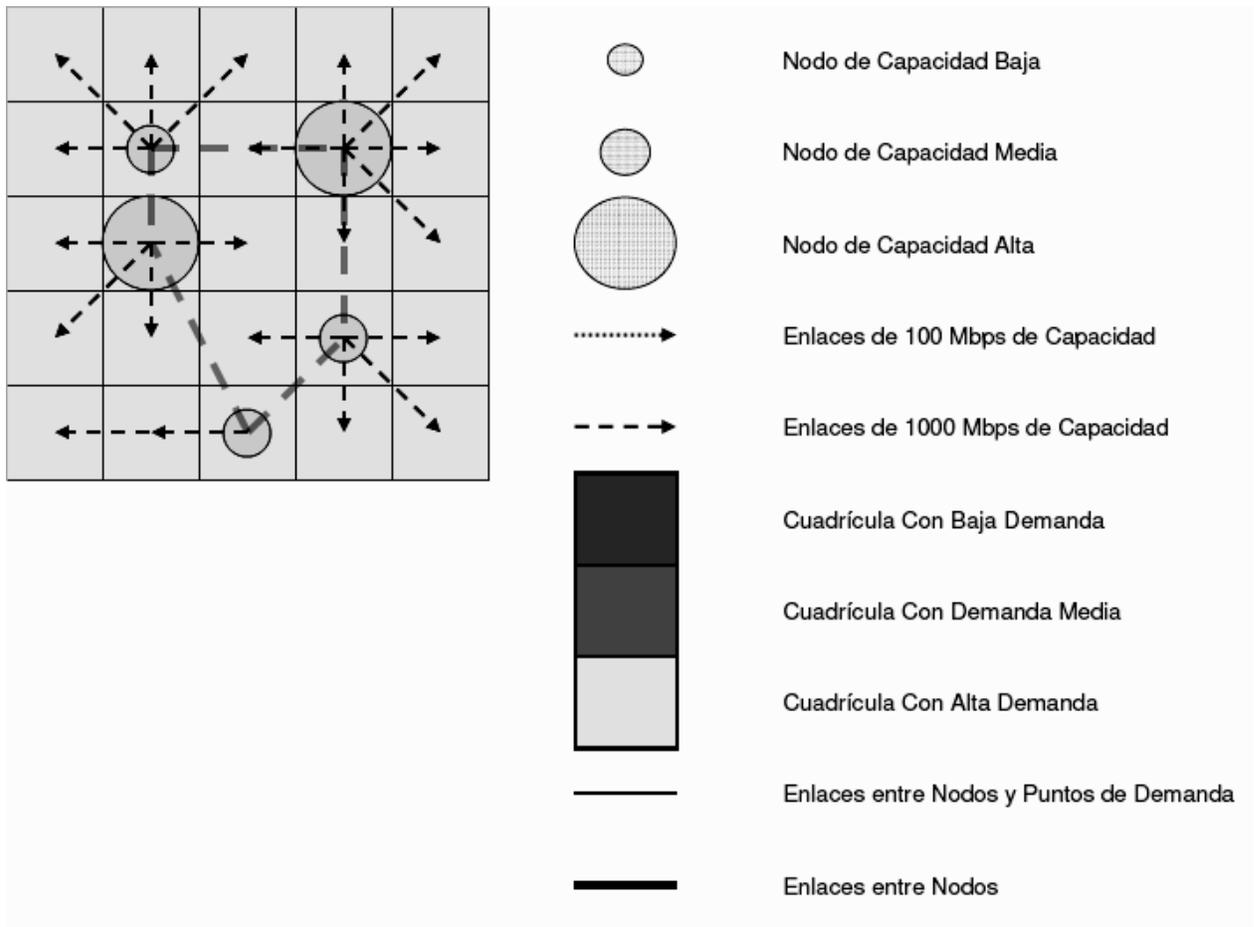


Figura 34: Esquema que Muestra el Resultado del modelo Cableado de 5x5 Cuadrículas con Demanda Completa.

Sólo para manifestar que el modelo cableado trabaja correctamente, se exhiben los mismos resultados que los presentados anteriormente, pero dividiendo los datos de las viviendas del área de estudio por un factor 5. De esta manera, si el modelo se encuentra correctamente planteado, éste debería crear enlaces de menor capacidad para abastecer la demanda de dicha área. Estos resultados se exponen a continuación.

Demanda Total de Bajada				
50,26	51,04	49,73	47,38	49,17
55,25	46,34	47,15	50,76	52,9
47,37	52,06	44,14	49,31	46,74
44,21	50,5	53,91	50,35	52,21
49,48	53,07	48,17	51,35	48,51

Demanda Total de Subida				
23,76	27,44	26,68	23,08	26,12
29,8	24,44	22,6	237,81	26,2
25,52	29,16	22,64	26,96	23,44
226,56	26,6	215,11	26	23,76
25,88	28,72	22,32	25	25,76

Demanda de Tiempo Real de Subida y de Bajada				
23,76	27,44	26,68	23,08	26,12
29,8	24,44	22,6	25,16	26,2
25,52	29,16	22,64	26,96	23,44
22,56	26,6	26,96	26	23,76
25,88	28,72	22,32	25	25,76

Tabla 18: Datos de Demanda Total de Subida, de Bajada, y en Tiempo Real de Subida y de Bajada para el Ejemplo de 5x5 Cuadrículas Con Demanda Dividida en un Factor 5.

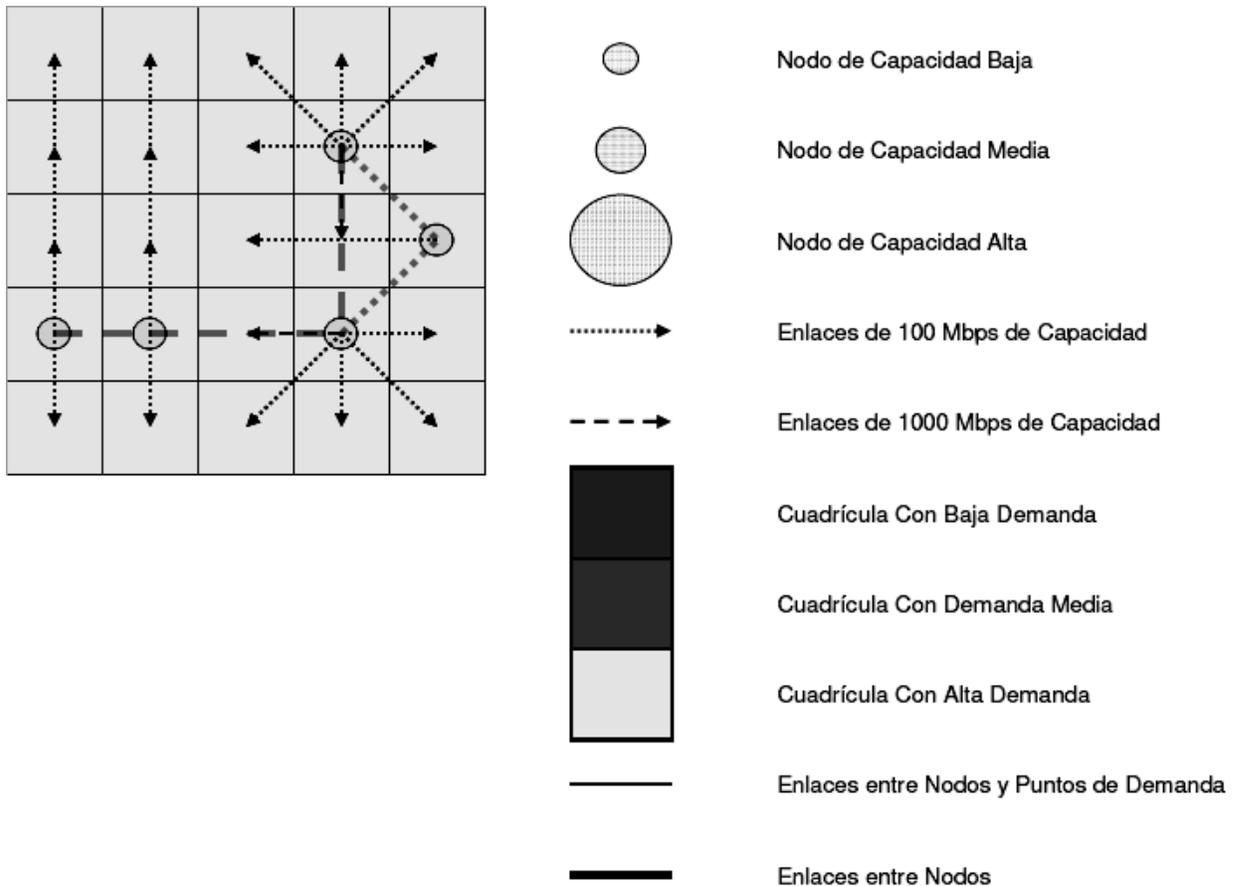


Figura 35: Esquema que Muestra el Resultado del modelo Cableado de 5x5 Cuadrículas con la Demanda Dividida en un factor 5.

4.4.2 Ejemplo del modelo Inalámbrico

En la presente sección se especifican los detalles que se deben considerar para llevar a cabo el ejemplo inalámbrico basado en una red WiMAX. Además se realizan algunas adaptaciones al modelo para que se acomode a las características propias de esta tecnología. Para esto se agregan los cambios que se producen al considerar la modulación y codificación en la transmisión de la información. Además se considera sólo un tipo de capacidad para los sitios (no de subida y de bajada), puesto que en WiMAX se tiene una capacidad “fija”, que puede ser repartida en tráfico de subida o tráfico de bajada según se necesite. Finalmente, para simplificar el ejemplo, se supone que los sitios poseen un solo tipo de potencia de transmisión, esto quiere decir que no se utiliza el subíndice que diferencia las instalaciones de sitios por su potencia de transmisión, o se puede utilizar el subíndice, pero “p” toma sólo valor 1.

Al igual que en la sección 4.4.1 el ejemplo del modelo de optimización inalámbrico se separa en tres partes, la generación de parámetros del problema, la prueba del modelo en donde se realizan cambios y nuevas adaptaciones de éste a medida que se realizan las pruebas, y finalmente se muestran los resultados obtenidos con el planteamiento final del modelo.

4.4.2.1 Generación de Parámetros

Para llevar a cabo el ejemplo del modelo de optimización inalámbrico mostrado en el capítulo 4.2 se necesita, primero que nada, crear la serie de parámetros que lo componen y que se enumeran a continuación:

- demup
- demdown
- prohib
- c
- capup
- capdown
- maxconex
- clientes
- pdown
- pup

Para la creación de los parámetros de demanda “demup” y “demdown” se utiliza la matriz de demanda creada en el capítulo 3.5.2, tomando para “demup” la suma de la cantidad de demanda en Mbps de los servicios de videoconferencia y voz en cada cuadrícula, y para “demdown” la suma de la cantidad de demanda en Mbps de los servicios de videoconferencia, voz, descarga de archivos FTP y navegación en paginas Web de cada cuadrícula, formando una matriz de demanda para ambos parámetros. Luego, en el caso de un sistema WiMAX lo más conveniente es expresar la demanda en número de TS dependiendo del tipo de modulación y codificación que se está utilizando. Para realizar este cambio de Mbps a número de TS, se divide la cantidad de Mbps demandada en cada cuadrícula por la cantidad de Mbps que se puede transmitir en un TS para cada par modulación-codificación. La Tabla 19 muestra la cantidad de información que es posible transmitir en cada *time spot* para cada modulación y codificación.

	Capacidad de TS	Codificado		Sin Codificar	
		Bps	Bytes/s	bps	Bytes/s
Modulación y Codificación	QSPK 1/2	384	48	192	24
	16QAM 3/4	768	96	576	72
	64QAM 3/4	1152	144	864	108

Tabla 19: Cantidad de Información que se Puede Transmitir en cada *Time Slot* para cada Tipo de Modulación y Codificación.

Con este procedimiento se genera finalmente la matriz de demanda requerida para el problema de optimización.

Para el caso inalámbrico, no se crean puestos para los servidores, ya que se supone que la información de Internet proviene de la red cableada en la cual se apoya la red inalámbrica.

Por otra parte, como se tiene la cantidad de clientes que utilizan cada servicio en cada instante de tiempo, se genera de manera fácil una matriz que indica la cantidad de personas o clientes que conforman la demanda en cada cuadrícula del área de estudio, obteniendo el parámetro “clientes”.

Después para generar el parámetro “prohib”, se realiza el mismo proceso que lo descrito para el caso cableado, sin embargo en este ejemplo se considera que el 40 % de las cuadrículas del área de estudio está disponible para la instalación de un sitio. Este aumento del 10 % con respecto al caso cableado se debe a que para el caso inalámbrico se pueden instalar antenas y equipos en la azotea de los edificios, lo que acrecenta las posibilidades de instalación en el área de estudio.

Luego para crear los parámetros de costo de instalación de un sitio, al igual que en el caso cableado, se utilizan datos de costos obtenidos de la memoria del ingeniero Ariel Muñoz [18] los cuales son mostrados en el capítulo Anexo 9.14.2. Un resumen de éstos se observan a continuación.

Costo Shelter [USD \$]	Costo por Antena [USD \$]	Costo Por TRX [USD \$]	Costo Torre [USD \$]
61048	7373	24821	35714

Tabla 20: Datos de Costos para Instalaciones Inalámbricas.

Con estos valores de los costos de cada una de las partes que compone un sitio de la red inalámbrica, se genera la tabla de costos de la instalación de sitios, la cual se utiliza para crear finalmente los parámetros de costos del problema, “c”.

	Costo Sitios [USD \$]	Cantidad de Antenas			
		1	3	4	6
Cantidad de TRX	1	129056	193644	225938	290526
	2	153977	268407	325622	440052
	3	178898	343170	425306	589578
	4	203819	417933	524990	739104

Tabla 21: Costos de Instalación de Sitios.

Para el cálculo de la capacidad de TS por cada TRX se usan datos obtenidos de la memoria del ingeniero Marco Muñoz [20] para un ancho de banda de 7 MHz y una frecuencia central de 3.5 GHz. Para el caso de la cantidad de conexiones por TRX se utiliza un supuesto, apoyado en la opinión entregada por el ingeniero Gonzalo Díaz, experto en redes WiMAX. Se debe tener en cuenta que en el caso de la tecnología WiMAX no existe una capacidad de subida y otra de bajada, sino que el sistema posee una capacidad única, la cual es repartida entre los datos de subida y los datos de bajada a medida que se vayan requiriendo.

Capacidad de TS por cada TRX	27777
Cantidad Máxima de Conexiones por TRX	512

Tabla 22: Datos de Capacidad de TS por TRX y Capacidad de Conexiones Simultáneas por TRX.

Con los datos anteriores se generan los datos de capacidad por sitio y los datos de capacidad de conexiones simultáneas por sitio.

	Capacidad del Sitio [TS]	Cantidad de Antenas			
		1	3	4	6
Cantidad de TRX	1	27777	83331	111108	166662
	2	55554	166662	222216	333324
	3	83331	249993	333324	499986
	4	111108	333324	444432	666648

Tabla 23: Datos de Capacidad de TS por Sitio.

	Cantidad de Conexiones	Cantidad de Antenas			
		1	3	4	6
Cantidad de TRX	1	512	1536	2048	3072
	2	1024	3072	4096	6144
	3	1536	4608	6144	9216
	4	2048	6144	8192	12288

Tabla 24: Datos de capacidad de Conexiones Simultáneas por Sitio

Finalmente, para los parámetros de cobertura se usan datos obtenidos de la memoria del ingeniero Marco Muñoz [20] en donde se citan modelos de propagación para las distintas tecnologías inalámbricas que se utilizan en la actualidad (GSM, UMTS, Wifi y WiMAX) y se usan los *link budget* calculados en el capítulo 3.2.4.2 de ésta. Tomando como supuestos las pérdidas máximas por propagación calculadas en dicha memoria para los enlaces de subida y de bajada, se obtiene la cobertura que tendría teóricamente un enlace inalámbrico, con la tecnología WiMAX, en un entorno urbano denso, como es el caso de la comuna de Las Condes. Para lo anterior, se supone una altura de la BS de 50 m y una altura para el dispositivo móvil de 1,5 m. Teniendo el cálculo de las coberturas del enlace de subida y el de bajada, y el tamaño de los lados de las cuadrículas del área de estudio, se puede calcular la cobertura en cuadrículas de los enlaces *uplink* y *downlink*. Luego, para adaptar dichos resultados a los tipos de modulación y codificación utilizados en los enlaces, se utiliza la Tabla 25 que muestra las sensibilidades de recepción, que dependen

del tipo de modulación y codificación, y así se generan los datos de cobertura. Dicha tabla se muestra a continuación.

Modulación	Sensibilidad Requerida en [dBm] según BW en [MHz]						
	1,25	3,5	7	14	28	10	20
QPSK 1/2	-90	-87	-84	-81	-78	-82	-79
QPSK 3/4		-84	-81	-78	-75	-79	-76
16-QAM 1/2		-80	-77	-74	-71	-75	-72
16-QAM 3/4	-80	-77	-74	-71	-68	-72	-69
64-QAM 2/3		-73	-71	-67	-64	-68	-65
64-QAM 3/4		-71	-68	-65	-62	-66	-63

Tabla 25: Sensibilidad de Recepción Requerida según el tipo de Modulación y Codificación [15].

Utilizando la información citada anteriormente se llega a los siguientes valores de cobertura. Cabe destacar que sólo se considera la cobertura de cuadrículas completamente cubiertas.

	QSPK 1/2	16-QAM 3/4	64-QAM 3/4
Máximas Pérdidas Permitidas [dB]	133	123	117
Cobertura de bajada en metros	1114	666	489
Cobertura de subida en cuadrículas	2	1	0

Tabla 26: Cálculo de Cobertura de bajada para un tamaño de Cuadrículas de 381 metros.

	QSPK 1/2	16-QAM 3/4	64-QAM 3/4
Máximas Pérdidas Permitidas [dB]	130	120	114
Cobertura de subida en metros	955	571	419
Cobertura de subida en cuadrículas	2	1	0

Tabla 27: Cálculo de Cobertura de Subida para un tamaño de Cuadrículas de 381 metros.

Con los datos de cobertura calculados anteriormente se generan los parámetros de cobertura de subida “pup” y los parámetros de cobertura de bajada “pdown”.

Por último, luego de generar todos los parámetros del problema, se debe ejecutar este modelo con el software de optimización llamado “GAMS” el cual traduce el problema para que pueda ser resuelto por el *solver* “CPLEX”. En el capítulo siguiente se muestran los cambios realizados al modelo planteado y se realizan las pruebas de éste.

4.4.2.2 Prueba del modelo

Primero que nada se destacan los cambios efectuados a las variables y parámetros del modelo planteado en el capítulo 4.2.

A la variable “y” se le agrega un subíndice “c”, el cual denota el tipo de par modulación-codificación que se utiliza para el enlace $y_{cijklmt}$. Además, la variable “x”, para el caso de este ejemplo, no depende de la potencia de transmisión que posee cada sitio, sino que se tiene una única potencia de transmisión para todos los sitios del área de estudio.

Por otra parte, el parámetro de demanda se describe en *Time Slots* y no en Mbps y se le agrega un subíndice “c” que diferencia la demanda para distintos tipos de par modulación-codificación con los que se abastezca. También se une la demanda de subida y de bajada en una sola demanda total, ya que para la tecnología WiMAX es indiferente la dirección de ésta. Para simplificar el problema, se opta por describir los costos de los sitios dependiendo solamente de la cantidad de antenas “i” y de la cantidad de TRX “n”, quitándole los subíndices de posición y de la potencia de transmisión. Como los sistemas WiMAX son indiferentes a la dirección de la demanda, se reemplaza la capacidad de subida y de bajada de los sitios por una única capacidad de éstos, denominada “capsitio”. Finalmente se le agrega el subíndice “c” a los parámetros de cobertura de subida y de bajada “pup” y “pdown” respectivamente, ya que en esta tecnología, la cobertura depende del tipo de par modulación-codificación. También se le quita el subíndice “p” al parámetro “pdown” puesto que por simplicidad se tiene sólo un tipo de potencia de transmisión.

Luego, se realizan cambios en algunas restricciones del problema para adaptarlo a las modificaciones realizadas a las variables, a los parámetros y a la tecnología WiMAX. Inicialmente se debe quitar la restricción en donde se prohíbe la instalación de sitios en algunas cuadrículas del área de estudio, debido a que como la cobertura de los sitios no es de más de una o dos cuadrículas, muchas veces el problema puede tornarse infactible si es que está prohibido instalar un sitio en donde no se tiene cobertura pero se debe abastecer la demanda. Finalmente se agrega una restricción que prohíbe la creación de enlaces hacia cuadrículas que ya posean una instalación de un sitio en ellas.

A continuación se muestra el modelo completo, después de realizados todos los cambios anteriormente descritos.

$$MIN \sum_{t>1} \sum_{j,k} \sum_{i,n} c_{in} \cdot (x_{ijknt} - x_{ijkn(t-1)}) + \sum_{j,k} \sum_{i,n} c_{in} \cdot x_{ijkn1}$$

s.a.

$$y_{cijklmt} \leq \sum_{i,n} x_{ijknt} \quad \forall j,l \in X, \quad \forall k,m \in Y, \quad \forall t \in T, \quad \forall c \in ModCod$$

$$y_{cijklmt} \leq existDem_{lmt} \quad \forall j,l \in X, \quad \forall k,m \in Y \quad \forall t \in T, \quad \forall c \in ModCod$$

$$\sum_c demtotal_{cikt} \leq existDem_{jkt} \cdot M \quad \forall j \in X, \quad \forall k \in Y, \quad \forall t \in T, \quad M Grande$$

$$\begin{aligned}
\sum_{c,l,m} demtotal_{clmt} \cdot y_{cijklmt} &\leq \sum_{i,n} x_{ijknt} \cdot capsitio_{in} \quad \forall j \in X, \quad \forall k \in Y, \quad \forall t \in T \\
\sum_{c,l,m} y_{cijklmt} \cdot clientes_{lmt} &\leq \sum_{i,n} maxconex_{in} \cdot x_{ijknt} \quad \forall j \in X, \quad \forall k \in Y, \quad \forall t \in T \\
y_{cijklmt} &\leq \sum_{i,n} Pdown_{cijklm} \cdot x_{ijknt} \quad \forall j,l \in X, \quad \forall k,m \in Y, \quad \forall t \in T, \quad \forall c \in ModCod \\
y_{cijklmt} &\leq Pup_{clmjk} \quad \forall j,l \in X, \quad \forall k,m \in Y, \quad \forall t \in T, \quad \forall c \in ModCod \\
\sum_{i,n} x_{ijknt} &\leq 1 \quad \forall j \in X, \quad \forall k \in Y, \quad \forall t \in T \\
\sum_c y_{cijklmt} &\leq 1 \quad \forall j,l \in X, \quad \forall k,m \in Y, \quad \forall t \in T \\
\sum_{c,l,m} y_{clmjk} &= existDem_{jkt} \quad \forall j \in X, \quad \forall k \in Y, \quad \forall t \in T \\
\sum_c y_{cjkjkt} &= \sum_{i,n} x_{ijknt} \quad \forall j \in X, \quad \forall k \in Y, \quad \forall t \in T \\
x_{ijknt} - x_{ijkn(t-1)} &\geq 0 \quad \forall j \in X, \quad \forall k \in Y, \quad \forall i \in I, \quad \forall n \in N, \quad \forall t > 1 \in T \\
x_{ijknt} &\in \{0,1\}, \quad \forall j \in X, \quad \forall k \in Y, \quad \forall t \in T, \quad \forall i \in I, \quad \forall n \in N \\
y_{cijklmt} &\in \{0,1\}, \quad \forall j,l \in X, \quad \forall k,m \in Y, \quad \forall t \in T, \quad \forall c \in ModCod
\end{aligned}$$

Una vez realizados todos estos cambios, se procede a la prueba del modelo. Como ya se dijo antes, el modelo se traspa a lenguaje GAMS el cual traduce el modelo a lenguaje CPLEX, que es el programa *solver* que finalmente se utiliza para encontrar la solución al problema.

Para mostrar que el modelo inalámbrico funciona correctamente, se plantean 4 casos, los cuales son mostrados en la sección siguiente:

- Problema de 15x15 cuadrículas (o 381x381 metros) con la demanda completa.
- Problema de 15x15 (o 381x381 metros) cuadrículas con la demanda dividida en un factor 100.
- Problema de 10x10 (o 571x571 metros) cuadrículas con la demanda completa.
- Problema de 10x10 (o 571x571 metros) cuadrículas con la demanda dividida en un factor 100.

4.4.2.3 Resultados Obtenidos

En esta sección se presentan los resultados obtenidos para el ejemplo de planificación inalámbrica utilizando el modelo planteado en el capítulo 4.2.

A continuación se muestran cuatro casos en los cuales se evidencia la dependencia de la cobertura de cada par modulación-codificación (en cuadrículas) en la creación de los enlaces que se pueden formar en un determinado caso y además cómo se restringen las posibilidades de creación de los enlaces cuando existe una mayor cantidad de demanda. Cabe destacar que todos los casos presentados a continuación se realizan para un sistema WiMAX de 3,5 GHz de frecuencia central de operación y un ancho de banda de 7 MHz.

4.4.2.3.1 Primer Caso

El primer resultado es un problema de 15x15 cuadrículas en donde se considera la demanda completa. Se aprecia que no existen enlaces con Modulación QSPK $\frac{1}{2}$ ya que la demanda de cada cuadrícula del área de estudio supera la capacidad de transmisión de este tipo de enlace. Para un tamaño de cuadrícula de 381 metros la cobertura de un enlace 64-QAM $\frac{3}{4}$ es la misma cuadrícula donde está instalado el sitio, por lo que los enlaces de ese tipo de modulación y codificación no se encuentran marcados en la Figura 36, sin embargo existen.

	QSPK 1/2	16-QAM 3/4	64-QAM 3/4
Máximas Pérdidas Permitidas para:	133	123	117
Cobertura de bajada en metros	1114	666	489
Cobertura de bajada en cuadrículas	2	1	0

Tabla 28: Cobertura de Bajada para un Tamaño de cuadrícula de 381 metros.

	QSPK 1/2	16-QAM 3/4	64-QAM 3/4
Máximas Pérdidas Permitidas para:	130	120	114
Cobertura de subida en metros	955	571	419
Cobertura de subida en cuadrículas	2	1	0

Tabla 29: Cobertura de Subida para un Tamaño de Cuadrícula de 381 metros.

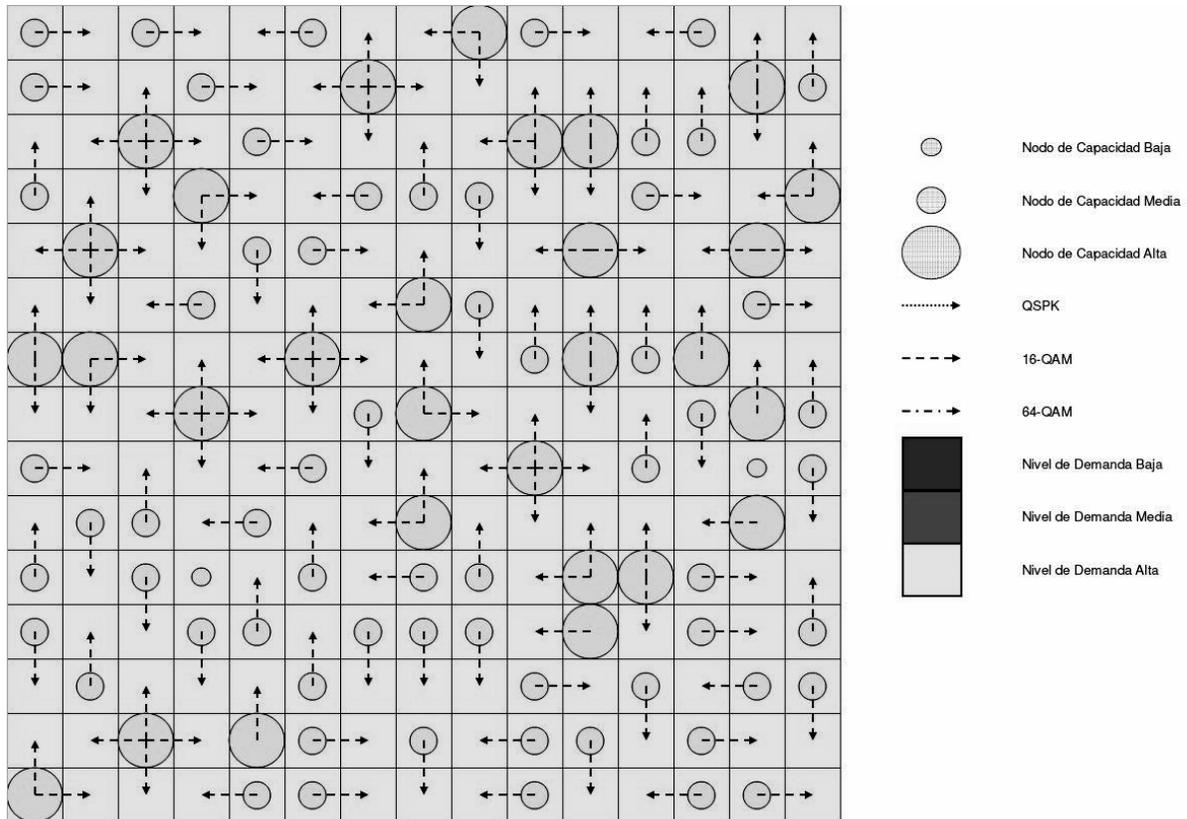


Figura 36: Esquema de un Problema de 15x15 Cuadrículas con Demanda Completa

4.4.2.3.2 Segundo Caso

En este segundo caso se considera un problema de 15x15 en donde la demanda, que normalmente toma valores cercanos a los 90 Mbps por cuadrícula, es dividida en un factor 100. Se aprecia que en esta ocasión se crea una menor cantidad de nodos que en el primer caso y se observa la existencia de enlaces de tipo QSPK $\frac{1}{2}$ y 16-QAM ya que la cobertura, de 2 y 1 cuadrículas respectivamente, y la capacidad son suficientes en ambos casos para abastecer la demanda de las cuadrículas adyacentes a los sitios instalados en área de estudio.

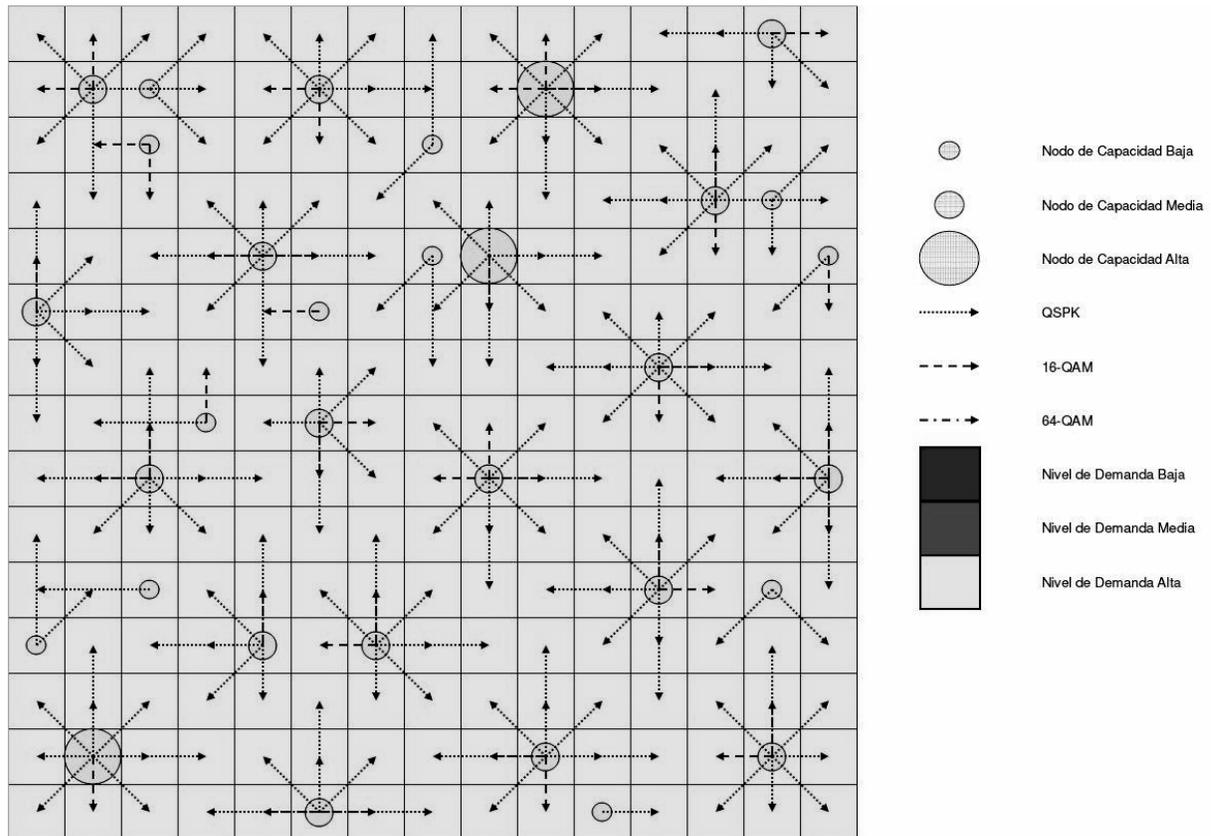


Figura 37: Esquema de un Problema de 15x15 Cuadrículas con la Demanda Dividida en un Factor 100.

4.4.2.3.3 Tercer Caso

Este tercer resultado trata de un problema de 10x10 cuadrículas en la cual la demanda es dividida en un factor 100 para analizar la reacción del modelo. En las Tabla 30, Tabla 31 y Tabla 32 se aprecia la demanda repartida en el área de estudio y las coberturas de subida y de bajada para los diferentes tipos de par Modulación-Codificación considerados en este ejemplo. Todas éstas ayudan a determinar de buena manera la reacción que tiene el modelo frente a los cambios en la demanda y cobertura. En la Figura 38 se aprecia que todos los enlaces son de tipo QSPK $\frac{1}{2}$ ya que estos son suficientes para cubrir la demanda de cada cuadrícula. También se nota que en la mayoría de los casos, el tamaño del sitio instalado depende de la cantidad de enlaces que se inicien en él.

Demanda Total [Mbps]									
1,76	1,85	2,00	1,93	1,91	1,88	1,91	2,02	1,94	1,87
1,95	1,96	2,02	1,93	1,75	1,89	1,87	1,78	1,93	1,92
2,05	1,95	1,84	1,97	1,90	1,89	1,87	2,02	1,84	1,82
1,93	1,93	2,05	1,81	1,88	1,90	1,91	1,93	1,81	1,90
1,81	1,99	2,05	1,93	1,95	1,94	1,95	1,93	1,80	1,86
1,97	1,92	1,91	1,92	1,85	1,93	1,98	1,88	1,86	1,96
1,98	2,00	1,92	1,89	1,96	1,87	1,87	1,93	1,93	1,90
1,87	1,79	1,92	1,99	1,82	1,90	1,84	1,80	2,00	1,86
1,95	1,99	1,96	2,00	1,85	2,10	1,88	1,86	1,84	1,86
1,87	1,90	1,83	1,89	1,91	1,92	1,87	1,92	1,96	1,99

Tabla 30: Demanda Total para el caso de 10x10 Cuadrículas y la Demanda Dividida en un Factor 100.

	QSPK $\frac{1}{2}$	16-QAM $\frac{3}{4}$	64-QAM $\frac{3}{4}$
Máximas Pérdidas Permitidas para:	133	123	117
Cobertura de bajada en metros	1114	666	489
Cobertura de bajada en cuadrículas	1	0	0

Tabla 31: Cobertura de Bajada para una Tamaño de Cuadrícula de 571 metros.

	QSPK $\frac{1}{2}$	16-QAM $\frac{3}{4}$	64-QAM $\frac{3}{4}$
Máximas Pérdidas Permitidas para:	130	120	114
Cobertura de subida en metros	955	571	419
Cobertura de subida en cuadrículas	1	0	0

Tabla 32: Cobertura de Subida para un Tamaño de Cuadrícula de 571 metros.

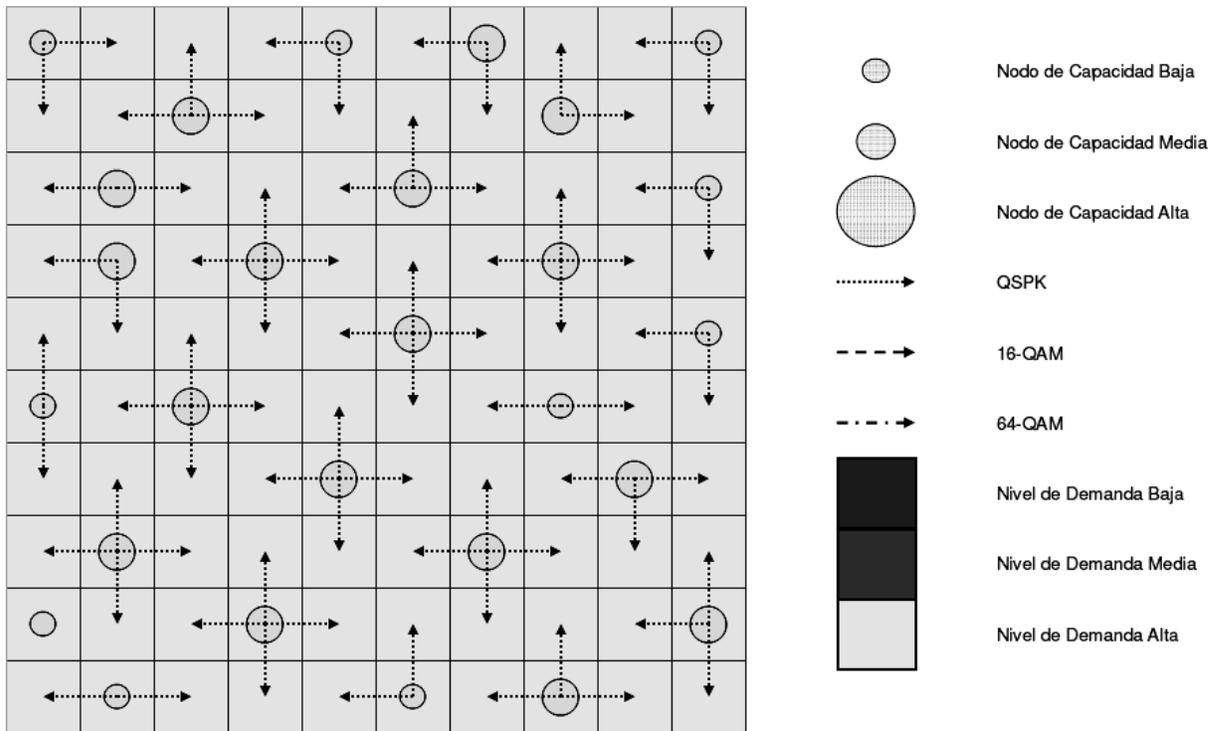


Figura 38: Esquema de un Problema de 10x10 Cuadrículas con la Demanda Dividida en un Factor 100.

4.4.2.3.4 Cuarto Caso

El cuarto caso es un problema de 10x10 cuadrículas en el cual se considera la demanda completa del problema. En la Tabla 33 se muestra la demanda de cada cuadrícula del área de estudio y en la Figura 39 se aprecia el resultado del modelo para este caso, el cual evidencia la instalación de sitios en todas las cuadrículas del área de estudio. Esto se debe a que los enlaces de tipo QSPK $\frac{1}{2}$, que tienen cobertura de una cuadrícula, no tienen la capacidad necesaria para cumplir con los requerimientos de demanda de cada cuadrícula del área de estudio. Sin embargo, los enlaces de tipo 16-QAM y 64-QAM, que poseen una cobertura de cero cuadrículas (sólo la cuadrícula donde está el sitio), pueden abastecer sin problemas la demanda de cada cuadrícula. Luego, cómo utilizar un par modulación-demodulación u otro no implica un cambio en los costos, el modelo prefiere instalar sitios más pequeños (menos antenas y TRXs) y utilizar sólo enlaces de 64-QAM.

Demanda Total									
199,12	197,13	184,48	200,07	191,45	189,41	183,84	190,44	189,26	191,44
183,47	194,77	196,37	187,45	191,38	193,05	195,68	178,95	192,95	197,75
199,13	185,36	185,84	191,16	182,51	194,57	190,34	193,06	190,34	196,75
190,55	191,4	197,7	200,2	201,45	192,19	182,92	190,38	185,3	188,37
189,13	189,9	201,24	189,97	185,37	191,88	199,09	203,62	193,52	193,52
185,14	198,21	206,65	199,19	185,39	195,81	181,14	187,77	185,91	194,65
193,58	190,66	194,62	185,38	193,44	184,48	185,22	189,9	183,79	197,15
180,12	189,99	197,83	193,23	202,39	193,94	194,28	186,59	185,15	178,72
187,53	186,88	191,56	196,81	193,32	182,14	188,38	180,6	188,78	202,19
181,23	197,76	189,88	186,25	189,25	185,36	187,6	195,41	186,81	188,79

Tabla 33: Demanda Total para el caso de 10x10 Cuadrículas y la Demanda Total.

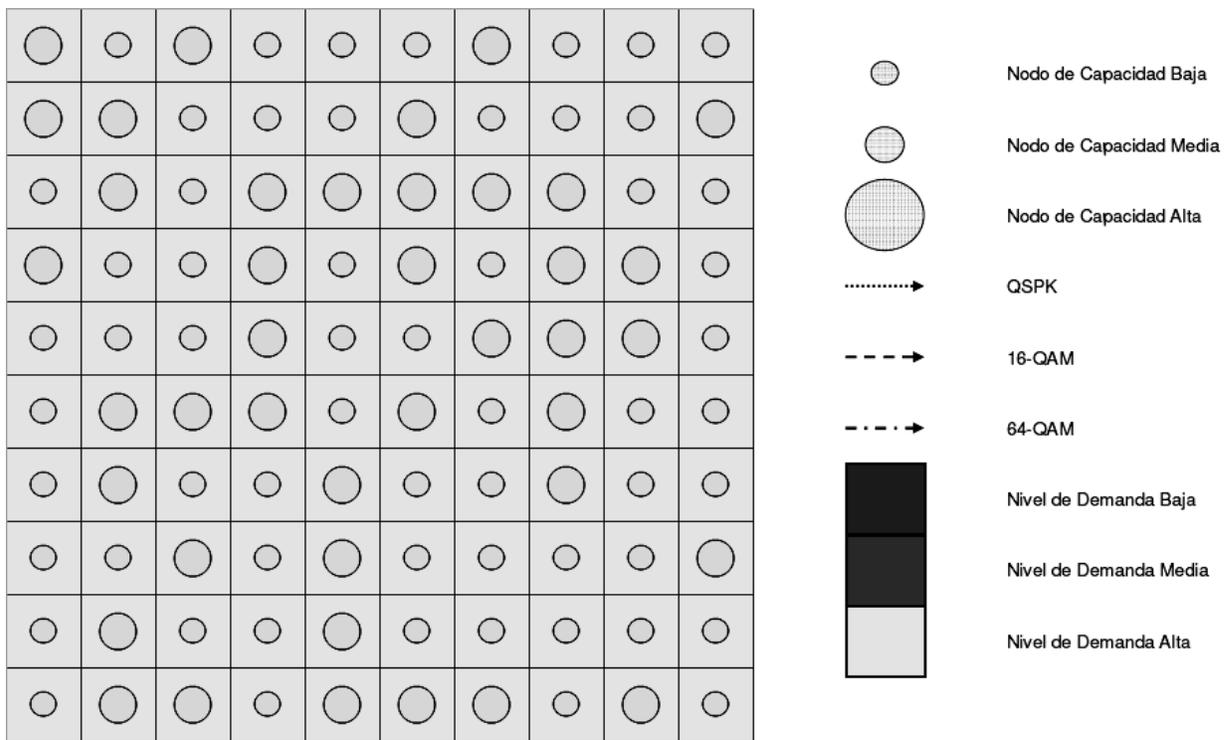


Figura 39: Esquema de un Problema de 10x10 Cuadrículas con Demanda Total.

Capítulo 5

Discusiones

En este documento se plantean la metodología, criterios y herramientas para la planificación general de plataformas de telecomunicaciones, estando estos principalmente enfocados hacia las redes NGN. Para conseguir un resultado satisfactorio fue necesaria la comprensión del funcionamiento de muchos tipos de redes de telecomunicaciones, ya sean de acceso, de distribución o core²⁵. Esto permite tener una visión amplia de cómo funcionan las telecomunicaciones y cómo se relacionan las distintas tecnologías y/o módulos que las conforman, siendo muy beneficioso para el futuro profesional del memorista.

Con el fin de hacer más simple la comprensión del análisis de la metodología propuesta y los resultados obtenidos, éste se divide temáticamente en las cuatro siguientes secciones: discusión general, comparativa de los modelos de planificación, análisis de los ejemplos y mejoras al modelo.

5.1 Discusión general

Un proceso de planificación cualquiera se divide en cuatro elementos: las entradas, las salidas, las restricciones y los recursos. Las entradas en este caso, son las demandas por servicio, ya sea de voz, video o datos. Los recursos son los parámetros que caracterizan las distintas opciones que se puede implementar en el problema, como por ejemplo: las condiciones ambientales, la densidad de edificación, las características de los equipos, los tipos de antena, etc. Por su parte, las restricciones especifican la relación entre las variables del sistema definiéndose cotas superiores e inferiores para éstas a través de sus parámetros, siendo ejemplos de ellas: las restricciones estratégicas, temporales, geográficas, legales, ambientales, técnicas y de frecuencia. Finalmente las salidas son las respuestas que se quieren obtener en el proceso de planificación, como por ejemplo la ubicación, la cobertura, la capacidad, la elección de la tecnología de los equipos, la distribución de frecuencias y la instalación de los enlaces, ya sea entre nodos o entre nodos y puntos de demanda. Lo más importante de todo es poder establecer estas salidas en el tiempo, ya que en la planificación de una red, la instalación de un sitio o nodo en el momento preciso puede hacer una gran diferencia, tanto es así que hasta podría transformar un proyecto que no es rentable en uno con ganancias.

Una vez teniendo claro el problema de manera generalizada, se identifican los elementos que componen una plataforma de telecomunicaciones, cubriendo la máxima cantidad posible de características o elementos comunes. En el Capítulo 3.2 se realiza una clasificación de estos elementos, tomando como ejemplo plataformas relativamente nuevas como son UMTS, MPLS e IMS, llegando a la conclusión de que éstas se componen de equipos de conmutación, servidores de red, equipos terminales y gateways. A continuación se entrega una breve explicación de las funciones de éstos:

- Equipos de Conmutación: La propiedad de los equipos de conmutación es redireccionar la información que llega a estos para guiarla a su destino, ya sea una conmutación de circuitos o de paquetes IP.
- Servidores de Red: Los servidores de red son equipos servidores que realizan las funciones de gestión, control y señalización de las redes de telecomunicaciones y además algunos manejan las bases de datos de los clientes, la cual es consultada para averiguar la identificación, la dirección, la ubicación, la autenticación y los servicios a los cuales el usuario puede acceder.

²⁵ Ver Anexos 9.3.

- Equipos Terminales: Son los equipos que están en los “extremos” de la red. Normalmente se definen como cualquier dispositivo que contenga una Tarjeta de Interfaz de Red o NIC por sus siglas en inglés, los cuales pueden ser computadoras personales, equipos móviles, teléfonos IP, etc.
- Gateways: Son equipos que permiten la interconexión entre redes de distinta naturaleza y tecnología, realizando la conversión necesaria de las señales desde una red a otra, y viceversa. Para esto es necesario también realizar la “traducción” o conversión de las señales de control y gestión de ambas redes. Este trabajo es normalmente realizado por un servidor de red.

Luego, se describen de manera más detallada todas las etapas que intervienen en un proceso de planificación, separándolas en distintos bloques. Si se analizan las entradas y salidas de cada una de ellas, se deduce que dichos bloques forman parte de un proceso iterativo que, finalmente, permite encontrar una solución adecuada.

Durante el transcurso de la investigación de este tema, se pudo ver la necesidad imperativa de separar la planificación de redes inalámbricas de las cableadas. A pesar de que estos dos tipos de planificación son bastante similares, ya que ambos buscan la ubicación, la capacidad y la cobertura óptimas; la diferencia está en que las redes inalámbricas poseen una variante más, la frecuencia, lo que las hace diferentes al momento de ser modeladas. Además, se tiene que las redes inalámbricas normalmente se utilizan para el acceso, lo que implica que el modelo, al no considerar la red de distribución o core, se puede plantear de manera más simple que el problema cableado. Se puede considerar esta simplificación del problema ya que la red cableada se utiliza como *backhaul* de la red inalámbrica, proponiendo que cada sitio de esta última se incluya dentro de un punto de demanda de la primera.

Para la planificación de las plataformas cableadas se debe planear la cobertura, la capacidad, la ubicación de los emplazamientos, la elección de tecnologías de equipos y líneas de transmisión, el tiempo y las instalaciones de los nodos. Por otra parte, en la planificación de las plataformas inalámbricas se planean la cobertura, la capacidad, la ubicación de los sitios, la elección de la cantidad de *transceivers* y antenas, la frecuencia, el tiempo y las instalaciones de los sitios.

Un proceso de planificación de plataformas de telecomunicaciones generalmente tiene como objetivo abastecer la demanda del área de estudio al mínimo costo. En el caso de esta memoria el objetivo principal es construir una metodología de planificación general, por lo que se busca como respuesta un procedimiento adaptable a cualquier tecnología que se quiera estudiar. Para lograr este propósito, se crea un problema de optimización, cuyo principal atributo es su flexibilidad con respecto al escenario de estudio que se considere, y además, mediante un proceso iterativo, que evalúa la mejor alternativa para responder a las inquietudes del planificador.

Lo más importante de proponer un problema de optimización como mecanismo de planificación general, es que éste puede ser adaptado a cualquier situación que se desee, incluyendo o eliminando variables y condiciones al modelo propuesto en este documento.

Para los dos tipos de planificación, se incluye cada uno de los planes presentados en el Capítulo 3.3 en los problemas de optimización planteados en esta memoria, ya que por ejemplo se incorporan las alternativas tecnológicas a elegir, las limitaciones de capacidad, cobertura y conexiones de cada elección, la ubicación óptima de los emplazamientos y la selección del montaje más conveniente de la red en el tiempo.

Para el caso inalámbrico, la planificación de la frecuencia no se aborda de la manera más completa, puesto que no se entrega la distribución de las celdas en el área de estudio, sino que sólo se entrega la cantidad de *transceivers* óptima que se debe utilizar en cada sitio. Sin embargo, esta última información facilita la labor de la repartición de las celdas y definición de la distancia de reutilización de las frecuencias.

Con respecto a las herramientas de planificación, en este trabajo de memoria se define que deben contener un bloque de optimización, uno de simulación y otro de análisis de resultados. Para conseguir los objetivos planteados, se desarrolla un programa en el cual primero, con datos generales del área de estudio y haciendo algunas simplificaciones, se genera una matriz de demanda considerando los servicios de telefonía, navegación Web, descarga de archivos y comunicación por videoconferencia. Luego, los datos obtenidos se traspasan a un programa solucionador o *solver*, el cual resuelve el problema de optimización planteado. Este último punto forma parte del bloque de optimización de la herramienta de planificación. Después, se inventa un programa que muestra de manera gráfica los resultados obtenidos en el bloque anterior, especificando el tamaño de los emplazamientos según su capacidad y los enlaces creados distinguiendo su tipo o tecnología. Para el caso inalámbrico puede ser importante visualizar la cantidad de antenas de cada sitio, sin embargo, en esta memoria no fue incluido. Para completar la herramienta de planificación propuesta en este trabajo, se debe crear una interfaz que facilite la introducción de información relacionada con la demanda, además de incluir un bloque de simulación que permita corroborar que la "red solución" del bloque de optimización sea factible en algunos escenarios un poco más exigentes.

Ahora, analizando los problemas de optimización de manera más específica, en los casos cableados e inalámbricos se considera que sólo se puede instalar un nodo o sitio por coordenada del área de estudio. Claramente, esto es una aproximación, puesto que en la realidad sí existen dos o más equipos juntos en un mismo edificio. Sin embargo, esto no es un planteamiento irracional ya que el tamaño de la cuadrícula del área de estudio se puede hacer tan pequeño como se quiera y además, la forma en que se plantean los modelos, permite la utilización de más de un equipo por cuadrícula, debido a que sólo se debe modificar los parámetros que definen la capacidad, los costos y las características de estos, solucionando también dicho problema.

De la misma manera se establece que la demanda de cada cuadrícula del área de estudio puede ser abastecida solamente por el enlace proveniente de cualquiera de los sitios o nodos. Esto es una restricción que impone que cada punto de demanda esté conectado a la red, aunque se puede decretar que haya más de un enlace que suministre cada uno de estos.

También, se debe dejar en claro que la metodología de planificación expuesta en este documento, a través de un problema de optimización, corresponde solamente a una parte del proceso de planificación y no pretende en ningún caso reemplazar las labores del planificador, que es el que finalmente saca conclusiones y toma las decisiones ayudándose con los resultados que este tipo de herramientas entregan.

A continuación, a través de una comparativa, se analiza de manera más detallada ambos problemas de optimización planteados en este documento.

5.2 Comparativa

En el problema cableado, al igual que en el problema inalámbrico, para obtener los costos de los emplazamientos se debe realizar una planificación detallada, analizando la repartición de los espacios, la disposición de los equipos, la alimentación y la ventilación. Sin embargo, en los modelos de optimización expuestos en esta memoria, este punto se simplifica considerando solamente el costo total de los emplazamientos en ambos casos.

En general, los problemas cableado e inalámbrico son muy similares en la manera en que son planteados, sin embargo, el primero requiere de una complejidad mayor al incluir, obligatoriamente, una restricción de conservación de flujo. En cambio, para la forma en que es planteado el caso inalámbrico, se tiene que el tráfico de información se “genera” y “termina” en cada uno de los sitios de la red. El problema se expone de esta manera ya que se supone que la red de abastecimiento o *backhaul* de la red inalámbrica, se modela como en el caso cableado presentado en este documento.

Por otra parte, se analizan las limitaciones que poseen ambos modelos. Una de ellas es la capacidad máxima disponible en los enlaces, ya que si se disminuye demasiado la cantidad de cuadrículas que divide el área de estudio, la demanda por cuadrícula podría aumentar demasiado hasta el punto de poder ser abastecido por ningún tipo de enlace. Por otra parte, si se aumenta demasiado el número de cuadrículas, la limitación está en la cantidad de puertas o conexiones simultáneas que puede manejar cada emplazamiento. En un problema inalámbrico se atiende a clientes individuales que se conectan directamente al sistema modelado, por lo que en este caso es indiferente el tamaño que se utilice para la división del área de estudio mientras no se alcance la limitación expuesta en el punto anterior. Otra limitación que posee el modelo inalámbrico es por una simplificación en donde se supone que la cobertura mínima es de cero cuadrículas, es decir que abarca sólo la cuadrícula en la cual se encuentra el sitio y, por lo tanto, si se tiene una cuadrícula muy grande se puede cometer un error al admitir dicha cobertura. Por otra parte, en un problema cableado se tiene que en cada cuadrícula existe un conmutador (o *switch*) al cual se conectan todos los clientes de ésta, para luego enlazarse éste a la red planificada. En este sentido sí influye el tamaño de la cuadrícula, puesto que si se aumenta mucho el número de éstas en el área de estudio, se corre peligro de alcanzar la limitación del número de puertas que disponen los equipos utilizados.

5.3 Análisis de los Ejemplos

En esta sección se analizan los ejemplos mostrados en el capítulo 4.4, donde se examinan la prueba de estos y los resultados obtenidos. Cabe destacar que ninguno de los casos expuestos en dicho capítulo muestra una solución óptima, ya que debido a la gran cantidad de tiempo que demora encontrar la solución óptima de problemas como estos, se decide entregar aproximaciones del óptimo de cada caso.

5.3.1 Análisis de los Resultados del Ejemplo Cableado

Primero que nada, observando la Figura 34 y la Figura 35 se destaca que la demanda en toda el área de estudio es alta, esto se debe a que como ésta fue elegida de manera aleatoria, la repartición es casi uniforme en toda esta área. En la primera figura, se aprecia que existen dos nodos de capacidad alta. Ambos abastecen a los servidores de servicios Web y de FTP. Los demás nodos son de tamaño mediano ya que la suma de la demanda y el flujo de servicios de tiempo real es mayor que un tercio de la capacidad que posee un nodo “pequeño”, pero menor que la de un nodo “grande”. Además se nota que todos los enlaces que van desde los nodos a los puntos de demanda son de 1000 Mbps, es se debe a que en todas las cuadrículas del área de estudio la demanda supera a la capacidad del tipo de enlace de 100 Mbps.

Para corroborar que el modelo funciona correctamente, se realiza otro ejemplo en donde se divide la demanda dentro del área de estudio por un factor 5 y así analizar el comportamiento del problema de optimización. En la segunda figura, se aprecia que todos los nodos dentro del área de estudio son “pequeños”. Esto se debe a que en ningún nodo se supera la capacidad de conmutación de 1500 Mbps que poseen. Por otra parte, los enlaces que van desde los nodos a los puntos de demanda todos son de 100 Mbps de capacidad, puesto que la demanda de estos puntos nunca superan esta cantidad. Sin embargo en algunos enlaces entre nodos sí circulan flujos de tráfico que superan esa cantidad, por lo tanto se necesita utilizar el enlace de 1000 Mbps.

5.3.2 Análisis de los Resultados del Ejemplo Inalámbrico

De la misma manera que para el ejemplo cableado, a continuación se analiza cada uno de los casos planteados en el ejemplo inalámbrico. En este ejemplo existen tres consideraciones esenciales:

- Si el tamaño de las cuadrículas que dividen en área de estudio aumentan, entonces la cobertura por cuadrícula de los enlaces inalámbricos disminuye.
- La cantidad de enlaces que pueden realizarse desde un cierto nodo depende de la cantidad de clientes se está atendiendo en cada cuadrícula cubierta, y de la cantidad de antenas y TRX que posea éste.
- Si en un nodo no se aprecia ningún enlace saliendo de él, quiere decir que existe un enlace de tipo 64 QAM que abastece sólo la cuadrícula en la cual se encuentra instalado.

5.3.2.1 Caso 1: 15x15 Cuadrículas Con la Demanda Completa

En este caso, la cobertura de los enlaces de tipo QSPK es de 2 cuadrículas y los de tipo 16-QAM es de 1 cuadrícula. Sin embargo, en este ejemplo, la demanda de cada cuadrícula del área de estudio supera la capacidad de los enlaces de tipo QSPK, por lo tanto no es posible crear ninguno para abastecer la demanda. También se nota que los enlaces 16-QAM tienen cobertura de una cuadrícula, exactamente como está estipulado que sea. Debido a la poca cobertura que tiene este ejemplo, se deben crear una gran cantidad de nodos para poder abastecer a cada una de las demandas.

5.3.2.2 Caso 2: 15x15 Cuadrículas con la Demanda Dividida en un Factor 100

En cambio en este caso, como la demanda es 100 veces menor se pueden crear enlaces de tipo QSPK y por lo tanto la cobertura de los sitios aumenta. Entonces se corrobora el buen funcionamiento del modelo, ya que adapta los enlaces de los nodos según la demanda que tienen.

5.3.2.3 Caso 3: 10x10 Cuadrículas con la Demanda Dividida en un Factor 100

Para este ejemplo como las cuadrículas tienen un tamaño mayor, la cobertura llega a un valor 0 para los enlaces de tipo 16-QAM y 64-QAM, y 1 para los enlaces de tipo QSPK. Como es un caso de poca demanda, no hay problema en enlazar los puntos de demanda con enlaces tipo QSPK. Por este motivo se puede crear una repartición de la demanda en el área de estudio con una cantidad de nodos reducida.

5.3.2.4 Caso 4: 10x10 Cuadrículas con la Demanda Completa

En cambio para este ejemplo, se tiene que la demanda sólo puede ser abastecida por enlaces de tipo 16-QAM y 64-QAM, pero ambos tiene cobertura 0. Por este motivo, el sistema está obligado a instalar nodos en cada cuadrícula del área de estudio para poder abastecer toda la demanda de ésta. Este ejemplo deja en claro que el modelo planteado en esta memoria se comporta de buena manera según lo esperado.

5.4 Mejoras a los modelos

Los modelos propuestos en este documento tienen algunas limitaciones debido a las simplificaciones realizadas a estos, por ese motivo, existen una gran cantidad de mejoras que se le pueden integrar para ir puliéndolo cada vez más. A continuación se proponen algunas de éstas que pueden servir como sugerencia para realizar trabajos futuros.

Por ejemplo, una situación que no se ha considerado hasta el momento, es la estimación del tiempo de instalación de la red seleccionada, considerando retrasos debido al abastecimiento, los permisos municipales, edificación, canalización y/o conocimiento de la tecnología. La consideración de los retrasos en los dos problemas de optimización formulados en el Capítulo 4 no es muy complicada, puesto que se incluye un parámetro más, que depende de la posición en donde se quiere instalar el emplazamiento, y del tipo de tecnología y equipos que se quieren instalar. Luego, este parámetro se multiplica por la variable binaria que indica si se instaló o no el emplazamiento o sitio, y así finalmente se realiza la suma de todos los tiempos de cada proyecto para acotarlo superiormente con un valor de tiempo máximo esperado para el término del proyecto completo.

En el caso de WiMAX, existe una variante para aumentar la capacidad de los sitios que no fue considerada en el ejemplo del capítulo 4.4.2. Se debe recordar que en esta tecnología existe la opción de aumentar al doble la capacidad de los sitios, haciendo lo propio con la frecuencia central de operación del sistema, eso sí, en desmedro de la cobertura de éste. Sin embargo, es fácilmente implementable con el modelo expuesto, ya que sólo hace falta incluir más datos de capacidad y cobertura en las opciones tecnológicas para esta nueva frecuencia de central operación.

Como idea adicional, también se podría considerar el cálculo de los días inventario para la estimación de los períodos de tiempo que se utilizan en el problema y así, tener en cuenta sólo momentos en que la red a evaluar tenga problemas o alcance el tope de su capacidad. De esta manera se logra una mejor planificación, ya que la respuesta que se encuentre soluciona las situaciones conflictivas que se pueda tener en la red.

Por otra parte, en el modelo propuesto en esta memoria no se consideran las restricciones estratégicas, sin embargo, éstas son independientes del problema de optimización en sí, es decir, cada estrategia adoptada modifica el problema de optimización, pero no puede ser generalizado al ingresarlas dentro del mismo. Lo más probable es que las decisiones estratégicas también se reflejen en los parámetros ingresados al modelo. Un ejemplo de esto puede ser una restricción geográfica que no permita enlaces en cierta zona del área de estudio, a menos que sean de una cierta tecnología.

Otro aspecto que se podría incluir es el *delay*, que en las redes NGN es primordial si es que se tiene que cumplir con un SLA para la comunicación de voz o de videoconferencia. Para esto se puede incluir parámetros que indiquen el retraso que sufre una señal dependiendo del medio de transmisión y de la distancia a la que se quiera transmitir. Sin embargo, por simplicidad, se prefiere optar por la utilización de la sugerencia entregada por *CiscoPress*, la cual indica que para que las señales de tiempo real no sufran retrasos importantes, el total del tráfico de tiempo real atendido en un nodo, no debe superar un tercio de la capacidad de éste. El supuesto anterior simplifica bastante el problema y con él se logran, según *CiscoPress*, muy buenos resultados.

Para la solución del modelo cableado se tuvo muchos problemas debido a la limitación en la capacidad de procesamiento y de almacenamiento en RAM de los sistemas computacionales que se tiene disponible. A pesar que los computadores que se posee son bastante nuevos, la solución de este problema supera a estos sistemas. Para solucionar este problema, se propone la división del área de estudio en pequeñas partes y crear una interfaz o conexión entre estas partes, pero insertas dentro del problema de optimización como parámetros. De este modo se podría trabajar en paralelo con otros computadores y actualizar solamente este parámetro de la interfaz cada cierto período de tiempo. Lo más probables es que se logre converger a una solución aceptable para este problema tan complejo.

Capítulo 6

Conclusiones

En este trabajo, el objetivo principal es crear una metodología de planificación general de plataformas de telecomunicaciones, especificando los criterios a considerar y describiendo las herramientas, en este caso computacionales, que se utilizan para este propósito.

6.1 Cumplimiento de los objetivos

Como primer paso para lograr dicho objetivo, se encuentra una manera de describir todo tipo de plataformas de telecomunicaciones definiendo cuatro elementos fundamentales que las componen: los equipos de conmutación, los servidores de red, los equipos terminales y los *gateways*. Con estas “piezas” se logra contituir cualquier plataforma ya que los equipos de conmutación permiten la transmisión de los flujos de información entre cualquier par de puntos dentro de una red. Los *gateways* establecen la comunicación entre redes de distinto tipo, permitiendo la interacción entre ellas. Los servidores de red, manipulan y controlan los flujos de información, las rutas y los accesos que puede tener cada uno de los clientes de la red. Y finalmente los equipos terminales permiten que estos clientes se puedan conectar a la red. Toda red de telecomunicaciones necesita de los atributos que poseen estos cuatro elementos.

Luego, a través de un esquema se identifican los elementos que componen una planificación al definir las entradas, recursos, restricciones y salidas de un proceso de este tipo. Teniendo este esquema, se le realiza un desglose para mostrar cada una de las partes que la componen por separado. Esto permite aclarar que se debe planificar por separado las redes inalámbricas y las cableadas, debido a que en las primeras se planifica la frecuencia, la capacidad, la ubicación y la cobertura, mientras que en las otras sólo se planifican las tres últimas. Otra diferencia que se vislumbra es que, en este documento, en las redes inalámbricas no se considera la red de abastecimiento o Backhaul dentro de la planificación, ya que existe la posibilidad de que este argumento se inserte en el problema cableado, simplificando así el sistema considerado en el problema inalámbrico.

Un proceso de planificación de redes es una técnica que trata de encontrar una línea de acción dentro de un proyecto de expansión o instalación de una red. Se quiere responder a las necesidades de la situación actual y futura de ésta siguiendo algún criterio, ya sea minimizando el costo de inversión, maximizando las utilidades, etc. Sin embargo, en la práctica, el planificador no entrega la última palabra, sino que sólo se ocupa de sugerir la dirección que estima que debe seguir el proyecto. El planificador se ayuda de algunas herramientas para encontrar la respuesta al problema planteado, algunas de éstas son: la optimización, la simulación y el análisis a través de la visualización y cálculos efectuados con los resultados. En el contexto de esta memoria, como proceso de planificación, se desarrolla un bloque de optimización para las redes cableadas e inalámbricas y otro bloque que permite la visualización simple de los resultados obtenidos con el bloque anterior. La etapa creada para la optimización permite la planificación y adaptación de cualquier plataforma de teleco, ya que se plantea de manera generalizada. Este problema puede ser adaptado a cualquier situación y tecnología debido a que sólo basta con modificar los parámetros definidos en éste, lo que otorga una gran flexibilidad. Éste busca la posición óptima de los nodos y enlaces, y la tecnología empleada en cada uno de manera de minimizar los costos y cumplir con los requisitos de la red. En este caso, los nodos integran los equipos de conmutación, mientras que los equipos terminales, *gateways* y servidores de red son definidos a través de los parámetros de demanda del problema.

La principal diferencia entre el problema de optimización planteado para las redes cableadas y el planteado para las redes inalámbricas consiste en que el primero describe una red completa, en donde todos los nodos y enlaces podrían conectarse entre sí, en cambio el segundo especifica sólo una red de acceso, en donde los únicos enlaces van desde los puntos de demanda a los sitios, y el tráfico de subida y de bajada es modelado como si se creara en cada sitio. Para este último caso, se puede incluir una restricción para la instalación de los TRX debida al límite de ancho de banda que se posee. La inclusión de la distribución de las frecuencias en el área de estudio se deja planteado para algún trabajo futuro, puesto que se estima que es más eficiente crear un bloque aparte que realice esta repartición.

Como ya se dijo, las herramientas de planificación son primordiales para la obtención de una solución óptima en un proceso de planificación. Esto se debe a la gran cantidad de iteraciones que se debe realizar para encontrar una configuración óptima de la red a planificar. Los diferentes bloques que forman parte de las herramientas de planificación son un bloque de optimización, que tiene como función encontrar una disposición óptima de los elementos de la red, luego un bloque de simulación, que realiza pruebas a la nueva red, modificando la distribución de la demanda, y finalmente un bloque de análisis de resultados, el cual cumple la función de mostrar los resultados obtenidos en la simulación de manera que le sea fácil al planificador tomar una decisión sobre la factibilidad de la red creada.

Finalmente, se plantean dos ejemplos, uno para una red cableada y otro para una red inalámbrica. En éstos se explica todo el proceso que se debe seguir para utilizar la herramienta creada y la adaptación de los parámetros que se incluyen en éste. Los resultados obtenidos en los ejemplos mostrados en el capítulo 4.4 reflejan que el problema de optimización sugerido en este documento responde de buena manera a los cambios en los parámetros que se le insertan, obteniendo los resultados esperados. Para el caso inalámbrico se destaca la adaptación realizada para el caso de la tecnología WiMAX, la cual reacciona tal cual se quiere. Esto demuestra que los problemas planteados inicialmente pueden ser fácilmente modificados para acomodarse a cualquier situación y/o tecnología. Sin embargo se debe destacar que con las soluciones planteadas en este trabajo se llega al límite de la capacidad de procesamiento de los sistemas computacionales de la actualidad. Por este motivo sólo se propuso como ejemplo problemas de tamaño pequeño, 5x5 para el caso cableado y 15x15 para el caso inalámbrico, los cuales limitan la respuesta encontrada y no reflejan de buena manera el problema planteado. Claramente, mientras mayor cantidad de cuadrículas se tiene, mejor es la aproximación del problema con la realidad, esto se debe a que el área de estudio puede ser descrita con más detalle, así como también los resultados de éste. Sin embargo, la complejidad del problema aumenta exponencialmente con la cantidad de cuadrículas de éste, lo que satura inmediatamente cualquier sistema computacional de la actualidad.

6.2 Opinión personal

A continuación se expresa una opinión personal sobre el aporte de la realización de esta memoria para el alumnado y los profesionales.

Esta memoria es un gran aporte para los alumnos universitarios, ya que visualiza las redes de telecomunicaciones de manera amplia, lo que permite entenderlas de una manera más simple y mejor. Aparte, en ella se revisa variadas tecnologías de telecomunicaciones lo que también aporta al conocimiento de las opciones tecnológicas que se manejan en este rubro, indagando en cada uno de sus partes. Lo anterior también aporta al ambiente laboral puesto que se llega mucho más preparado y con más experiencia al momento de enfrentar los problemas de la realidad.

Por otra parte, la importancia de la planificación radica en el dinamismo de las tecnologías de la información, que suelen cambiar y siguen cambiando periódicamente, y por lo tanto se debe estar preparado para cualquier eventualidad. La planificación permite simular variados escenarios de manera de estar listo para reaccionar con cualquier situación que ocurra en la realidad. La planificación de las redes de telecomunicaciones, es y seguirá siendo muy importante para el éxito de una empresa, puesto que lo más probable es que una buena planificación lleve al éxito de los proyectos que la implementan.

6.3 Trabajos Futuros

Como tema para trabajos futuros se sugiere la realización de una herramienta de planificación que integre el proceso de optimización, simulación y análisis en un solo sistema, incluyendo un entorno de visualización sofisticado para tener una visión más amplia del problema. Sumado a esto se puede implementar un curso de planificación, en donde se transmitan los conceptos principales, los pasos a seguir y los criterios que se deben adoptar en este proceso.

Para solucionar el problema de la capacidad de procesamiento, se puede proponer la idea de separar el área de estudio en varias partes y construir un modelo que vincule cada una de las partes entre si, obteniendo con la unión de éstas, la solución del problema completo. Incluso, cada una de estas partes podría procesarse en computadores separados, y actualizar la interfaz de ellas periódicamente a través de una conexión de red local.

A futuro, aprovechando el aumento vertiginoso de la capacidad de los computadores, se podría incrementar la complejidad del problema planteado en este documento, agregándole nuevos elementos que mejoren el modelo y resuelvan más variantes de éste.

Además, se cree que el modelo mostrado en este trabajo puede servir para su utilización en cualquier tipo de tecnología nueva que surja, ya que considera los factores primordiales o bases dentro de una planificación de redes de telecomunicaciones.

También, se sugiere como trabajo futuro, complementar el problema inalámbrico propuesto con uno que solucione la distribución de las frecuencias de manera óptima, según los recursos que se tengan.

Eventualmente, en el futuro se podría construir un modelo que considere las redes inalámbricas y las cableadas de una sola vez.

Capítulo 7

Referencias Bibliográficas

7.1 Libros

[1] CCITT, Comité Consultivo Internacional, Telegráfico y Telefónico, “*Planificación General de la Red*”, Ginebra, Suiza, 1983.

[2] CISCO SYSTEMS, “*Cisco Network Planning Solution Models Methodologies and Cases Studies*”, 6ª Edición, Cisco Systems Inc., California, Estados Unidos, 2005.

[3] LAVALLE, Steven, “*Planning Algorithms*”, 1ª Edición, University of Illinois, Cambridge University Press, Cambridge, Inglaterra, 2006.

[4] CCEB, The Combined Communications-Electronics Board, “*Guide to Frequency Planning*”, Unclassified, ACP190 (A), 1996.

[5] TELEFÓNICA I+D, División de Relaciones Corporativa y Comunicación Telefónica I+D, “*Las Telecomunicaciones y la Movilidad en la Sociedad de la Información*”, 1ª Edición, AHCET, España, 2005.

[6] TELEFÓNICA I+D, División de Relaciones Corporativa y Comunicación Telefónica I+D, “*Las Telecomunicaciones de Nueva Generación*”, AHCET, 1ª Edición, España, 2005.

[7] JOHN WILEY & SONS LTD., “*Radio Network Planning and Optimisation for UMTS*”, 2ª Edición, 2006.

7.2 Memorias y Tesis Doctorales

[8] ABARCA, Cristián, “*Diseño de una Red de Transmisión Dense Wavelength Division Multiplexing*”, memoria para optar al título de Ingeniero Civil Electricista de la Universidad de Chile, Santiago, Chile, 2000.

[9] ARRIETA, César, Cárdenas, Enrique, Granda, Luis, “*Anillo SDH a 155 Mbps Utilizando Fibra Óptica entre las ciudades de Esmeraldas, Portoviejo, Manta, Salinas y Machala*”, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación, Guayaquil, Ecuador, 1999.

[10] BELZANERA, Pablo, “*Ingeniería de Tráfico en línea en redes MPLS Aplicando la Teoría de Grandes Desviaciones*”, tesis para optar al Grado de Maestría en Ingeniería Eléctrica, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay, 2003.

[11] CABRERA, Alejandro, “*HDTV sobre IP en Internet2*” tesis para optar al Grado de Magíster en Redes de Datos, Facultad de Informática, Universidad Nacional de La Plata, Argentina, 2005.

[12] CORTÉS, Pablo, “*Diseño y Planificación de Redes de Telecomunicación por Cable*” tesis para optar al Grado de Doctor Ingeniero Industrial, Escuela Superior de Ingenieros, Universidad de Sevilla, Sevilla, España, 2000.

[13] GARCÍA, Nestor, “*Modelo de Cobertura en Redes Inalámbricas basado en Radiocidad por Refinamiento Progresivo*”, tesis doctoral para optar al Grado de Doctor de la Universidad de Oviedo, España, 2006.

[14] GONZALEZ, Jaime, “*Especificación y Elaboración de un Sistema de Dimensionamiento de una Red Celular*”, memoria para optar al título de Ingeniero Civil Electricista de la Universidad de Chile, Santiago, Chile, 2002.

[15] GONZALEZ, Pablo, “*Diseño de una herramienta de planificación de sistemas WiMAX*”, memoria para optar al título de Ingeniería Técnica de Telecomunicaciones de la Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España, 2006.

[16] LAZCANO, Cesar, “*Diseño e Implementación de Procesos de Planificación de Capacidad para Operadores de Plataformas con Servicios de Nueva Generación*”, memoria para optar al título de Ingeniero Civil Electricista de la Universidad de Chile, Santiago, Chile, 2006.

[17] LEONARD, Nardin, “*Propuesta de Red Troncal de Telecomunicaciones para Endesa Chile*”, memoria para optar al título de Ingeniero Civil Electricista de la Universidad de Chile, Santiago, Chile, 2003.

[18] MUÑOZ, Ariel, “*Tipificación Y Metodología Para Proyectos de Instalación en el Área de las Telecomunicaciones*”, memoria para optar al título de Ingeniero Civil Electricista de la Universidad de Chile, Santiago, Chile, 2007.

[19] MUÑOZ, Juan Carlos, “*Planificación de una Red Telefónica Pública Conmutada en Presencia de Tráfico IP*”, memoria para optar al título de Ingeniero Civil Electricista de la Universidad de Chile, Santiago, Chile, 2000.

[20] MUÑOZ, Marco, “*Metodologías, Criterios y Herramientas para la Planificación de Redes Inalámbricas*”, memoria para optar al título de Ingeniero Civil Electricista de la Universidad de Chile, Santiago, Chile, 2007.

[21] SEPÚLVEDA, Cristián, “*Análisis y Modelamiento de Parámetros de Calidad de Servicio de Acceso Internet por Terminales Inalámbricos*”, memoria para optar al título de Ingeniero Civil Electricista de la Universidad de Chile, Santiago, Chile, 2002.

7.3 Publicaciones

[22] ALMEIDA, Carlos, AMARILLA, Nilton, BARÁN, Benjamín, “*Optimización Multiobjetivo en la Planificación de Centrales Telefónicas*”, Universidad Nacional de Asunción, Paraguay.

[23] AMALDI, E., CAPONE, M., CESANA, F. MALUCELLI, F. PALAZZO, F., “*WLAN Coverage Planning - Optimization Models and Algorithms*”, Politecnico di Milano, Italia, 2004.

[24] CISCO SYSTEMS, “*Introduction to MPLS*”, 2001.
http://www.toip.uchile.cl/~doniga/Papers/MPLS_segun_CISCO/1-Introduction_to_MPLS.pdf,

- [25] COX, Louis Anthony y MELIÁN, Belén, “*Optimizing Placement and Sizing of Wave Division Multiplexing and Optical Cross-Connect Equipment*”, Departamento de Estadística I. O. y Computación. Universidad de la Laguna, España, 2001.
- [26] GUO, Liang, ZHANG, Jie, MAPLE, Carsten, “*Coverage and Capacity Calculations for 3G Mobile Network Planning*”, University of Luton: Department of Computing and Information Systems, Liverpool John Moores University, Inglaterra, 2003.
- [27] HP PROCURVE NETWORKING, “*Planning a Wireless Network*”, 2006.
- [28] LAGUNA, Manuel y MELIÁN, Belén, “*Optimization Models for DWDM Planning*”, Departamento de Estadística I. O. y Computación. Universidad de la Laguna, España, 2001.
- [29] MELIÁN, Belén y VERDEGAY, José Luis, “*Fuzzy Optimization Models for the Design of WDM Networks*”, Journal of IEEE transactions on fuzzy systems, Departamento de Estadística I. O. y Computación, Universidad de la Laguna, España, 2006.
- [30] ORACLE FORMS SERVICES, “*Capacity Planning Guide*”, 2001.
- [31] PAREJA, Leonel, RINCONES, Pilar, DONOSO, YeZid, “*Modelo de Optimización y Desarrollo de una Methaeurística para la Transmisión de Aplicaciones Multicast sobre Redes Inalámbricas*”, Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia, 2005.
- [32] PROXIM WIRELESS NETWORKS, “*Voice Over Wifi Capacity Planning*”, 2004.

7.4 Páginas Web

- [33]<<http://www.metroethernetforum.org/>>
- [34]<<http://www.ciscopress.com>>
- [35]<<http://www.3gpp.org>>
- [36]<<http://www.itu.int/itudoc/itu-d/dept/psp/ssb/planitu/plandoc/index-es.html>>
- [37]<<http://www.umtsworld.com/technology/Prerequisite.htm>>
- [38]<<http://www.ee.ucl.ac.uk/~dgriffin/>>
- [39]<<http://www.ee.ucl.ac.uk/~jsp/>>
- [40]<http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/product/wanbu/bpx8600/mpls/9_3_1/mpls01.htm>
- [41]<http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/cisintwk/ito_doc/qos.htm>
- [42]<<http://edocs.bea.com/wls/docs81/capplan/>>
- [43]<<http://www.networknewz.com/networknewz-10-20040205UnderstandingNetworkModelsTheCiscoNetworkDesignModel.html>>

Capítulo 8

Definiciones y Acrónimos

8.1 Definiciones

Cabecera: Ubicación central en la red de cable, que se encarga de la introducción de señales de vídeo y otras señales de radiodifusión en sentido descendente.

Canal de Retorno (Uplink): Sentido de transmisión de señales desde el abonado hacia la cabecera. Normalmente es llamado sentido ascendente.

CAPEX (Capital Expenditures): Gastos de capital, son los gastos usados por una compañía para adquirir o para aumentar activos físicos tales como equipo, característica y/o edificios industriales.

CBS (Committed Burst Size): Es la cantidad máxima de datos que se puede transferir por una cierta conexión de una red en un intervalo de tiempo dado.

CIR (Committed Information Rate): Es la tasa mínima de datos que el proveedor garantiza entre dos puntos terminales de la red conectados a través de un circuito virtual.

CM (Cable Módem - Cable Modem): Modulador-demodulador en las instalaciones del abonado para uso en comunicaciones de datos en un sistema de televisión por cable.

CMTS (Sistema de terminación de módem de cable - Cable Modem Termination System): Sistema de terminación de módem de cable, situado en la cabecera o concentrador de distribución, que proporciona una funcionalidad complementaria a los módems de cable para que éstos puedan conectarse a una red de área extensa con miras a la transmisión de datos.

EBS (Excess Burst Size): Es la tasa de transferencia de datos máxima que una cierta conexión puede llegar a tener por encima de la tasa acordada con el proveedor (CIR). Esta tasa en exceso es marcada para ser descartada en caso de necesidad por congestión.

EIR (Excess Information Rate): Es la tasa de datos momentáneo en exceso, con respecto al CIR, que pueden ser transmitidos por una conexión de una red.

HFC (Sistema híbrido de fibra óptica/cable coaxial - hybrid fibre/coaxil): Sistema de transmisión bidireccional con medios compartidos, de banda ancha, que utiliza circuitos troncales de fibra óptica entre la cabecera y los nodos de fibra óptica, y distribución por cable coaxial desde los nodos de fibra óptica hasta las instalaciones del abonado.

LAN (Red de área local - local area network): Red de datos en la que se utiliza transmisión en serie para comunicación de datos directa entre estaciones de datos ubicadas en las instalaciones del abonado.

OPEX (Operational Expenditures): Gastos operacionales, son gastos en que se debe incurrir periódicamente para hacer funcionar un producto, un negocio o un sistema.

PLMN (Public Land Mobile Network): Es un sistema de comunicación inalámbrico hecho para usuarios en tierra que se mueven a pie o en vehículo.

Ráfaga: Señal RF continua, emitida por el transmisor en sentido ascendente, desde el instante que conmuta a activado hasta el instante en que conmuta a desactivado.

Red: Conjunto de los medios físicos por los cuales la señal será distribuida, así como los elementos necesarios para el mantenimiento de los niveles de la señal, considerado desde la salida de la cabecera hasta la entrada del receptor del abonado del servicio.

Sentido descendente (Downlink): Se refiere al sentido de la entrega de información en una red de datos, que va desde el proveedor hacia el abonado. Por ejemplo, en una red de distribución por Cable, es el sentido de transmisión de la cabecera al abonado.

Sistema de Distribución por Cable: Conjunto de equipamientos e instalaciones que posibilitan la recepción y/o generación de señales y su distribución, a través de medios físicos a los abonados localizados dentro del área de prestación del servicio. Está constituido por: Una cabecera, la red y el Terminal del abonado.

UNI (Interfaz entre el usuario y la red - User Network Interface): Es un punto de demarcación entre la responsabilidad del proveedor de servicios y la responsabilidad del cliente. Por ejemplo en una red Metro Ethernet, la UNI es un enlace Ethernet bidireccional.

Terminal del abonado: Conjunto de dispositivos adoptados por el prestador del servicio, desde la derivación (Tap) hasta la salida del convertor/decodificador de televisión por cable, utilizado en el primer punto de recepción del abonado.

Zumbido: Distorsión de las señales deseadas, causada por la modulación de esas señales por componentes de las fuentes de alimentación del sistema.

8.2 Acrónimos

3GPP	3rd Generation Partnership Project
3GPP2	3rd Generation Partnership Project 2
8-PSK	Octogonal Phase Shift Keying
AALx	ATM Adaptation Layer x (x = 1 ... 5)
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AMPS	Advanced Mobile Phone Service/System
ANSI	American National Standards Institute
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BER	Bit Error Rate
BTS	Base Transceiver Station
CAMEL	Customized Application for Mobile Enhanced Logic
CBS	Committed Burst Size
CCIR	Comité Consultatif international pour la Radio
CCITT	Comité Consultatif International Téléphonique et Télégraphique
CDMA	Code Division Multiple Access
CE	Customer Equipment / Customer Edge (En contexto de VPN-MPLS)
CES	Circuit Emulation Service
CIR	Committed Information Rate
CO	Central Office
CPE	Customer Premises Equipment
DiffServ	Differential Services
DMT	Discrete Multitone
DSL	Digital Subscriber Line
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer
EBS	Excess Burst Size
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution
EFM	Ethernet in the First Mile
ETRI	Electronics and Telecommunications Research Institute
ETSI	European Telecommunications Standardisation Institute
FDD	Frequency Division Duplex
FDM	Frequency-Division Multiplexing
FDMA	Frequency Division Multiple Access

FTTB	Fiber To The Building
FTTC	Fiber To The Curb
FTTH	Fiber To The Home
GbE	Gigabit Ethernet
GEM	GPON Encapsulation Mode
GEPON	Gigabit Ethernet PON
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying
GPON	Gigabit PON
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communications
HC-SDMA	High Capacity – Spatial Division Multiple Access
HDTV	High-Definition Television
HFC	Hybrid Fiber Coax
HSCSD	High Speed Circuit Switched Data
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HSPA	High Speed Packet Access
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access
H.245	Procedimientos y Control para H.323
H.248	Media Gateway Control Protocol
H.323	ITU Standard for multimedia communications over packet networks
IEEE	Institution of Electrical and Electronics Engineers
IETF	Internet Engineering Task Force
IMS	IP Multimedia Subsystem.
IMT	International Mobile Telecommunications
IP	Internet Protocol
ISDN	Integrated Service Digital Network
ISO	Internacional Standards Organization
ISP	Internet Service Provider
ITU	International Telecommunications Union
LAN	Local Area Network
LEX	Local Exchange
LOS	Line of Sight
LSP	Label Switched Paths

LSR	Label Switch Router
MAC	Media Access Control
MAN	Metropolitan Area Network
MEN	Metro Ethernet Network
MG	Media Gateway
MGC	Media Gateway Controller
MPLS	Multi-Protocol Label Switching
MSC	Mobile Switching Center
MTS	Mobile Telephony Subsystem
NGN	Next Generation Network
NMT	Nordic Mobile Telephone
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OSI	Open System Inteconnection
OTN	Optical Transport Network
PABX	Private Automatic Branch eXchange
PBX	Private Branch Exchange
PC	Personal Computer
PDN	Public Domain Network
PE	Provider Edge
PLMN	Public Land Mobile Network
PON	Passive Optical Network
POTS	Plain Old Telephone Service
PSTN	Public Switched Telephone Network
PVC	Permanent Virtual Circuit
QoS	Quality of Service
QPSK	Quadrature phase-shift keying
RFC	Request for Comment (Utilizado por la IETF)
RTCP	Real Time Control Protocol
RTP	Real-time Transport Protocol
RPR	Resilient Packet Ring
RSVP	Resource Reservation Protocol
SCN	Switched Circuit Networks
SCTP	Stream Control Transport Protocol
SDH	Synchronous Digital Hierarchy

SG	Signaling Gateway
SIP	Session Initiation Protocol
SLA	Service Level Agreement
SLS	Service Level Specification
SMS	Short Message Service
SNI	Service Node Interface
SONET	Synchronous Optical Network
SS7	Signaling System No 7
STM	Synchronous Transport Module
SVC	Switched Virtual Circuit
TCP	Transmission Control Protocol
TD-CDMA	Time Division- Code Division Multiple Access
TDD	Time Division Duplex
TDM	Time Division Multiplexing
TDMA	Time Division Multiple Access
TD-SCDMA	Time Division-Synchronous Code Division Multiple Access
TS	Time Slot
UDP	User Datagram Protocol
UE	User Equipment
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UNI	User Network Interface
UTRA	UMTS Terrestrial Radio Access
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
VC	Virtual Channel
VLAN	Virtual LAN
VMOA	Voice and Multimedia over ATM
VoATM	Voice over ATM
VoIP	Voice over Internet Protocol
WAN	Wide Area Network
WEP	Wireless Equivalent Privacy
WiMAX	Worldwide
WLAN	Wireless Local Area Network
WLL	Wireless Local Loop

Capítulo 9

Anexos y Tablas

9.1 Planes Técnicos Fundamentales

Los objetivos de los planes técnicos fundamentales son: proporcionar una serie de reglas y estándares para el diseño, construcción y utilización de la red de telecomunicaciones. Cada plan tendrá objetivos más detallados y describirán o recomendarán a fondo las características de, por ejemplo, transmisión, encaminamiento, facturación, pero también dará estándares o metas para el servicio. Los planes técnicos fundamentales son más generales. En el caso específico de extender una red deberán elaborarse planes técnicos particulares.

En la Figura 40 se muestran los planes técnicos fundamentales y las flechas indican la interrelación entre ellos. Como puede observarse, el plan de calidad de servicio, el plan de grado de servicio, el plan de seguridad de funcionamiento y los planes de mantenimiento y operaciones se agrupan juntos. Hasta cierto punto, el plan de calidad de servicio establecerá condiciones para los planes mencionados.

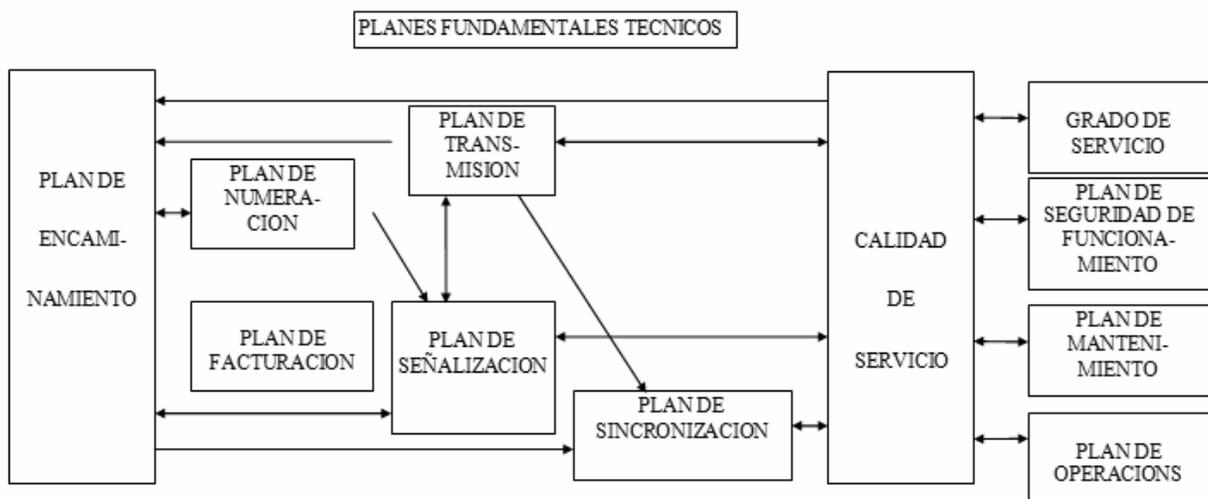


Figura 40: Relación entre los Planes Técnicos Fundamentales

9.1.1 Plan de encaminamiento

En la Figura 41 se muestra un bosquejo del plan de encaminamiento y su influencia de y hacia otros planes. El plan de encaminamiento describirá la jerarquía de la red, reglas de encaminamiento, encaminamiento alternativo, puntos de tránsito y encaminamiento de diferentes tipos de tráfico o servicios manuales.



Figura 41: Plan de Encaminamiento

9.1.2 Plan de numeración

Cuando se está estableciendo un plan de numeración, debe tenerse en cuenta las necesidades futuras de la administración en lo referente a número de líneas de abonado, su distribución qué tipo de servicios se necesitará, etc. En la Figura 42 se muestra la relación con otros planes.

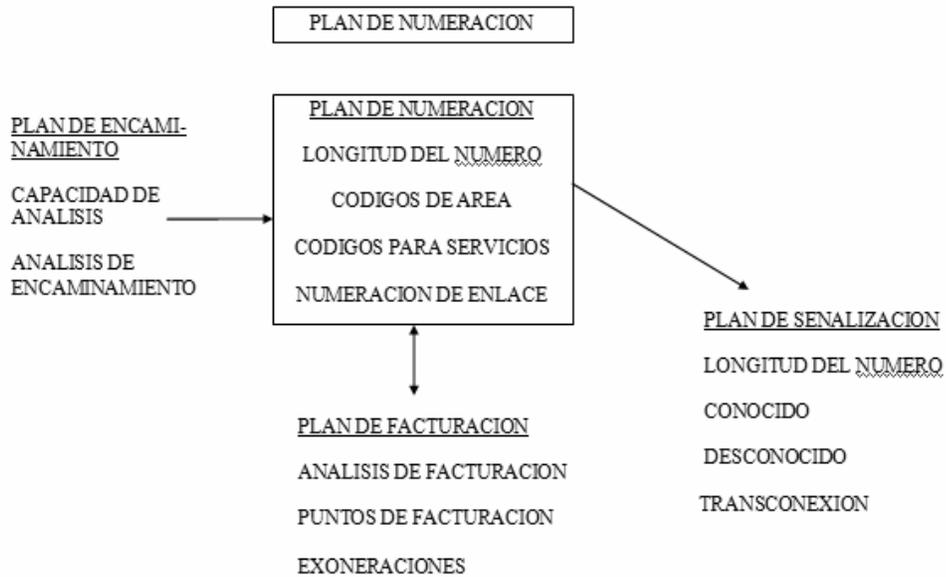


Figura 42: Plan de numeración

9.1.3 Plan de Facturación

El plan de facturación indicará la estructura tarifaria, los cargos por llamadas de larga distancia, el uso de servicios de facturación detallada (tollticketing), cargos unitarios para cierto tipo de llamada, etc. El plan de facturación puede utilizarse también como un instrumento para el patrón de control de tráfico (por ejemplo, tarifas más altas para llamadas en horas pico). La Figura 43 entrega una idea de cómo el plan de facturación interactúa con los otros planes.

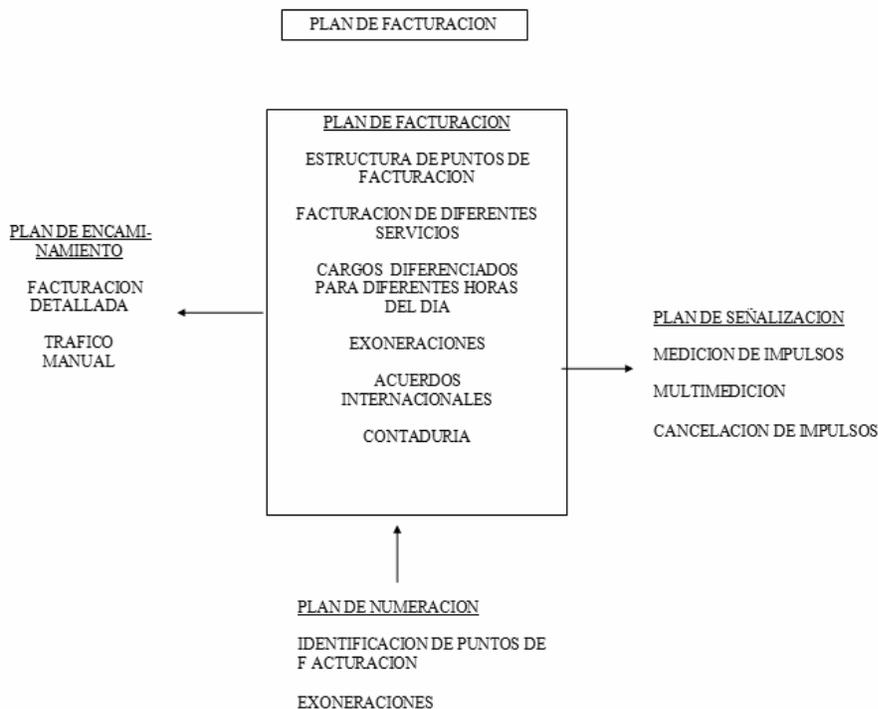


Figura 43: Plan de Facturación

9.1.4 Plan de transmisión

Es importante entender que este plan no es estático. Siempre hay cambios, pero algunos factores pueden permanecer estables, tal como la atenuación total permisible. El plan de transmisión tiene un número de características tales como: atenuación, distorsión, relación señal/ruido, tiempo de propagación, tiempo de demora de grupo, etc. Las nuevas técnicas digitales permitirán, por ejemplo, involucrar la introducción de 4 hilos de conmutación en lugares donde la conmutación estuvo previamente basada en un sistema de 2 hilos en la red analógica. Esto ejemplifica que el énfasis en un plan fundamental cambiará. La función de monitorear o de establecer normas en una administración para planes fundamentales será un nexo muy importante para informar a los proveedores qué es realmente lo que la administración necesita.

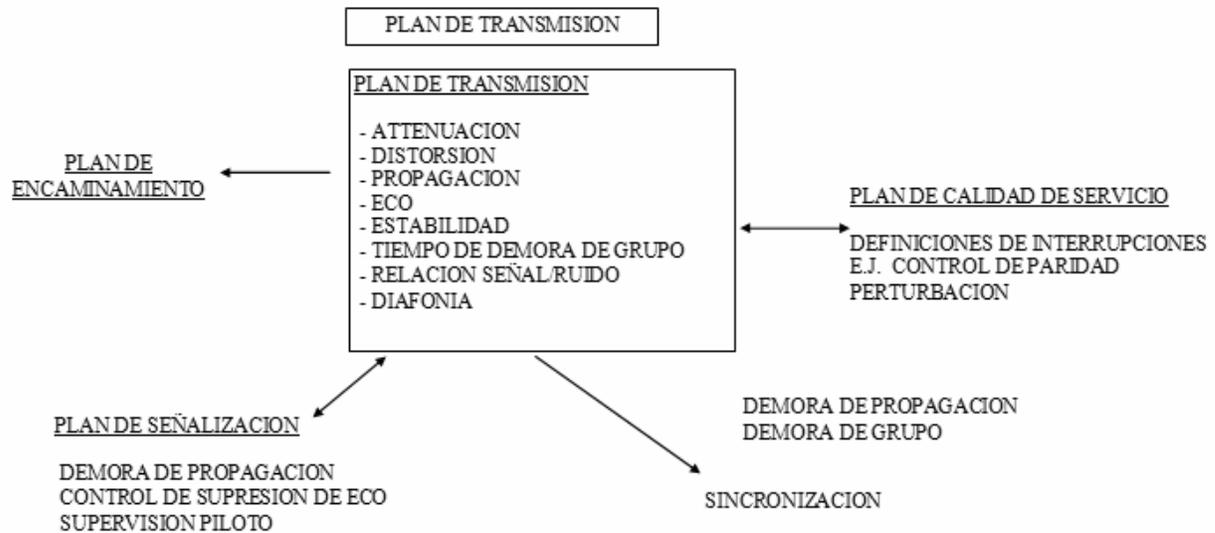


Figura 44: Plan de Transmisión

9.1.5 Plan de Señalización

La importancia de un planeamiento consistente que asegure la compatibilidad entre los diferentes tipos de equipo es evidente. Se observa que hay muchas interdependencias desde o hacia el plan de señalización. Cada administración tiene que desarrollar su conocimiento y experiencia en este campo. Monitorear la ejecución de la señalización es un factor importante cuando se desarrollan las destrezas de mantenimiento y operación en la administración.

Algunos ejemplos del contenido y características del plan de señalización se dan en la Figura 45.



Figura 45: Plan de Señalización

9.1.6 Plan de sincronización

La técnica digital y la división de tiempo, en combinación con la velocidad de señalización alta, imponen la necesidad de sincronización. Los diferentes aspectos y características de la sincronización se describen a fondo en el capítulo correspondiente. La relación con otros planes está dada en la Figura 46.

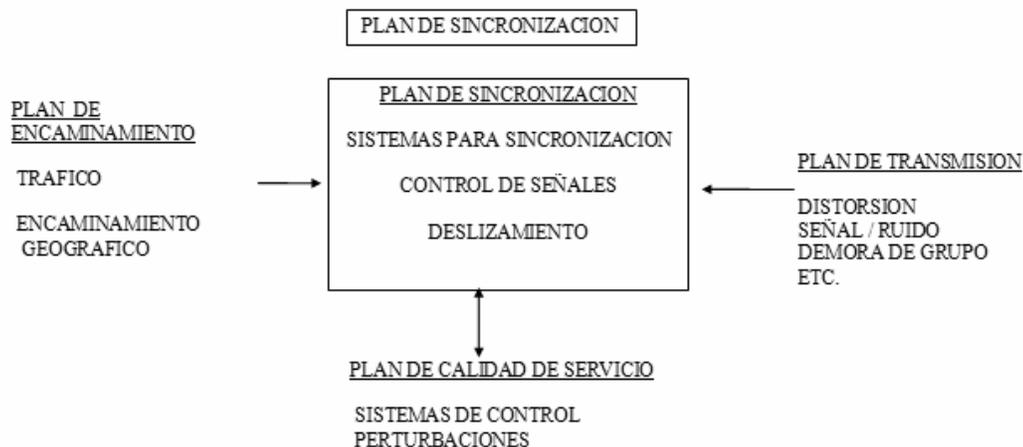


Figura 46: Plan de Sincronización

9.1.7 Calidad de servicio

Como se puede observar en la Figura 40 el plan de calidad de servicio puede considerarse como un plan de cobertura, proporcionando políticas para la disponibilidad, grado de servicio, mantenimiento y planes de operación. Pero también da a la administración una estructura para establecer metas (figuras-clave). Hasta cierto punto, el plan de calidad de servicio puede también considerarse como un nexo de gestión, entre los planes fundamentales y el proceso de presupuesto y planeamiento.

9.1.7.1 Seguridad de funcionamiento

La complejidad en una red de telecomunicaciones moderna requiere una estructura que garantice un balance entre el desempeño de una red (disponibilidad, fiabilidad, mantenimiento), sus componentes y el soporte de mantenimiento. La administración tendrá que establecer estándares y metas a fin de dar a los que diseñen la red una pauta general sobre cómo la red debe ser estructurada. El potencial de tráfico de una red podrá incrementarse por el uso apropiado de su capacidad de reserva o, en el caso de una sobrecarga o perturbación, por el uso de la que esté disponible

9.1.7.2 Grado del servicio

Las reglas para dimensionar una red, es decir, número de circuitos, dispositivos de transmisión de tráfico en equipo de conmutación, capacidad del procesador (marcadores o registradores), etc., se exponen en el plan de grado de servicio. Contiene reglas para calcular el tamaño de los equipos de la red.

9.1.7.3 Plan de mantenimiento

El conjunto de estándares para definir la organización de mantenimiento y recursos se dan en el plan de mantenimiento. Este plan influenciará la relación entre el uso de mantenimiento preventivo/correctivo y el uso de diferentes principios de mantenimiento. Ésta también dará lineamientos para el desarrollo de soporte técnico (procedimientos de mantenimiento, documentación, repuestos, soporte lógico -software-, manejo, etc.), planeamiento de recursos humanos y jerarquía del personal.

9.1.7.4 Plan de operaciones

Un objetivo general para planes fundamentales es el de asegurarse que toda la realimentación de la función de planeamiento esté trabajando de acuerdo a determinados criterios de seguimiento. En una administración todas las operaciones ejecutadas deben tener un seguimiento a cargo de, por ejemplo: grabación de tráfico, estadísticas, comportamiento del abonado, utilización de servicios. El grado hasta el cual una administración tendrá que utilizar métodos y medios será parte del plan de operaciones. La observación del desempeño y de las actividades de planeamiento deriva en la necesidad de nuevo equipo y funciones de la red. El plan de operaciones describirá cómo esto será manejado en la organización.

9.2 Planes de Desarrollo

La creación de planes de desarrollo es un proceso de perfeccionamiento progresivo, es decir se van haciendo más precisos y detallados a medida que se acorta el período de previsión y mejora, en consecuencia, la fiabilidad de los datos en que se basan.

Estos planes pueden desarrollarse para abarcar períodos de 20, 10 y 5 años y constituyen el resultado de estudios detallados de las soluciones disponibles y de la selección de la estrategia que debe adoptarse. Desde un punto de vista global, permiten elaborar un conjunto de programas que detallan los recursos requeridos y las acciones necesarias que han de emprenderse en momentos especificados. Como resultado, la estructura de los planes es tal que aseguran un enfoque documentado y coordinado del desarrollo de la red.

En la elaboración de planes, se pueden distinguir las cuatro etapas principales que son:

- Planificación estratégica
- Planificación a largo plazo con planes maestros
- Planificación a mediano plazo con proyectos
- Planificación a corto plazo con programas anuales

9.2.1 Planes estratégicos

Un plan estratégico ha de fijar las principales decisiones que determinen la evolución de la red en los 20 a 30 años siguientes. Define la estructura global a la que deben atenerse la planificación de las diversas redes, subredes y centros. Aun cuando este plan puede comprender varios sub-planes para las diferentes redes, éstos deben coordinarse, con objeto de obtener una estrategia coherente para el futuro. Un plan estratégico tiene en cuenta:

- La distribución y crecimiento de la demanda de servicios.
- Los servicios y las necesidades futuras de los clientes.
- La tendencia de las telecomunicaciones para la integración de nuevas tecnologías.
- Los objetivos financieros y de calidad de servicio.
- Las necesidades de flexibilidad de la red.
- Los requerimientos o normas complementarias nacionales e internacionales.

Como en la práctica la planificación constituye un compromiso entre lo que se considera que debe requerirse y la viabilidad para satisfacer esta necesidad, un plan estratégico debe diseñarse, a menudo, de manera que sea posible su realización práctica progresiva dados los recursos limitados existentes en un momento determinado.

9.2.2 Planificación a largo plazo con planes maestros

Aun cuando los planes a largo plazo pueden abarcar un período de hasta 30 años, pueden definirse con un alcance diferente del de un plan estratégico. Los planes a largo plazo se refieren a requerimientos específicos para una oficina central de conmutación (con inclusión de su zona de influencia) o a otras partes de la red como los medios de transmisión o enlaces de microondas.

La periodicidad de estos planes está determinada por cualquier tipo de proyecto primordial, por ejemplo, adquisición de terrenos, construcción de edificios, instalación de equipos, o cuando las modificaciones no son sencillas de efectuar (como en el caso de sistemas de numeración).

Un plan maestro, es un plan a largo plazo que se aplica a la totalidad de una zona local (por ejemplo una ciudad o comuna). Se requiere adoptar un plan maestro para efectuar grandes inversiones sirviendo sus resultados como objetivos de los planes a más corto plazo de la zona local afectada.

El plan maestro contiene:

- Ubicación y terrenos para futuros edificios
- Superficie utilizable y otras características de los edificios
- Capacidad de todos los centros de conmutación y oficinas centrales existentes
- Necesidad de incluir nuevos sistemas de switching de alta jerarquía.
- Redes de transmisión y gateways para conectar con redes externas.
- Requisitos en las redes de distribución y de acceso referidas a las canalizaciones y otros elementos de gran envergadura de la planta externa.

9.2.3 Planificación a mediano plazo con proyectos

Los planes a mediano plazo deben abarcar en general un máximo de 10 años. Se refiere a la planificación de equipos que tienen menores plazos de desarrollo, así como a las ampliaciones de los sistemas existentes de conmutación y transmisión.

Un proyecto es un plan de desarrollo que define un programa de trabajos que ha de efectuarse en una zona determinada. La optimización de las inversiones y el dimensionamiento de los equipos deben efectuarse con más precisión que en los casos anteriores. El sistema que se utilizará efectivamente en cada lugar deberá elegirse cuidadosamente, sincronizándose asimismo con las nuevas instalaciones y ampliaciones de los sistemas de transmisión y conmutación. Es primordial tener en cuenta las instalaciones existentes y las limitaciones locales, así como los objetivos de los planes maestros a largo plazo.

9.2.4 Planificación a corto plazo con programas anuales

Los planes a corto plazo deben abarcar en general un máximo de tres años. Incluyen un programa de realización que especifica los requerimientos de recursos en intervalos anuales para el período total. Para cada proyecto, se efectúa una estimación de los recursos financieros. Esto constituye la base de la preparación del presupuesto. Las Administraciones pueden adoptar entonces unas de las dos posibles decisiones siguientes:

- Se acepta el plan y se pasa a la fase de realización efectiva del trabajo
- No se acepta el plan y tras reexaminar los objetivos o métodos utilizados, se prepara otra vez un plan con nuevas hipótesis.

9.2.5 Ideas Generales

A pesar de la incertidumbre de los planes a largo plazo, es preciso utilizar un largo período de estudio, de 20 años como mínimo, para comparar soluciones alternativas para el desarrollo de la red. Muchas experiencias en diversos países han demostrado que la mayoría de los graves errores de la planificación de la red se deben a la ausencia de las planificaciones a largo plazo y estratégicas.

Con la planificación a corto plazo solamente, tienden a adoptarse las decisiones en función de la planta existente, posponiéndose todas las grandes inversiones tan a menudo como sea posible. Esto puede comprometer el futuro, originando gastos de funcionamiento mayores y dificultades posteriores para el desarrollo de la red.

Los planes a corto plazo sucesivos, no son capaces de tener en cuenta los beneficios debidos a la introducción de nuevas tecnologías o de la construcción de nuevos edificios. Tienden a prolongar los errores de la estructura de la red existente y a posponer dificultades que posteriormente será más costoso resolver. Para un plan estratégico y un plan maestro, el alcance en años debe elegirse de tal forma que ya no tenga ninguna influencia la planta existente.

Resumiendo, los planes a corto plazo no sólo se elaboran para proporcionar un refuerzo inmediato cuando es necesario, sino que ayuda también a cumplir los objetivos de los planes a largo plazo. Cada plan a corto plazo debe consumir una parte de la inversión total requerida por la red deseada, definida por el plan a largo plazo. El planificador debe buscar un equilibrio en su trabajo entre la ejecución de los planes sucesivos a corto plazo y la actualización de los planes a largo plazo.

9.3 Tecnologías de Redes de Telecomunicaciones

9.3.1 Redes de Core

9.3.1.1 MPLS (Multiprotocol Label Switching)

El gran aumento de conexiones a Internet en el mundo, sumado a la creciente demanda de nuevos y más variados servicios de telecomunicaciones, obliga a una renovación sostenida de las tecnologías en el área de las telecomunicaciones. Cada vez se necesitan mayores capacidades de transmisión, almacenamiento, procesamiento y de nuevas funcionalidades que deben cumplir las redes para lograr objetivos específicos.

MPLS es una tecnología de comunicación que cumple con dichos requisitos y que es tremendamente utilizado en las redes de backbone por su gran confiabilidad, rapidez, integración de QoS y VPNs, y por la versatilidad que tiene para adoptar las características de todas las tecnologías de transmisión que existen.

MPLS integra diversos tipos de redes así como ATM, Frame relay, IP, Ethernet y ópticas.

Esto tiene una gran ventaja frente a otras tecnologías, ya que no sería necesario gateways especiales para compatibilizar esta red con redes ya existentes, por lo que no sería necesario invertir de más para integrar las distintas redes en uso.

MPLS es un método de gran eficiencia para distribuir paquetes a través de una red. Utiliza routers en el borde de la red para marcar con etiquetas a cada uno de los paquetes que ingresan a ésta.

En la red principal (Core), los switches ATM o los routers de ésta, conmutan los paquetes de acuerdo a las etiquetas que éstos poseen, con una mínima búsqueda en el encabezado.

MPLS integra las capacidades de gestión de tráfico y de rendimiento de la capa de enlace de datos (Data Link Layer 2), con la escalabilidad y flexibilidad del enrutamiento de capa de red (Network Layer 3). Esta tecnología es aplicable a cualquier red de conmutación de capa 2, pero tiene grandes ventajas si se implementa en red de ATM. También integra el ruteo IP con la conmutación ATM ofreciendo redes IP sobre ATM escalables.

En contraste con la conmutación de etiquetas (label switching), el ruteo IP convencional está basado en el intercambio de información de las rutas de la red. Mientras un paquete IP atraviesa la red, cada router extrae, del encabezado de capa 3, toda la información necesaria para reenviar estos paquetes en cada punto de la red. Con esta información se determina el nuevo paso que dará el paquete a través de la red.

Este proceso se repite en cada router de la red, en donde se debe determinar la dirección de reenvío óptima.

En las redes IP es muy difícil realizar una ingeniería de tráfico, ya que todos los paquetes a un mismo destino son tratados de la misma manera. Además no es fácil tomar en cuenta otros aspectos que tiene relación con las direcciones, así como la pertenencia a una VPN (Virtual Private Network).

El principal concepto de MPLS es asignar a cada uno de las celdas (capa 2) o paquetes (capa 3) una etiqueta de tamaño fijo. Los conmutadores de etiquetas realizan una búsqueda dentro de sus tablas basadas en las etiquetas para determinar hacia donde deben ser enviados los datos.

Las etiquetas incluyen información muy importante que permiten extraer la siguiente información referente al ruteo de los paquetes:

- Destino.
- Procedencia.
- Pertenencia a alguna VPN.
- Información de calidad de servicio extraída del RSVP.
- La ruta de los paquetes escogida con ingeniería de tráfico.

Al comparar conmutación de paquetes con conmutación de etiquetas, en ésta última, el análisis completo del encabezado de capa 3 se realiza una sola vez, en el LSR (Label Switch Router) que se ubica en el borde de la red MPLS. El LSR le asigna una etiqueta de tamaño fijo al encabezado de capa 3.

Con este método, en cada router perteneciente a la red MPLS, sólo se debe examinar la etiqueta de la celda o paquete entrante, para así enviar a este paquete o celda en la dirección apropiada a través de la red. A otro extremo de la red MPLS, otro LSR tiene la obligación de asignar un encabezado apropiado para los datos relacionados con la etiqueta recibida.

En definitiva, se puede decir que la conmutación de etiquetas integra funciones de enrutamiento y de conmutación (switching), combinando la información acerca del estado de los enlaces en la red suministrada por los routers, más los beneficios en ingeniería de tráfico alcanzado por las capacidades de optimización de los switches (conmutadores).

9.3.1.1.1 Estructura de una red MPLS

La estructura típica de redes MPLS utilizadas por los proveedores se muestra en la Figura 47.

Los elementos básicos en una red de conmutación de etiquetas son:

- **Edge Label Switch Router (Edge LSR):** están localizados en borde de la red y realizan servicios de valor agregado de la capa de red (modelo OSI) y le asigna etiquetas a los paquetes entrantes. Estos equipos pueden ser router o switches LAN multicapa.
- **ATM Label Switch Routers:** Estos equipos conmutan paquetes o celdas etiquetados a través de estas etiquetas. Además de conmutar etiquetas, éstos deben soportar enrutamiento de capa 3 y conmutación de capa 2.
- **Label Distribution Protocol (LDP):** El LDP es utilizado en conjunto con los protocolos estándares de enrutamiento de redes para distribuir información de las etiquetas entre los equipos en una red de conmutación de etiquetas.

Una red MPLS consiste en varios Edge LSRs alrededor de un core compuesto de Label Switch Routers (LSRs). Los sitios de abonados están conectados al proveedor de la red MPLS.

Típicamente hay cientos de sitios de abonados conectados a un solo Edge LSR. Normalmente el Equipamiento del lado del cliente (Customer Premises Equipment – CPE) utiliza el encaminamiento IP normal para encaminar los paquetes, pero rara vez soportan MPLS.

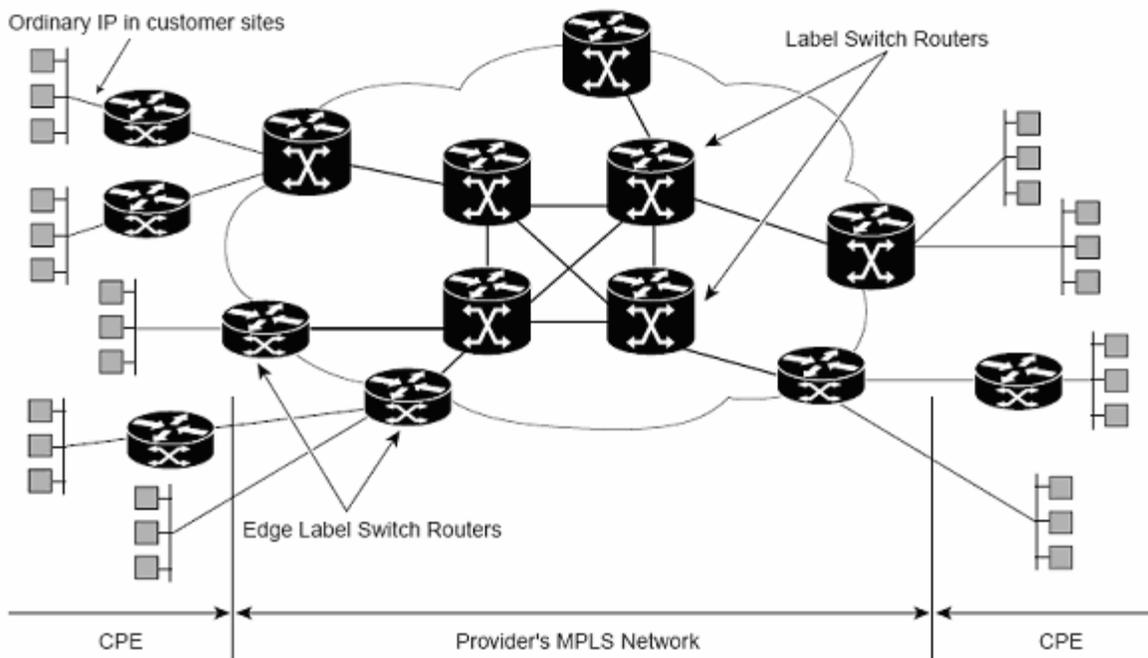


Figura 47: Estructura típica de una red MPLS

9.3.1.1.2 Aplicaciones MPLS

Las redes MPLS permiten tres aplicaciones principales, de las cuales dos de ellas se utilizan simultáneamente.

A continuación se presentan algunas características de estas aplicaciones:

- **Integración IP+ATM:** MPLS integra completamente los servicios IP directos en los switches ATM. El enrutamiento IP y el software del LDP residen directamente en los switches ATM. Por lo tanto MPLS permite que los switches ATM puedan soportar un óptimo multicast IP, clase de servicio IP, Resources Reservation Protocol (RSVP) y redes virtuales privadas (Virtual Private Networks – VPN).
- **Servicio IP de redes privadas virtuales (VPN):** Un servicio VPN es la infraestructura necesaria para servicios de intranet o extranet ofrecidos por un proveedor a clientes corporativos. MPLS, en combinación con el BGP, permite al proveedor de la red soportar miles de usuarios de VPNs. En este sentido MPLS y BGP ofrecen una manera muy flexible, escalable y manejable de proveer servicios de VPNs a través de equipos ATM y equipos basados en conmutación de paquetes.
- **Enrutamiento IP Explícito e Ingeniería de Tráfico:** Un importante problema en las redes IP actuales, es la poca habilidad para ajustar de manera fija los flujos de tráfico IP y hacer un mejor uso de los anchos de banda disponibles en la red. Por otra parte, también existe una falencia en la capacidad de disminuir ciertos flujos por una ruta, al momento de ser necesitados por alguna clase particular de tráfico. MPLS utiliza “Label Switched Path” (LSPs), que son parecidos a los “Virtual Circuits” de ATM, los cuales pueden ser implementados por equipos basados en ATM y en conmutación de paquetes. La capacidad

que MPLS posee en cuanto a ingeniería de tráfico IP utiliza LSPs especiales, los cuales hacen un ajuste fino a los tráficos IP de la red.

9.3.1.1.3 Redes Privadas Virtuales MPLS

Las redes virtuales MPLS (VPNs) entregan una conexión a escala empresarial de una red privada con las características normales de este tipo de redes, pero implementadas sobre una infraestructura compartida. Esto quiere decir que una VPN MPLS puede ser construida sobre la Internet, o sobre la infraestructura de un proveedor de servicios IP, Frame Relay o ATM. Las empresas que montan sus redes internas (intranet) sobre un servicio VPN, disfrutan de la misma seguridad, prioridad y confiabilidad que tienen en su red privada propia.

Las VPNs basadas en IP pueden extender sus redes internas a través de enlaces WAN para alcanzar oficinas remotas, usuarios móviles y cualquier destino que se desee. Estas redes también soportan conexiones con usuarios pertenecientes a las redes externas (extranet).

9.3.1.2 Asynchronous Transfer Mode (ATM)

ATM es una tecnología de comunicación orientada a la conexión, en la cual se establece una conexión entre los dos extremos de la comunicación antes de que el intercambio de datos se lleve a cabo.

Esta tecnología particiona los datos a enviar en pequeñas celdas de tamaño fijo de 53 bytes, 48 bytes de datos y 5 bytes de información de la cabecera.

ATM ha sido implementado en numerosas compañías de telecomunicaciones en el núcleo de las redes de área extensa (WAN), donde ha tenido un gran éxito.

Por otra parte, ATM falló en su objetivo de ser utilizado ampliamente como tecnología de las redes LAN. Sin embargo se ha ganado un lugar importante en las conexiones de acceso ADSL.

Una conexión ATM se basa de celdas de información que viajan a través de un circuito virtual (VC). Estas celdas provienen de diversas fuentes, que se representan por generadores de bits, algunas con tasas de transferencia constantes como la voz y otras a tasas variables tipo ráfagas (bursty traffic) como los datos.

Cada celda está compuesta por 53 bytes, de los cuales 48 son para un pedazo de información y los restantes para uso de campos de control (cabecera) con información de "quién soy" y "donde voy". Esta celda es identificada por un "virtual circuit identifier" VCI y un "virtual path identifier" VPI dentro de estos campos de control, que incluyen tanto el enrutamiento de celdas como el tipo de conexión.

La organización de la cabecera (header) variará levemente dependiendo de si la información relacionada es para interfaces de red a red o de usuario a red. Las celdas son enrutadas individualmente a través de los conmutadores basados en estos identificadores. Estos tienen sólo significado local, ya que pueden cambiar en cada interfaz.

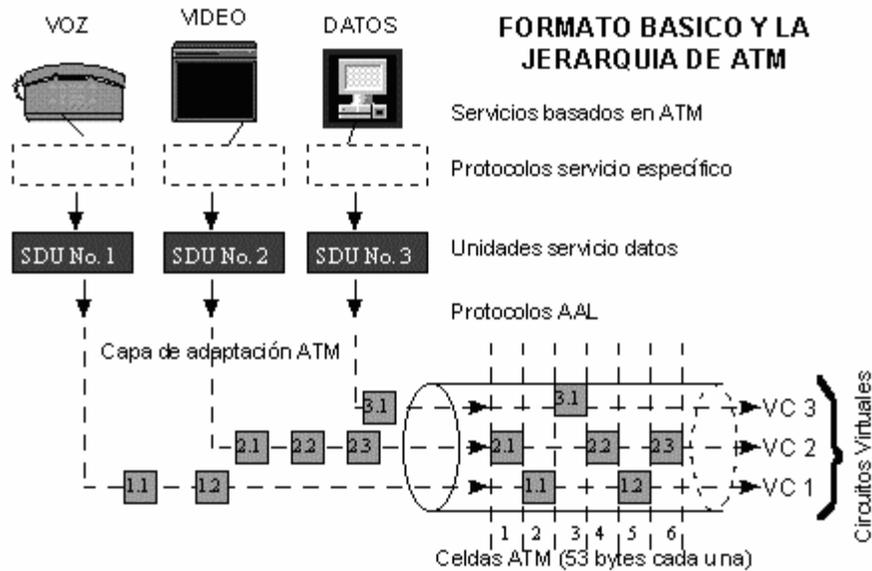


Figura 48: Diagrama Básico del funcionamiento de ATM

La técnica ATM multiplexa muchas celdas de circuitos virtuales en una ruta (path) virtual colocándolas en particiones (slots), similar a la técnica TDM. Sin embargo, ATM llena cada slot con celdas de un circuito virtual a la primera oportunidad, similar a la operación de una red conmutada de paquetes. La Figura 49 describe los procesos de conmutación implícitos los VC switches y los VP switches.

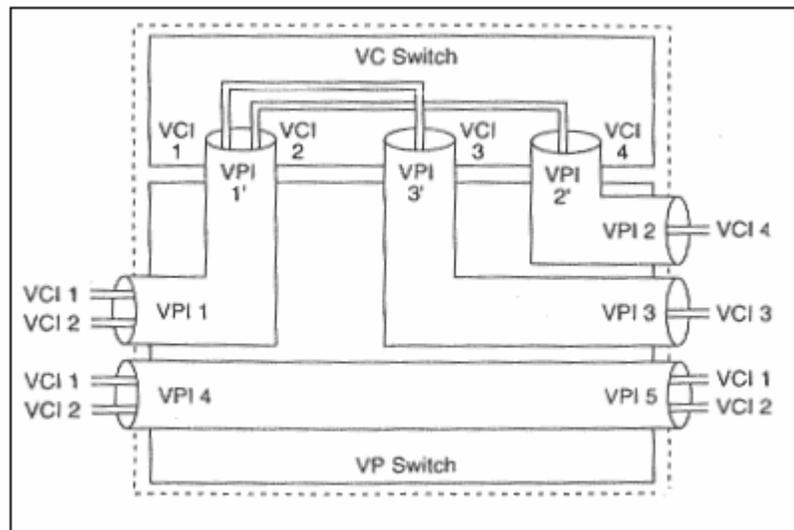


Figura 49: Ejemplo de Conmutación de Circuitos Virtuales y de Rutas Virtuales

A diferencia de muchas tecnologías LAN como Ethernet, que especifica ciertos medios de transmisión, ATM es independiente del transporte físico. Las celdas ATM pueden ser transportadas en redes SONET (Synchronous Optical Network), SDH (Synchronous Digital Hierarchy), T3/E3, TI/EI o aún en modems de 9600 bps.

9.3.1.3 Metro Ethernet

Metro Ethernet es una arquitectura de red dedicada a entregar servicios para interconectar LANs ubicadas a grandes distancias usando UNIs Ethernet, a través de redes MAN o WAN. Estas redes deben soportar múltiples servicios y aplicaciones, así como prestaciones de tiempo real, emulación de circuitos, flujo continuo de datos de video y audio, etc.

Metro Ethernet ofrece algunos beneficios como:

- **Fácil uso:** Sistema muy simple de configurar, operar y de manejar cuando se interconecta con Ethernet.
- **Economía:**
 - Ethernet es muy utilizado en el mercado mundial.
 - Se puede acceder a una conexión de banda ancha a un bajo costo.
- **Flexibilidad:** Las redes Ethernet permiten variar en corto tiempo y de una manera muy eficiente sus atributos, así como el ancho de banda y la cantidad de usuarios.

En la Figura 50 se presenta un esquema que permite mirar de manera amplia las características de las redes core Metro Ethernet.

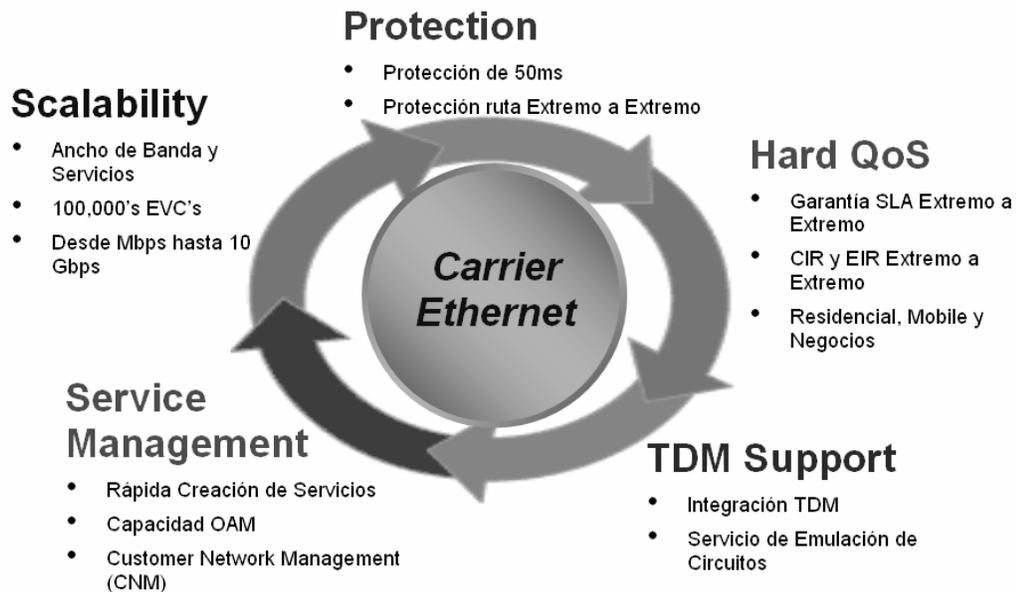


Figura 50: Característica de Redes Metro Ethernet

9.3.1.3.1 Modelo básico

El modelo básico de una red Metro Ethernet (Figura 51) se compone de una red core MEN (Metro Ethernet Network) a la cual los usuarios se conectan a través de UNIs Ethernet utilizando CEs (Customer Equipment), que pueden ser routers o bridges IEEE 802.1Q (Virtual LANs). La UNI es una interfaz estándar Ethernet y el punto de demarcación entre el equipo cliente y el proveedor de servicio MEN. La velocidad a la que los usuarios se pueden conectar a la MEN depende de la UNI, la cual puede ser de 10Mbps, 100Mbps, 1 Gbps o 10 Gbps.

Los atributos principales que debe poseer una UNI en una red MEN son:

- Identificador, tipo de medio, velocidad.
- Soporte de VLAN tag.
- Multiplexación de servicio.
- Atributo de Bundling.
- Filtros de Seguridad.

Las redes MEN pueden ser constituidas por una variedad de tecnologías y protocolos de transporte tales como SONET, DWDM, MPLS, RPR, etc.

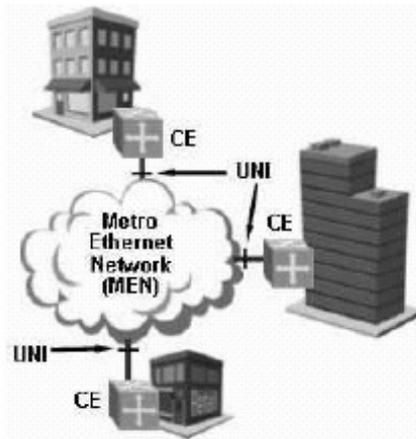


Figura 51: Modelo Básico

Otros elementos primordiales de esta tecnología son los EVCs (Ethernet Virtual Connection), los cuales cumplen la función de asociar dos o más UNIs, formando LANs virtuales (VLANs) y habilitando la transferencia de tramas Ethernet entre ellos. Además estos EVCs impiden la transferencia de datos entre usuarios que no pertenecen al mismo EVC, por lo que se tiene privacidad y seguridad.

Los EVCs garantizan:

- **Ancho de Banda:** Parámetros de tráfico (CIR, EIR, CBS, EBS, etc).
- **Calidad de Servicio:** Parámetros de prestaciones (Delay, Jitter, Packet Loss).
- **VLANs:** Parámetros de Clase de Servicio (VLAN-ID, 802.1p).
- **Gestión de Entrega de Datos:** Atributo de Service frame delivery, Unicast frame delivery, Multicast frame delivery.
- **Servicio de Multiplexación:**

El *Metro Ethernet Forum* ha definido dos tipos de EVCs:

- Punto a Punto (E-Line).
- Multipunto a Multipunto (E-LAN).

9.3.1.3.2 Definición de Servicios MEF

Las redes MEN pueden entregar dos tipos de servicios:

- Ethernet Line (E-Line) service Type: Punto a Punto.
- Ethernet LAN (E-LAN) service Type: Multipunto a Multipunto.

9.3.1.3.2.1 Ethernet Line Service Type

Provee un EVC punto a punto entre dos UNIs como se puede apreciar en la Figura 52, por lo que se tendrá una conexión Ethernet entre estos dos puntos.

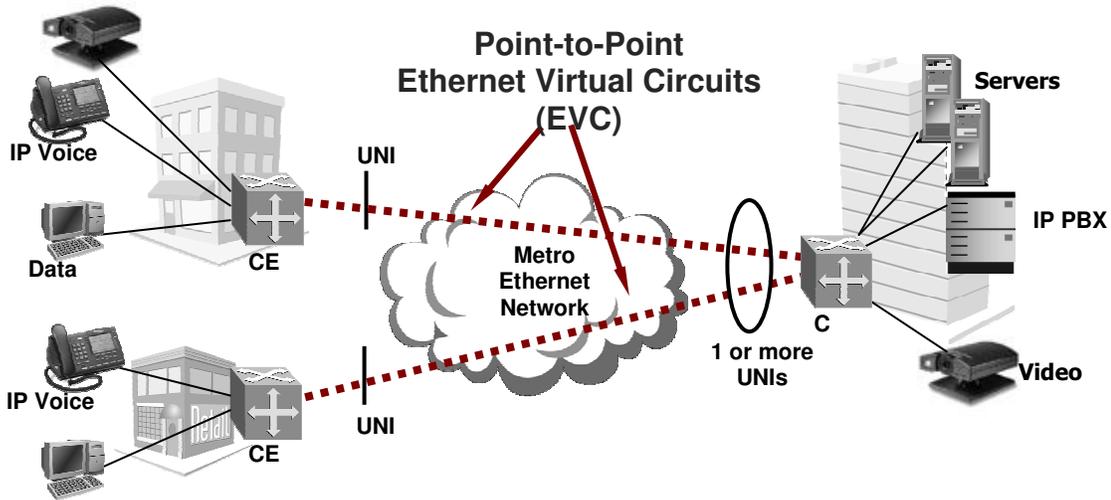


Figura 52: Servicio Punto a Punto

El servicio E-Line permite bastante variedad, desde conexiones simples que entregan un ancho de banda simétrico, no fiable (Best-Effort), entre dos interfaces UNI de 10 Mbps, hasta conexiones más complejas que ofrecen una CIR, CBS, EIR y EBS concretas, cumpliendo con retardos, Jitter y pérdidas de paquetes acordados.

9.3.1.3.2.2 Ethernet LAN Service Type

El tipo de servicio E-LAN proporciona conectividad multipunto a multipunto, conectando dos o más UNIs, como se muestra en la Figura 53. Los datos enviados desde una UNI llegarán a 1 ó más UNI destino. Cada uno de ellos está conectado a un EVC multipunto. A medida que va creciendo la red y se van añadiendo más interfaces UNI, éstos se conectarán al mismo EVC multipunto, simplificando enormemente la configuración de la misma. Desde el punto de vista del usuario, la E-LAN se comporta como una LAN.

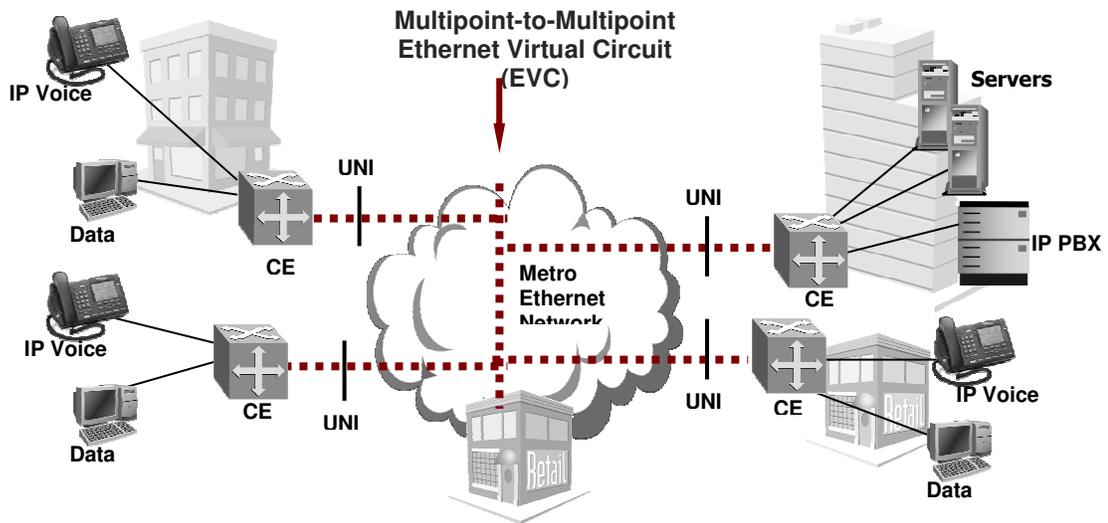


Figura 53: Servicio Multipunto a Multipunto

La E-LAN se usa para interconectar varios usuarios, mientras E-LINE normalmente es usada para conectarse a Internet.

Una E-LAN define el CIR, CBS, EIR y EBS y la velocidad de cada puerto UNI puede ser diferente.

9.3.1.3.2.3 Servicio de Multiplexación

Este servicio es usado para soportar varios EVCs de diferentes velocidades simultáneamente en un solo enlace UNI, como se muestra en la Figura 54. Usando multiplexación se elimina la necesidad de tener diferentes interfaces físicas para tener enlaces a diferentes velocidades.

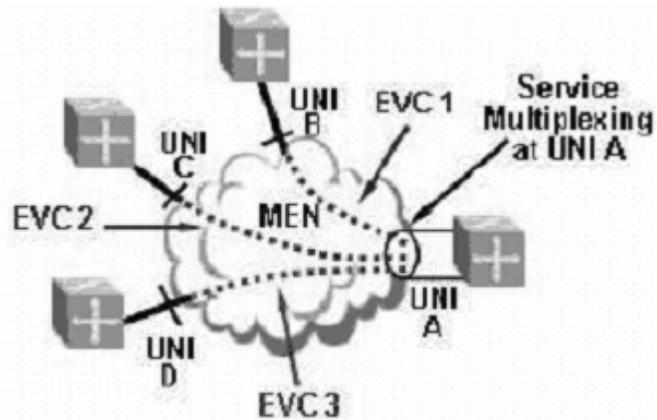


Figura 54: Diagrama de Servicio de Multiplexación

Este servicio aporta algunos beneficios:

- Costo bajo de los equipos, ya que se minimiza el número de routers y switch, y maximiza la densidad de utilización puerto o slots.
- Minimiza espacio, potencia y cableado.
- Simplifica la activación de nuevos servicios.

9.3.1.3.2.4 Servicio de filtrado de seguridad

Algunos servicios ofrecen a los suscriptores especificar filtrado adicional de tramas Ethernet, para agregar seguridad o administrar el tráfico. El servicio puede permitir al suscriptor especificar una lista de direcciones MAC a las cuales se les puede permitir el acceso.

9.3.2 Redes de Distribución

9.3.2.1 Enlaces microondas

La ingeniería de microondas tiene que ver con todos aquellos dispositivos, componentes y sistemas que trabajen en el rango de frecuencias de 300 MHz a 300 GHz. Debido a tan amplio margen de frecuencias, tales componentes encuentran aplicación en diversos sistemas de comunicación.

Básicamente un enlace vía microondas consiste en tres componentes fundamentales: El Transmisor, El receptor y El Canal Aéreo. El Transmisor es el responsable de modular una señal digital a la frecuencia utilizada para transmitir, El Canal Aéreo representa un camino abierto entre el transmisor y el receptor, y como es de esperarse el receptor es el encargado de capturar la señal transmitida y llevarla de nuevo a señal digital.

El factor limitante de la propagación de la señal en enlaces microondas es la distancia que se debe cubrir entre el transmisor y el receptor, además esta distancia debe ser libre de obstáculos. Otro aspecto que se debe señalar es que en estos enlaces, el camino entre el receptor y el transmisor debe tener una altura mínima sobre los obstáculos en la vía, para compensar este efecto se utilizan torres para ajustar dichas alturas.

Un radioenlace esta constituido por equipos terminales y repetidores intermedios. La función de los repetidores es evitar la falta de visibilidad impuesta por la curvatura terrestre y conseguir así enlaces superiores al horizonte óptico.

Los repetidores pueden ser activos o pasivos.

En los repetidores pasivos o reflectores no hay ganancia y sólo se limitan a cambiar la dirección del haz del radioenlace. En cambio los repetidores activos, reciben la señal, y la reenvían aumentando su potencia y además cambiando la dirección del haz.

La distancia cubierta por enlaces microondas puede ser incrementada por el uso de estas repetidoras. Es importante destacar que los obstáculos de la señal pueden ser salvados a través de los reflectores pasivos.

La señal de microondas transmitidas es distorsionada y atenuada mientras viaja desde el transmisor hasta el receptor, estas atenuaciones y distorsiones son causadas por una pérdida de potencia dependiente a la distancia, reflexión y refracción debido a obstáculos y superficies reflectoras, y a pérdidas atmosféricas.

9.3.3 Redes de Acceso

9.3.3.1 Cableadas Fijas

9.3.3.1.1 ADSL

ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) es un sistema de transmisión asimétrico bidireccional digital de la capa de acceso, de alta capacidad, la cual puede transportar datos y señales de voz al mismo tiempo, por el par trenzado de cobre que se usa normalmente para la línea telefónica convencional. Esta característica le dio una gran ventaja a las compañías telefónicas ya que éstas poseían la gran mayoría de las redes de cobre que llegan hasta los hogares de sus abonados.

En un comienzo, las compañías telefónicas invirtieron en equipos para implementar redes ISDN que entregaban un buen ancho de banda. Pero en poco tiempo se vieron sobrepasados por los servicios de banda ancha y telefonía entregados por cable. Esto obligó a las compañías telefónicas a invertir en el sistema ADSL con el cual han dado fuerte lucha en el mercado del acceso Internet de banda ancha.

Esta tecnología utiliza una técnica de modulación de datos a altas velocidades creando tres canales de información por separado. El primer canal es para llevar la señal telefónica, el segundo es para llevar datos uplink, desde el abonado hacia la red, a velocidad media y el tercero es para llevar datos downlink, desde la red hacia el abonado, a alta velocidad.

A pesar de que esta tecnología soporte grandes tasas de transmisión de datos, éstas disminuyen con respecto a la distancia de la conexión.

A continuación se muestran las velocidades de transmisión de datos esperadas para algunas tecnologías xDSL, incluyendo ADSL2 y ADSL2+.

Característica	ADSL	ADSL2	ADSL2+	HDSL	SDSL	VDSL
Velocidad máxima de subida	1 Mbps	1 Mbps	1,2 Mbps	1,544 o 2,0 Mbps	1,544 o 2,0 Mbps	13-52 Mbps
Velocidad máxima de descarga	8 Mbps	12 Mbps	24 Mbps	1,544 o 2,0 Mbps	1,544 o 2,0 Mbps	1,5–26 Mbps
Distancia	2 km	2,5 km	2,5 km	3,65 km	3,65 km	1 km

Tabla 34: Comparación de tecnologías xDSL

ADSL utiliza el tipo de modulación DMT (Discrete Multi-tone Modulation), la cual consiste en el empleo de múltiples portadoras en cuadratura llamadas subportadoras separadas entre sí 4,3125 KHz. Cada una de estas subportadoras está modulada en QAM disponiendo de un ancho de banda de 4KHz, como se muestra a continuación.

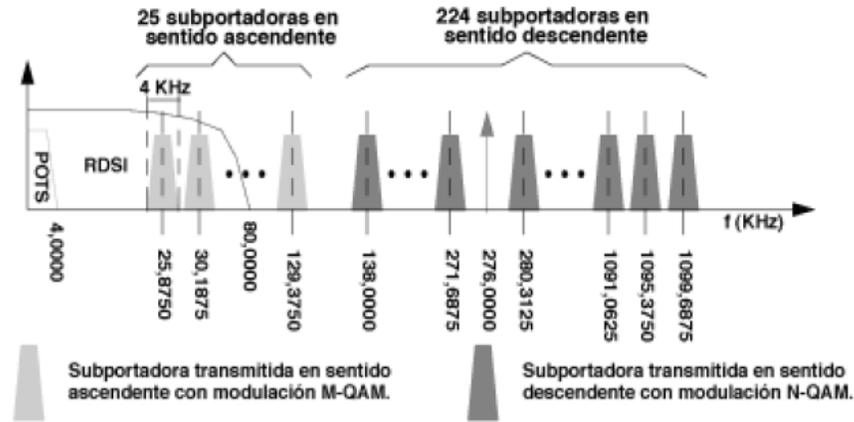


Figura 55: Esquema de la modulación DMT utilizada en ADSL

En los dos extremos de la red de acceso, el extremo de abonado y el extremos de la central local, se necesita separar la comunicación de voz con la comunicación de datos, por lo tanto se utiliza un equipo, llamado “splitter”, el cual tiene la responsabilidad de separa la señal reservada para transportar la voz, de la señal reservada para los datos.

En la Figura 56 se muestra un diagrama que describe la función que cumple este elemento.

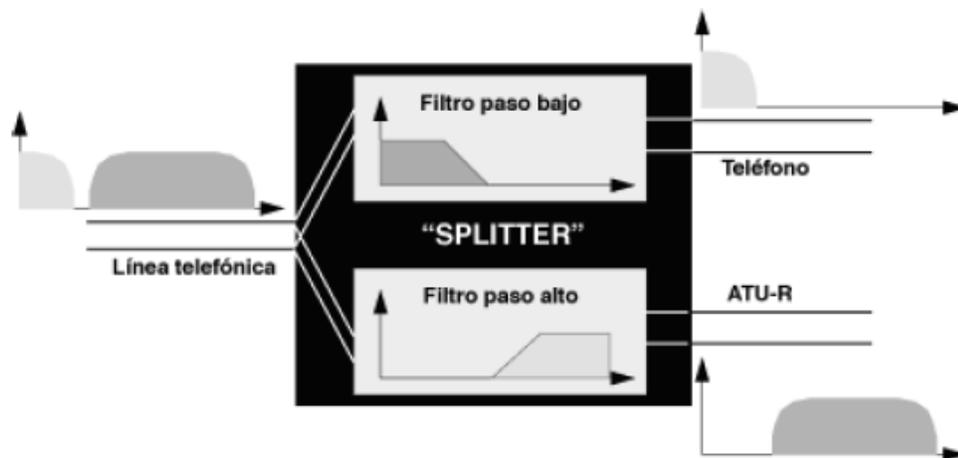


Figura 56: Diagrama de funcionalidad de Splitter

Luego de pasar por el splitter, la señal de baja frecuencia (voz) se envía al teléfono y la señal de alta frecuencia (datos) es enviada al modem ADSL. En la residencia del abonado, la señal de datos va a un equipo llamado ATU-R (ADSL Transmisión Unit – Remote) y luego al terminal de datos, mientras que en el lado de la central, la señal se envía a un equipo llamado ATU-C (ADSL Transmisión Unit - Central) y luego a la red de datos. Por otra parte, la señal de voz en la oficina central se envía hacia la RTB (Red Telefónica Básica), mientras que en el domicilio del cliente se dirige directamente al teléfono.

En la Figura 57 se aprecia lo descrito anteriormente.

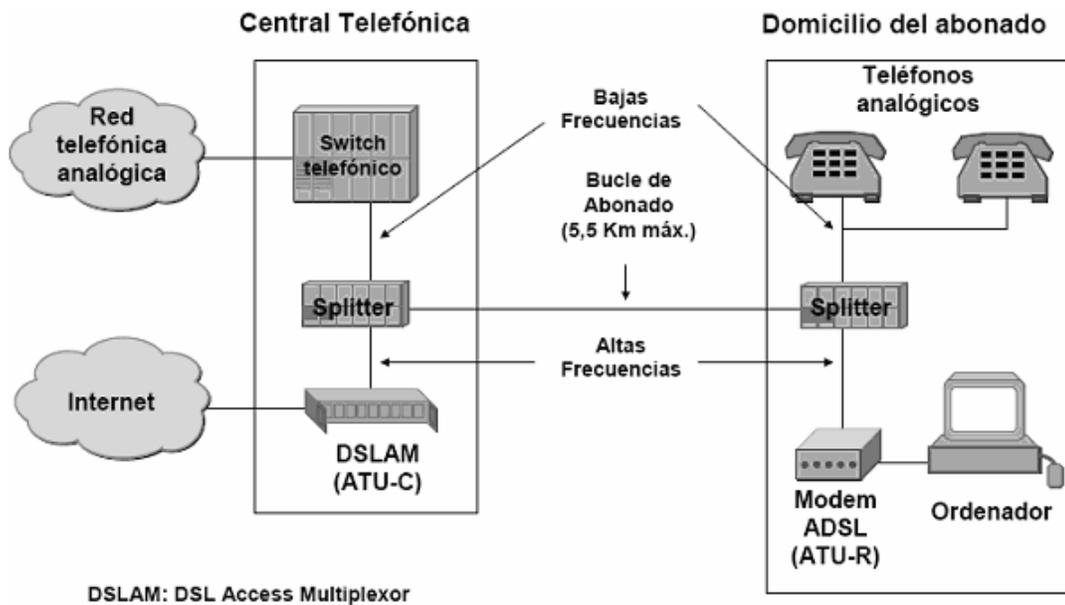


Figura 57: Esquema de comunicación en el sistema ADSL

El ATU-R es el módem ADSL que se instala en las dependencias del cliente.

Las funcionalidades que este equipo posee son las siguientes:

- La evaluación de las características del par de cobre para el reparto del flujo de datos entre las distintas portadoras.
- La provisión de una interfaz de acceso a los equipos del cliente. Normalmente esta interfaz es Ethernet, pero se pueden disponer de otras más como USB, ATM, etc.
- El funcionamiento en modalidad de bridge o de router.
- La conversión de celdas ATM de la información a transmitir, y la evaluación de la calidad de servicio en la información que se transmite.

Por otra parte, en la oficina central se instala otro módem, el ATU-C, que recibe los datos luego de ser redirigidos por el “splitter” que está instalado en la central. Las funciones que cumple el ATU-C son similares a las del ATU-R, sin embargo éste debe trabajar con un mayor número de subportadoras, ya que el sistema ADSL es asimétrico y la señal downlink se compone de más subportadoras que la señal uplink.

Finalmente se debe describir el DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer), un equipo instalado en la oficina central, el cual se compone de múltiples ATU-C que comparten una matriz de conmutación ATM, y de un multiplexor/demultiplexor en un mismo chasis. La matriz de conmutación ATM dirige la información a través de un CVP que llega a la red de datos.

El esquema de conformación del DSLAM se muestra en la Figura 58.

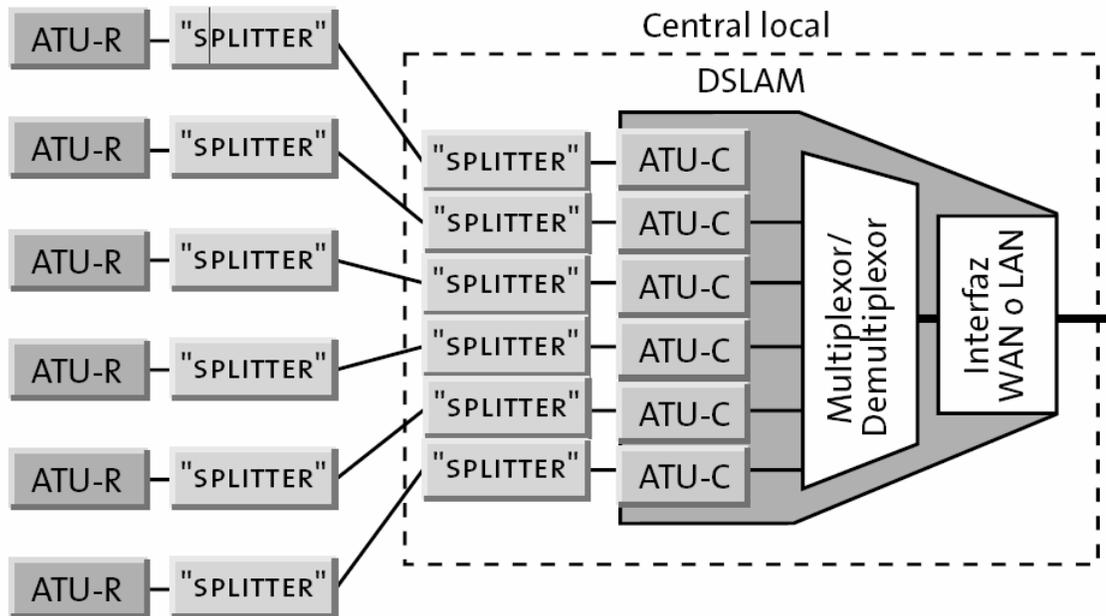


Figura 58: Esquema de composición de un DSLAM

9.3.3.1.2 Ethernet

El término *Ethernet* se refiere a una familia de productos de red de área local (LAN) que utilizan el estándar IEEE 802.3, el cual define el protocolo de acceso al medio CSMA/CD, aunque actualmente se le llama Ethernet a todas las redes cableadas que usen el formato de trama que se describe más adelante, aunque utilice CSMA/CD.

Ethernet define las características de cableado y señalización de nivel físico, y los formatos de trama del nivel de enlace de datos del modelo OSI.

Esta tecnología fue estandarizada por la especificación IEEE 802.3, que define la forma en que los puestos de la red envían y reciben datos sobre un medio físico compartido que se comporta como un bus lógico, independientemente de su configuración física.

Originalmente fue diseñada para enviar datos a 10 Mbps, aunque posteriormente ha sido perfeccionada para trabajar a 100 Mbps, 1 Gbps o 10 Gbps y se habla de versiones futuras de 40 Gbps y 100 Gbps.

Esta tecnología utiliza el protocolo de acceso al medio CSMA/CD hasta sus versiones de 1Gbps. Actualmente Ethernet es la tecnología de redes locales más empleada en el mundo abarcando aproximadamente el 85% de éstas.

Su gran éxito se debe a que posee las siguientes características:

- Es fácil de entender, implementar, manejar y mantener.
- Muy buena relación entre costo y velocidad.
- Goza de una gran flexibilidad en cuanto a las topologías que se pueden utilizar.
- Garantiza la interoperabilidad entre productos de distintos fabricantes.

Estas características favorables, combinadas con el hecho de que soporta casi todos los protocolos de la capa de red del Modelo OSI, han provocado su gran aceptación en el mercado de las telecomunicaciones.

9.3.3.1.2.1 Elementos de una red Ethernet

Los elementos que componen una red ethernet son los nodos de red y el medio de interconexión.

Los nodos de red se pueden clasificar en dos grupos:

- **Equipos Terminales de Datos (DTE):** Son dispositivos que generan los datos, o que son el destino final de éstos, como por ejemplo los computadores personales (PCs), las estaciones de trabajo o cualquier tipo de servidores.
- **Equipos de Conmutación de Datos (DCE):** Son elementos de red intermediarios entre los DTEs. Su función principal es la de recibir y retransmitir datos para que finalmente lleguen al destino correcto. Ejemplos de DCEs son los switches, routers, hubs, repetidores, tarjeta de interfaz de red, etc.

A continuación se describen algunos de los elementos típicos de las redes ethernet:

- **Tarjeta de Interfaz de Red o NIC:** Permite el acceso de una computadora a una red local. Cada adaptador posee una dirección MAC (48 bits) que la identifica de manera única en la red. Una computadora conectada a una red se denomina *nodo*.
- **Repetidor:** aumenta el alcance de una conexión física, recibiendo las señales y retransmitiéndolas, para evitar su degradación a lo largo del medio de transmisión, lográndose un alcance mayor. Usualmente se usa para unir dos áreas locales de igual tecnología y sólo posee dos puertos. Opera en la capa física del modelo OSI.
- **Concentrador o Hub:** Funciona como un repetidor, pero permite la interconexión de múltiples nodos. Su funcionamiento es relativamente simple, ya que recibe una trama de Ethernet y la repite por todos sus puertos, sin llevar a cabo ningún proceso de selección sobre el destino de ésta. Opera en la capa física del modelo OSI.
- **Puente o bridge:** Interconecta dos segmentos de red, haciendo el cambio de tramas (frames) entre las redes de acuerdo con una tabla de direcciones que indica en qué segmento está ubicada la dirección MAC de destino.

- **Conmutador o Switch:** Funciona como el *bridge*, pero permite la interconexión de múltiples segmentos de red. Además trabaja a velocidades más rápidas y es más sofisticado. Los *switches* permiten otras funcionalidades, como fabricar *redes virtuales* y posibilitar su configuración a través de la propia red. Este equipo funciona básicamente en las capas, física y de enlace de datos del modelo OSI, por lo que está capacitado para procesar información de las tramas y así poder, por ejemplo, conmutar las tramas según las tablas de direcciones que posee.

En la siguiente parte, se presenta en detalle la composición de la trama Ethernet.

9.3.3.1.2.2 Formato de la trama de Ethernet

Trama Ethernet

Preámbulo	SOF	Destino	Origen	Tipo o Largo	Datos	FCS
7 bytes	1 byte	6 bytes	6bytes	2 bytes	46 a 1500 bytes	4 bytes

Figura 59: Trama Ethernet

Preámbulo

Campo de 7 bytes (56 bits) que contiene una secuencia de bits usada para sincronizar y estabilizar el medio físico antes de iniciar la transmisión de datos. El patrón del preámbulo es:

10101010 10101010 10101010 10101010 10101010 10101010 10101010

Inicio de Trama (SOF)

Campo de 1 byte (8 bits) que contiene un patrón de 1 y 0 alternados, y que termina con dos 11 consecutivos. El patrón del SOF es: 10101011. Indica que el siguiente bit será el bit más significativo del campo de dirección (MAC) de destino.

Aunque se detecte una colisión durante la emisión del preámbulo o del SOF, el emisor debe continuar enviando todos los bits de ambos hasta el fin del SOF.

Dirección de destino

Campo de 6 bytes (48 bits) que especifica la dirección MAC de tipo EUI-48 hacia la que se envía la trama. Esta dirección de destino puede ser de una estación, de un grupo *multicast* o la dirección de *broadcast* de la red. Cada estación examina este campo para determinar si es que debe aceptar el paquete.

Dirección de origen

Campo de 6 bytes (48 bits) que especifica la dirección MAC de tipo EUI-48 desde la que se envía la trama. La estación que deba aceptar el paquete conoce a través de este campo la dirección de la estación origen con la cual intercambiar datos.

Tipo o Largo

Campo de 2 bytes (16 bits) que identifica el protocolo de red de alto nivel asociado con el paquete, o en su defecto la longitud del campo de *datos*. Si el Campo *Tipo o Largo* contiene un valor menor que 1500, el número de bytes en la campo de *datos* es igual al número del campo *Tipo o Largo*. Por el contrario, si el número contenido en el campo *Tipo o Largo* es mayor que 1500, éste campo se interpreta como la identificación del tipo de trama que se está enviando o recibiendo.

Datos

Campo de 46 a 1500 Bytes de longitud. Cada Byte contiene una secuencia arbitraria de valores. El campo de datos es la información recibida del nivel de red, la cual también incluye las cabeceras de los niveles 3 y 4 del modelo OSI.

Secuencia de Verificación de Trama (FCS)

Campo de 32 bits (4 bytes) que contiene un valor de verificación CRC (control de redundancia cíclica). Este CRC se calcula por el emisor sobre todo el contenido de la trama, y se vuelve a calcular por el receptor para compararlo con el recibido y verificar la integridad de la trama.

9.3.3.1.2.3 Control de acceso al medio CSMA/CD

9.3.3.1.2.3.1 Definición de CSMA/CD

El estándar IEEE 802.3 especifica el método de control del medio (MAC) denominado CSMA/CD por las siglas en inglés de acceso múltiple con detección de portadora y detección de colisiones (carrier sense multiple access with collision detection).

CSMA/CD opera de la siguiente manera:

- Una estación que tiene un mensaje para enviar escucha al medio para ver si otra estación está transmitiendo un mensaje.
- Si el medio esta tranquilo (ninguna otra estación esta transmitiendo), se envía la transmisión.
- Cuando dos o más estaciones tienen mensajes para enviar, es posible que transmitan casi en el mismo instante, resultando en una colisión en la red.
- Cuando se produce una colisión, todas las estaciones receptoras ignoran la transmisión confusa.
- Si un dispositivo de transmisión detecta una colisión, envía una señal de expansión para notificar a todos los dispositivos conectados que ha ocurrido una colisión.
- Las estaciones transmisoras detienen sus transmisiones tan pronto como detectan la colisión.
- Cada una de las estaciones transmisoras espera un periodo de tiempo aleatorio e intenta transmitir otra vez.

9.3.3.1.2.3.2 *Detección de portadora*

La detección de portadora es utilizada para escuchar al medio (la portadora) para ver si se encuentra libre. Si la portadora se encuentra libre, los datos son pasados a la capa física para su transmisión. Si la portadora está ocupada, se monitorea hasta que se libere.

9.3.3.1.2.3.3 *Detección de colisiones*

Luego de comenzar la transmisión, continúa el monitoreo del medio de transmisión. Cuando dos señales colisionan, sus mensajes se mezclan y se vuelven ilegibles. Si esto ocurre, las estaciones afectadas detienen su transmisión y envían una señal de expansión. La señal de expansión de colisión asegura que todas las demás estaciones de la red se enteren de que ha ocurrido una colisión.

9.3.3.1.3 **HFC**

Históricamente, CATV fue un medio diseñado para transportar canales de video analógico en una sola dirección (hacia el usuario), a la mayor cantidad de usuarios y al menor costo.

Durante la década de los 90's, con la entrada de DBS (Direct Broadcast Satellite) y de DSL al mercado, los operadores de cable experimentaron un reto tremendo que ponía en riesgo su supervivencia, ya que los operadores de DBS entregaban una mejor calidad de servicio y con mejores opciones, y por otra parte los operadores de DSL disponían de servicios conjuntos de voz, datos y televisión.

Por lo tanto, para no perder el mercado, los operadores de cable formaron una agrupación llamada "MCNS" (Multimedia Cable Network System Partners, Ltd.), la cual en un trabajo conjunto creó la especificación DOCSIS 1.0 (Data Over Cable Service Interface Specification 1.0). Este estándar fue aceptado en gran parte del mundo y define un cambio en la infraestructura de la red de cable, con el objetivo de aumentar la capacidad soportada por ésta y el soporte de transmisión bidireccional.

Las redes CATV actuales suelen transportar la señal mediante fibra óptica, para cubrir distancias relativamente largas, y coaxial, para la distribución en las proximidades. Se trata de una red híbrida de fibra y coaxial, habitualmente referida como HFC (Hybrid Fiber/Coax). El uso de fibra óptica en la troncal de las redes de cable ha permitido, gracias a su gran capacidad de transmisión, la incorporación de servicios interactivos. Estos servicios, en particular, telefonía, datos e Internet, y vídeo a la carta (VOD, Video On Demand), requieren que la red permita la comunicación en ambos sentidos.

Una red de acceso HFC está constituida por los siguientes elementos:

- **Cabecera:** Es el órgano central desde donde se controla todo el sistema. Suele disponer de una serie de antenas que reciben los canales de TV y radio, así como también información de otras redes para finalmente ser distribuida a los abonados a través de la red HFC.
- **Red Troncal:** Es la encargada de repartir la señal generada por la cabecera a todas las zonas de distribución que abarca la red de HFC. Se compone de anillos ópticos redundantes que unen nodos ópticos entre sí.
- **Nodos ópticos:** Es donde la señal descendente cambia de óptico a eléctrico para seguir su camino a través de la red de distribución y también donde la señal ascendente cambia de eléctrico a óptico para seguir hacia la cabecera por la red troncal.

- Red de distribución: Está compuesta por una estructura tipo bus de coaxial que lleva las señales descendentes hasta la última derivación antes del hogar del abonado. En el caso de la red HFC normalmente la red de distribución contiene un máximo de 2 ó 3 amplificadores de banda ancha y abarca grupos de unas 500 viviendas.
- La Acometida: Es el último tramo de la red HFC. Ésta llega a los hogares de los abonados.
- CMTS (Cable Modem Termination System): Sistema de terminación de módem de cable, situado en la cabecera o concentrador de distribución, que proporciona una funcionalidad complementaria a los módems de cable para que éstos puedan conectarse a una red de área extensa con miras a la transmisión de datos, efectuando la conexión entre la red de televisión por cable y la red de datos. Es el equivalente de DSLAM en las redes ADSL.
- CM (Cable Modem): Modulador-demodulador en las instalaciones del abonado para uso en comunicaciones de datos en un sistema de televisión por cable. Este Dispositivo es el encargado de entregar los datos del usuario a la red de televisión por cable.
- Infraestructura HFC: Incluye la fibra óptica y el cable coaxial, los transmisores ópticos, los nodos ópticos, los amplificadores de radiofrecuencia, taps y elementos pasivos.
- CPE (Customer Premise Equipment): Se compone del ordenador del cliente, junto con los periféricos asociados.

En la Figura 60 se puede apreciar el esquema completo de una red HFC.

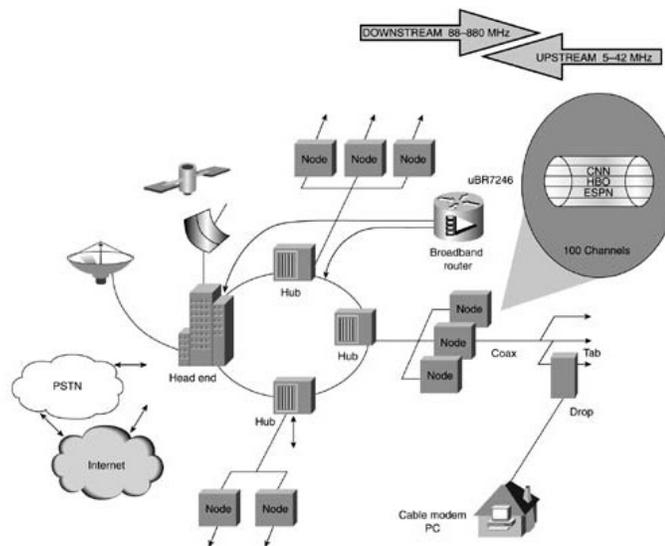


Figura 60: Esquema completo una red HFC

Para las redes HFC, el ancho de banda es la clave en la que se fundamentan las ventajas de este tipo de redes, entre las que se incluyen:

- Posibilidad de ofrecer una amplia gama de servicios tanto analógicos como digitales.
- Soporte de servicios conmutados y de difusión.
- Capacidad de adaptación dinámica a los cambios de la demanda y del mercado, debida, en gran parte, a la gran flexibilidad y modularidad de que están dotadas este tipo de redes.

Una de las complicaciones más grandes de este tipo de redes es el ofrecer el servicio telefónico. Para cumplir con este servicio existen dos posibilidades:

- Overlay
- RF
 - RF hasta la acera
 - RF hasta la casa

9.3.3.1.3.1 Overlay

La primera opción tecnológica existente para ofrecer telefonía por cable consiste en superponer una red de acceso telefónico a la red de distribución de televisión por cable. Esta arquitectura, conocida habitualmente como overlay, combina dos tecnologías diferentes sobre las que se tiene una gran experiencia por separado, por lo que su construcción resulta relativamente sencilla. Y aunque no se alcanza con ella un nivel alto de integración de la red, tiene la capacidad de poder ser diseñada de tal manera que sea de rápido despliegue, económica, flexible, fiable, y que tenga en cuenta una posible evolución futura hacia arquitecturas más avanzadas y con un mayor nivel de integración.

La arquitectura overlay lleva un canal de 64 Kbps hasta cada uno de los hogares pasados por la red, a través de un cable de pares, directamente desde el nodo óptico. En el nodo, las señales a 64 Kbps se multiplexan para formar canales agregados a 2 Mbps, y éstos a su vez forman canales de niveles jerárquicos superiores de 8, 34 y 140 Mbps, hasta llegar a la cabecera. En la cabecera, un conmutador local hace de interfaz entre la red overlay y la red telefónica conmutada (RTC). En este tipo de arquitectura, por tanto, el operador pone a disposición de cada abonado un canal telefónico dedicado, y toda la concentración del tráfico se realiza en la cabecera.

9.3.3.1.3.2 RF

La segunda opción tecnológica consiste en aprovechar la infraestructura de la red HFC de CATV para transportar las señales telefónicas en el espectro de RF de la misma. Se reservan para el tráfico telefónico ciertos canales del espectro descendente (86-862 MHz.) y del de retorno (5-55 MHz.). No se dedica a cada abonado un canal de 64 Kbps, sino que todos los abonados de una misma zona de distribución comparten una serie de ranuras temporales de 64 Kbps a las que acceden según un esquema TDMA (Acceso Múltiple por División Temporal). La propia red HFC realiza, por consiguiente, una concentración de tráfico telefónico previa a la que tiene lugar en el conmutador local de la cabecera, y en un grado que dependerá de la calidad de servicio que se quiera ofrecer y del dimensionado del sistema de acceso telefónico.

Esta concentración del tráfico permite simplificar los equipos digitales de cabecera, ahorrar ancho de banda en la red HFC, y flexibilizar el sistema frente a problemas de ruido e interferencias puesto que la asignación de canales de RF a los abonados se realiza de manera dinámica.

Dentro de la segunda opción tecnológica descrita existen dos variantes: RF hasta la acera (RF to the Kerb) y RF hasta el hogar (RF to the Home).

La primera variante consiste en llevar las señales telefónicas en su formato de RF hasta un nodo telefónico en el que se convierten a su formato digital en banda base (señales telefónicas de 64Kbps). De este nodo parten pares trenzados hasta cada uno de los hogares. En la segunda variante la red de distribución de coaxial de la red HFC lleva hasta los hogares todas las señales provenientes de la cabecera, tanto las de TV y otros servicios, como las señales de telefonía. Es, por tanto, en el hogar del abonado donde se realiza la conversión de RF a señal digital de 64 Kbps en banda base.

La diferencia fundamental entre ambas variantes es el punto donde se pasa de RF a 64 Kbps. En el primer caso, un solo equipo localizado en un nodo telefónico sirve a unas decenas de hogares mediante líneas punto a punto de pares trenzados, y el resto de servicios llegan a través de la red de distribución de coaxial. En el segundo caso, todas las señales llegan a través de cable coaxial, y la conversión se realiza en el hogar del abonado, por lo que éste deberá disponer de un equipo que haga de interfaz entre la red HFC y su terminal telefónico.

La arquitectura overlay es una solución considerablemente más cara, aunque se utilicen las canalizaciones del cable coaxial, ya que se debe instalar toda una nueva red. Sin embargo, si la penetración del servicio aumenta, los costos de las tres opciones comienzan a igualarse. De todas formas, la solución más económica es las de llevar RF hasta la acera, además que tiene un gran nivel de integración.

9.3.3.2 Inalámbrica Fijas

9.3.3.2.1 WiMAX

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) es una tecnología de conexión de redes inalámbrica que puede conseguir grandes tasas de transmisión de datos, alrededor de (70 Mbps), y posee un alcance de hasta 48 km. Esta tecnología se puede utilizar para entregar servicio de Internet, telefonía y televisión a poblaciones aisladas, donde no era rentable entregar estos servicios de manera cableada. WiMAX se basa en los estándares IEEE 802.16 y ETSI HiperMAN.

Este sistema se puede usar para conexiones punto-multipunto o punto – punto. Incluso se puede combinar con sistemas WiFi (estándar 802.11) para el acceso final a los usuarios, llegando con WiMAX a puntos de distribución dentro de condominios o edificios, para luego ser desplegado hasta el cliente final a través de conexiones WiFi.

Por este motivo, WiMAX puede ser considerado como red de distribución o como red de acceso. Esto se muestra en la Figura 61.

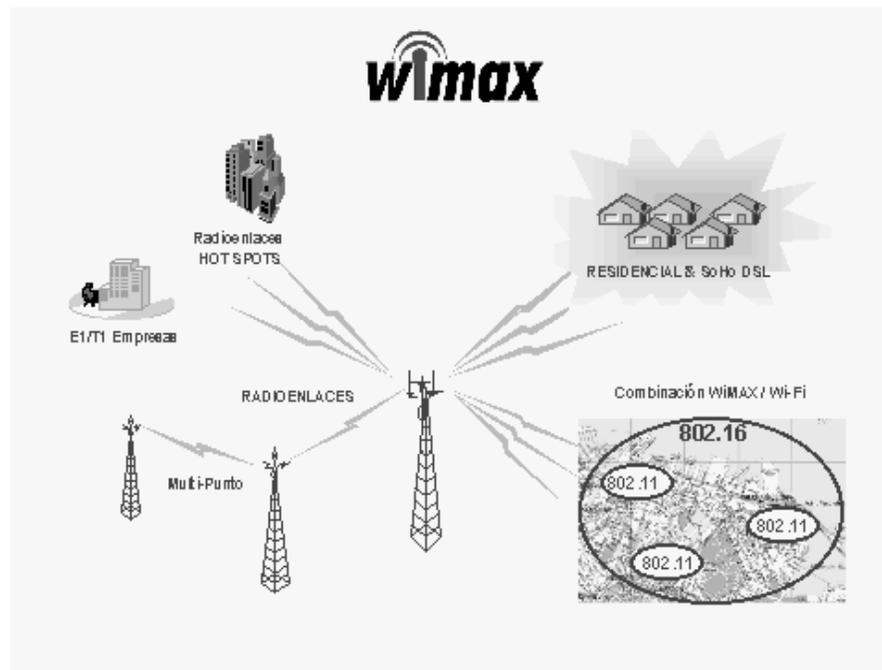


Figura 61: Diagrama de despliegue de WiMAX

Al comienzo, WiMAX fue pensada como una tecnología de enlaces de radio fijos con visión directa (LoS) entre el transmisor y el receptor, que utilizaría rangos de frecuencia entre 10 y 66 GHz, e ideada para cubrir la última milla.

En Marzo del 2003, una nueva versión salió al tapete, ésta fue la versión 802.16a, la cual llevó a WiMAX a ser vista como una tecnología de banda ancha inalámbrica. Nuevamente se estaba pensando en enlaces fijos, pero ahora se utilizaría bandas entre 2 y 11 GHz, las cuales no requieren licencias para su uso, extendía el rango de esta tecnología de 40 a 70 km ya que en ese rango existe menor interferencia con el medio ambiente y los efectos climáticos, y además no requiere de línea de visión directa.

Las bandas 3,5 y 10,5 GHz requieren de licencia, en cambio las de 2,4 GHz y 5,725-5,825 GHz son de libre uso.

Esta tecnología requiere el despliegue de estaciones bases (BS) formadas por antenas emisoras/receptoras con capacidad de dar servicio a unas 200 estaciones suscriptoras (SS), que pueden dar cobertura y servicio a edificios completos.

La principal ventaja de WiMAX es que su instalación es muy sencilla y rápida, y su precio es muy competitivo en comparación con otras tecnologías de acceso inalámbrico, el cual oscila entre 5.000 y 25.000 Euros.

9.3.3.2.1.1 Características

El estándar 802.16 puede alcanzar tasas de transmisión de más de 100 Mbit/s en un canal con un ancho de banda de 28 MHz (en la banda de 10 a 66 GHz), mientras que el 802.16a puede llegar a los 70 Mbit/s, operando en un rango de frecuencias más bajo (<11 GHz).

La siguiente tabla muestra una comparación entre las tecnologías inalámbricas WiMAX, WiFi, MobileFi y UMTS.

Característica	WiMAX	Wi-Fi	Mobile-Fi	UMTS
	802.16	802.11	802.20	
Velocidad	124 Mbit/s	11-54 Mbit/s	16 Mbit/s	2 Mbit/s
Cobertura	40-70 km	300 m	20 km	10 km
Licencia	Si/No	No	Si	Si
Ventajas	Velocidad y Alcance	Velocidad y Precio	Velocidad y Movilidad	Rango y Movilidad
Desventajas	Interferencias?	Bajo alcance	Precio alto	Lento y caro

Tabla 35: Comparativa de tecnologías Inalámbricas.

WiMAX utiliza modulación OFDM (Orthogonal Frequency División Multiplexing) con 256 subportadoras y por este motivo logra llegar a velocidades tan altas de transmisión. También soporta modos de duplexación FDD y TDD con lo cual facilita su interoperabilidad con otros sistemas celulares o inalámbricos.

Esta tecnología soporta centenares de usuarios por canal y se comporta bien con tráfico continuo al igual que con ráfagas. Tiene la característica de ser independiente del protocolo de comunicación que se utilice por lo cual soporta IP, Ethernet, ATM, etc. En su versión 802.16e, que permite utilizar este sistema de comunicaciones inalámbricas con terminales en movimiento, tiene la capacidad de ofrecer calidad de servicio y soportar SLAs (Service Level Agreements), por lo que resulta adecuado para transportar video, voz sobre IP y datos.

También es compatible con las “antenas inteligentes” utilizadas en la telefonía celular 3G, con la que se hace un mucho mejor uso del espectro de frecuencias y es mucho más eficiente con respecto al consumo de potencia.

WiMAX, en cuanto a seguridad, incluye medidas para la autenticación de usuarios y la encriptación de los datos mediante los algoritmos Triple DES (128 bits) y RSA (1.024 bits).

En un futuro no muy lejano, cuando los receptores sean más sensibles y se logre aprovechar mejor las baterías, se tendrán terminales móviles WiMAX, compitiendo con los tradicionales equipos móviles GSM, GPRS, UMTS y HSDPA.

9.3.3.2.1.2 Aplicaciones.

Las primeras versiones de WiMAX están pensadas para comunicaciones punto a punto o punto a multipunto, típicas de los radioenlaces por microondas. Las próximas ofrecerán total movilidad, por lo que competirán con las redes celulares.

Los primeros productos que están empezando a aparecer en el mercado se enfocan a proporcionar un enlace de alta velocidad para conexión a las redes fijas públicas o para establecer enlaces punto a punto.

Así, WiMAX puede resultar muy adecuado para unir hotspots WiFi a las redes de los operadores, sin necesidad de establecer un enlace fijo. El equipamiento WiFi es relativamente barato pero un enlace E1 o DSL resulta caro y a veces no se puede desplegar, por lo que la alternativa radio parece muy razonable. WiMAX extiende el alcance de WiFi y provee una seria alternativa o complemento a las redes 3G, según como se mire.

Para las empresas, es una alternativa a contemplar, ya que el coste puede ser hasta 10 veces menor que en el caso de emplear un enlace E1 o T1. De momento no se habla de WiMAX para el acceso residencial, pero en un futuro podría ser una realidad, sustituyendo con enorme ventaja a las conexiones ADSL, o de cable, y haciendo que la verdadera revolución de la banda ancha llegue a todos los hogares.

Otra de sus aplicaciones encaja en ofrecer servicios a zonas rurales de difícil acceso, a las que no llegan las redes cableadas. Es una tecnología muy adecuada para establecer radioenlaces, dado su gran alcance y alta capacidad, a un coste muy competitivo frente a otras alternativas.

En los países en desarrollo resulta una buena alternativa por el despliegue rápido de servicios, compitiendo directamente con las infraestructuras basadas en redes de satélites, que son muy costosas y presentan una alta latencia.

La instalación de estaciones base WiMAX es sencilla y económica, utilizando un hardware que llegará a ser estándar, por lo que por los operadores móviles puede ser visto como una amenaza, pero también, es una manera fácil de extender sus redes y entrar en un nuevo negocio en el que ahora no están, lo que se presenta como una oportunidad.

Algunos operadores de LMDS (Local Multipoint Distribution System) están empezando a considerar esta tecnología muy en serio y ya han comenzado a hacer despliegues de red, utilizando los elementos que hoy por hoy están disponibles. Habrá que esperar para el ver resultado de estas pruebas y si se confirma su aceptación por el global de la industria y de los usuarios.

9.3.3.2.1.3 Ventajas de WiMax

A continuación algunas de las ventajas de WiMax con respecto a WiFi y las conexiones por ADSL y cable.

- **WiMax es barato:** Las antenas de distribución de WiMAX cuentan entre US\$ 20.000 y US\$ 25.000, lo que lo hace rentable comparado con las antenas celulares que cuestan alrededor de US\$ 100.000. Además se ahorra en kilómetros de cables, y por supuesto sus instalaciones.
- **WiMax es de largo alcance:** WiMAX puede alcanzar 48 km de cobertura, lo que lo hace una solución muy viable frente a las conexiones ADSL y de Cable, ya que ninguna de esas posee dicha cobertura.

- **Gran velocidad de transmisión de datos:** En condiciones ideales WiMAX puede llegar a una tasa de transmisión de 75 Mbps, la cual supera los 54 Mbps de WiFi y los 10 Mbps que se ofrecen como máximo en ADSL o Cable.

9.3.3.3 Inalámbricas Móviles

9.3.3.3.1 GSM

GSM (Global System for Mobiles communications) es una tecnología identificada por el estándar europeo de comunicaciones móviles de segunda generación. Este sistema digital fue pensado inicialmente para ofrecer servicios de voz y transmisión de datos a baja velocidad sustituyendo así a la anterior generación de telefonía móvil analógica.

Este sistema fue ideado para unificar las tecnologías de comunicaciones móviles en Europa, ya que antes de su aparición existían más de diez tecnologías de comunicaciones móviles diferentes e incompatibles entre si en ese continente.

Para desplegar el servicio, el sistema GSM utiliza TDMA (Time Division Multiple Access), como método de acceso al medio y también la banda de frecuencia de 900MHz. Además posee la capacidad de seguimiento automático de los teléfonos móviles en su desplazamiento por todos los países (Roaming).

Con esta tecnología de segunda generación se ofrece las siguientes características:

- Mayor calidad de las transmisiones de voz
- Mayor capacidad de usuarios
- Mayor confiabilidad de las conversaciones
- La posibilidad de transmitir mensajes alfanuméricos. Este servicio permite enviar y recibir cortos mensajes que puedan tener hasta 160 caracteres alfanuméricos desde un teléfono móvil.
- Navegar por Internet mediante WAP (Wireless Access Protocol).

Sin embargo fenómenos como la globalización, la convergencia tecnológica o el crecimiento de Internet han propiciado que las necesidades de comunicación de los usuarios cambien, desbordando la capacidad de GSM. Para poder ofrecer nuevos servicios, se necesita aumentar la capacidad del sistema. Para esto se ideó un sistema llamado “GPRS” (General Packet Radio Services) que utiliza la mayor parte de la infraestructura de GSM pero de manera más optimizada.

9.3.3.3.2 GPRS

Este nuevo sistema, es una evolución de GSM, estandarizado por ETSI dentro de GSM fase 2+ (2.5G), y permite aumentar la velocidad de transmisión y recepción de datos, incorporando la tecnología de conmutación de paquetes en la red de transporte de éste.

GPRS es un servicio paquetizado diseñado para la transmisión frecuente de pequeños volúmenes de datos (navegación por Internet), transmisión infrecuente de volúmenes moderados de datos (acceso a archivos), servicios de transmisión punto a punto y punto a multipunto. Aunque no está diseñado para transmisión de voz paquetizada.

Sin embargo, con esto se logró cubrir las necesidades de servicios de los usuarios en el corto plazo, por lo que GPRS sirve como una transición entre la segunda y la tercera generación de comunicaciones móviles.

Con esta tecnología se puede, por ejemplo, cambiar el método de tarificación de los servicios de acceso móvil a Internet, pasando del cobro por tiempo de conexión al cobro dependiente de la información o las aplicaciones utilizadas y además con una velocidad mayor de navegación.

9.3.3.3 EDGE

EDGE es un estándar 3G aprobado por la ITU, y está respaldado por el Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones (ETSI).

EDGE ofrece servicios de Internet Móvil con una velocidad en la transmisión de datos a tres veces superior a la de GPRS. Además los equipos utilizados en los sistemas EDGE también operan automáticamente en modo GSM.

Mejorar la infraestructura de GSM con EDGE es una manera eficiente de lograr una cobertura de 3G complementaria en la red consistente al volver a emplear lo invertido en la tecnología de 2G.

EDGE se puede desplegar en múltiples bandas del espectro existente 800, 900, 1800 y 1900 MHz, no teniendo la necesidad de negociar con nuevas licencias de frecuencia.

Las principales estrategias y características de EDGE son:

- Incrementar las tasas de bit de GSM.
- Introducir un nuevo esquema de modulación y codificación de canal
- Re-usar tanto de la capa física de GSM como sea posible.

Usa codificación de canal adaptativa y Modulación (GMSK y 8-PSK), soportando tasas de bits de hasta 384 Kbps usando hasta 8 ranuras GSM.

También emplea redundancia incremental a fin de mejorar la eficiencia en el uso del canal apropiado para aplicaciones con requerimientos de retardo relajados.

9.3.3.4 Transición a la 3^{era} Generación

Existen dos posibles caminos para llegar al sistema UMTS. El primero de ellos consiste en realizar un cambio drástico en la red para pasar directamente de GSM a UMTS. La otra alternativa prevé diferentes etapas de transición de forma que se produzca una evolución gradual.

Desde la tecnología GPRS existen otras dos posibles soluciones hacia UMTS. Una de ellas consistiría en implantar UMTS, cuando la tecnología estuviese suficientemente madura, sustituyendo a GPRS.

La otra posibilidad contempla la migración hacia un nuevo sistema, EDGE, con capacidades superiores a las de GPRS, ya muy próximo a los sistemas de tercera generación. El sistema EDGE no se puede desplegar directamente a partir de GSM si previamente no se han introducido cambios en la red de transporte y de acceso para adaptarlas a la conmutación de paquetes.

Aunque las dos vías son posibles, la implantación de EDGE supondría un nuevo cambio en los terminales de usuario, además de una adaptación de la propia red de acceso. En cambio la posibilidad de prolongar la vida de GPRS no supondría una inversión adicional. La decisión final dependerá de que como se comporte el mercado y de si la capacidad de GPRS es suficiente para dar soporte a las necesidades de los usuarios hasta la llegada de la tercera generación de comunicaciones móviles.

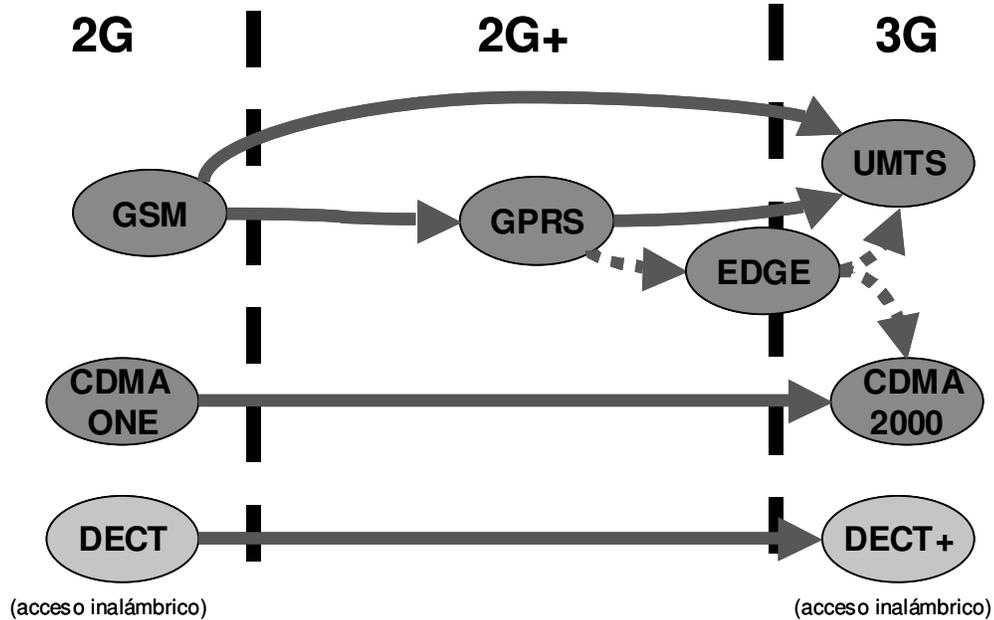


Figura 62: Transiciones posibles entre 2G y 3G.

La Figura 62 muestra las transiciones posibles entre los sistemas de segunda generación y tercera generación con los pasos intermedios mencionados.

La Tabla 36 muestra las velocidades máximas de diferentes sistemas de comunicaciones móviles y ejemplos de servicios para los usuarios.

Tecnología	Velocidad de transmisión	Ejemplos de servicios
GSM	9600 bps	Voz, acceso a Internet a baja velocidad
GPRS	172 kbps (Max)	Voz, acceso a Internet a velocidad media, difusión interactiva de audio comprimido, vídeo interactivo de calidad baja
UMTS	Domestico: 2 Mbps (Max) Peatonal: 348 Kbps En vehículos: 144 Kbps	Voz, acceso a Internet de alta velocidad, servicios audiovisuales interactivos, servicios personalizados dependientes de la ubicación

Tabla 36: Características Básicas de los sistemas GSM , GPRS y UMTS

9.3.3.3.5 IMT-2000 (3G)

IMT-2000 (Internacional Mobile Telecommunication-2000) es una norma de la ITU creada con el objetivo de valorar y especificar los requisitos que deben tener las normas de las comunicaciones celulares de tercera generación.

Estos sistemas se idean como una solución global de comunicaciones móviles con la capacidad de ofrecer servicios multimedia y de datos a alta velocidad, además de los servicios de voz habituales.

Los objetivos, requisitos y aplicaciones principales que deben tener y soportar los sistemas celulares de tercera generación se presentan a continuación.

9.3.3.3.5.1 Objetivos de un sistema de tercera generación

Los objetivos principales según lo expuesto por la ITU para IMT-2000 son:

- Que las tecnologías sean eficaces al momento de entregar servicios de datos y multimedia.
- Que los sistemas desplegados por todo el mundo sean flexibles y transparentes, de modo que se puedan usar en cualquier lugar.
- Utilizar tecnologías convenientes para que los equipos tengan un costo accesible a millones de personas que todavía no poseen teléfono fijo, ni móvil.
- Que los equipos posean la capacidad de utilizar variados sistemas al mismo tiempo.
- En cada lugar del mundo se utilicen y diseñen el mismo tipo de redes móviles.
- Que la calidad de la red se compare con la de la red fija.
- Disponibilidad de servicio de un terminal de bolsillo en cualquier parte del mundo.

9.3.3.3.5.2 Requisitos de un sistema de tercera generación

La ITU planteó los siguientes requisitos para los sistemas IMT-2000:

- Alta velocidad en transmisión de datos:
 - Hasta 144 Kb/s de velocidad de datos para terminales en movimiento vehicular.
 - Hasta 384 Kb/s de velocidad de datos para terminales en movimiento peatonal
 - Hasta 2 Mb/s de velocidad de datos para terminales que permanezcan fijos.
- Soporte de transmisión de datos simétrica y asimétrica.
- Aceptar servicios de conmutación de paquetes y de circuito, tales como tráfico Internet (IP) y video en tiempo real.
- Calidad de voz comparable con la calidad ofrecida por sistemas cableados.
- Mayor capacidad y mejor eficiencia del espectro con respecto a los sistemas de segunda generación.

- Soportar sistemas de segunda generación y posibilidad de coexistencia e interconexión con servicios móviles por satélite y con sistemas WiFi.
- Compatibilidad internacional de los sistemas implementados por distintos operadores (Roaming internacional).

9.3.3.5.3 Aplicaciones soportadas por los sistemas de tercera Generación

Los sistemas de tercera generación deberán proveer soporte para aplicaciones como:

- Voz en banda estrecha a servicios multimedia en tiempo real y banda ancha.
- Apoyo para datos a alta velocidad para navegar por la world wide web, entregar información como noticias, tráfico y finanzas por técnicas de empuje y acceso remoto inalámbrico a Internet e intranets.
- Servicios unificados de mensajes como correo electrónico multimedia.
- Aplicaciones de comercio electrónico móvil, que incluye operaciones bancarias y compras móviles.
- Aplicaciones audio/video en tiempo real como videoteléfono, videoconferencia interactiva, audio y música, aplicaciones multimedia especializadas como telemedicina y supervisión remota de seguridad.

9.4 Requisitos fundamentales de las redes NGN

Para las redes NGN, existe una serie de requisitos de diseño que éstas deben cumplir para soportar adecuadamente los servicios actuales y futuros que se implementen.

A continuación se presenta una lista de los requisitos principales que se debe tener en cuenta:

- La convergencia de los servicios de voz móvil y fijo, vídeo y datos se hará sobre la misma infraestructura de red.
- La infraestructura de comunicación y de transporte debe ser de datos.
- La red de conmutación de paquetes debe ser IPv4 o IPv6 con soporte de la tecnología MPLS para servicios de ingeniería de tráfico, redes privadas (VPN), etc.
- Debe disponer de soporte de políticas de Calidad de Servicio que garanticen ésta extremo a extremo. Para el caso de los servicios de voz, el nivel de calidad debe ser al menos como el de las redes clásicas.
- Soportar servicios de diferente naturaleza, ya sea en tiempo real, en demanda, best-effort, en modalidad de video, voz y datos.
- Disponer de soporte nativo de Multicast.
- Movilidad Garantizada.
- Dispondrá de alta escalabilidad, disponibilidad, fiabilidad y seguridad.
- Arquitectura de red separada en los planos de transporte, control y aplicación.

En la Figura 63 **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se aprecia un esquema en donde se especifican los planos de acceso, transporte, control y de aplicación pertenecientes a las redes NGN.

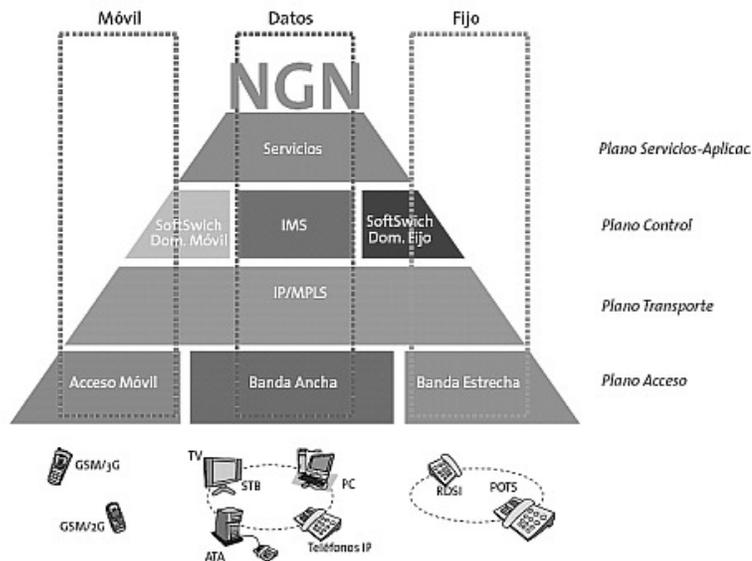


Figura 63: Esquema de separación de planos para las redes NGN

En la búsqueda de esta convergencia total de servicios de cualquier naturaleza, es imposible dejar de nombrar a IMS (Internet Multimedia Subsystem), ya provee un conjunto de elementos funcionales que configuran el plano de control de este sistema. IMS juega un papel fundamental en este reto de lograr una convergencia de tecnologías y servicios. Más adelante, este sistema de control será visto con más detalle.

9.5 Calidad de Servicio

9.5.1 Conceptos básicos de QoS

En las comunicaciones actuales y futuras, el uso masivo de Internet y el gran éxito del protocolo IP, ha provocado una clara tendencia hacia las redes all-IP en donde se pretende entregar vastos servicios de datos, voz y video multimedia. Para estas aplicaciones multimedia, la disponibilidad de una política de calidad de servicio para un Operador de Red es una necesidad primordial que debe ser abordada con un enfoque global para el conjunto de los recursos de red de dicho operador. Sólo así podrá asegurarse un modelo de negocio basado en la diferenciación de niveles de servicio y clientes, que permita dar respuesta a las demandas de los potenciales clientes y que trate de forma adecuada las siempre previsible e inevitables situaciones de congestión de los recursos de red.

La realización práctica de la política de calidad dependerá de la estrategia de cada operador en particular. Sin embargo, en entornos NGN, en los que la convergencia es en sí misma un fin, la disponibilidad de soluciones que aseguren la calidad de servicio extremo a extremo en la red es un requisito fundamental del diseño. La Figura 64 muestra de forma gráfica el efecto que produce el tratamiento diferenciado del tráfico en una red con soporte de mecanismos de QoS.

Los mecanismos de QoS proporcionan un conjunto de herramientas que el administrador de redes puede utilizar para *administrar* el uso de recursos de red de una forma controlada y eficaz. Como resultado, se obtendrá un mejor servicio para las aplicaciones y para los usuarios de misiones críticas. Al mismo tiempo se va frenando el ritmo al que es necesario aumentar la capacidad.

En definitiva, QoS puede ayudar a mejorar el servicio a los usuarios de la red, al mismo tiempo que reduce los costos de ofrecer dichos servicios.

En la actualidad existen varias alternativas que intentan abordar el problema de la calidad de servicio en redes IP. Cualquier solución deberá incluir, como mínimo, las siguientes funciones básicas:

- Disponer de jerarquización del tráfico. Integrar las funciones de agregación y clasificación de flujos en distintas clases de tráfico y la marcación de prioridades.
- Disponer de un control del tráfico inyectado en la red. Se incluyen las funciones de monitorización y control del tráfico en la interfaz de cliente. Además, el total tráfico que aparece en ráfagas como la limitación efectiva de la tasa de entrada a la red, se efectúan de acuerdo al contrato del cliente.
- Debe existir un acuerdo de nivel de servicio entre cliente y operador.

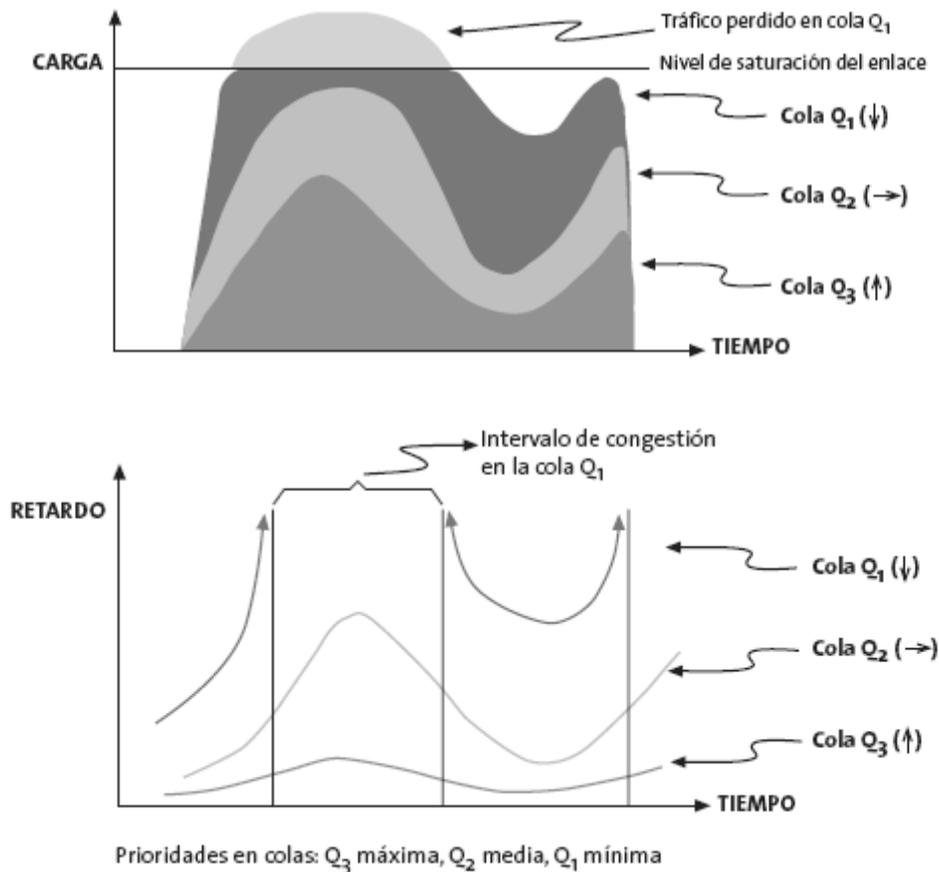


Figura 64: Ejemplo de un enlace con tres prioridades de tráfico en un modelo de red con QoS

9.5.2 Parámetros de desempeño de QoS

Retardo de trama: Indica el retraso presentado en una transmisión. Es un parámetro crítico y tiene un impacto significativo en la Calidad del Servicio (QoS) para las aplicaciones en tiempo real.

Jitter de trama: Es la variación de los retardos, el cual es un parámetro crítico en las aplicaciones de tiempo real, como la telefonía IP y la transmisión de video.

Perdida de trama: es el porcentaje de tramas que no son transmitidas correctamente en un intervalo de tiempo, está definido como:

$$\left[1 - \frac{\# \text{ de Tramas entregadas al destino}}{\text{Total de Tramas enviadas}} \right] \times 100$$

Ancho de Banda: Indica la medida de la tasa de transmisión de datos digitales a través de un medio de transmisión. Generalmente es expresada en cantidad de bits por segundo, ya se a en Kbps, Mbps, Gbps o Tbps.

Disponibilidad: Indica el porcentaje de tiempo en que una red está operativa o disponible.

Rendimiento: Mide el rendimiento de la red en relación a los servicios acordados (SLAs). El rendimiento es definido también por algunos profesionales como la velocidad teórica de transmisión de los paquetes por la red en comparación con la velocidad de transmisión real. Esta depende directamente del ancho de banda y su variación de las posibles situaciones de congestión de la red.

9.5.3 Funcionamiento de QoS

Como definición básica se puede decir que: “QoS es la capacidad de un elemento de red de asegurar que su tráfico y los requisitos del servicio previamente establecidos puedan ser satisfechos”.

La capacidad de una interfaz para enviar tráfico, constituye un recurso de red fundamental y los mecanismos de calidad de Servicio operan estableciendo preferencias en la asignación de este recurso en favor de cierto tráfico.

Para poder realizar esta acción, es necesario en primer lugar, identificar los distintos tipos de tráfico. El tráfico que ingresa a los dispositivos de red se separa en distintos flujos mediante el proceso de clasificación de paquetes, los cuales se envía a una cola en la interfaz de reenvío. Las colas de cada interfaz son gestionadas de modo de determinar, por medio de algoritmos de configuración de prioridades, la velocidad a la que se reenvía cada cola.

De este modo, se determinan los recursos que se asignan a cada cola y a los flujos correspondientes. Para proporcionar QoS en redes, es necesario configurar y proporcionar a los dispositivos de red lo siguiente:

- Información de clasificación por la que los dispositivos separan el tráfico en flujos.
- Colas y algoritmos de administración de cola que controlan el tráfico de los diferentes flujos.

9.5.4 Tecnologías de QoS

En los siguientes capítulos se detallan los principales mecanismos de control de tráfico, provisión y configuración de Calidad de Servicio en una red, en los que se repasan:

- Servicios Diferenciados (DiffServ)
- 802.1p
- Servicios integrados
- ATM e ISSLOW

Hay que tener en cuenta que los mecanismos de control del tráfico se pueden clasificar en mecanismos *por conversación* o mecanismos *por acumulación*. Los mecanismos por conversación tratan por separado cada flujo de tráfico para cada conversación. Los mecanismos por acumulación agrupan varios flujos de tráfico en una única clase acumulada.

9.5.4.1 Servicios diferenciados (Diffserv)

Diffserv es un mecanismo de tratamiento del tráfico por acumulación apropiado para grandes redes enrutadas. Estas redes pueden transportar varios miles de conversaciones. Por tanto, no resulta práctico tratar el tráfico por conversación individual. Diffserv define un campo en los encabezados IP de los paquetes, conocido como diffserv codepoint (DSCP) o IP ToS (Type of Service).

Los hosts o los enrutadores que envían tráfico a una red diffserv marcan cada paquete transmitido con el valor DSCP.

Los enrutadores de una red diffserv utilizan DSCP para clasificar paquetes y para aplicar un comportamiento de cola específico basado en los resultados de la clasificación. El tráfico de varios flujos con requisitos de QoS parecidos se marca con el mismo DSCP al agregar el flujo a una cola común.

9.5.4.2 802.1p

802.1p es un mecanismo de control del tráfico de acumulación apropiado para el uso en muchas redes de área local (LAN), el cual define un campo en el encabezado de acceso al medio (MAC) de los paquetes Ethernet, que puede transportar uno de los ocho valores especificados en la Figura 65.

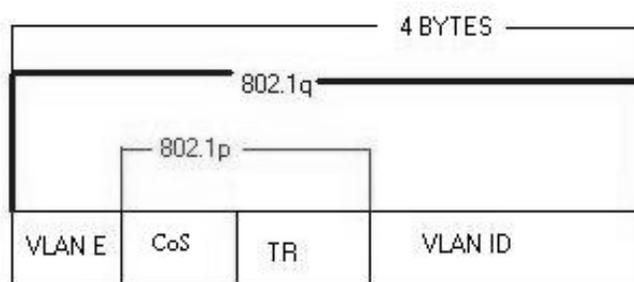


Figura 65: Campos del estándar 802.1p

Como se puede apreciar en la Tabla 37, la norma IEEE 802.1p incluye un campo donde especificar la clase de servicio, definiendo las siguientes combinaciones de ésta:

Combinación	CoS	Prioridad
111	Network Critical	7
110	Interactive Voice	6
101	Interactive Multimedia	5
100	Streaming Multimedia	4
011	Business Critical	3
010	Standard	2
001	Background	1
000	Best Effort	0

Tabla 37: Significado del campo de Clase de Servicio (CoS) en estándar IEEE 802.1p

Los hosts o los enrutadores que envían tráfico a una LAN marcan cada paquete transmitido con el valor de preferencia adecuado. Los dispositivos LAN, tales como modificadores, puentes o concentradores deben tratar los paquetes de forma adecuada.

Se debe destacar que el ámbito de la marca de preferencia 802.1p está limitado a la LAN.

9.5.4.3 Servicios integrados (Intserv)

El modelo de servicios integrados realiza una reserva previa de recursos antes de establecer la comunicación. El protocolo que lleva a cabo la reserva de recursos y la señalización de establecimiento de rutas es RSVP.

Para el modelo IntServ existen tres tipos de calidad de servicio:

- **Garantizado:** Con ancho de banda reservado, retardo acotado y sin pérdida de datos.
- **Carga controlada:** Condiciones de transmisión mínimas similares a best-effort con poca carga de red.
- **Best-effort:** Similar a las condiciones de acceso a Internet actuales con variación de respuesta en función de la carga de la red.

9.5.4.4 ATM e ISSLOW

ATM es una tecnología de capa de enlace que ofrece un tratamiento del tráfico de alta calidad. ATM divide los paquetes en *celdas* de capa de enlace y, a continuación, se envían a la cola y se controlan con los algoritmos de administración de cola adecuados para uno o varios servicios ATM.

ISSLOW es una técnica para dividir paquetes IP a medida que se transmiten a través de vínculos de velocidad relativamente lenta, tales como las conexiones telefónicas a módems. Cuando se mezclan datos y sonidos en estos vínculos, las latencias de la señal de audio pueden ser considerables y afectan al uso de la aplicación. Se puede utilizar ISSLOW para reducir las latencias de audio en estas aplicaciones.

Se han definido otros mecanismos de control del tráfico para diversos medios, incluidos módems por cable, plantas HFC, etc. Pueden utilizar mecanismos de señalización de capas de enlace específicas y de bajo nivel. ATM, por ejemplo, utiliza la señalización UNI.

9.5.5 Service Level Agreement

Un Service Level Agreement (SLA) o Acuerdo de Nivel de Servicio es un contrato de servicios entre un proveedor de servicios y su cliente, el cual define las responsabilidades del proveedor en términos del nivel de funcionamiento de la red (rendimiento, tasa de pérdidas, retrasos, jitter) y la disponibilidad temporal.

También se debe definir las consecuencias cuando los niveles de servicio no se consiguen o si los niveles de tráfico definidos son superados por el cliente, así como también el precio de todos estos servicios.

La manera más común de definición del SLA, es incluyendo reglas de condicionamiento del tráfico.

Los SLA suelen subdividirse en:

- **SLS:** El Service Level Specifications o Especificaciones del Nivel de Servicio lleva a cabo el estudio del rendimiento de la red, la probabilidad de caída, la latencia, la espera en las entradas y/o salidas de los puntos donde se proporciona el servicio, indicando los perfiles del tráfico que se deben adherir para que el servicio solicitado pueda ser proporcionado.
- **SLO:** Un Service Level Objectives u Objetivos del Nivel de Servicio divide un SLA en objetivos individuales, definiendo métricas para hacer cumplir y/o para vigilar el SLA, y así determinar en que SLA se están cumpliendo los servicios.

9.6 Fuentes de Retardo de Telefonía IP

Las fuentes de retardos se clasifican en dos tipos, los retardos fijos y retardos variables.

Los retardos variables son producto de las colas que se forman en los routers normalmente antes de entrar a la nube IP, ya que actualmente en las redes IP se utilizan routers que tienen las mismas facultades que un switch así como la conmutación rápida, la ingeniería de tráfico y la creación de VLANs, y éstos son llamados “Switch Routers”.

Por otra parte, los retardos fijos se producen a través de las etapas de codificación, paquetización, serialización, conmutación en la nube IP (Core y/o Internet), de De-Jitter y finalmente la etapa de decodificación.

En la Figura 66 se muestran todos los posibles retardos, fijos o variables, en una red.

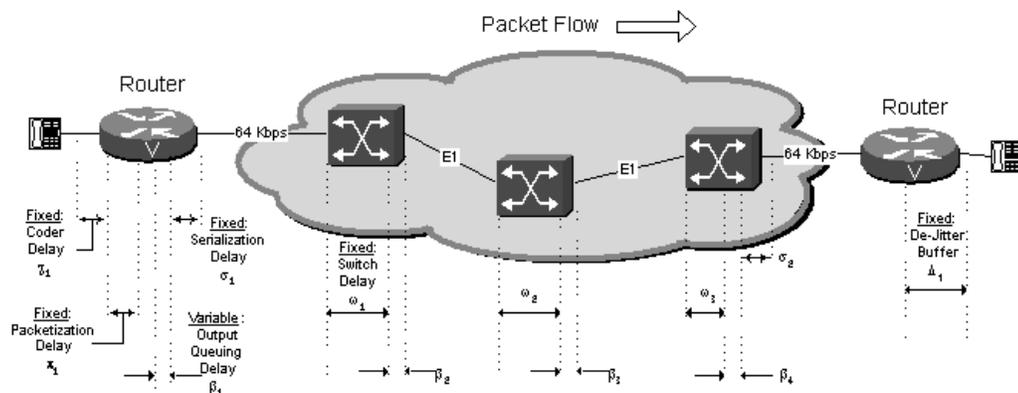


Figura 66: Posibles Retardos en una Red.

9.6.1 Retardo por codificación

El retardo de codificación, también llamado retardo de procesamiento, es el tiempo que tarda el DSP en comprimir un bloque de muestras PCM. Como los codificadores trabajan de diferentes formas, este retardo varía dependiendo del codificador de voz y de la velocidad y carga del procesador.

Codificador	Tasa	Tamaño de muestra requerida	Mejor opción	Peor opción
ADPCM, G.726	32 Kbps	10 ms	2.5 ms	10 ms
CS-ACELP, G.729 ^a	8.0 Kbps	10 ms	2.5 ms	10 ms
MP-MLQ, G.723.1	6.3 Kbps	30 ms	5 ms	20 ms
MP-ACELP, G.723.1	5.3 Kbps	30 ms	5 ms	20 ms

9.6.2 Retardo de paquetización

Retardo de paquetización es la demora para llenar un paquete de información, o carga útil, de la conversación ya codificada y comprimida. Este retardo es función del tamaño de bloque requerido por el codificador de voz y el número de bloques de una sola trama.

Codificador	Tasa	Carga útil (Bytes)	Retardo de Paquetización (ms)	Carga útil (Bytes)	Retardo de Paquetización (ms)
PCM, G.711	64 Kbps	160	20	240	30
ADPCM, G.726	32 Kbps	80	20	120	30
CS-ACELP, G.729	8.0 Kbps	20	20	30	30
MP-MLQ, G.723.1	6.3 Kbps	24	24	60	48
MP-ACELP, G.723.1	5.3 Kbps	20	30	60	60

Tabla 38: Retardos de paquetización más comunes.

9.6.3 Retardo de serialización

El retardo de serialización aparece cuando un paquete es adaptado a un medio por el cual se va a transmitir. La velocidad de ese mismo medio y el tamaño del paquete son determinantes para este retardo. Este retardo se presenta cuando los paquetes pasan a través de cualquier dispositivo de almacenamiento y retransmisión tales como un Router o un Switch. Así, una trama que atraviesa 10 Routers incurrirá en este retardo 10 veces.

Tamaño de Trama (bytes)	Velocidad de Línea (Kbps)										
	19.2	56	64	128	256	384	512	768	1024	1544	2048
38	15.83	5.43	4.75	2.38	1.19	0.79	0.59	0.40	0.30	0.20	0.15
48	20.00	6.86	6.00	3.00	1.50	1.00	0.75	0.50	0.38	0.25	0.19
64	26.67	9.14	8.00	4.00	2.00	1.33	1.00	0.67	0.50	0.33	0.25
128	53.33	18.29	16.00	8.00	4.00	2.67	2.00	1.33	1.00	0.66	0.50
256	106.67	36.57	32.00	16.00	8.00	5.33	4.00	2.67	2.00	1.33	1.00
512	213.33	73.14	64.00	32.00	16.00	10.67	8.00	5.33	4.00	2.65	2.00
1024	426.67	149.29	128.00	64.00	32.00	21.33	16.00	10.67	8.00	5.31	4.00
1500	625.00	214.29	187.50	93.75	46.88	31.25	23.44	15.63	11.72	7.77	5.86
2048	853.33	292.57	256.00	128.00	64.00	42.67	32.00	21.33	16.00	10.61	8.00

Tabla 39: Demora de serialización para diferentes tamaños de tramas

9.6.4 Retardo de Cola

El retardo de cola se debe a la acción de clasificar el tráfico en las diferentes colas de los equipos de red. Desde el momento en el que un paquete llega a una cola, se decide cual es su clase correspondiente, para ser añadido a la cola correspondiente. En la cola de salida se produce también un retardo en la transmisión. Este tiempo puede sufrir variaciones según el algoritmo que se utilice para la clasificación del tráfico, el estado de la cola y la velocidad del enlace de salida.

9.6.5 Retardo de Propagación

Retardo de Propagación es el tiempo requerido por una señal óptica o eléctrica en viajar a través de un medio de transmisión. Este retardo está directamente relacionado con la distancia geográfica y depende de la velocidad de propagación de la señal en el medio. Por ejemplo, la velocidad de propagación en el cobre es de 225 km/ms, la de la fibra óptica es de 195 km/ms y la del espacio libre (aire) es de 300 km/ms.

9.6.6 Retardo de conmutación

Este retardo es el causado por los elementos de conmutación por los que debe pasar la información antes de llegar a su destino final, y se produce principalmente por encolamiento y procesamiento. Estos elementos pueden ser switches o router, ya sea de la etapa de transmisión o del backbone de una red. Este retardo es el más difícil de estimar ya que no se sabe por cuantos elementos deberá circular la información

9.6.7 Retardo de “De-Jitter”

En el destino de la información, los paquetes no llegan en el mismo orden en el que fueron enviados, por lo tanto se debe hacer un proceso de reordenamiento de éstos. Este proceso se denomina “De-Jitter” y produce un retardo a causa de este reordenamiento.

9.6.8 Retardo total

El retardo total o también llamado “Delay Budget” es el cálculo del retardo extremo a extremo de los paquetes de información en una comunicación, que se efectúa sumando todos los retardos citados anteriormente.

9.7 Protocolos de las redes VoIP

En los capítulos que siguen, se muestran en detalle los protocolos más utilizados en la actualidad, H.323 y SIP.

A modo de introducción se presenta, en una comparativa de estos dos protocolos.

ELEMENTO	H.323	SIP
Diseñado por	ITU	IETF
Arquitectura	Distribuida	Distribuida
Versión ultima	H.323V4	RFC 2543
Control de llamadas	Gatekeeper	Servidor Proxy, redirección
Endpoints	Gateway o Terminal	User Agent
Compatibilidad con PSTN	Si	Ampliamente
Compatibilidad con Internet	No	Si
Integridad	Pila de protocolos completa	Maneja solo el establecimiento y terminación de llamada.
Negociación de parámetros	Si	Si
Señalización de llamadas	Q.931 sobre TCP	SIP sobre TCP o UDP
Formato de mensajes	Binario	ASCII
Transporte de medios	RTP/RTCP	RTP/RTCP
Llamadas de multiples partes	Si	Si
Conferencias multimedia	Si	No
Direccionamiento	Host o número telefónico	URL
Terminacion de llamadas	Explicita o liberacion de TCP	Explicita o terminacion de temporizador
Mensajes instantaneos	No	Si
Encriptacion	Si	Si
Estado	Distribuido ampliamente	Prometedor

Tabla 40: Tabla Comparativa entre los Protocolos H.323 y SIP

9.7.1 Protocolo H.323

El protocolo H.323 hace referencia a una gran cantidad de protocolos específicos para codificación de voz, establecimiento de llamadas, señalización, transporte de datos y otras áreas.

El modelo general de H.323 se ilustra en la Figura 67.

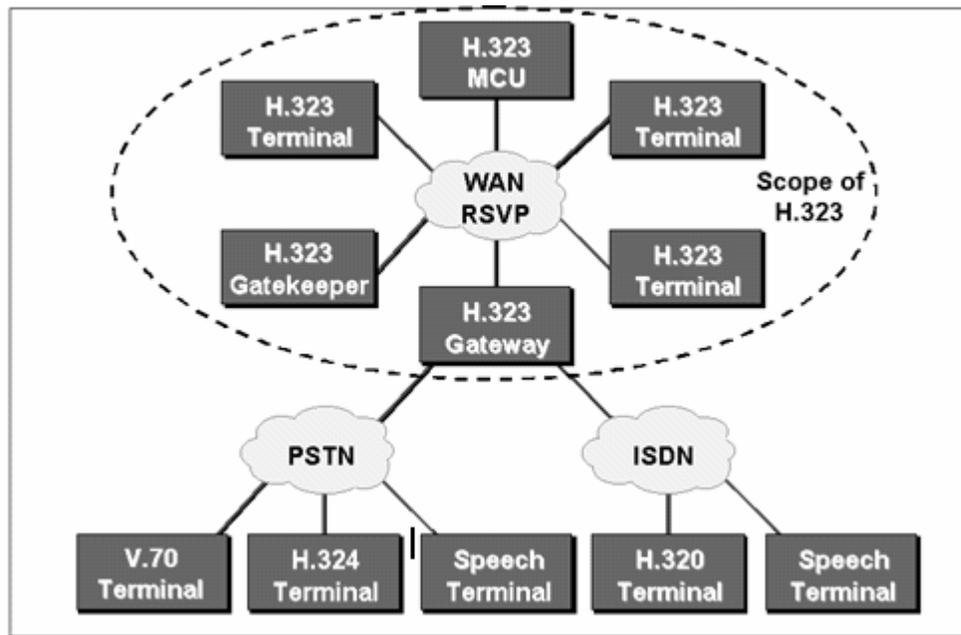


Figura 67: Modelo general del protocolo H.323

En el centro del modelo se encuentra una Puerta de Enlace o Gateway H.323, que conecta Internet con la Red Telefónica PSTN o ISDN. Dicha Puerta de Enlace maneja los protocolos H.323 por el lado de Internet y los protocolos PSTN o ISDN en el lado de la Red Telefónica. Los dispositivos de comunicación se llaman Terminales. El Gatekeeper es un dispositivo que controla los terminales dentro de su jurisdicción, llamados zona.

9.7.1.1 Dispositivos de una red VoIP H.323

Una red VoIP H.323 generalmente contiene los siguientes componentes fundamentales:

- **Teléfonos IPs:** son los clientes que inician una conexión VoIP. Pueden ser de dos tipos:
 - IP-Phone: Teléfono nativo en las redes IP.
 - Soft-Phone: PC multimedia que simula un teléfono IP.
- **Adaptadores para PCs:** Más conocido como ATA, es un adaptador de teléfono analógico que se conecta al servicio de cable Modem o al de DSL y permite obtener telefonía por Internet.

- **Gatekeeper:** Es un equipo de red que actúa como controlador del sistema y al que todos los elementos de red utilizan como intermediario para la señalización. Para la comunicación con el Gatekeeper se utiliza el protocolo RAS H.225. Este equipo cumple también las funciones de:
 - Autenticación y control de admisión, para permitir o denegar el acceso de usuarios.
 - Proporcionar servicios de control, contabilidad y tarificación de llamadas.
 - Servicio de traducción de direcciones (DNS).
 - Gestionar y controlar los recursos de la red, administrando el ancho de banda.
 - Localizar los distintos Gateways y MCU's cuando es necesario.
- **Gateways:** Es un dispositivo que provee un acceso permanente a la red IP. Las llamadas de voz se digitalizan, codifican, comprimen y paquetizan en un gateway de origen y luego, se descomprimen, decodifican y rearman en el gateway de destino. El Gateway es un elemento esencial en la mayoría de las redes pues su misión es la de enlazar la red VoIP con la red telefónica analógica PSTN o RDSI.
- **Unidades de Conferencia Multimedia (MCU) H.323:** Es responsable de controlar las sesiones y de efectuar el mezclado de los flujos de audio, datos y videos para sesiones con más de dos participantes en conferencia.

Estos componentes se ilustran en la siguiente Figura.

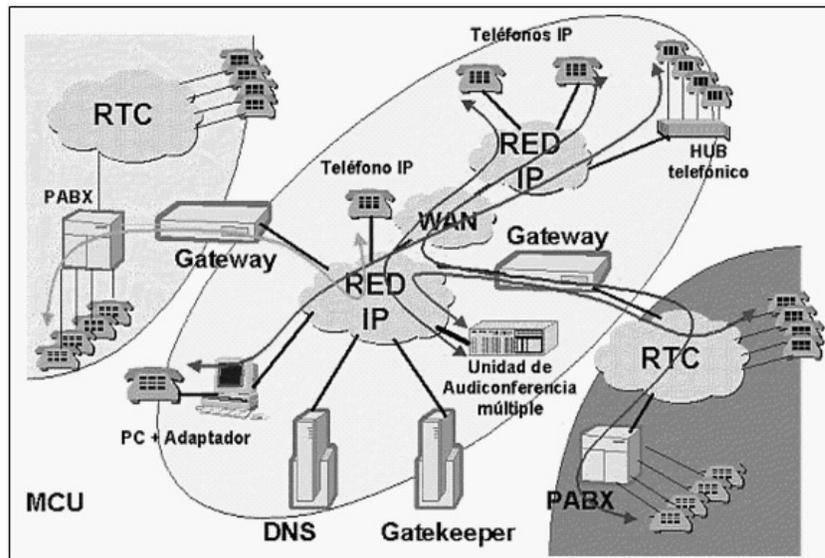


Figura 68: Componentes Principales de una Red VoIP H.323

9.7.1.2 Protocolos utilizados en H.323:

El protocolo VoIP H.323 comprende una serie de protocolos que cubren los distintos aspectos de la comunicación:

- Direccionamiento:
 - RAS (Registration, Admission and Status): Protocolo de comunicaciones que permite a una estación H.323 localizar otra estación H.323 a través del Gatekeeper.
 - DNS (Domain Name Service): Servicio de resolución de nombres en direcciones IP con el mismo fin que el protocolo RAS pero a través de un servidor DNS.

- Señalización:
 - H.225 (RAS): Protocolo que permite a los terminales hablar con el Gatekeeper, solicitar y regresar ancho de banda y proporcionar actualizaciones de estado.
 - Q.931: Protocolo de señalización de llamadas, para establecer y liberar las conexiones con la red telefónica RTC.
 - H.245: Protocolo de control de llamadas, permite a los terminales negociar ciertos parámetros como: el tipo de Codec, la tasa de bits.

- Compresión:
 - Requeridos: G.711 y G.723.1
 - Opcionales: G.728, G.729 y G.722

- Transmisión:
 - UDP: La transmisión se realiza sobre paquetes UDP, pues aunque UDP no ofrece integridad en los datos, el aprovechamiento del ancho de banda es mayor que con TCP.
 - RTP (Real Time Protocol): Maneja los aspectos relativos a la temporización, marcando los paquetes UDP con la información necesaria para la correcta entrega de los mismos en recepción.

- Control de la transmisión:
 - RTCP (Real Time Control Protocol): Es un protocolo de control de los canales RTP. Se utiliza principalmente para detectar situaciones de congestión de la red y tomar, en su caso, acciones correctoras.

La arquitectura de protocolos se muestra en la Figura 69.

VOZ	CONTROL			
G.7XX	RTCP	H.225 (RAS)	Q.931	H.245
RTP			Señalización de llamadas	Control de llamadas
UDP			TCP	
IP				
PROTOCOLO DE ENLACE DE DATOS				
PROTOCOLO DE LA CAPA FISICA				

Figura 69: Arquitectura de Protocolos en H.323

9.7.2 Protocolo SIP

SIP es un protocolo de señalización simple utilizado para telefonía, videoconferencia y otro tipo de conexiones multimedia por Internet, el cual está basado en los protocolos SMTP y HTTP.

Éste es un protocolo de la capa de aplicación independiente de los protocolos de paquetes subadyacentes, como TCP, UDP, ATM o X.25 y está basado en una arquitectura cliente servidor en la cual los clientes inician las llamadas y los servidores responden las llamadas.

SIP es un protocolo más nuevo que H.323, por lo que recién está adquiriendo madurez e soporte industrial. Sin embargo, a causa de su simplicidad, escalabilidad, modularidad y comodidad con la cual se integra con otras aplicaciones, este protocolo es atractivo para uso en arquitecturas de voz paquetizados.

SIP posee múltiples opciones en el establecimiento de sesiones, ya que puede realizar sesiones de dos participantes, sesiones de múltiples participantes y sesiones de multidifusión, en donde hay un emisor y muchos receptores (multicast). Estas sesiones pueden contener audio, video o datos.

SIP es un protocolo de aplicación que sólo controla el establecimiento, manejo y terminación de sesiones. Este protocolo utiliza, para el transporte de datos, los protocolos RTP y RTCP sobre UDP o TCP.

9.7.2.1 Componentes del protocolo SIP

El sistema SIP contiene dos componentes: el agente de usuario o UA y los servidores de red.

La Figura 70 ilustra un modelo de la arquitectura SIP, en donde se utiliza un servidor de registro.

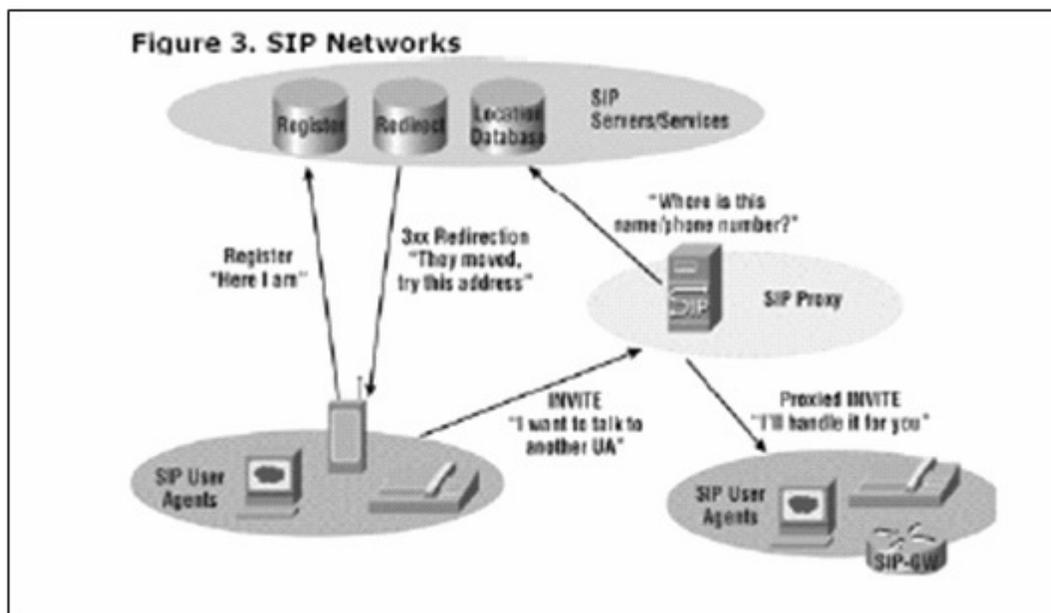


Figura 70: Modelo de una Red SIP con servidor de Registro

A continuación se describen los componentes de la arquitectura SIP.

9.7.2.1.1 Agente de Usuario

Un agente usuario es un terminal SIP, el cual efectúa y recibe llamadas SIP.

Los tipos de agente usuario son:

- El cliente es llamado el Cliente de Agente de Usuario (UAC) y es usado para iniciar peticiones de llamadas SIP.
- El servidor es llamado Servidor Agente Usuario (UAS), que recibe las peticiones del UAC y retorna una respuesta al usuario.

Los clientes SIP pueden ser:

- Teléfonos IP actuando en la capacidad de UAC o UAS.
- Gateways. Como sabemos, un Gateway provee control de llamada para un ambiente de VoIP. En una implementación SIP, el Gateway provee funcionalidad de traslación y conferencia.

9.7.2.1.2 *Servidores de Red*

Hay tres tipos de servidores SIP:

- **Servidor Proxy SIP:** Decide a qué servidor la petición debiera ser enviada y entonces envía la petición. Esta petición puede atravesar muchos servidores Proxy SIP antes de alcanzar su destino. La respuesta atraviesa entonces en el orden inverso. Un servidor proxy puede actuar como Cliente y Servidor y puede enviar peticiones y responder.
- **Servidor de Redirección:** Al contrario del servidor Proxy, el servidor de redirección no envía peticiones a otros servidores, en lugar de ello, notifica a la parte llamante de la ubicación actual de destino.
- **Servidor de Registro:** Provee servicios de registro para los UAC's para su localización permanente. Los servidores de registro son ubicados a menudo con un servidor Proxy y de Redirección.
- **Servidor de Localización:** Se utiliza para consultar la ubicación actual del usuario.

9.8 CODECs de Video

MPEG (Grupo de Expertos de Imágenes en Movimiento) es un estándar internacional formado por la ISO, para la representación codificada y comprimida de imágenes en movimiento y audio, orientado a medios de almacenamiento digital.

El algoritmo que se utiliza, además de comprimir imágenes estáticas, compara los fotogramas presentes con los anteriores y los futuros para almacenar sólo las partes que cambian. Esta señal incluye sonido en calidad digital.

El inconveniente de este sistema es que debido a su alta complejidad necesita disponer de un hardware específico.

MPEG aplica la compresión temporal y la espacial. Esto es factible ya que los bloques de imagen y los de predicción de errores tienen una gran redundancia espacial, que se reduce gracias a la transformación de los bloques desde el dominio del espacio al dominio de frecuencia.

MPEG requiere una gran capacidad de procesamiento para su codificación, sin embargo consiguen niveles de compresión desde 50:1 hasta 200:1.

En los capítulos siguientes se describen brevemente los sistemas más utilizados comúnmente para la compresión de video, como son MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4 y MJPEG. En el capítulo final se muestra una tabla comparativa de algunos formatos de video muy utilizados y sus principales características.

9.8.1 MPEG-1

MPEG-1 es un sistema de compresión de video, que guarda una imagen, la compara con la siguiente y almacena sólo las diferencias. Se alcanzan así grados de compresión muy elevados.

Define tres tipos de fotogramas:

- **Fotogramas I o Intra-fotogramas:** Son los fotogramas normales o de imagen fija, proporcionando una compresión moderada, en JPEG.
- **Fotogramas P o Predichos:** Son imágenes predichas a partir de la inmediatamente anterior. Se alcanza una tasa de compresión muy superior.
- **Fotogramas B o bidireccionales:** Se calculan en base a los fotogramas inmediatamente anterior y posterior. Consigue el mayor grado de compresión a costa de un mayor tiempo de cálculo. Este estándar se utiliza principalmente en el formato Video-CD, el cual entrega una calidad de imagen parecida a la calidad del VHS y además una calidad de sonido digital.

Estos tres tipos de fotograma, forman lo que se denomina un *grupo de imágenes* (GDI) el que se define como el número de fotogramas que hay entre dos fotogramas I, como se muestra en la Figura 71.



Figura 71: Secuencia GDI para una Codificación MPEG.

En la industria de IPTV, se definió como norma que para una calidad de servicio aceptable, el sistema debe permitir una degradación de la imagen por cada dos horas de programa, lo que corresponde a un nivel de pérdidas de paquetes de uno en un millón (10^{-6})²⁶.

9.8.2 MPEG-2

Con una calidad superior al MPEG-1, MPEG-2 fue universalmente aceptado para transmitir vídeo digital comprimido con velocidades mayores que 1Mbps. Con MPEG-2 pueden conseguirse elevados niveles de compresión, de hasta 100:1, dependiendo de las características del propio vídeo.

MPEG-2 normalmente define dos sistemas de capas, el flujo de programa y el flujo de transporte. Se usa uno u otro pero no los dos a la vez.

El flujo de programa funcionalmente es similar al sistema MPEG-1. La técnica de encapsulamiento y multiplexación de la capa de compresión produce paquetes grandes y de varios tamaños. Los paquetes grandes producen errores aislados e incrementan los requerimientos de buffering en el receptor/decodificador para demultiplexar los flujos de bits.

En contraposición el flujo de transporte consiste en paquetes fijos de 188 bytes lo que decrementa el nivel de errores ocultos y los requerimientos del buffering receptor.

9.8.3 MPEG4

MPEG-4 es un estándar relativamente nuevo, orientado inicialmente a las videoconferencias e Internet. El objetivo principal es crear un contexto audiovisual en el cual existen unas primitivas llamadas AVO (objetos audiovisuales).

Se definen métodos para codificar estas primitivas, que podrían clasificarse en texto y gráficos, y la comunicación con los datos de cada primitiva se realiza mediante uno o varios flujos de datos, cuya característica principal es la calidad de servicio requerida para la transmisión.

Ha sido especialmente diseñado para distribuir videos con elevados niveles de compresión sobre redes con bajo ancho de banda, manteniendo una excelente calidad de imagen para usuarios con un buen ancho de banda.

Las características más relevantes de MPEG-4 es que ofrece un amplio rango de velocidades, desde usuarios con modems de 10kbps, a usuarios con anchos de banda de 10Mbps, y también que es muy rápido codificando el vídeo de alta calidad, para contenidos multimedia en tiempo real y en demanda.

²⁶ Publicación "Integrated Video Admission Control for the Delivery of a Quality Video Experience" - www.cisco.com

9.8.4 MJPEG

Motion-JPEG es una versión extendida del algoritmo JPEG que comprime imágenes. Básicamente consiste en tratar al vídeo como una secuencia de imágenes estáticas independientes, a las cuales se le aplica el proceso de compresión del algoritmo JPEG una y otra vez para cada imagen de la secuencia de vídeo.

Existen cuatro modos de operación para el JPEG: secuencial, progresiva, sin pérdida, y jerárquica. Normalmente se utiliza el modo secuencial.

La ventaja de este algoritmo es que se puede realizar en tiempo real e incluso con poca inversión en hardware, aunque el inconveniente de este sistema es que no se puede considerar como un estándar de vídeo pues ni siquiera incluye la señal de audio, y además el nivel de compresión no es muy elevado.

Motion-JPEG normalmente es elegido para aplicaciones broadcast, en donde se envía la misma información a todos los usuarios.

9.8.5 Tipos de Video

A continuación se muestra una lista con algunos tipos de compresión de video que existen y los CODECs que éstos utilizan, mostrando alguna de sus características.

Formato	VCD	SVCD	DVD	HDDVD HDTV (WMVHD)
Resolución NTSC/PAL	352 x 240 352 x 288	480 x 480 480 x 576	720 x 480 720 x 576	1440 x 1080 1280 x 720
Compresión de Video	MPEG1	MPEG2	MPEG2, MPEG1	MPEG2 (WMV-MPEG4)
Tasa de Bits de Video	~1150 kbps	~2000 kbps	~5000 kbps	~20 Mbps (~8 Mbps)
Compresión de Audio	MP1	MP1	MP1, MP2, AC3, DTS, PCM	MP1, MP2, AC3, DTS, PCM
Tasa de Bits de Audio	~224 kbps	~224 kbps	~448 kbps	~448 kbps
Tamaño/min	10 MB/min	10-20 MB/min	30-70 MB/min	~150 MB/min (~60 MB/min)
Uso de CPU	Bajo	Alto	Muy Alto	Demasiado Alto
Calidad	Bueno	Muy Bueno	Excelente	Superior

Formato	AVI, DIVX, Xvid, WMV	MOV Quick-Time	RM Real-Media	AVI DV
Resolución NTSC/PAL	640 x 480	640 x 480	320 x 240	720 x 480 720 x 576
Compresión de Video	MPEG4	Sorenson, Cinepak, MPEG4	RM	DV
Tasa de Bits de Video	~1000 kbps	~1000 kbps	~350 kbps	25 Mbps
Compresión de Audio	MP3, WMA, OGG, AAC, AC3	QDesign Music, MP3	RM	DV
Tasa de Bits de Audio	~128 kbps	~128 kbps	~64 kbps	~1500 kbps
Tamaño/min	4-10 MB/min	4-20 MB/min	2-5 MB/min	216 MB /min
Uso de CPU	Muy Alto	Alto	Bajo	Alto
Calidad	Muy Bueno	Muy Bueno	Regular	Excelente

Tabla 41: Tipos de Videos y Sistemas de Compresión²⁷

²⁷ Datos extraídos del curso EL55A del profesor Nestor Becerra – Departamento de Ingeniería Eléctrica Universidad de Chile

Esta información puede ser de gran ayuda para la elección del CODEC que más se adecue a la conexión y las características que se buscan para la transmisión de videoconferencia, video broadcast o video en demanda.

9.9 Teoría de pronóstico

9.9.1 Requisitos básicos de un pronóstico

Hay dos requisitos principales para el pronóstico del sonido:

- Debe disponerse de una adecuada provisión de información exacta y relevante del pasado. Esto consistirá generalmente en registros de mediciones de equipos existentes, complementados con información general.
- Debe contarse con una razonable conjetura acerca del desarrollo futuro. Este estimado del desarrollo futuro puede ser una extrapolación del desarrollo pasado, ajustado a veces para tomar en cuenta la información básica disponible. El planificador necesita información histórica precisa para mejorar su pronóstico.

Consecuentemente, la base del pronóstico es el estudio del pasado. Mientras mejor se entienda y se describa matemáticamente el desarrollo pasado, mejores serán nuestras probabilidades de realizar un pronóstico correcto.

También hay que destacar que debe proporcionarse el grado de incertidumbre del pronóstico a fin de que aquéllos que van a utilizar los datos la tomen en cuenta.

9.9.2 Cómo comenzar con un pronóstico

El proceso de pronóstico puede dividirse en las siguientes partes:

- Definición del problema

Debe determinarse el propósito y los supuestos de los pronósticos.

- Recolección de información básica

Se deben investigar varias fuentes para obtener datos básicos. Hay que estudiar el crecimiento poblacional y económico. También son esenciales los resultados de los pronósticos más recientes.

- Selección del método de pronóstico

El método debe escogerse de acuerdo a la información disponible y a la exactitud requerida. La exactitud de un pronóstico puede depender de la precisión estadística de la información histórica y del método de extrapolación usado.

- Análisis y establecimiento de los pronósticos

El análisis consiste en la preparación de la metodología de la información básica y en la evaluación de los resultados obtenidos.

- Documentación

El pronóstico debe presentarse en un formato de fácil entendimiento. El resultado debe contener pronósticos alternativos. Además del pronóstico más probable, debe existir también un pronóstico optimista y otro pesimista, para indicar a la persona que elaborará el plan dónde pueden encontrarse los límites superior e inferior.

9.10 Tipos de medios de transmisión Ethernet

Existen una gran variedad de implementaciones de IEEE 802.3. Para distinguir entre ellas, se ha desarrollado una notación. Esta notación especifica tres características de la implementación.

- La tasa de transferencia de datos en Mb/s
- El método de señalamiento utilizado
- La máxima longitud de segmento de cable en cientos de metros del tipo de medio.

Algunos tipos de estas implementaciones de IEEE 802.3 y sus características se detallan a continuación.

9.10.1 Ethernet

9.10.1.1 1BASE-5

El estándar IEEE para Ethernet en banda base a 1Mb/s sobre cable par trenzado a una distancia máxima de 250m.

9.10.1.2 10BASE-5

Es el estándar IEEE para Ethernet en banda base a 10Mb/s sobre cable coaxial de 50 Ω troncal y AUI (attachment unit interface) de cable par trenzado a una distancia máxima de 500m.

9.10.1.3 10BASE-2

El estándar IEEE para Ethernet en banda base a 10MB/s sobre cable coaxial delgado de 50 Ω con una distancia máxima de 185m.

9.10.1.4 10BROAD-36

El estándar IEEE para Ethernet en banda ancha a 10Mb/s sobre cable coaxial de banda ancha de 75 Ω con una distancia máxima de 3600m.

9.10.1.5 10BASE-T

El estándar IEEE para Ethernet en banda base a 10 Mb/s sobre cable par trenzado sin blindaje (Unshielded Twisted Pair o UTP) siguiendo una topología de cableado horizontal en forma de estrella, con una distancia máxima de 100m desde una estación a un hub.

9.10.1.6 10BASE-F

El estándar IEEE para Ethernet en banda base a 10Mb/s sobre fibra óptica con una distancia máxima de 2.000 metros (2Km).

9.10.2 Fast Ethernet

9.10.2.1 100BASE-TX

El estándar IEEE para Ethernet en banda base a 100Mb/s sobre dos pares (cada uno de los pares de categoría 5 o superior) de cable UTP o dos pares de cable STP.

9.10.2.2 100BASE-T4

El estándar IEEE para Ethernet en banda base a 100Mb/s sobre 4 pares de cable UTP de categoría 3 (o superior).

9.10.2.3 100BASE-FX

Es el estándar IEEE para Ethernet en banda base a 100Mb/s sobre un sistema de cableado de dos fibras ópticas de 62.5/125 μm .

9.10.2.4 100BASE-T2

El estándar IEEE para Ethernet en banda base a 100Mb/s sobre 2 pares de categoría 3 (o superior) de cable UTP.

9.10.3 Gigabit Ethernet

9.10.3.1 1000BASE-SX

El estándar IEEE para Ethernet en banda base a 1000Mb/s (1Gb/s) sobre 2 fibras multimodo (50/125 μm o 62.5/125 μm) de cableado de fibra óptica.

9.10.3.2 1000BASE-LX

El estándar IEEE para Ethernet en banda base a 1000Mb/s (1Gb/s) sobre 2 fibras monomodo o multimodo (50/125 μm or 62.5/125 μm) de cableado de fibra óptica.

9.10.3.3 1000BASE-CX

El estándar IEEE para Ethernet en banda base a 1000Mb/s (1Gb/s) sobre cableado de cobre blindado balanceado de 150 Ω . Este es un cable especial con una longitud máxima de 25m.

9.10.3.4 1000BASE-T

El estándar IEEE para Ethernet en banda base a 1000Mb/s (1Gb/s) sobre 4 pares de categoría 5 o superior de cable UTP, con una distancia máxima de cableado de 100m.

9.11 Bloques Funcionales y Protocolos de la Arquitectura IMS

Durante la especificación de IMS, que aún se encuentra en curso y evolución, 3GPP e IETF establecieron un acuerdo de trabajo que ha ligado fuertemente el desarrollo del estándar IMS al trabajo de IETF. Este último ha tenido que acelerar la estandarización de los protocolos IP emergentes que se emplean en IMS, a la vez que realizar especificaciones a medida y exclusivas para 3GPP. Se considera, pues, que IMS y 3G pueden ser los catalizadores para el desarrollo comercial de la tecnología IETF, como es el caso de IPv6 y SIP, principales protocolos de IMS. De este modo:

- *El control de sesión es realizado por el protocolo de control de llamada IMS basado en SIP y SDP.* La señalización de IMS se efectúa mediante el protocolo SIP (*Session Initiation Protocol*) [12.4], que IETF diseñó para la gestión de sesiones multimedia en Internet. A petición de 3GPP, IETF ha ido añadiendo al protocolo básico extensiones y cabeceras privadas para adaptar su uso a las necesidades del entorno móvil, y a las particularidades de una red de pago como UMTS. SIP aporta las funciones para el registro, establecimiento, liberación y mantenimiento de las sesiones IMS, lo que incluye funciones de enrutamiento de sesiones e identificación de usuarios y nodos, y también habilita todo tipo de servicios suplementarios. Cabe mencionar que los mensajes del protocolo SDP (*Session Description Protocol*) se transfieren en los mensajes SIP. El protocolo SDP, también diseñado por IETF, se emplea para describir la sesión que se negocia con SIP. Mediante SDP, los extremos de una sesión pueden indicar sus capacidades multimedia y definir el tipo de sesión que se desea mantener. Además, con SDP los extremos deciden qué flujos multimedia compondrán la sesión, de manera que establecerán a qué tipos de medios multimedia corresponden dichos flujos (audio, video, etc.) y qué *codecs* soportan y desean emplear para cada flujo, así como la configuración específica de los *codecs* anunciados. Mediante este intercambio de señalización se negocia la QoS, tanto en el establecimiento como durante la sesión en curso, si es necesario.
- *El transporte de red es realizado mediante IPv6.* IMS se ha definido desde su origen como una red y un servicio fundamentado completamente sobre IPv6. El subsistema GPRS 3G que proporciona acceso a dicha red IPv6 ha visto modificadas sus especificaciones para soportar el transporte de datagramas IPv6 desde el terminal de usuario hasta IMS, así como otras funciones tales como la configuración y la asignación de direcciones de red. Por otro lado, el terminal IMS ha de soportar el *snack* IPv6, y posiblemente IPv4. La razón para que IPv6 sea un requisito básico es la previsión del próximo despliegue paulatino de IPv6 en Internet. Por otro lado, además de las ya conocidas ventajas inherentes a IPv6 como son la QoS y la seguridad integradas, así como la autoconfiguración y el mayor espacio de direccionamiento³, el tráfico del plano de usuario se transfiere directamente entre terminales siguiendo el paradigma *peer-to-peer*. Por tanto, IPv6 simplifica el transporte de este modelo de tráfico en las redes IPv4 privadas, como son la mayor parte de las redes GPRS existentes en el mundo. Actualmente 3GPP está estudiando la interoperación con las posibles implementaciones tempranas de IMS basadas en IPv4.

Además de SIP/SDP e IPv6, 3GPP emplea otros protocolos de IETF para la provisión de servicios IP multimedia, como son:

- Los protocolos RTP (*Real Time Protocol*) y RTCP (*Real Time Control Protocol*), que se utilizan para el transporte de flujos IP multimedia del plano de usuario.

- El protocolo COPS (*Common Open Policy Service*), para el control de los recursos de GPRS mediante el uso de políticas de asignación de los mismos en función de los objetivos marcados de calidad.
- El protocolo *Diameter*, para aquellas acciones relacionadas con la autorización, autenticación y tarificación. Principalmente se emplea como heredero de MAP para el diálogo con el nodo HSS (*Home Subscriber Server*) de IMS, que sustituye las funciones realizadas por el tradicional HLR (*Home Location Register*).
- Los protocolos RSVP (*Resource Reservation Protocol*) y DiffServ, para asegurar la QoS extremo a extremo, especialmente cuando la conectividad IP requerida se extiende más allá de la red móvil GPRS.
- El protocolo *Megaco*, para el control remoto de los Media Gateways.

A continuación se describen las entidades fundamentales para la implementación de la arquitectura IMS. Un esquema de éstas se muestra puede apreciar en la Figura 3 en el Capítulo 2.2.3.

La entidad funcional clave es el nodo CSCF (*Call State Control Function*), que es básicamente un servidor SIP con funciones de *proxy*. El CSCF ejecuta tres roles diferentes en la operativa de IMS:

1. *El Proxy CSCF (P-CSCF)*, que es el punto de entrada al subsistema IMS y que recibe directamente la señalización IMS desde el terminal. Implementa las funciones de protección de señalización (seguridad) y el control de recursos del subsistema de transporte. En *roaming* es el nodo en la red visitada que se encarga de enrutar la señalización de registro y sesión desde los terminales que se encuentran en situación de *roaming* hasta la red IMS nativa. Además, ejecuta las funciones comunes a los demás CSCF: el procesado y enrutado de señalización, la consulta del perfil de usuario en el HSS y la tarificación.
2. *El Serving CSCF (S-CSCF)*. A cada usuario registrado en IMS se le asigna un S-CSCF, el cual se encarga de enrutar las sesiones destinadas o iniciadas por el usuario. También realiza el registro y autenticación del abonado IMS y la provisión de los servicios IMS (mediante el desvío de señalización a los servidores de aplicación). Asimismo aplica las políticas del operador de red y genera los registros de tarificación.
3. *El Interrogating CSCF (I-CSCF)*, que es un nodo intermedio que da soporte a la operación IMS. El I-CSCF ayuda a otros nodos a determinar el siguiente salto de los mensajes SIP y a establecer un camino para la señalización. Durante el registro, el P-CSCF se ayuda del I-CSCF para determinar el S-CSCF que ha de servir a cada usuario. En situaciones de itinerancia (*roaming*) y en sesiones interred, el I-CSCF es el punto de entrada conocido por la red IMS externa e indica el siguiente salto a realizar para la señalización. Opcionalmente, el I-CSCF efectúa funciones de ocultación de la topología de la red IMS ante redes externas, de forma que los elementos ajenos a IMS no puedan averiguar cómo se gestiona la señalización internamente.

Otros nodos de relevancia en IMS son:

- *El Home Subscriber Server (HSS)*, que hereda las funciones del HLR: almacena y gestiona el perfil del servicio IMS del abonado, almacena las claves de seguridad y genera vectores de autenticación, registra el estado de los abonados y almacena el nodo S-CSCF con el que el abonado se ha registrado, etc.
- *La Media Gateway Control Function (MGCF)*, que es parte de la arquitectura de interfuncionamiento de IMS con las redes de circuitos. En concreto, implementa el plano de control del *interworking*, traduciendo la señalización IMS SIP/SDP a SS7, y viceversa. También se encarga de controlar la operación del IM-MGW.
- *El IP Multimedia Media Gateway (IM-MGW)*, que implementa el plano de usuario de la arquitectura de interoperación de IMS con las redes de circuitos. En las redes TDM de circuitos se encarga de la transcodificación de flujos IMS sobre IP a datos de usuario.

Los servidores de aplicación y las pasarelas con destino al plano de servicios. 3GPP define interfaces IMS entre el S-CSCF y el plano de servicios, de esta manera la señalización puede desviarse hacia el plano de servicio en base a una serie de criterios que se recogen en el perfil de abonado, que el HSS alberga y que el S-CSCF descarga durante el registro de cada abonado. Por tanto, el S-CSCF puede transferir la señalización de un registro o sesión hacia un servidor de aplicaciones SIP, o transferirla hacia una pasarela.

9.12 Estándares de compresión de datos en el Dominio IP

A continuación se presentan algunos de los estándares más utilizados en las redes IP para la compresión de Voz.

9.12.1 Recomendación G.711

La ITU ha estandarizado la Modulación de Código de Pulso (PCM) como G.711, la cual permite una señal de audio de calidad estipulada con un ancho de banda de 3.4 KHz que ha de ser codificado para la transmisión de índices de 56 Kbps o 64 Kbps. El G.711 utiliza A-law o Mu-law para una compresión simple de amplitud y es el requisito básico de la mayoría de los estándares de comunicación multimedia de la ITU.

PCM es un método de codificación de señal de audio analógica más popular y es ampliamente utilizado por la red telefónica pública. Sin embargo, PCM no soporta compresión de ancho de banda, por lo que otras técnicas de codificación como ADPCM, utilizan estimaciones basándose en dos muestras cuantificadas consecutivas para reducir el ancho de banda.

9.12.2 Recomendación G.728.

G.728 permite codificar una señal de audio de calidad limitada a un ancho de banda de 3.4 KHz para ser transmitida a 16 Kbps. Esta recomendación es utilizada en sistemas de videoconferencia que funcionan a 56 Kbps o 64 Kbps. Requiere de una mayor capacidad de procesamiento del equipo utilizado, pero proporciona la misma calidad que G.711 a un cuarto de la tasa requerida para esta última.

9.12.3 Recomendación G.723.1.

G.723.1 define cómo puede codificarse una señal de audio con un ancho de banda de 3.4 KHz para transmitirse a 5.3 Kbps y 6.4 Kbps. G.723.1 requiere un índice de transmisión muy bajo ofreciendo una calidad de audio cercana a la tarifada. G.723.1 ha sido seleccionada por el VoIP Forum como el codec básico para aplicaciones de telefonía IP de bajo índice de bits.

El codificador de voz G.723.1 opera con tramas de 30 ms de señales de habla digitalizadas con una tasa de muestreo de 8 kHz.

9.12.4 Recomendaciones G.729 y G.729A.

Estas recomendaciones codifican señales de audio cerca de la calidad tarifada con un ancho de banda de 3.4 KHz para su transmisión a una velocidad de 8 Kbps. G.729A requiere una capacidad de procesamiento más baja que G.729 y G.723.1. Tanto G.729 como G.729A tienen una latencia más baja que G.723.1. Se espera que G.729A tenga un impacto mayor en la compresión de voz para su transmisión sobre redes inalámbricas.

El codificador procesa tramas de muestreo de habla de 10 m a una velocidad de 8 kHz, que junto a una anticipación de 5 m se traduce en un retraso algorítmico total de 15 m. Para cada trama de 80 muestras de datos PCM lineales de 16bits, el codificador obtiene cinco palabras de 16bits. Las aplicaciones que utilizan el vocoder G.729 incluyen telefonía digital, comunicaciones vía satélite y wireless.

9.13 Descripción de Procesos Utilizando Metodología IDEF.

La traducción literal de las siglas IDEF es Integration Definition for Function Modeling (Definición de la integración para la modelación de las funciones). IDEF consiste en una serie de normas que definen la metodología para la representación de funciones modeladas.

La metodología IDEF-0 proporciona un marco de trabajo para poder representar y entender los procesos, determinando el impacto de los diferentes sucesos y definiendo como los procesos interactúan unos con otros permitiéndonos identificar actividades poco eficientes o redundantes.

Estos modelos consisten en una serie de diagramas jerárquicos junto con unos textos y referencias cruzadas entre ambos que se representan mediante unos rectángulos o cajas y una serie de flechas. La descripción de cada proceso es considerado como la combinación de cinco magnitudes básicas que se representan gráficamente como:

- Procesos o actividades.
- Entradas (inputs)
- Controles
- Mecanismos o recursos para la realización de tareas
- Salidas (outputs) o resultados conseguidos en el proceso (que podrán ser a su vez entradas, mecanismos o controles de otros procesos)

Procesos: Se representa por una caja en la cual se encierran todas las actividades que forman parte del proceso.

Entradas: representa el material o la información que es consumida o transformada por el proceso con el objetivo de producir las salidas. Es posible que algunos procesos no tengan entrada.

Salidas: material o información producida por el proceso. Cada proceso, para ser considerado como tal, debe tener al menos una salida

Controles: reglamentan, limitan o establecen la forma en que los procesos desarrollan sus actividades para producir las salidas a partir de las entradas. Cada proceso debe tener por lo menos un control. Los más comunes son leyes, decretos, normativas, directrices, procedimientos

Mecanismos: aquellos recursos que el proceso necesita y que generalmente no son consumidos durante el mismo. Ejemplo de mecanismo: personal cuantitativa y cualitativamente adecuado, máquinas, equipamiento de informática, copadoras, etc.

Uno de los aspectos de IDEF-0 más importantes es que como concepto de modelación va introduciendo gradualmente más y más niveles de detalle a través de la estructura del modelo. De esta manera, la comunicación se produce dando al lector un tema bien definido con una cantidad de información detallada disponible para profundizar en el modelo.

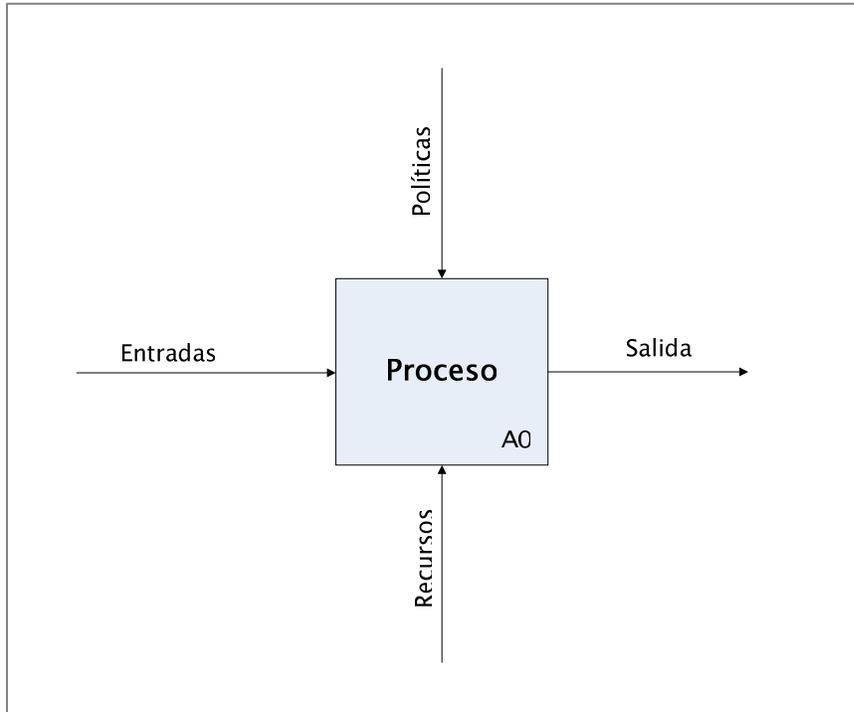


Figura 72: Estructura del diagrama IDEF.

9.14 Datos de Costos usados en la creación de los ejemplos

9.14.1 Datos de Costos de Instalación de Nodos y Enlaces

En esta sección se presentan los datos de Costos de instalación de nodos y enlaces obtenidos de la memoria del ingeniero Ariel Muñoz en el capítulo 4.4.2 “Gestión de los Costos”.

Todos los datos extraídos de esta memoria se presentan en las tablas siguientes.

	Actividad	Costos Recursos [US\$]	Costos Actividad [US\$]	Costos RRHH [US\$]
TERRENO	Alquiler del Terreno o Espacio Físico (US\$ / terreno)	15.000		
LEGALIZACION Y PERMISOS MUNICIPALES	Solicitud, trámite y aprobación SUBTEL		2.500	
	Solicitud, trámite y aprobación Municipalidad		2.000	
	Cambio de Uso de Suelo (US\$/obra)		1.000	
	Requisición		3.000	
	Cotización		2.000	
	Análisis y Evaluación de Ofertas		12.000	
	Orden de Compra		1.000	
	Diseño de Contrato		2.500	
Adecuación de Sitio de Instalación y Obras Civiles	Adecuación de Sitio de Instalación		6.000	
	Manejo de Obras (US\$/obra)		500	

INSTALACIÓN ELECTRICA			
Actividad	Costos Recursos [US\$]	Costos Actividad [US\$]	Costos RRHH [US\$]
Energía CA (UD\$ / Unidad)	7129		
Conexión de Red AC (US\$ / Conexión)	714		
Tablero CA (US\$ / Tablero)	700		
Planta CC (US\$ / Planta)	16000		
Recctificador 2x48Vx50A (US\$ / Rectificador)	6000		
Batería 2x48Vx50Ah (US\$ / Batería)	7000		
Tablero CC (US\$ / Tablero)	1000		
Instalación Eléctrica (US\$ / Instalación Eléctrica)			2143
Instalación Tablero (US\$ / Instalación Tablero)			4000

INSTALACIÓN AIRE ACONDICIONADO			
Actividad	Costos Recursos [US\$]	Costos Actividad [US\$]	Costos RRHH [US\$]
Climatizador tipo Mochila (US\$ / Unidad)	5.300		
Instalación de la Climatización			2200

INSTALACIÓN GRUPO ELECTRÓGENO			
Actividad	Costos Recursos [US\$]	Costos Actividad [US\$]	Costos RRHH [US\$]
Grupo Electrónico 10 KVA (US\$ / Grupo)	9.433		
Instalación Grupo (US\$ / Instalación Grupo)			3.745
Instalación Malla Tierra (US\$ / Malla)			3.571

TENDIDO DE CABLES			
Actividad	Costos Recursos [US\$]	Costos Actividad [US\$]	Costos RRHH [US\$]
Cable F.O. (US\$ / km de 24 pelos)	2000		
Cable Coaxial (US\$ / km)	1500		
Par Trenzado (US\$ / km)	500		
Empalme (US\$ / unidad cada km)		267	
Canalización Suburbana (US\$ / km)		34000	
Instalación subterránea (US\$ / km)		40000	
Mano de Obra Instalación Subterránea (US\$ / km)			3000

EQUIPOS DE TELECOMUNICACIONES			
Actividad	Costos Recursos [US\$]	CAPACIDAD [Mbps]	Nº PUERTAS
Switch Cisco 2950-24T	1300	1500	24
Switch Cisco 3560-48PS-S	6500	3000	48
Switch Cisco 3750-12S-S	8000	7500	12

Tabla 42: Datos de Costos de Instalación de Nodos y Enlaces.

9.14.2 Datos de Costos de Instalación de Sitios

En esta sección se presentan los datos de Costos de instalación de sitios obtenidos de la memoria del ingeniero Ariel Muñoz en el capítulo 4.4.2 “Gestión de los Costos”.

Todos los datos extraídos de esta memoria se presentan en las tablas siguientes.

INSTALACIÓN DE TORRE DE COMUNICACIONES		
Actividad	Costos Recursos [US\$]	Costos RRHH [US\$]
Torre de 30 m (US\$ / Torre)	30000	
Instalación Torre (US\$ / Instalación Torre)		5714

INSTALACIÓN DEL SHELTER		
Actividad	Costos Recursos [US\$]	Costos RRHH [US\$]
Shelter (US\$ / Shelter)	21100	
Instalación Shelter (US\$ / Instalación Shelter)		4300
Reflector Pasivo Instalado (US\$ / Reflector)		12500
Baliza + Pararrayos (US\$ / Baliza – Pararrayos)	1000	
Contenedor 2,5 x 6,0 m	8857	
Sólido de Superficie (US\$ / m2)	280	
Cerco 50 m (US\$ / Cerco)	2143	
Estanque Petróleo 3000 Litros (US\$ / Estanque)	1639	

EQUIPOS DE TELECOMUNICACIONES	
Actividad	Costos Recursos [US\$]
Radio TRX (US\$ / Equipo)	24821
Antenas (US\$ / Antena)	7373

Tabla 43: Datos de Costos para el Caso Inalámbrico