



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERIA EN ELECTRICIDAD Y

COMPUTACIÓN

**“Planificación de una red GSM / GPRS / UMTS en la ciudad de
Guayaquil”**

TESIS DE GRADO

Previa la obtención del Título de:

Ingenieros en Electrónica y Telecomunicaciones

Presentado por:

- ❖ Baque Gallino John Paul
- ❖ Ballesteros Torres Santiago Oliver
- ❖ Macancela Torres Jorge Alberto

Guayaquil - Ecuador

2007

AGRADECIMIENTO

❖ A NUESTROS PADRES

Por su paciencia e incondicional apoyo.

❖ A LA ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Por acogernos durante estos años.

❖ A TODOS LOS PROFESORES

Por sus enseñanzas y aportes a nuestra formación.

❖ AL ING. FRANCISCO NOVILLO

Director del Tópico de Graduación.

Por su ayuda y colaboración.

DECLARACIÓN EXPRESA

•La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, nos corresponden exclusivamente; y la propiedad intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral". (Reglamento de Exámenes y Títulos profesionales de la ESPOL)



John Baque Gallino



Santiago Ballesteros Torres



Jorge Macancela Torres

RESUMEN

En el primer capítulo, se describe la situación actual de la telefonía móvil en nuestro país y se analiza su evolución poniendo especial énfasis en el ámbito tecnológico. A partir de esta evaluación se analiza la factibilidad de la implementación de una red de 3G en el país.

Nuestro proyecto propone representar y analizar el camino evolutivo de una red de telefonía móvil cuya meta es brindar servicios de tercera generación en nuestro medio.

El segundo capítulo, trata de abarcar los principales conceptos y dar los fundamentos teóricos al proyecto, enmarcando las tecnologías empleadas.

En el tercer capítulo, se proponen las hipótesis con las cuales se va a desarrollar el proyecto. Los aspectos considerados para integrar este escenario incluyen:

1. La figura de una cuarta operadora, funcionando solo en el ámbito de la ciudad de Guayaquil
2. Esta operadora ha obtenido la respectiva licitación para operar en una de las bandas PCS asignadas por el ente regulador local.

Por otro lado se describe la herramienta informática que hemos utilizado para realizar ciertas predicciones de tipo radioeléctrico como cobertura y pérdidas de propagación. Además nos referimos a algunas herramientas especializadas en la planificación de sistemas celulares.

En el cuarto capítulo, se detalla el proceso de planificación, estructurado a manera de etapas, donde la primera fase comprende básicamente una red GSM pura, luego la red es adaptada para poder brindar servicio de transmisión de datos implementando GPRS sobre la red, y finalmente se analiza los aspectos de la planificación de UMTS, poniendo mucha atención en las problemáticas relacionadas a un escenario donde estas tecnologías convivan.

En el quinto capítulo, se realiza un análisis de los costos involucrados en la implementación de esta red, comparando las distintas opciones tanto tecnológicas como comerciales.

Finalmente se incluyen las conclusiones del proyecto y las recomendaciones o sugerencias del caso.

INDICE DE CAPITULOS

CAPITULO I: ANTECEDENTES	1
CAPITULO II: TEORIA	27
CAPITULO III: DESCRIPCIÓN.....	60
CAPITULO IV: DESARROLLO DEL PROYECTO	79
CAPITULO V: COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN	257

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOii
TRIBUNAL DE GRADOiii
DECLARACIÓN EXPRESAiv
RESUMENv
INDICE DE CAPITULOSvii
INDICE GENERALviii
ABREVIATURASx
INDICE DE FIGURASxv
INDICE DE TABLASxvii
CAPITULO I: ANTECEDENTES1
1.1 Evolución y panorámica de la telefonía celular	2
1.1.1 Breve repaso histórico	2
1.1.2 Presente y Perspectivas a futuro	5
1.1.2 El Mercado mundial	8
1.2 Análisis de la Telefonía Local	13
1.2.1 Marco legal y regulatorio	13
1.2.2 Tecnología	16
1.2.3 Mercado	18
1.3 Identificación de la Problemática	22
1.4 Alternativas de Solución	24
1.5 Justificación y Descripción General de la Solución	24
CAPITULO II: TEORIA27
2.1 GSM	28
2.1.1 Origen y Evolución	28
2.1.2 Servicios	30
2.1.3 Especificaciones	31
2.1.4 Arquitectura	32
2.1.5 Aspectos de la Interfaz Radio	37
2.1.6 Aspectos de la red fija	40
2.2 GPRS (General Packet Radio Service)	41
2.2.1 Fundamento y características generales	41
2.2.2 Servicios	43
2.2.3 Arquitectura	44
2.2.4 Procedimientos GPRS	45
2.2.5 Canales GPRS	47
2.3 UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)	49
2.3.1 Fundamentos y Características Generales	51
2.3.2 Servicios	52
2.3.3 Arquitectura	53
2.3.4 Descripción y aspectos de la interfaz radio	55
2.3.5 Aspectos de red	58
2.3.6 Capacidad y Cobertura	59
CAPITULO III: DESCRIPCIÓN60
3.1 Escenario e hipótesis propuestas para la solución	61
3.1.1 Mercado	62
3.1.2 Evolución de la solución planteada	70
3.2 Descripción del Software	73
3.2.1 Herramienta de predicción radioeléctrica "RADIO MOBILE"	73
3.2.2 Otros Programas de planificación celular	77
CAPITULO IV: DESARROLLO DEL PROYECTO79
4.1 Planificación GSM	80
4.1.1 Análisis de Factores de los Usuarios	82

4.1.1.1	Modelo Demográfico.....	83
4.1.1.2	Modelo de Movilidad.....	85
4.1.1.3	Modelo de Tráfico.....	90
4.1.2	<i>Elección del tamaño y tipo de celdas</i>	93
4.1.3	<i>Diseño de la Malla Celular</i>	96
4.1.4	<i>Elección de los parámetros de los sistemas radiantes</i>	107
4.1.5	<i>Análisis de Cobertura y Balances de Potencia</i>	109
4.1.6	<i>Dimensionado del Tráfico</i>	114
4.1.6.1	Estimación del Tráfico por celda.....	114
4.1.6.1.1	Tráfico útil.....	115
4.1.6.1.2	Tráfico de Señalización.....	122
4.1.7	<i>Diseño del Patrón de Reutilización</i>	134
4.1.8	<i>Asignación de Frecuencia</i>	146
4.1.9	<i>Análisis de Interferencia</i>	154
4.1.10	<i>Dimensionado del Subsistema BSS</i>	166
4.1.11	<i>Dimensionado del Núcleo de Red</i>	175
4.1.12	<i>Dimensionado de la Red de Transporte</i>	176
4.2	Planificación GPRS.....	187
4.2.1	<i>Zonificación y expansión gradual</i>	188
4.2.2	<i>Dimensionamiento del tráfico</i>	189
4.2.2.1	Tráfico útil.....	190
4.2.2.2	Tráfico de Señalización.....	201
4.2.3	<i>Asignación de Intervalos TDMA</i>	203
4.2.4	<i>Redimensionamiento y modificaciones de la Red</i>	204
4.3	Planificación UMTS.....	208
4.3.1	<i>Zonificación y Expansión Gradual</i>	211
4.3.2	<i>Dimensionado de la Red de Acceso</i>	214
4.3.2.1	Análisis de Cobertura.....	214
4.3.2.2	Análisis de Capacidad.....	218
4.3.2.3	Análisis de Interferencia.....	231
4.3.3	<i>Códigos y Frecuencia</i>	241
4.3.4	<i>Redimensionamiento y modificaciones de la red</i>	251
4.3.5	<i>Análisis de las problemáticas de la implementación UMTS</i>	255
CAPITULO V: COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN.....		257
5.1	Equipos Radiantes.....	259
5.2	Unidades Funcionales de la Red.....	268
5.3	Red de Transporte.....	273
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		281
ANEXOS.....		287
Anexo A:	Datos de la Población de Guayaquil según el Censo del 2001.....	288
Anexo B.1:	Encuesta de Mercado.....	289
Anexo B.2:	Resultados.....	290
Anexo C.1:	Especificaciones las antenas tipo panel.....	297
Anexo D.1:	Métodos semi-empíricos de Predicción Radioeléctrica.....	298
Anexo D.2:	Pérdidas por propagación vs. Radio Celular para sistemas DCS (1800MHz).....	300
Anexo E.1:	Hoja de especificación de la BTS.....	301
Anexo E.2:	Hoja de especificación de la BSC.....	302
Anexo E.3:	Hoja de especificación de la HLR.....	303
Anexo E.4:	Hoja de especificación de la MSC/VLR.....	304
BIBLIOGRAFÍA.....		307

ABREVIATURAS

1G	First Generation
2G	Second Generation
3G	Third Generation
4G	Fourth Generation
3GPP	3rd Generation partnership project
3GPP	2 3rd Generation partnership project
8-PSK	Octagonal Phase Shift Keying

A

AGCH	Access Grant Channel
AMPS	American Mobile Phone System
AMR	Adaptive Multi-Rate codec
AP	Access Point
API	Application Programming Interface
ATM	Asynchronous Transfer Mode
AuC	Authentication Center

B

BER	Bit Error Rate
BCCH	Broadcast Control Channel
BLER	Block Error Rate
BS	Base station
BSIC	Base Station Identification Code
BSS	Base Station Subsystem
BSC	Base Station Controller
BTS	Base Transceiver Station

C

CCCH	Common Control Channel
CDMA	Code Division Multiple Access
CEPT	Conference Europeenne des Postes et Telecommunications
CI	Cell Identity
C/I	Carrier/Interference
CN	Core Network
CRC	Cyclic Redundancy check
CS	Circuit Switched

D

D-AMPS	Digital AMPS
DCCH	Dedicated Control Channel

DL	Down Link
DNS	Domain Name Server
DPCCH	Dedicated Physical Control Channel
DPDCH	Dedicated Physical Data Channel
DRX	Discontinuous Reception
DS-CDMA	Direct Sequence-Code Division Multiple Access
DTX	Discontinuous Transmission
E	
EDGE	Enhanced Data Rates for Global Evolution
EGPRS	Enhanced General Packet Radio System
EIR	Equipment Identity Register
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
F	
FACCH	Fast Associated Control Channel
FCCH	Frequency Correction Channel
FDD	Frequency Division Duplex
FER	Frame Error Rate
FH	Frequency Hopping
FTP	File Transfer Protocol
G	
GERAN	GSM EDGE Radio Access Network
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying
GPRS	General Packet Radio System
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communications
GSN	GPRS Support Node
GTP	GPRS Tunnelling Protocol
H	
HLR	Home Location Register
HO	Handover
HR	Half Rate
HSCSD	High Speed Circuit Switched Data
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
I	
IETF	Internet Engineering Task Force
IMEI	International Mobile Equipment Identity
IMSI	International Mobile Subscriber Identity
IP	Internet Protocol

ISDN Integrated Services Digital Network
 ISP Internet Service Provider
 ITU-T Telecommunication standardization sector of ITU

L

LA Localization Area
 LAPD Link Access Protocol for the D channel
 LLC Logical Link Control

M

MHA Mast Head Amplifier
 MM Mobility Management
 MMS Multimedia Messaging Service
 MPLS Multi-protocol Label Switching
 MS Mobile Station
 MSC Mobile Services Switching Centre
 MTU Maximum Transfer Unit

N

NC Network Control
 NMS Network Management Subsystem
 NSS Network and Switching Subsystem

O

OMC Operations and Maintenance Center
 OSI Open System Interconnection

P

PACCH Packet Associated Control Channel
 PAGCH Packet Access Grant Channel
 PBCCH Packet Broadcast Control Channel
 PC Power Control
 PCCCH Packet Common Control Channel
 PCU Packet Control Unit
 PCH Paging Channel
 PDCP Packet Data Convergence Protocol
 PDP Packet Data Protocol
 PDU Protocol Data Unit
 PDTCH Packet Data Traffic Channel
 PNCH Packet Data Notification Channel
 PRACH Packet Random Access Channel
 PS Packet Switched/Packet Scheduler
 PSPDN Packet-Switched Public Data Network
 PSTN Public-Switched Telephone Network

PTM Point-To-Multipoint
PTP Point-To-Point

Q

QoS Quality of Service

R

RA Routing Area
RACH Random Access Channel
RLC Radio Link Control
RNC Radio Network Controller
RR Radio Resource

S

SACCH Slow Associated Control Channel
SCH Synchronisation Channel
SDCCH Stand alone Dedicated Control Channel
SGSN Serving GPRS Support Node
SIM GSM Subscriber Identity Module
SM-SC Short Message Service Center
SMG Special Mobile Group
SMS Short Message Service
SPSCH Shared Physical Sub Channel
SS7 Signalling System number 7

T

TA Timing Advance
TCH Traffic Channel
TCP Transport Control Protocol
TDD Time Division Duplex
TDMA Time Division Multiple Access
TMSI Temporary Mobile Subscriber Identity
TRAU Transcoder/Rate Adapter Unit
TRX Transceiver
TS Timeslot

U

UDP User Datagram Protocol
UE User Equipment
UL Uplink
UMTS Universal Mobile Telecommunication services
USIM Universal Subscriber Identity Module
UTRAN UMTS Terrestrial Radio Access Network

V

VoIP Voice over IP
VLR Visiting Location Register

W

WAP Wireless Application Protocol
WCDMA Wideband CDMA
WLAN Wireless LAN

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Concepto de reutilización de frecuencias.....	3
Figura 1.2	Camino Evolutivo de la telefonía celular.....	7
Figura. 1.3	Clasificación mundial de los abonados por tecnologías	9
Figura. 1.4	Crecimiento anual de abonados GSM en el mundo	9
Figura 1.5	Operadoras UMTS en el mercado mundial	10
Figura. 1.6	Expectativas de crecimiento de GSM.....	11
Figura 1.7	Cuadro de asignación de frecuencias nacional.....	14
Figura 1.8	Servicios previstos por el ente regulador	15
Figura 1.9	Distribución del mercado por tecnología.....	16
Figura 1.10	Segmentación de los usuarios por empresas	20
Figura 1.11	Mercado Local según esquema de contratación.....	21
Figura 2.1	Arquitectura de la red GSM.....	33
Figura 2.2	Estructura Jerárquica GSM.....	37
Figura 2.3	Arquitectura de la red GSM/GPRS.....	44
Figura 2.4	Estados de gestión de movilidad en GPRS	46
Figura 2.5	Canales Lógicos GPRS	48
Figura 2.6	Cuadro de Asignación de Frecuencias IMT-2000	50
Figura 2.7	Arquitectura de la red UMTS.....	54
Figura 2.8	Modos de Operación WCDMA	55
Figura 2.9	Segmentación de los servicios en la red de Transporte ATM	58
Figura 3.1	Hipótesis de mercado del proyecto.....	63
Figura 3.2	Descripción del grupo de muestreo	65
Figura 3.3	Distribución de la encuesta en función del operador celular	66
Figura 3.4	Aceptación del operador en función de los servicios.....	67
Figura 3.5	Servicios requeridos según grupo de edades.....	68
Figura 3.6	Distribución demográfica de la población ecuatoriana	69
Figura 3.7	Cobertura radioeléctrica combinada.....	74
Figura 3.8	Interferencia entre las BTS con relación a un móvil.....	75
Figura 3.9	Análisis de la Zona de Fresnel.....	76
Figura 3.10	Mapa con resolución de 2m. de la Ciudad de León (México)	77
Figura 4.1	Distribución geográfica de la población en Guayaquil	85
Figura 4.2	Modelo de movilidad en la ciudad de Guayaquil	87
Figura 4.3	División Preliminar para la estimación del patrón de movilidad de Guayaquil	88
Figura 4.4	Diseño de la malla celular de la Fase 1	99
Figura 4.5	Diseño de la malla celular de la Fase 2	100
Figura 4.6	Diseño de la malla celular de la Fase 3	101
Figura 4.7	Diseño de la malla celular de la Fase 4	102
Figura 4.8-a	Ubicación de los elementos de la red (Norte de la ciudad)	103

Figura 4.8-b	Ubicación de los elementos de la red (Centro de la ciudad)	104
Figura 4.8-c	Ubicación de los elementos de la red (Sur de la ciudad).....	105
Figura 4.9	Patrón de radiación de las antenas tipo panel	108
Figura 4.10	Disposición de los canales en modo descombinado.....	123
Figura 4.11	Áreas de Localización de la red de Guayaquil.....	126
Figura 4.12	Tasa de Utilización de los canales RACH	133
Figura 4.13	Tasa de Utilización de los canales PCH/AGCH.....	134
Figura 4.14	Diseño de las agrupaciones celulares para la Fase 1	138
Figura 4.15	Diseño de las agrupaciones celulares para la Fase 2	140
Figura 4.16	Diseño de las agrupaciones celulares para la Fase 3	142
Figura 4.17	Diseño de las agrupaciones celulares para la Fase 4	144
Figura 4.18	Cálculo de Interferencia Cocanal.....	156
Figura 4.19	Evolución de C/I en la red	165
Figura 4.20	Evolución de la Capacidad Total del Sistema.....	175
Figura 4.21	Proceso de diseño de la red de Transporte	178
Figura 4.22	Red de Transporte (Área de Localización 1).....	181
Figura 4.23-a	Red de Transporte (Área de Localización 2).....	182
Figura 4.23-b	Red de Transporte (Área de Localización 2).....	183
Figura 4.23-c	Red de Transporte (Área de Localización 2).....	184
Figura 4.24	Red de Transporte (Área de Localización 3).....	185
Figura 4.25	Proceso de Planificación de los recursos Radio de GPRS.....	187
Figura 4.26	Tasas de penetración de los servicios GPRS	191
Figura 4.27	Tasas de consumo de los servicios GPRS	191
Figura 4.28	Esquemas de Codificación para GPRS	194
Figura 4.29	Tasa de Utilización de la de señalización GSM/GPRS.....	202
Figura 4.30	Proceso de planificación de UMTS.....	210
Figura 4.31	Zonificación y crecimiento gradual de la cobertura UMTS.....	213
Figura 4.32	Relación entre la Cobertura y la Capacidad en el Uplink.....	217
Figura 4.33	Relación entre la Cobertura y la Capacidad en el Downlink	218
Figura 4.34	Carga de tráfico soportada en el enlace ascendente	222
Figura 4.35	Usuarios soportados en el enlace ascendente.....	222
Figura 4.36	Carga de tráfico soportada en el enlace descendente	228
Figura 4.37	Usuarios soportados en el enlace descendente.....	228
Figura 4.38	Usuarios de servicio UMTS.....	230
Figura 4.39	Usuarios por celda en la Hora Cargada	230
Figura 4.40	Relación entre SIR y el número de usuarios activos.....	236
Figura 4.41	Asignación de códigos en la Fase 1.....	246
Figura 4.42	Asignación de códigos de aleatorización en la Fase3	248
Figura 4.43	Asignación de Códigos de Aleatorización en la Fase 4	250
Figura 5.1	Atribución de las bandas PCS en Ecuador	259

Figura 5.2	Equipos radiantes y accesorios de una BTS modelo.....	260
Figura 5.3	Estructuras de montaje para los emplazamientos	265

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Tecnologías de las distintas generaciones de telefonía celular	6
Tabla 1.2	Proyección de usuarios 3G por región.....	12
Tabla 1.3	Proyección de ingresos de servicios 3G.....	12
Tabla 1.4	Radio Bases desplegadas por tecnología.....	18
Tabla 1.5	Resumen de la evolución del mercado local	19
Tabla 2.1	Servicios GSM.....	29
Tabla 2.2	Servicios GSM.....	30
Tabla 2.3	Especificaciones de la capa física de GSM.....	31
Tabla 2.4	Canales Lógicos GSM	39
Tabla 2.5	Servicios UMTS.....	52
Tabla 2.6	Características técnicas de WCDMA	57
Tabla 3.1	Camino Evolutivo de la red.....	71
Tabla 4.1	Índices demográficos y socioeconómicos de Guayaquil.....	84
Tabla 4.2	Matriz de movilidad de los Usuarios durante la Hora Cargada en Guayaquil.....	89
Tabla 4.3	Modelo de Tráfico de voz en Guayaquil	92
Tabla 4.4	Parámetros para el cálculo del radio celular inicial de la red	95
Tabla 4.5	Ubicación de los Emplazamientos de la red	106
Tabla 4.6	Parámetros de selección de las antenas.....	107
Tabla 4.7	Balance de Potencia para terminales clase 1 (1W).....	112
Tabla 4.8	Balance de Potencia para terminales Clase 2 (0.25W)	113
Tabla 4.9	Canales TCH de la red GSM en la Fase 1	117
Tabla 4.10	Canales TCH de la red GSM en la Fase 2.....	118
Tabla 4.11	Canales TCH de la red GSM en la Fase 3.....	119
Tabla 4.12	Canales TCH de la red GSM en la Fase 4.....	120
Tabla 4.13	Tasas locales para el cálculo de los canales SDCCH	125
Tabla 4.14	Cálculo de los canales SDCCH en la Fase 1	127
Tabla 4.15	Cálculo de los canales SDCCH en la Fase 2.....	128
Tabla 4.16	Cálculo de los canales SDCCH en la Fase 3.....	129
Tabla 4.17	Cálculo de los canales SDCCH en la Fase 4	130
Tabla 4.18	Agrupaciones celulares de la Fase 1	139
Tabla 4.19	Agrupaciones celulares de la Fase 2	141
Tabla 4.20	Agrupaciones celulares de la Fase 3	143
Tabla 4.21	Agrupaciones celulares de la Fase 4	145
Tabla 4.22	Matriz de asignación de frecuencia en la Fase 1	147
Tabla 4.23	Matriz de colindancia de celdas en la Fase 1.....	148

Tabla 4.24	Asignación de frecuencias en la Fase 1.....	150
Tabla 4.25	Asignación de frecuencias en la Fase 2.....	151
Tabla 4.26	Asignación de frecuencias en la Fase 3.....	152
Tabla 4.27	Asignación de frecuencias en la Fase 4.....	153
Tabla 4.28	Ganancia en función del Ángulo de Directividad	157
Tabla 4.29	Relación C/I en la Fase 1	158
Tabla 4.30	Relación C/I en la Fase 2.....	159
Tabla 4.31	Relación C/I en la Fase 3.....	160
Tabla 4.32	Relación C/I en la Fase 4.....	162
Tabla 4.33	Resumen del despliegue de la red GSM	166
Tabla 4.34	Capacidad del sistema BSS en la Fase 1	168
Tabla 4.35	Capacidad del sistema BSS en la Fase 2.....	169
Tabla 4.36	Capacidad del sistema BSS en la Fase 3.....	170
Tabla 4.37	Capacidad del sistema BSS en la Fase 4.....	171
Tabla 4.38	Resumen de la Capacidad de Tráfico GSM de los BSC	172
Tabla 4.39	Características del Tráfico de Voz.....	179
Tabla 4.40	Capacidad de los enlaces de la Fase 1	179
Tabla 4.41	Servicios básicos en el dimensionado de la red GPRS	189
Tabla 4.42	Parámetros del modelo de tráfico GPRS	193
Tabla 4.43	Dimensionado del Tráfico GPRS en la Fase 2	196
Tabla 4.44	Dimensionado del Tráfico GPRS en la Fase 3	197
Tabla 4.45	Dimensionado del Tráfico GPRS en la Fase 4	199
Tabla 4.46	Capacidad de los enlaces en la Fase 2	205
Tabla 4.47	Resumen de la Capacidad de Tráfico GPRS de los BSC	207
Tabla 4.48	Balance de Potencias del Enlace Ascendente.....	215
Tabla 4.49	Balance de Potencias del Enlace Descendente.....	216
Tabla 4.50	Cuadro de Capacidad para el enlace ascendente	221
Tabla 4.51	Distribución de Potencia de los canales de control DL	226
Tabla 4.52	Cuadro de Capacidad para el enlace descendente	227
Tabla 4.53	Consumo promedio de los servicios UMTS por usuario	229
Tabla 4.54	Análisis de Interferencia del UL para la Fase 2	233
Tabla 4.55	Análisis de Interferencia del UL para la Fase 3	234
Tabla 4.56	Análisis de Interferencia del UL para la Fase 4	235
Tabla 4.57	Análisis de Interferencia del DL para la Fase 2	238
Tabla 4.58	Análisis de Interferencia del DL para la Fase 3	239
Tabla 4.59	Análisis de Interferencia del DL para la Fase 4	240
Tabla 4.60	Códigos empleados en la red UMTS	242
Tabla 4.61	Asignación de Códigos de Aleatorización en la Fase2.....	245
Tabla 4.62	Asignación de Códigos de Aleatorización en la Fase 3.....	247
Tabla 4.63	Asignación de Códigos de Aleatorización en la Fase 4.....	249

Tabla 4.64	Capacidad de los enlaces de la Fase3	252
Tabla 4.65	Capacidad de los enlaces de la Fase4	253
Tabla 5.1	Cotización los elementos radiantes y accesorios (h = 30m).....	263
Tabla 5.2	Cotización de una torre base triangular de 30m de altura	266
Tabla 5.3	Cotización nacional de las estructuras de montaje.....	267
Tabla 5.4	Otros Gastos implícitos en el costo de un emplazamiento.....	268
Tabla 5.5	Costo de una BTS GSM (4+4+4).....	269
Tabla 5.6	Costo de una BSC GSM de 120 TRX.....	269
Tabla 5.7	Costo de una MSC GSM y de algunos de sus componentes	270
Tabla 5.8	Costos de módulos que pertenecen a la Arquitectura GSM	271
Tabla 5.9	Costo de Una BTS 3G (UMTS).....	272
Tabla 5.10	Costo de un RNC de 120 TRX	272
Tabla 1.11	Datos Teóricos vs. Capacidad real de los elementos	273
Tabla 5.12	Significado de las variables de la ecuación 5.1	274
Tabla 5.13	Costos totales de la red de enlaces vía radio.	275
Tabla 5.13	Cotización para la implementación de un radio enlace.	276
Tabla 5.14	Costos de alquiler de enlaces vía Fibra Óptica	277
Tabla 5.15	Costos totales de la red de enlaces vía Fibra Óptica	278
Tabla 5.16	Resumen general de costos (Inversión Inicial)	279

CAPITULO I: ANTECEDENTES

1.1 Evolución y panorámica de la telefonía celular

En este apartado se recogen algunos aspectos históricos del desarrollo de las telecomunicaciones móviles a escala mundial. También se repasan brevemente las tecnologías actualmente utilizadas por las redes móviles. Además, se aportan algunos datos para poder evaluar la importancia social y económica que el sector ha alcanzado. Finalmente, se hace uso de ciertos datos proyectados por los organismos reguladores más importantes mundialmente, que ayudarán a vislumbrar el futuro panorama de la telefonía celular en Ecuador.

1.1.1 Breve repaso histórico

El objetivo fundamental de las comunicaciones móviles, es poder satisfacer las necesidades del usuario en cualquier momento y en cualquier lugar, sin importar si este se encuentra en un lugar fijo o en movimiento.

Los dos desarrollos tecnológicos que en realidad marcaron el soporte de la movilidad en las comunicaciones fueron [1]:

- El desarrollo de las comunicaciones vía radio (1896)
- La aparición del transistor (1947) y posteriormente de los circuitos integrados (1959)

Pero hay un hecho que podría considerarse mucho más significativo en la historia de las comunicaciones móviles, el desarrollo del **concepto de reutilización celular**. (Douglas H. Ring, 1947) Previo este acontecimiento las transmisiones móviles se basaban en un gran transmisor central emitiendo a máxima potencia tratando de cubrir el mayor área posible. El concepto celular proponía dividir el espectro disponible en varios canales, limitar la potencia y extender la cobertura instalando más transmisores, vea la Figura 1.1. La clave de este concepto reside en la reutilización de la misma frecuencia en aquellos transmisores que estén lo suficientemente alejados para evitar interferencias. A la zona cubierta por un transmisor se le denominó *célula*.

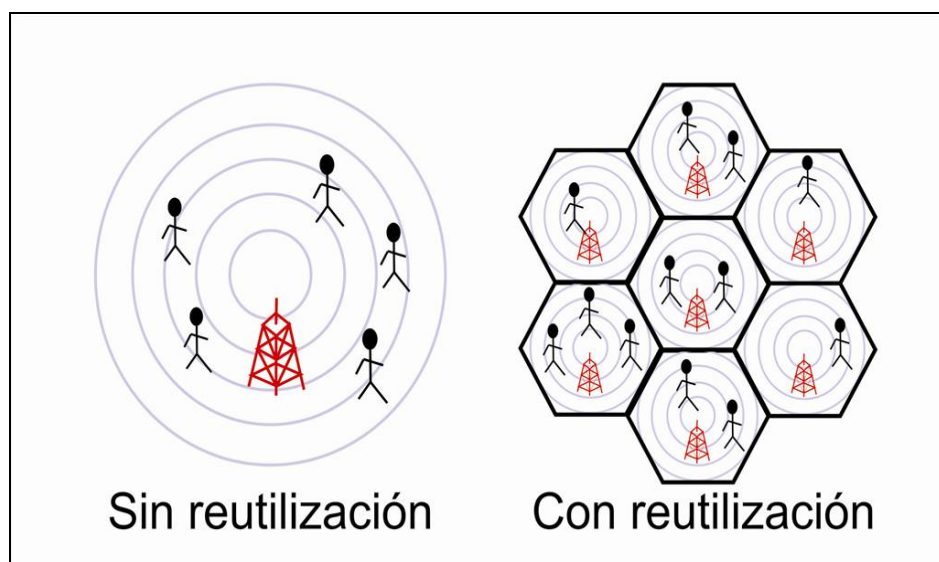


Figura 1.1 Concepto de reutilización de frecuencias

Ahora bien, cuando se trata de analizar el camino evolutivo de la telefonía celular se utiliza como criterio de clasificación al tipo de generación al que pertenecen. (analógica, digital, y multimedia)

La **1º generación** de las **PLMN** (*Public Land Mobile Network*) corresponde a las comunicaciones basadas en tecnología analógica, la cual estaba básicamente enfocada a los servicios de voz y a los servicios de datos de muy baja tasa binaria, por ejemplo la mensajería. Desde el punto de vista tecnológico, esta generación se caracteriza por estar basada en soluciones propietarias desarrolladas por proveedores como *Ericsson*, *NTT*, *Motorola* o *AT&T*. Este tipo de redes llegó a contar con 20 millones de usuarios a principios de la década de los noventa.

Los dos principales inconvenientes de las redes PLMN de primera generación fueron:

- Limitación de crecimiento en capacidad.
- Falta de acuerdos internacionales, que permitan la itinerancia.

La inexistencia de un estándar global fue una de las razones que impulsaron el desarrollo de los sistemas de **2º generación** (2G), especialmente en Europa, caracterizados por la utilización de tecnología de transmisión digital y por el soporte a los servicios de datos con velocidades binarias relativamente

bajas. (Desde 9,6 Kbit/s a 14,4 Kbit/s) Su estudio y definición iniciaron a principios de los años 80, y las primeras redes comerciales aparecieron a principios de los 90. El estándar adoptó el nombre de **GSM** (Global System for Mobile Communications), cuya evolución se describe más en detalle en el siguiente capítulo.

Por otro lado, en Estados Unidos surgieron otros estándares de segunda generación, como **TDMA** (Time Division Multiplexing Access) y **CDMA** (Code Division Multiplexing Access), en los que era un requisito básico la posible coexistencia con la tecnología analógica.

1.1.2 Presente y Perspectivas a futuro

En vista de las limitaciones en cuanto a la velocidad de transferencia de datos en las redes de segunda generación, se implementaron algunas técnicas que sustituyeron la conmutación de circuitos empleadas en 2G, por la conmutación de paquetes, siendo esta funcionalidad el paso intermedio entre la segunda y tercera generación, lo que se ha denominado la **Generación 2.5** (2.5G), entre las técnicas desarrolladas en esta generación podemos nombrar básicamente a: **GPRS** (General Packet Radio Services) y **EDGE** (Enhanced Data for Global Evolution).

La necesidad de ofrecer nuevos servicios, dada las condiciones del mercado en el futuro impulsó la investigación y el desarrollo de los sistemas pertenecientes a la **3ª generación. (3G)**

Así las investigaciones y desarrollos se orientaron hacia la búsqueda de un sistema que incremente la capacidad de la red, lo cual se refiere a un mayor manejo de usuarios, tasas de transferencia de datos más altas y una mejora en la calidad de servicio, siendo algunas variaciones de CDMA las técnicas de acceso predominantes, entre los cuales se encuentra **UMTS** (Universal Mobile Telecommunication System).

En la Tabla 1.1 se muestran las tecnologías empleadas en cada generación de las PLMN en el ámbito mundial.

Tabla 1.1 Tecnologías de las distintas generaciones de telefonía celular

	1G	2G	2.5G	3G
Europa	NMT,TACS	GSM 900 1800 DECT	GPRS	UMTS (WCDMA), EDGE
Estados Unidos y Latinoamérica	AMPS	TDMA,cdmaOne GSM 850 1900	CDMA2000 1xRTT	EDGE CDMA2000 1xEV-DO
Japón	IMTS	PHS, cdmaOne PDC	CDMA2000 1xRTT	FOMA, WCDMA, CDMA2000 1xEV-DO
China		GSM, cdmaOne	CDMA2000 1xRTT	TD-SCDMA

La evolución técnica de los sistemas móviles se dirige a conseguir que soporten simultáneamente mayores tasas binarias y mayor movilidad. Para ello, el enfoque técnico se orienta más que hacia el desarrollo de nuevas interfaces radio, hacia la convergencia entre los distintos tipos de redes radio que atienden a los servicios y requisitos existentes actualmente. Esto es lo que se conoce como la evolución hacia la **4ª Generación**. La Figura 1.2 presenta el proceso evolutivo de las PLMN, que va desde los servicios de conmutación de circuitos ofrecidos a 9.6Kbps en GSM hasta alcanzar hoy los 2Mbps de UMTS y en un futuro no tan lejano se pretende otorgar a los usuarios finales una velocidad de transferencia de datos similar a las actualmente brindada por las LAN (Local Area Network) es decir 100Mbps.

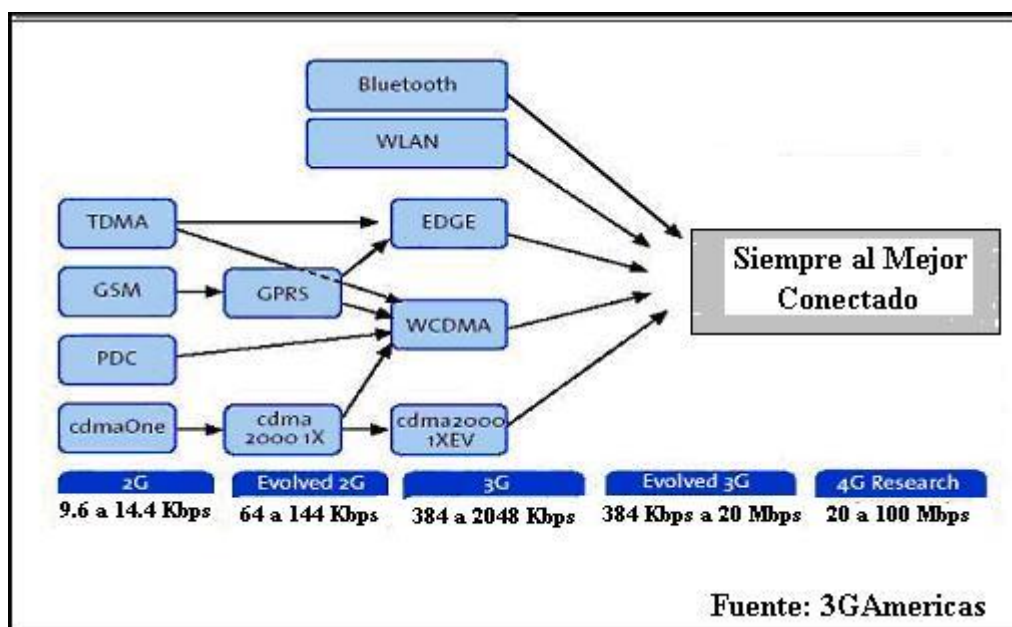


Figura 1.2 Camino Evolutivo de la telefonía celular

Los objetivos básicos de la 3G serían:

1. **Definir un escenario heterogéneo.** El acceso al usuario en movimiento no se realizará exclusivamente a través de una sola solución radio, es decir, existe una conexión simultánea a varios tipos de redes (Redes LAN Inalámbricas, redes celulares, Internet), estas conexiones dependerán del tipo de movilidad y clase de tráfico.
2. **Lograr una capacidad escalable en la interfaz radio.** El método propuesto en la red de acceso, permite manejar con flexibilidad la capacidad de las redes.
3. **Asignar dinámicamente el espectro.** Se desea evitar los problemas de falta de espectro y las consiguientes asignaciones por subasta y sus dificultades consecuentes.

1.1.2 El Mercado mundial

El mercado actual de la telefonía celular se enmarca básicamente en la competencia entre las tecnologías de la familia GSM vs. CDMA

Tomando como referencia datos estadísticos obtenidos de fuentes como la *3G Americas & Informa Telecoms and Medias World Cellular Information Service [2]*, la predominancia en el mercado de las tecnologías GSM es abrumadora, igual que su proyección a futuro en el mercado mundial.

La Figura 1.3, muestra la distribución mundial de los usuarios celulares en función de la tecnología.

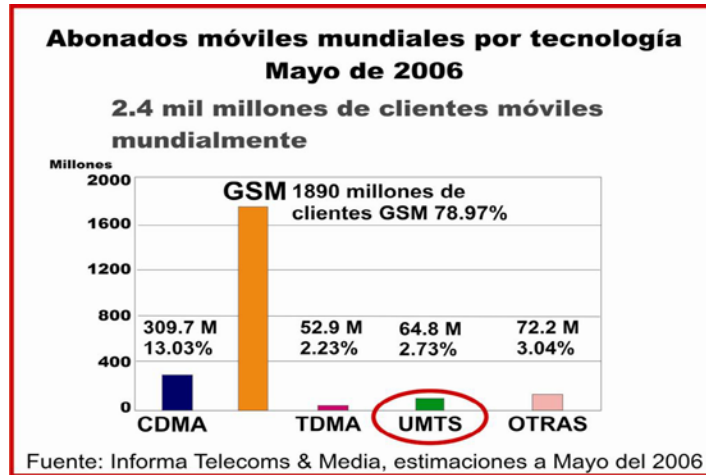


Figura. 1.3 Clasificación mundial de los abonados por tecnologías

Desde una perspectiva regional, América Latina y el Caribe encabezan las zonas de más altas tasas de crecimiento en el último año, de usuarios GSM.

Vea la Figura 1.4.

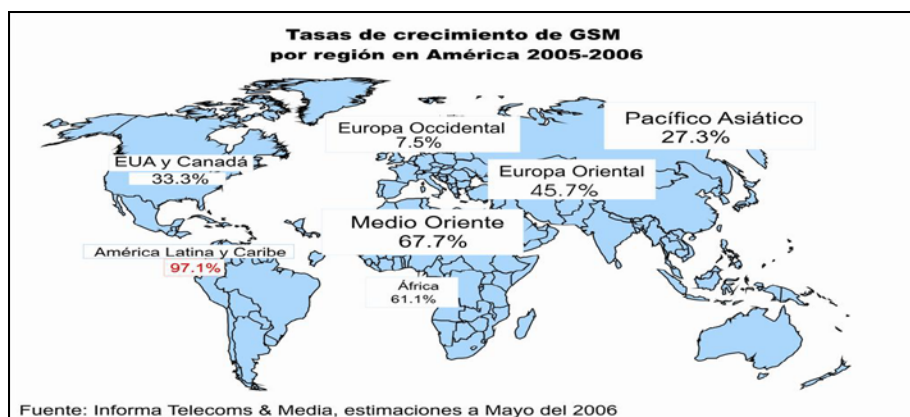


Figura. 1.4 Crecimiento anual de abonados GSM en el mundo



Figura. 1.6 Expectativas de crecimiento de GSM

Entre las proyecciones relacionadas al crecimiento de GSM y UMTS podemos anotar:

- Para el año 2010 se llegará a los 3 mil millones de usuarios GSM. Vea Figura 1.6
- Crecimiento exponencial de los servicios 3G a partir del 2007.
- En el 2010 las redes 3G soportarán un 63% de los usuarios móviles en el mundo y proporcionarán un 66% de los ingresos totales.

El porcentaje de usuarios 3G por región en los años 2004 y su contraste en el 2011 se muestra en la Tabla 1.2, mientras en la Tabla 1.3 se presentan los ingresos que generarán estos sistemas [3].

Tabla 1.2 Proyección de usuarios 3G por región

Región	2004	2011
Norte América	16%	20%
Asia-Pacífico	27%	18%
Europa Oeste	57%	25%
Medio Oeste y África	0%	7%
Europa Central y del Este	0%	5%
Asia Central	0%	12%
Centroamérica y sudamérica	0%	13%

Las proyecciones muestran un índice interesante de crecimiento para Latinoamérica y el Caribe, lo que hace atractiva la inversión de las operadoras hacia el despliegue de la tecnología 3G, es más se prevé que los rubros generados por estos servicios represente más del 50 % de sus ingresos

Tabla 1.3 Proyección de ingresos de servicios 3G

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2010
Total Mundial							
Usuario Móviles Totales	469	641	818	1002	1188	1369	2061
Porcentajes Usuarios 3G	0	0	0	0	1	3	53
Ingresos Totales	386	462	534	601	634	766	1108
Porcentajes Ingresos 3G	0	0	0	1	3	8	66
Total Centroamérica y Sudamérica							
Usuarios móviles totales	37	58	85	116	149	185	321
Porcentajes Usuarios 3G	0	0	0	0	0	0	41
Ingresos Totales	31	42	53	65	79	94	152
Porcentajes Ingresos 3G	0	0	0	0	0	0	57

1.2 Análisis de la Telefonía Local

La presente sección trata de dar un enfoque a la realidad del Ecuador de frente a la telefonía móvil celular, es así que se toma en consideración aspectos relacionados con las regulaciones legales en que se desarrolla esta actividad en el país; además se analiza el marco tecnológico que envuelve su desarrollo, y finalmente el mercado ecuatoriano es parte de este estudio.

1.2.1 Marco legal y regulatorio

La administración del espectro radioeléctrico en el país está a cargo de la Secretaria Nacional de Telecomunicaciones, la cual además regula la prestación de los servicios de este tipo, como es el caso del servicio celular, el que se divide en 2 modalidades [4]:

Servicio de Telefonía Móvil Celular (STMC): Es el servicio final de telecomunicaciones por medio del cual se proporciona la capacidad completa para la comunicación entre suscriptores con movilidad, así como su interconexión con los usuarios de la red telefónica pública y otras redes autorizadas.

El servicio se presta a través de un sistema o red de telefonía celular, que opera en una banda de frecuencia atribuida y frecuencias específicamente

adjudicadas al servicio, y se integra por centrales de conmutación celular, estaciones radioeléctricas base y por enlaces entre centrales, estaciones y demás instalaciones.

Servicio Móvil Avanzado (SMA): Es un servicio final de telecomunicaciones del servicio móvil terrestre, que permite toda transmisión, emisión y recepción de signos, señales, escritos, imágenes, sonidos, voz, datos o información de cualquier naturaleza.

Las operadoras interesadas en prestar estos tipos de servicios, deben primero participar en un concurso de licitación para poder adquirir los derechos de operación sobre una determinada banda. La Figura 1.7 resume el cuadro de asignación nacional de frecuencias, para el segmento de telefonía celular en función del tipo de servicio (STMC ó SMA)

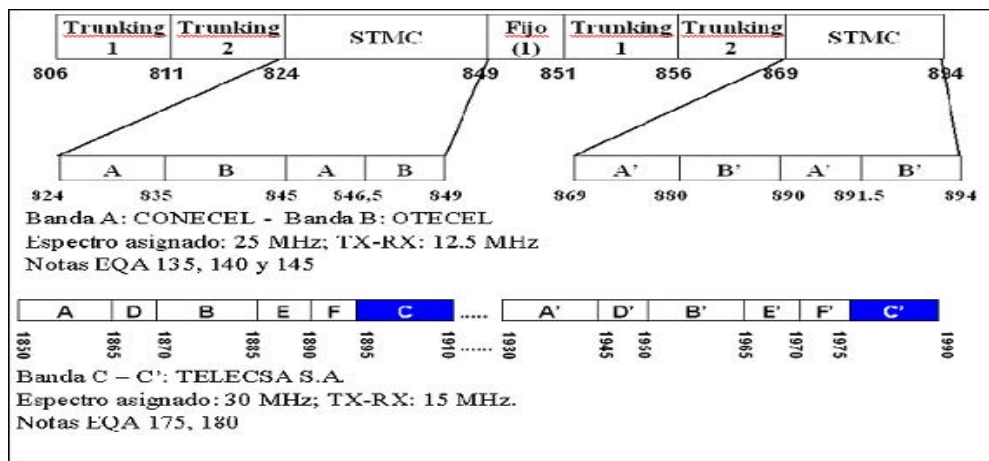


Figura 1.7 Cuadro de asignación de frecuencias nacional

El cuadro mostrado en la Figura 1.8 resume los servicios que se permiten prestar en función de la clasificación establecida por el ente.

Además en el caso de STMC se incluyeron los siguientes servicios adicionales tales como: Acceso móvil a redes corporativas, acceso móvil a Internet, correo electrónico inalámbrico, localización vehicular, telemetría, servicios de Internet y servicios a clientes corporativos y redes LAN.

STMC	SMA
<ul style="list-style-type: none"> • Telefonía Móvil • Transferencia de llamadas • Llamada en espera • Conferencia tripartita • Mensaje de voz electrónico • Facturación detallada • Identificación del número que llama • Envío de mensajes cortos 	<ul style="list-style-type: none"> • Telefonía Móvil • Voz • Datos • Video • Audio • Mensajes Cortos • Transmisión de datos

Figura 1.8 Servicios previstos por el ente regulador

Podemos entonces concluir que las regulaciones nacionales en lo que respecta a la telefonía móvil, no se enmarcan en la tecnología que el operador planea implementar en sus redes sino más bien se describen en función de los servicios que dichos operadores están autorizados a explotar. Esta desvinculación entre regulación y tecnología tiene su explicación en la adopción de nuestro país del modelo norteamericano de asignación de espectro, la llamada banda de Servicios de Comunicaciones Personales (PCS), donde priman los servicios y no una tecnología en concreto.

1.2.2 Tecnología

En el país, actualmente se encuentran desplegadas por parte de los tres operadores celulares las tecnologías: TDMA, CDMA, GSM y CDMA2000 1X EV-DO. En la Figura 1.9 se resume la distribución de los usuarios por operadora y por tecnología. [5]

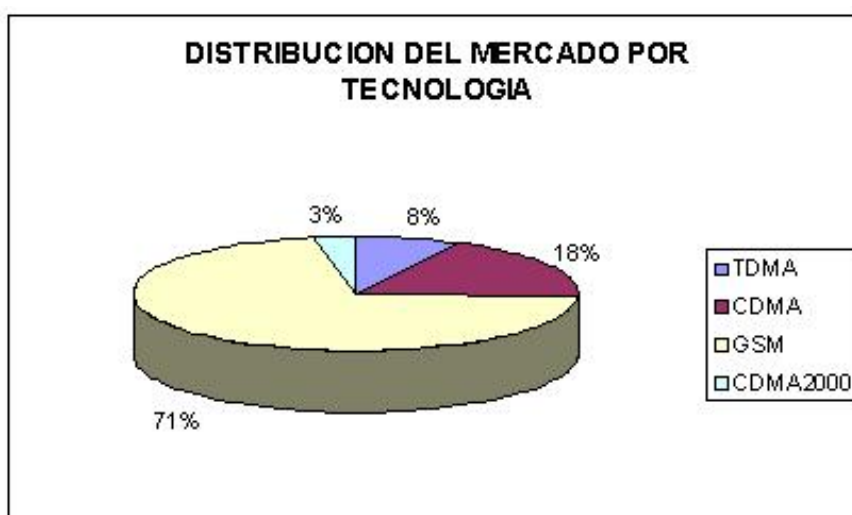


Figura 1.9 Distribución del mercado por tecnología

Se puede distinguir una gran predominancia por parte del segmento GSM en el ámbito local, esto debido posiblemente a las ventajas competitivas en el mercado que presenta GSM al aprovechar la **economía de escala** en los terminales.

No solo el operador dominante CONECEL (Porta) mantiene una red GSM, desde el año 2004 el segundo operador más grande más grande, OTECEL (Movistar), apuntó sus esfuerzos al despliegue de una red GSM que le permita competir y brindar nuevos servicios. Por su parte TELECSA (Alegro PCS) no ha obtenido los resultados esperados en el mercado con su red CDMA2000, planteándose entonces la necesidad de migrar hacia GSM, la principal de las causas que podemos mencionar para la migración tecnológica de ALEGRO es el relativamente elevado costo de los terminales de usuario para el mercado local.

Es importante aclarar que el término “migración” al que hacemos referencia, no implica de ninguna manera dejar de brindar este tipo de servicios, sino que conlleva la coexistencia de más de una tecnología en sus redes. Por ejemplo en el caso del operador OTECEL, mantiene actualmente a usuarios con tecnología TDMA, CDMA y GSM.

Pero son las condiciones y expectativas del mercado las que llevan al operador a fortalecer los recursos de una tecnología en específico. Un indicador importante de esto es el número de radio bases desplegadas para cada tecnología, un resumen se muestra en la Tabla 1.4 en función tanto de tecnología como por operadora en el territorio nacional.

Tabla 1.4 Radio Bases desplegadas por tecnología

	No. RBS				No. Enlaces
	TDMA	GSM	CDMA	TOTAL	
TOTAL	419	952	424	1795	1558
CONECCEL	201	724	0	925	864
OTECCEL	218	228	224	670	490
TELECSA	0	0	200	200	204

Fuente: Informe de Labores de la SUPERTEL del año 2004

Actualmente tanto CONECCEL como OTECEL, han implementado sobre sus respectivas redes GSM las funcionalidades de la llamada 2.5G.

La implementación de GPRS sobre las redes GSM existentes, han permitido a los usuarios navegar por Internet desde su móvil, enviar y recibir mensajes multimedia, correo electrónico, descargar aplicaciones multimedia tales como juegos y timbres, pero cabe indicar que el despliegue no ha sido total sino más bien enfocado hacía las zonas urbanas, debido a que en ellas se concentran la mayor cantidad de tráfico de este tipo.

1.2.3 Mercado

La telefonía móvil celular en el Ecuador, es un fenómeno en pleno desarrollo y con grandes perspectivas de crecimiento. Esto se puede apreciar en las cifras presentadas por la Superintendencia de Telecomunicaciones, las

cuales muestran una penetración superior al 50% del servicio celular en la sociedad ecuatoriana a finales del 2005. La Tabla 1.5 resume la evolución del mercado a desde sus inicios.

Tabla 1.5 Resumen de la evolución del mercado local

	OTECCEL	CONECCEL	TELECSA	TOTAL	Penetración	Crec. Anual
1994	5300	13620		18920	0,15%	
1995	23800	30548		54348	0,43%	187,25%
1996	23295	36484		59779	0,48%	9,99%
1997	62345	64160		126505	1,01%	111,62%
1998	115154	127658		242812	1,94%	91,94%
1999	171310	166070		337380	2,70%	38,95%
2000	186553	196632		383185	3,07%	13,58%
2001	375170	483982		859152	6,87%	124,21%
2002	639938	920878		1560816	12,49%	81,67%
2003	861342	1533015	3804	2398161	19,19%	53,65%
2004	1119757	2317061	107356	3544174	28,35%	47,79%
2005	2055781	4236904	233896	6526581	52,21%	84,15%

El operador dominante en el mercado es la empresa CONECCEL (Ver Figura 1.10), la cual registró ventas en el 2005 por 618 millones de dólares y 63 millones en utilidades. Sus ventas incrementaron en un 74% y sus utilidades aumentaron 14% respecto al año anterior. [6]

El caso de OTECEL es similar, la empresa vendió 349.9 millones de dólares, es decir vendieron 42 millones más que el año pasado. Empero sus utilidades disminuyeron en casi 13 millones de dólares. Este crecimiento en

ventas es el resultado de una mayor oferta de servicio debido al despliegue de su nueva red GSM, complementaria a la CDMA1 que ya tenían.

Si bien las ventas de TELECSA superaron a las del 2004, sus pérdidas también. Así, con un ingreso de 41 millones de dólares en su tercer año de operación registró una pérdida de 58 millones. Esto implica que el 2005 fue el tercer año que la empresa registró pérdidas.

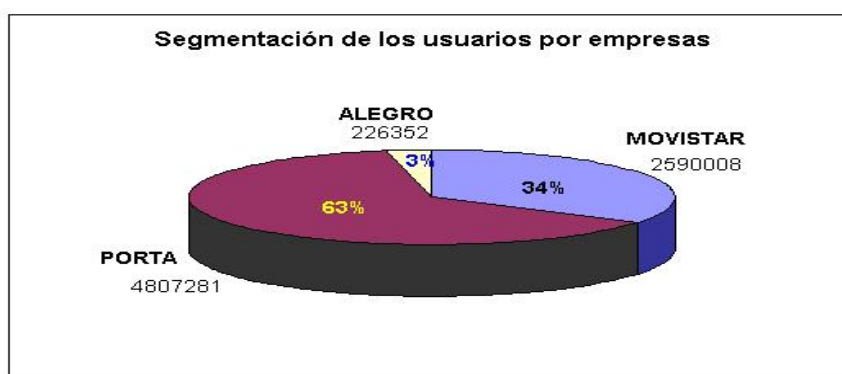


Figura 1.10 Segmentación de los usuarios por empresas

Al caracterizar el mercado local, el modo de contratación de servicios es una de los principales puntos a evaluar. Como lo muestra en la Figura 1.11 el segmento de usuarios prepago domina el mercado, lo cual puede ser explicado por la situación económica del país.

Otra característica importante a tomar en cuenta en el mercado local son las clases de servicios demandados. A pesar de que se muestra un cierto incremento en las tasas de utilización de los servicios GPRS, aún los niveles pueden ser considerados bajos con relación a las tasas de consumo de

servicios como voz y SMS. Esto puede ser explicado por el poco tiempo de lanzamiento de estos servicios, la falta de difusión y los precios.

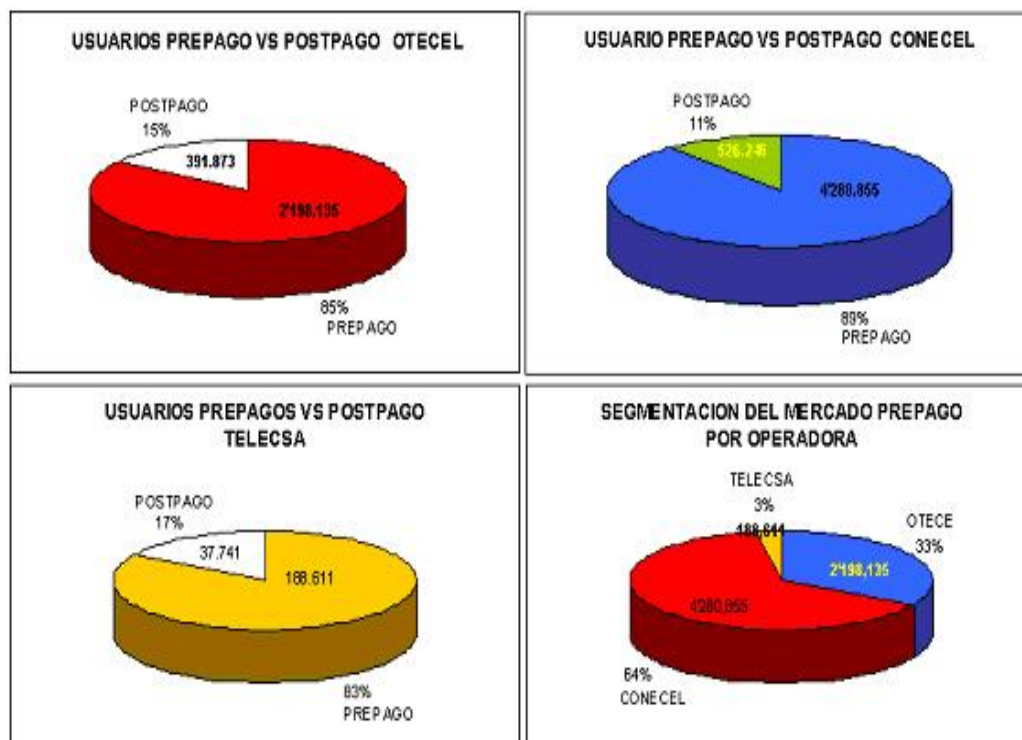


Figura 1.11 Mercado Local según esquema de contratación

Como se mencionó, un servicio de gran impacto en el mercado local es el SMS, servicio que registró durante el año 2005 alrededor 7.152'000.000 de mensajes, cerca de un 40% más que en el 2004, la cifra representó alrededor de 160 millones de dólares en ventas para las operadoras y un promedio de 5 al 7% de sus ingresos. [7]

1.3 Identificación de la Problemática

En este apartado se busca plantear, analizar y explicar la problemática que sustenta el presente estudio. Ya que una vez que ha sido expuesto el marco referencial en el cual se planea desarrollar el proyecto, el siguiente paso es delinear y delimitar el problema a ser tratado.

Se podría decir que las comunicaciones celulares en el país apenas llevan unos cuantos años de ser partícipes de un verdadero estado de libre competencia, tan solo con la incorporación hace pocos años de un tercer operador celular los cambios han sido notables, y todos apuntando hacia el beneficio del usuario.

La propuesta del presente proyecto apunta a analizar las problemáticas que intervienen en la etapa de planificación para el despliegue de una red celular, situación que de una u otra forma parece no tan lejana:

- Las empresas CONECEL (30 de octubre de 2003) y OTECEL (24 de febrero de 2005), solicitaron al CONATEL la asignación de 10MHz de espectro en banda de 1900MHz para la ampliación de sus redes, con el objeto de incrementar su número de usuarios. [8]

- Se conoce extraoficialmente que las bandas de frecuencia no concesionadas en el segmento asignado a los servicios SMA, están en etapa de estudio para su futura licitación.
- Finalmente, como ya se ha mencionado la empresa TELECSA (ALEGRO PCS), por cuestiones de competitividad y de mercado, analiza el desplegar una red GSM. [9]

En cualquiera de estos escenarios, se enmarca el desarrollo de este proyecto, el cual se enfoca a la etapa de diseño y planificación de los aspectos relacionados con la implementación de un sistema de telefonía celular.

Entre los objetivos del proyecto podemos citar:

- Analizar la etapa del dimensionado de la red.
- Representar las diferentes y secuenciales etapas involucradas en la planificación de los subsistemas de la red.
- Mostrar el proceso de maduración de una red, término que hace referencia al estado en que la red requiere el incremento tanto de aspectos como cobertura y capacidad.
- Representar el camino evolutivo de una red 2.5G hacia la 3G
- Analizar las problemáticas de un escenario donde coexistirán múltiples tecnologías

1.4 Alternativas de Solución

La propuesta de una cuarta operadora en el país implica la selección de la plataforma tecnológica que esta usará, ya que como se ha mencionado las regulaciones existentes en el país no implican la licitación de espectro en función de tecnología, siendo absoluta responsabilidad del operador el camino tecnológico por cual este opte.

Esta es la disyuntiva primaria de cualquier operador ¿GSM ó CDMA? La respuesta no es cien por cien definitiva, más bien depende de algunos factores a considerar, ya cada una de estas familias tecnológicas presenta sus ventajas y desventajas en función del criterio con que se evalué.

1.5 Justificación y Descripción General de la Solución

Como se puede apreciar de lo expuesto anteriormente en el análisis del mercado tanto mundial como local, la familia de tecnologías GSM se impone y parece que sus perspectivas a futuro son las mejores.

Los resultados de una encuesta presentada más adelante en el capítulo 3, nos indican que plantear una etapa inicial GSM puro, no sería lo más conveniente en el ámbito económico, lo que nos lleva proponer el despliegue GSM/GPRS desde el inicio.

Finalmente, dentro de la planificación se analiza las perspectivas de implementar una tecnología de 3G como UMTS, con el afán de brindar nuevos servicios a los usuarios. Este proceso aunque natural desde el punto evolutivo de las tecnologías, representa un desafío, considerando que a nivel latinoamericano no se han desplegado este tipo de redes aún, pero en países como México y Brasil se están desarrollando pruebas para su implementación.

Si bien es cierto que su concepción inicial es la de utilizar como base el mismo núcleo de red GSM/GPRS, lo que se traduce en un ahorro considerable no solo económicamente sino técnicamente hablando, los principales inconvenientes y desafíos se encuentran en la llamada UTRAN (Red de acceso radio terrestre del sistema UMTS) la cual comprende tanto la red de acceso (la interfaz radio propiamente dicha), como la red de transporte:

- En lo que respecta a la **interfaz radio**, uno de los principales inconvenientes es el desarrollo de una política de balance de carga, de tal manera que se distribuya de manera uniforme el tráfico de voz, datos de baja velocidad y datos de alta velocidad.
- En la **red de transporte**, se hace necesaria la ampliación de su capacidad y velocidad de transmisión además de la incorporación de nuevas funcionalidades que garanticen un rendimiento adecuado para la prestación de los nuevos servicios.

A pesar de los esfuerzos y riesgos que puede significar desplegar una red de 3G en el país, el escenario que se vislumbra es el adecuado para la inclusión de UMTS en el mercado ecuatoriano, veamos:

- Se espera que el mercado de la telefonía celular en el país llegue a su nivel de saturación para el 2008 con un 70 al 80% de penetración nacional. Con lo cual el objetivo de las empresas cambiará, de captar nuevos usuarios sin servicio previo a disputarse los usuarios servidos por un competidor. Es entonces donde la prestación de nuevos servicios es una estrategia conveniente
- Como se ha planteado en este proyecto, el lanzamiento de UMTS será precedido por una etapa en la cual se prestará servicios 2.5G, este camino evolutivo suaviza el impacto en el mercado y en el usuario, dando la ventaja al operador de afianzarse en el mercado y crear una imagen estable como empresa.

CAPITULO II: TEORIA

2.1 GSM

Esta sección busca dar algunos conceptos referentes al sistema de segunda generación celular GSM (Global System Mobile), la cual es la tecnología que servirá como plataforma tecnológica para el desarrollo de la red planificada en este estudio.

2.1.1 Origen y Evolución

La situación que se vivía en los primeros años de la década de los 80 era curiosa ya que los sistemas existentes hasta ese momento eran sistemas analógicos que habían tenido mucho éxito en los países nórdicos y en el Reino Unido sin embargo el desarrollo de estas redes se daba en ámbitos locales.

Para solucionar estos problemas en el año 1982 el CEPT (Conference of European Posts and Telecommunications) creó el denominado Groupe Spécial Mobile para desarrollar un sistema basado en células de radio y que sirviesen para todos los países europeos. Entre sus principales objetivos tenemos:

- Mejorar en la eficiencia del espectro.
- Otorgar la capacidad de un roaming o itinerancia internacional.

- Disminuir los costos, e incrementar la calidad de la transmisión de voz
- Establecer una compatibilidad con la Red Digital de Servicios Integrados.

El proceso de estandarización del sistema llevó cerca de una década y ha pasado por algunas fases de mejoramiento y ampliación de funcionalidades. Además el manejo en sí de los entes de normalización ha cambiado, pasando por la ETSI (European Telecommunication Standards Institute) [10], hasta llegar actualmente a la 3GPP (3rd Generation Partnership Project) [11]. En la Tabla 2.1 se resumen los eventos relacionados al origen de GSM.

Tabla 2.1 Servicios GSM

AÑO	SUCESO
1982	El CEPT crea el grupo GSM
1985	Primera recomendaciones del grupo GSM
1986	Primeras pruebas de radio sobre GSM
1987	Se elige el sistema TDMA para el acceso
1988	Se valida el sistema GSM
1989	Se traspasa GSM del CEPT al ETSI
1989	Primeras especificaciones sobre GSM
1990	Lanzamiento de GSM a nivel comercial

2.1.2 Servicios

Las tres categorías de servicios sobre GSM son:

- **Teleservicios**, que englobaría a los servicios básicos de telefonía
- **Servicios portadores**, que son los usados para la transmisión y recepción de datos.
- **Servicios complementarios**, generalmente extensiones de los teleservicios y que proporcionan nuevas características a la red GSM.

En la Tabla 2.2 se muestran algunos ejemplos característicos de cada grupo:

Tabla 2.2 Servicios GSM

SERVICIOS GSM				
Teleservicios	Telefonía	Llamadas de emergencia	Short Messaging Services (SMS)	Servicios de Fax y Voz
Servicios Portadores	Transmisión de datos	_____	_____	_____
Servicios Suplementarios	Llamada en espera	Llamadas múltiple	Identificación de llamada	_____

2.1.3 Especificaciones

Algunas de las especificaciones fundamentales de GSM en la capa física se resumen en la Tabla 2.3, en ella se hace referencia a los mecanismos utilizados en la interfase radio [12] [13] [14].

Tabla 2.3 Especificaciones de la capa física de GSM

ESPECIFICACIONES DE LA INTERFASE RADIO DE GSM				
Bandas (MHz)	850	900	1800	1900
Separación Duplex		45MHz	95MHz	
Separación de canales	200 KHz			
Modulación	GMSK con BbT = 0.3 y velocidad de modulación 270,83 Kbps en RF, con un rendimiento espectral de 1bit/s/Hz			
Relación de Protección	Protección co-canal es $R_p=9$ dB			
Retardo compensable máximo	223us			
Dispersión Doppler	Puede compensarse la dispersión Doppler del canal hasta velocidades del móvil de 200 Km/h			
PIRE máxima de la BTS	500 W / Portadora			
Dispersión temporal	Puede ecualizarse una dispersión temporal de 16us como máximo			
Codificación de canal	Se utiliza un código bloque detector y un código convolucional corrector de errores, con entrelazado de bits para combatir las ráfagas de errores.			
Potencia nominal de las BTS	2, 5, 8 y 20 W			
Estructura celular	La estructura celular es sectorizada, de tipo 3/9 o 4/12 en medios urbanos. En medios rurales las células son omnidireccionales. El radio celular varía entre un máximo de 35Km (zonas rurales) y unos 0.5Km (zonas urbanas).			

Acceso múltiple	Se utiliza TDMA con 8 intervalos de tiempo por trama. La duración de cada intervalo es de 0.577ms. La trama comprende 8 canales físicos que transportan los canales lógicos de tráfico y señalización.
Canales de tráfico	Existen canales de velocidad total (13 Kbps) y de velocidad mitad (6.5 Kbps) Velocidades de: 2.4, 4.8 y 9.6 Kbps
Canales de Control	Se han establecido canales de: Difusión, Comunes, Dedicados.
Facilidades Radio	Algoritmo de Control de Potencia Salto de Frecuencia Técnica de transmisión y recepción discontinua (DTX y DRX)
Reselección de celdas	La condición para efectuar la reelección de célula se basa en criterios de pérdida de propagación.
Localización automática	Se efectúa mediante la evaluación por parte del móvil, de la señal de control y la devolución de su identidad a la red.
Trasposos	El traspaso asegura la continuidad de una comunicación cuando el móvil pasa de la zona de cobertura de una célula a la de otra. Puede también emplearse para aliviar una congestión de tráfico (traspaso gobernado por la red).
Señalización	Entre las estaciones radio y el centro de conmutación se usa un procedimiento similar a RDSI. Entre los centros de conmutación se usa SS7
Numeración	Recomendaciones de la Serie E de la UIT-T
Seguridad	Técnica de cifrado para voz y datos, así como un complejo sistema de autenticación de acceso

2.1.4 Arquitectura

Las redes GSM se pueden dividir en cuatro subsistemas fundamentales, que pueden ser visualizados en la Figura 2.1, cada uno de los cuales cumple un determinado rol o función en el esquema general de funcionamiento, estos son [14]:

- El Subsistema de Red,
- El Subsistema de Estaciones Base,
- El Subsistema de Gestión,
- La Estación o Terminal Móvil

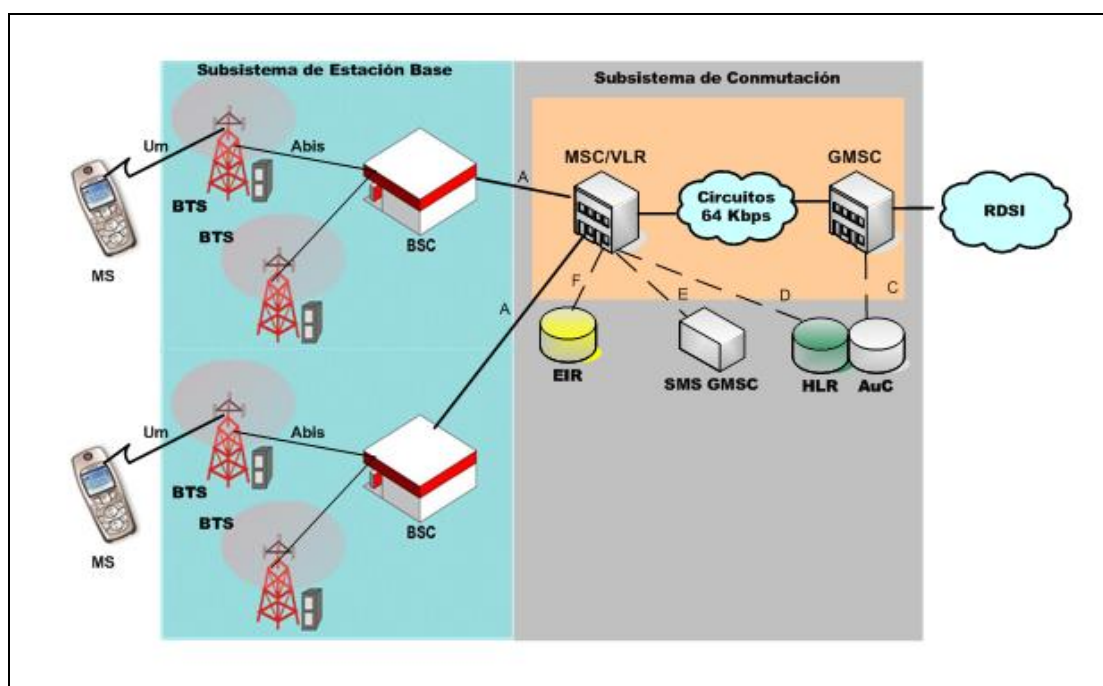


Figura 2.1 Arquitectura de la red GSM

SUBSISTEMA DE RED, NSS (Network Subsystem)

El Subsistema de Red es una parte de la red GSM que se ocupa de las siguientes funciones: Control de la llamada, interfuncionamiento de redes, datos del abonado y gestión de los servicios, tarificación, recogida de material estadístico, gestión de la movilidad, gestión de la seguridad,

señalización del Interfaz A y PSTN, control del BSS. Los elementos que la componen son:

- ***El Centro de Conmutación de Servicios Móviles, MSC (Mobile Switching Centre)*** es el elemento principal del NSS desde el punto de vista del control de llamadas. El MSC es responsable del control de llamadas, funciones de control del BSS, interfuncionamiento, tarificación, estadística y señalización de los interfaces A y PSTN.
- ***El Registro de Posición Base, HLR (Home Location Register)*** es el lugar donde se almacenan permanentemente todos los datos del abonado. El HLR también nos da una posición conocida, fija, para la información del encaminamiento de variables. Las funciones principales del HLR son los datos del abonado y gestión de servicios, estadísticas y gestión de la movilidad.
- ***El Registro de Posición Visitante, VLR (Visitor Location Register)*** nos da memoria local para las variables y funciones necesarias para gestionar llamadas hacia y desde un abonado móvil en el área correspondiente al VLR.

- **El AUC Centro de Autenticación, AUC (Authentication Centre) y el Registro de Identificación del Equipo, EIR (Equipment Identify Register)** son elementos de la red del NSS que se ocupan de los aspectos relacionados con la seguridad. El AUC se ocupa de la información de seguridad de identidad del abonado junto con el VLR. El EIR se ocupa de la información de seguridad del equipo móvil (hardware) junto con el VLR.

SUBSISTEMA DE ESTACIONES BASE, BSS (Base Station Subsystem)

El Subsistema de Estación Base es una parte de la red que se ocupa de las siguientes funciones principales: control de la red de radio, señalización de los Interfaces Aire y A, establecimiento de la conexión entre la MS y el NSS, gestión de la movilidad, tratamiento y transcodificación de la voz, recogida de material estadístico. Los elementos que la componen son:

- **El Controlador de Estaciones Base, BSC (Base Station Controller)** es el elemento de red central del BSS y controla la red de radio.
- **La BTS (Estación Base)** es un elemento de red que mantiene el interfaz aire. Se ocupa de la señalización y cifrado del interfaz Aire y del procesamiento de la voz.

La transmisión se considera una parte del BSS debido al hecho de que el BSS es típicamente una entidad geográfica razonablemente grande.

La especificación de GSM define sólo las interfaces del equipo, por lo tanto hay una gran cantidad de alternativas para desarrollar una red de transmisión entre elementos del BSS.

SUBSISTEMA DE GESTION DE RED, NMS (Network Management Subsystem)

El Subsistema de Gestión de Red se ocupa principalmente de las siguientes funciones: operación y mantenimiento centralizado, cambios en configuración de red, observación de calidad y nivel de uso de Red.

ESTACION MOVIL (MS)

Consta a su vez de dos elementos básicos que debemos conocer, por un lado el terminal o equipo móvil y por otro lado el SIM (Subscriber Identity Module). El SIM es una pequeña tarjeta inteligente que sirve para identificar las características de nuestro terminal.

2.1.5 Aspectos de la Interfaz Radio

Lo más importante de analizar en esta capa de la tecnología es la administración y manejo de los recursos radioeléctricos, enfocándonos así a la técnica de acceso empleada.

GSM define un sistema multiacceso de tipo TDMA-FDMA jerárquico [14] [16]. La parte FDMA envuelve la división en frecuencia del ancho de banda de 25 MHz en 124 frecuencias portadoras de un ancho de 200 KHz cada una. Una o más frecuencias portadoras son asignadas a cada estación base. Cada una de estas portadoras es entonces dividida en el tiempo, usando el esquema TDMA, mostrado a continuación en la Figura 2.2

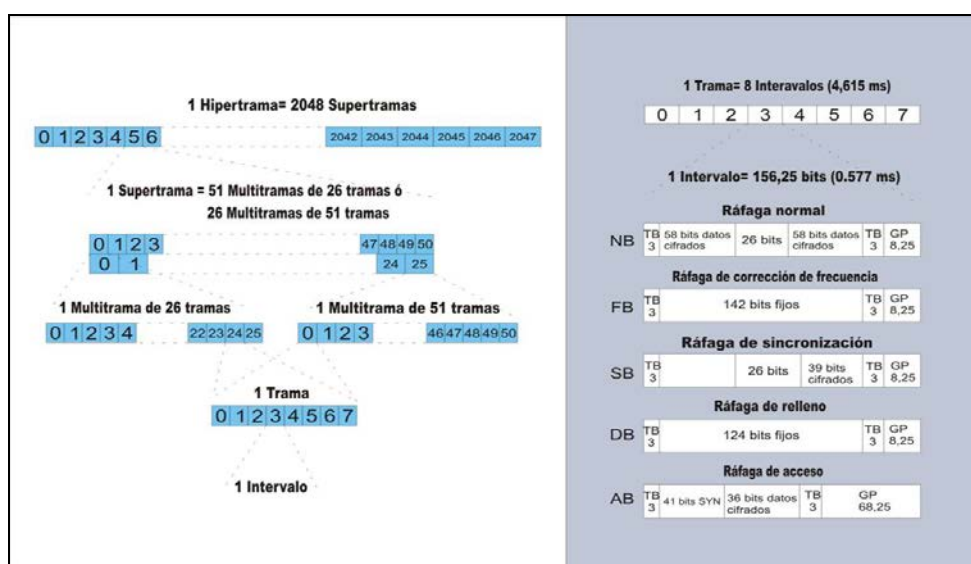


Figura 2.2 Estructura Jerárquica GSM

La unidad básica es el **intervalo** (TS, Time Slot), el cual formará una serie de estructuras más complejas tales como las **tramas**, **multitramas**, **supertramas** e **hipertramas**, y a su vez cada TS alberga una **ráfaga**.

Cada una de las clases de ráfagas cumple un determinado rol en el esquema GSM y definen ciertas funciones en el establecimiento de la comunicación, estas funciones se enmarcan en los llamados canales lógicos, los que se proyectan sobre los canales físicos o radiocanales propiamente dichos.

En la Tabla 2.4 se resumen las funciones y características de los canales lógicos contemplados en las especificaciones de GSM, se pueden distinguir básicamente tres agrupaciones los canales dedicados a las operaciones de acceso, los canales de señalización dedicados a una sesión en particular y el canal de tráfico propiamente dicho.

Estos canales según su función pueden trabajar en el sentido ascendente (Uplink), es decir que va desde el móvil hasta la estación base; descendente (Downlink), viajan desde la estación base al móvil; ó ser bidireccionales, es decir tanto de subida como de bajada.

Tabla 2.4 Canales Lógicos GSM

Canales Lógicos GSM				
Canales de Acceso Común	BCH	BCCH	Down	El Broadcast Common Control Channel es un canal descendente que proporciona información general sobre la estación base y configuración de otros canales de Control
		FCCH	Down	El Frequency Correction Channel envía una señal piloto para la sintonización de la frecuencia de recepción de las MS
		SCH	Down	El Synchronization Channel transmite información de sincronización e identificación de las estaciones base
	RACH		Up	El Random Access Channel es un canal ascendente usado por el móvil para confirmar una búsqueda procedente de un PCH, y también se usa para originar una llamada.
	PCH		Down	El Paging Channel proporciona señales de búsqueda a todos los usuarios de una celda
	AGCH		Down	El Access Grant Channel se emplea para la asignación de los TCH o los SDCCH a las MS que previamente solicitaron recursos
Canales de Usuario	SDCCH		Up/Down	El Stand Alone Dedicated Control Channel se utiliza para el intercambio de datos entre una MS concreta y la BTS, en el curso del establecimiento de la llamada y antes que se asigne un TCH
	SACCH		Up/Down	El Slow Associated Control Channel sustenta la señalización recurrente asociada a la llamada
	FACCH		Up/Down	El Fast Associated Control Channel sustenta la señalización inmediata, como un traspaso
Tráfico	TCH		Up/Down	El Traffic Channel está dedicado a la comunicación entre los terminales

2.1.6 Aspectos de la red fija

Se entiende genéricamente por red fija de la red GSM al conjunto de enlaces que interconectan las distintas entidades de la red y que sustentan la capa física de las diferentes interfases. Estos enlaces se materializan mediante conexiones PCM (30+2) de 2Mbps, cada una de las cuales proporcionan 30 intervalos de tiempo con capacidades de 64Kbps e incluye un intervalo para señalización por canal común y otro para alineación de trama PCM [12].

Como en GSM la velocidad en los canales de tráfico es de 13Kbps para voz y 9.6 Kbps para datos, las conexiones 64Kbps de PCM requieren una adaptación de velocidad. El códec vocal GSM se ha diseñado de forma que convierte las señales de voz codificadas en PCM a 64Kbps en señales de 13 Kbps mediante técnicas de procesado digital. Mientras en la red el trabajo de adaptación se encarga a la denominada TRAU (Transcoding Rate Adaption Unit)

La red fija debe ser dimensionada para transportar un determinado volumen de tráfico desde los BSS hasta los MSC, con ciertos requisitos de calidad, grado de servicio y coste.

2.2 GPRS (General Packet Radio Service)

A continuación, se explicará los conceptos básicos relacionados a GPRS, sistema bajo el cual se proveerá servicios de datos en la primera etapa de la planificación.

2.2.1 Fundamento y características generales

GPRS nace con el objetivo primordial de proporcionar comunicaciones de datos móviles con gran eficiencia. Para ello utiliza los siguientes mecanismos [15]:

- 1)** Empleo de esquemas de codificación mejorados respecto a los del GSM y de naturaleza dinámica en función de las condiciones imperantes en el medio radio se utiliza un esquema u otro. Se puede conseguir una velocidad máxima de 21.4 Kbps por intervalo.
- 2)** Posibilidad de asignación de varios intervalos de tiempo a una comunicación de datos con reserva independiente de los intervalos para los enlaces ascendente y descendente. De este modo, usando los 8 TS puede alcanzarse una tasa de hasta 170

Kbps y el sistema puede acomodarse al carácter asimétrico de muchas comunicaciones de datos.

3) Posibilidad de asignación compartida de los recursos radio entre varios usuarios, mediante multiplexación dinámica.

4) Utilización de la conmutación de paquetes, tanto en la red como en el acceso radio.

Para ampliar el límite de caudal de transmisión se ha desarrollado otra variante del GSM que es la tecnología EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) en la que se utiliza una modulación capaz de aumentar la capacidad de transmisión hasta 8 veces, lo cual junto con el empleo de GPRS permite alcanzar la velocidad teórica de 384 Kbps.

GPRS requiere de cambios importantes en el núcleo de red, debido a la naturaleza de los nuevos servicios orientados a comunicación modo paquete. También en la BSC se requiere la ampliación de una funcionalidad llamada PCU.

En la interfaz radio, se incorporan nuevos canales lógicos dedicados específicamente al soporte de transmisión de datos, aunque la norma determina la posibilidad de compartir los canales de señalización entre GSM

y GPRS. En esencia, deben habilitarse técnicas para asignar a los usuarios los recursos radio para cada aplicación y retirarlos cuando no se necesiten.

2.2.2 Servicios

Dada la orientación del sistema GPRS hacia la prestación de servicios de datos, se pueden nombrar a continuación los siguientes:

- Conectividad desde el teléfono móvil con redes de paquetes, capaz de soportar aplicaciones basadas en X.25 y en IP. Ejemplo: Navegación WAP
- Mejora del servicio de mensajería, superando la limitación de 160 caracteres del SMS/GSM y permitiendo servicios de mensajería multimedia MMS con mensajes de voz, texto, imágenes estadísticas y video.
- Consulta a bases de datos, etc.

Un punto importante en la prestación de estos servicios es que se cambia de la tarificación por duración y destino de la llamada a una tarificación por volumen de datos intercambiados, calidad de servicio y tipo de servicio.

2.2.3 Arquitectura

GPRS consiste básicamente en añadirle de manera paralela a GSM una infraestructura de datos en paquetes. Como se muestra en la Figura 2.3, una de las ventajas de esta arquitectura es el ahorro que significa para el operador reutilizar elementos como las bases de datos [12] [16]

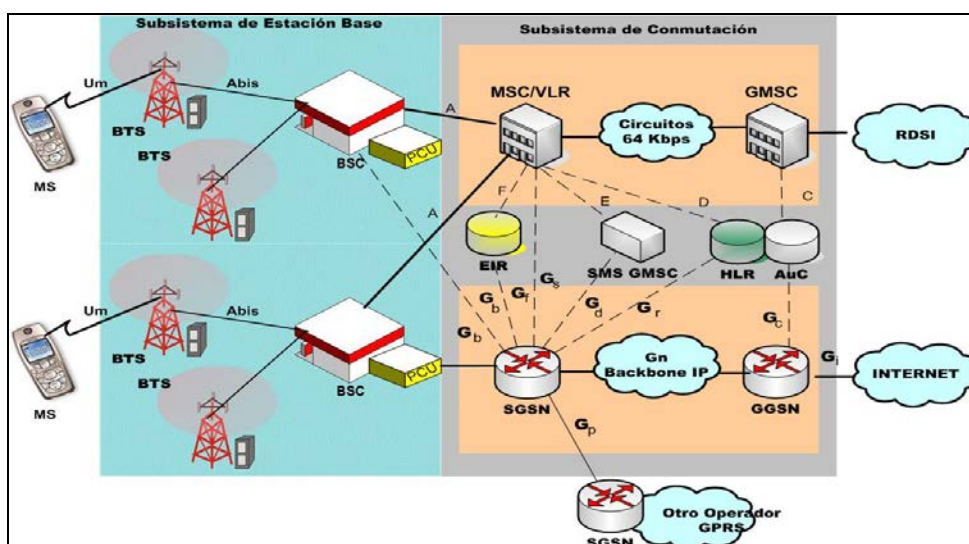


Figura 2.3 Arquitectura de la red GSM/GPRS

Las funciones de los elementos para la transmisión de datos son las siguientes:

- **Controlador de paquetes, PCU (Packet Control Unit):** Tiene a su cargo el tratamiento de los paquetes de datos y de señalización. en el BSS, además realiza la inserción /extracción de tramas entre los

enlaces Abis asociados a los canales de datos. Junto con la BSC maneja y administra los recursos radio.

- **Nodo GPRS servidor, SGSN (Serving GPRS Support Node):** Ejecuta las mismas funciones para datos que las que ejecuta el MSC en la conmutación de circuitos.
- **Nodo GPRS de Salida por defecto, GGSN (GPRS Gateway Support Node):** Es la ruta hacia redes externas, además administras las direcciones IP, asignando en forma dinámica las direcciones a los distintos usuarios para sus sesiones de datos.

Además se incorporan ciertas funcionalidades propias del mundo IP, tales como firewalls, servidores DNS y ruteadores.

2.2.4 Procedimientos GPRS

A continuación se citarán algunos de los procedimientos técnicos más importantes involucrados en el funcionamiento GPRS [15]:

Clases de estaciones móviles: Los terminales se han dividido dependiendo de sus capacidades en:

Clase A: Admiten comunicaciones simultáneas de voz y datos.

Clase B: El usuario puede realizar/recibir llamadas GSM ó sesiones GPRS solo de forma secuencial, no al mismo tiempo.

Clase C: Solo sustentan uno de los servicios.

También pueden clasificarse por su capacidad de tráfico, es decir según el número de intervalos que destine al enlace ascendente y descendente.

Gestión de Movilidad: El área de servicio se divide en áreas de encaminamiento (RA). La MS monitoriza la identidad de la RA para detectar cuando ha cambiado de otra en cuyo caso ejecuta una actualización de RA. Además se definen 3 estados relacionados a la movilidad del usuario, los que se resumen en la Figura 2.4

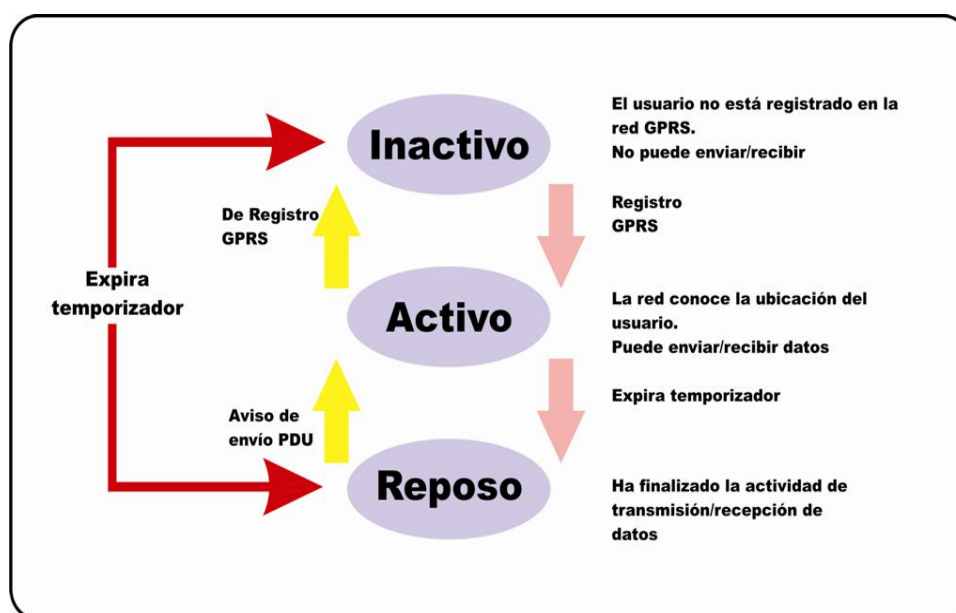


Figura 2.4 Estados de gestión de movilidad en GPRS

Procedimientos de Registro y De-registro: El registro lo inicia siempre el móvil para que pueda ser conocido por la red como un terminal cliente más. Al igual que en GSM, la red otorga una identidad temporal, además el proceso conlleva una autenticación y cifrado.

Gestión de Localización: Los procedimientos de gestión de localización tienen a su cargo el seguimiento de la MS para que, en todo momento, pueda realizar/recibir llamadas. Estos procedimientos de localización pueden ser de dos tipos: reelección de célula y actualización de área de encaminamiento (geográfica y temporal).

Activación del Contexto PDP: Una vez realizado el registro, la MS tiene un contacto lógico con el SGSN, ahora debe ser reconocida por la red de destino , para ello se procede a asignarle una dirección IP ya sea dinámica o estática.

2.2.5 Canales GPRS

Al igual que en GSM, las funciones propias de la comunicación se sustentan en canales lógicos, los que se proyectan en un canal físico que llamaremos PDCH (Packet Data Channel) [17].

La función de los canales de señalización GSM y GPRS son muy similares, tanto es así que se ha previsto para los escenarios de tráfico GPRS moderado que se utilicen para la señalización y control de forma compartida. En la Figura 2.5 se muestran los canales GPRS y se indican sus correspondientes homólogos en GSM.

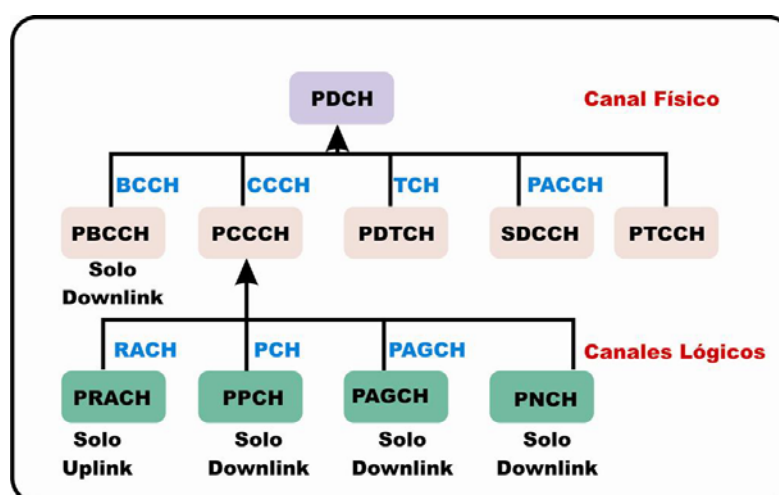


Figura 2.5 Canales Lógicos GPRS

Una nueva función cumple el canal **PTCCH** (Packet Time Advance Control Channel), para regular el avance temporal en las transmisiones de paquetes.

Para la proyección sobre los canales físicos, en vista de la asignación compartida de los canales de control, solo se describirá la agrupación de **PDTCH (Packet Data Traffic Channel) + PACCH (Packet Associated Control Channel) + PTCCH** sobre un canal físico.

GPRS define una nueva multitrama para este canal físico, la MF52, que en realidad corresponde a dos multitramas de 26 tramas GSM.

2.3 UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)

Motivados por las condiciones del mercado y la necesidad de poder ofrecer servicios mucho más sofisticados como es el caso de los servicios multimedia, se planteó la necesidad de una nueva generación celular, capaz de brindar características de mayor capacidad y velocidad.

Así surgió el concepto de la Tercera Generación (3G), enmarcada en la iniciativa IMT-2000 (International Mobile Telecommunications-2000) por parte de la ITU (International Telecommunication Union) [3]. Los esfuerzos de este organismo han estado enfocados hacia aspectos de armonización y normalización internacional tales como la concepción de un único estándar y la utilización del espectro, con el objetivo de lograr una de las principales metas de la 3G, un sistema global de telecomunicaciones. Lamentablemente estos esfuerzos han sido insuficientes debido al desarrollo de más de un estándar de 3G en el mundo, por motivos meramente comerciales.

La respuesta europea a este desafío es UMTS, cuyo desarrollo y normalización están a cargo actualmente de la 3GPP y se concibe como la

evolución de los sistemas GSM hacia la 3G. En la Figura 2.6 se muestran el cuadro de asignación de frecuencias normalizado por la IMT-2000 para el desarrollo e implementación de los sistemas 3G en las distintas regiones mundiales.

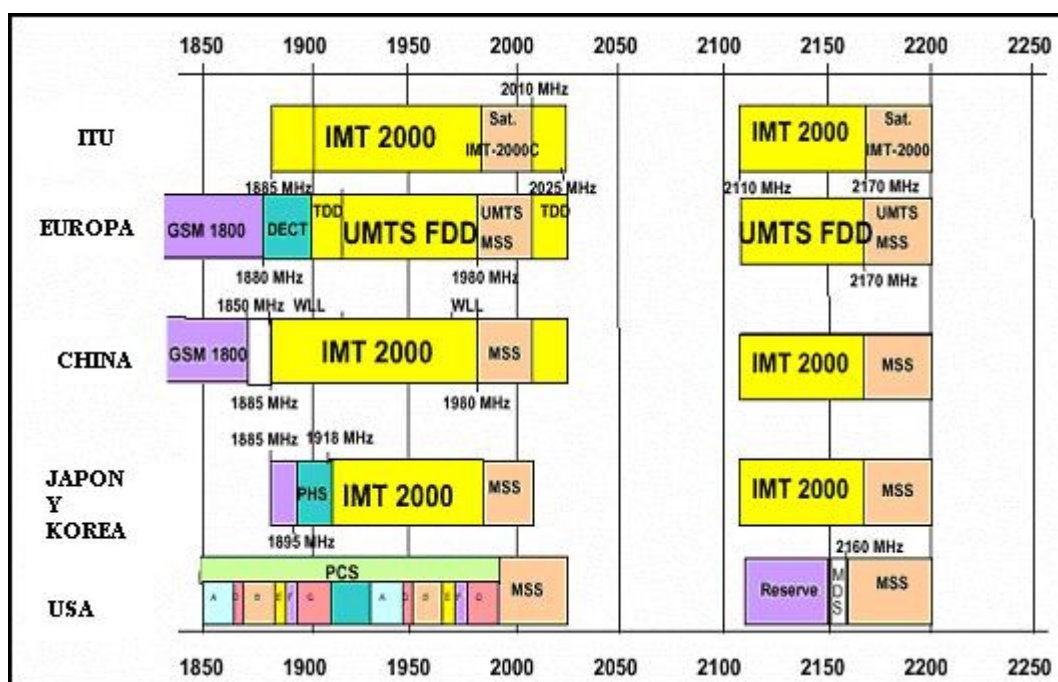


Figura 2.6 Cuadro de Asignación de Frecuencias IMT-2000

En Europa se seleccionó las bandas comprendidas entre 1885 MHz-2025 MHz y 2110-2170 MHz para los servicios radio terrestres; y las bandas 1980-2010MHz y 2170-2200MHz para el servicio satelital. Además el esquema de asignación está dividido según el modo de funcionamiento de la red de acceso (TDD ó FDD, que se detallarán más adelante) [18].

2.3.1 Fundamentos y Características Generales

Los objetivos del sistema UMTS se pueden resumir en los siguientes puntos:

- ❖ Introducción flexible de nuevas facilidades y servicios multimedia
- ❖ Velocidad flexible, asignada por demanda de hasta 2Mbps
- ❖ Eficiencia espectral
- ❖ Interoperabilidad y carácter abierto de la norma, compatibilidad

Para conseguir alcanzar todas las características y objetivos de capacidad pretendidos en UMTS se adaptó para el acceso radio la tecnología CDMA de banda ancha (WCDMA). Como ésta técnica es incompatible con la radio GSM, se debe desplegar una nueva red de estaciones base, lo que implica una fuerte inversión, pero por otra parte el núcleo de la red UMTS es básicamente el mismo que el de una red GSM/GPRS, pero con ciertas mejoras esencialmente de índole funcional y prestaciones, lo que permite el soporte de nuevos servicios y con mayores tasas de velocidad.

2.3.2 Servicios

Al igual que en las normativas de las redes 2G, la clasificación general de los servicios soportados por UMTS es: Servicios Portadores, teleservicios y servicios suplementarios. En la Tabla 2.5 se detallan y explican estos servicios [19]:

Tabla 2.5 Servicios UMTS

SERVICIOS	DEFINICIÓN	CLASIFICACIÓN	EJEMPLO
PORTADORES	Ofrecen la capacidad de transmitir información entre puntos de acceso realizando las funciones de las capas bajas del modelo OSI	Basados en conmutación de circuitos	UDI
			De audio a 3,1KHz
		Basados en conmutación de paquetes	PTP
			PTM
TELESERVICIOS	Los teleservicios ofrecen la capacidad completa de comunicación por medio de equipos terminales, funciones de red y, posiblemente, funciones ofrecidas por centros dedicados.	Heredados de GSM	Telefonía Mensajes Cortos FAX Llamadas en grupo
		Nuevos	Acceso a Internet MMS Video E-mail
SUPLEMENTARIOS	-----	-----	-----

Una de las características de UMTS es el manejo flexible de los requerimientos de cada servicio, para lo cual se consideran aspectos como: clase de tráfico, velocidad máxima, BLER (Block Error Rate), entre otras.

Las clases de tráfico son las siguientes:

- **Conversacional:** Servicios en tiempo real, generalmente bidireccionales y con limitaciones en los retardo que deben ser pequeños y constantes. Ejemplo: Voz, video telefonía.
- **Afluentes:** Servicios unidireccionales con secuencias de información vocal o de video. Retardos constantes pero no necesariamente pequeños. Ejemplo: Video.
- **Interactivos:** Bidireccionales, con intercambio de información entre hombre y máquina. Ejemplo: Navegación Web, consulta a base de datos
- **Background:** El destinatario no espera respuesta inmediata. Ejemplo: E-mail

2.3.3 Arquitectura

La arquitectura de la red UMTS es básicamente la misma que la de la red GSM/GPRS, como se puede distinguir en la Figura 2.7

Las principales modificaciones se encuentran en la red de radio acceso, donde la técnica de acceso ha cambiado a WCDMA, además se han incorporado interfases que sustentan nuevas capacidades tales como los

traspasos suaves entre celdas, mientras a otras solo se les ha cambiado de denominación.

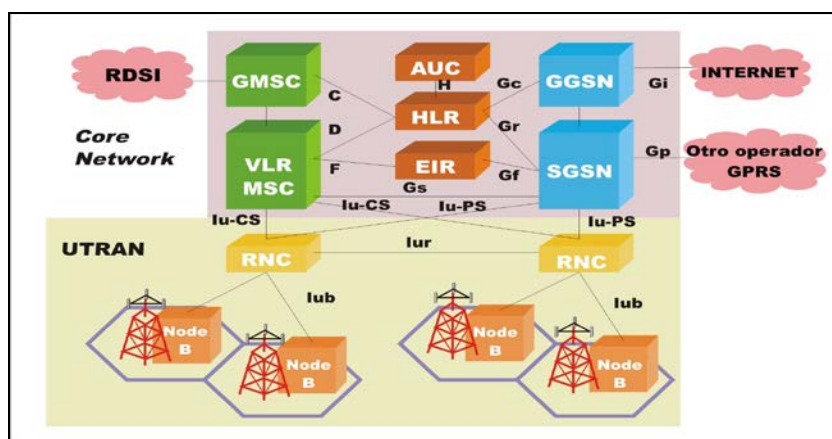


Figura 2.7 Arquitectura de la red UMTS

El concepto evolutivo de estas redes tiene la ventaja de que facilita la migración hacia 3G desde las redes 2G a través de la 2.5G pero puede ser un inconveniente para la sustentación de los servicios más avanzados, por lo que se debe de tratar de perfeccionar el CN gradualmente para la implementación de tales servicios.

El futuro núcleo de red, CN (Core Network), se basará en modo paquete con el protocolo TCP/IP. Este concepto se extenderá a la red de acceso, configurando el conjunto de una red "TODO IP".

2.3.4 Descripción y aspectos de la interfaz radio

La red de acceso radio UTRAN permite la conexión entre los equipos terminales y el núcleo de red. Cada subsistema radio está constituido por un controlador (RNC) y varios Nodos B (Estaciones Bases) dependientes de él. Como ya se ha indicado, para el acceso se ha elegido CDMA de banda ancha (WCDMA), no compatible con la infraestructura radio de GSM.

Existen dos modos de operación de WCDMA [20], el modo dúplex de frecuencia (FDD) y el modo dúplex en tiempo (TDD). En la Figura 2.8 se aprecia de forma visual la diferencia entre estos modos, mientras en la Tabla 2.6 se resumen las principales características técnicas de estos.

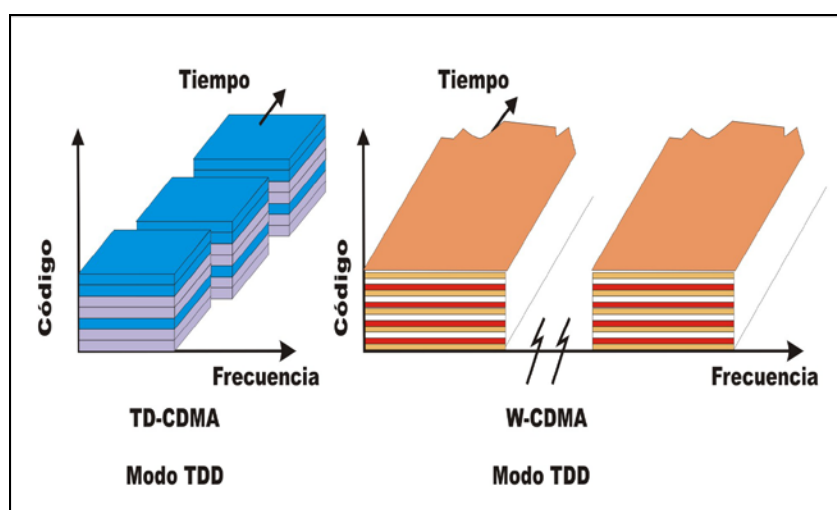


Figura 2.8 Modos de Operación WCDMA

Uno de los puntos más importantes y que merece una especial atención es la utilización de varios tipos de códigos en UMTS [21] [22].

Código Ortogonal o de Canalización: Se utilizan para expandir la señal en frecuencia, además de preservar la ortogonalidad entre los enlaces descendentes.

Código de aleatorización: Estos no producen expansión, pero permiten la reutilización de códigos ortogonales en una misma célula; la distinción de células en la red y de usuarios en una celda determinada.

Algunos de las principales funciones y procedimientos que realiza la UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) son [19] [21]:

- ***Transmisión y Recepción***
- ***Ensanchamiento, Modulación, Codificación y Cifrado del canal***
- **Sincronización**
- **Control de Potencia y realización de medidas RF**
- ***Control de Admisión:*** Asigna o niega recursos radio a los usuarios en función de la carga de la celda

- **Control de Congestión:** Vigila, detecta y maneja las situaciones en que se puede sobrecargar el sistema
- **Trasposos con continuidad:** Maneja los llamados trasposos suaves, en los cuales un usuario está relacionado a todas las celdas próximas a él, pero solo atendido por la de mayor potencia.

Tabla 2.6 Características técnicas de WCDMA

Parámetro	FDD	TDD
Banda de frecuencia	UL: 1920-1980 (MHz) DL: 2110-2170 (MHz)	1900-1920 2010-2025
Mínimo BW necesario	2 x 5MHz	5MHz (1,6MHz para 1,28Mchip/s)
Reutilización de Frecuencia	1	1
Codificación de Voz	Codecs AMR (4,75 y 12.2KHz) Codecs GSM EFR	Codecs AMR y GSM EFR
Codificación de canal	Códigos Ortogonales (OVSF) Códigos de aleatorización (GOLD) *Necesita duplexor * Conexiones asimétricas	Códigos Ortogonales (OVSF) Códigos de aleatorización (GOLD) *No necesita duplexor * Conexiones asimétricas
Modulación	QPSK	QPSK
Tasa de Chips	3,84 Mchip/s	3,84Mchip/s ó 1,28Mchip/s
Longitud de Trama	10ms	10ms
Número de Intervalos/trama	15	15
Tipos de Traspaso	Suave	Rígido
Control de Potencia	Período: 1500Hz Pasos: 0,5 - 1 - 1,5 - 2 dB Alcance: 80dB (UL) y 30dB (DL)	Período: 100(UL) y 800 (DL) Pasos: 1 - 2 - 3 - 30dB Alcance: 65dB (UL) y 30dB (DL)
Potencia Pico en el móvil	Clase 1: 33dBm Clase 2: 27dBm Clase 3: 24dBm Clase 4: 21dBm	Clase 1: 33dBm Clase 2: 27dBm Clase 3: 24dBm Clase 4: 21dBm
Códigos únicos de BS	512/ portadora	512 / portadora
Factor de Expansión	4-256 (UL) y 4-512 (DL)	1, 2, 4, 8, 16

2.3.5 Aspectos de red

En lo que respecta a la red fija como tal, se plantea el uso de una tecnología de transporte capaz de brindar las funcionalidades necesarias para los nuevos servicios previstos en UMTS.

Inicialmente la norma plantea utilizar ATM [23] para sustentar el transporte de la información tanto de tráfico útil como de señalización entre el núcleo de red y la interfaz radio. Vea la Figura 2.9

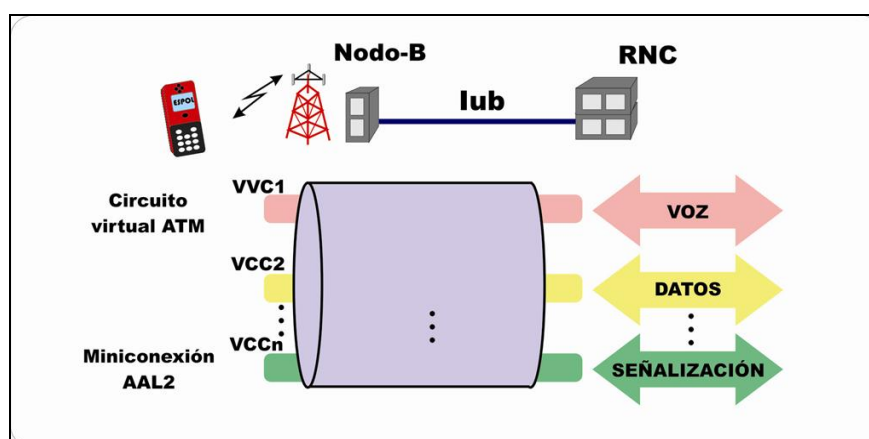


Figura 2.9 Segmentación de los servicios en la red de Transporte ATM

Para el diseño de esta red deben tomarse en cuenta consideraciones como:

- Carga de Tráfico y estrategias de multiplexación
- Parámetros del tráfico según los servicios
- QOS según los servicios

2.3.6 Capacidad y Cobertura

En CDMA celular, como ya se ha visto, se utilizan las mismas frecuencias en células contiguas, por lo que el funcionamiento se produce en un entorno limitado por interferencia. La capacidad de CDMA celular depende de la interferencia total recibida. En efecto, para una calidad de recepción de información de usuario, se requiere que la relación de potencias señal útil / interferencia (SIR) total supere un cierto umbral. Como en CDMA se mantiene bajo control la potencia de la señal útil, todo aumento de interferencia global implica una reducción de la SIR y, en consecuencia, una degradación de la calidad. En las técnicas FDMA / TDMA la capacidad es fija, de forma que cuando los recursos están ocupados se produce un bloqueo de los servicios. En CDMA, la capacidad es flexible, ya que depende de la interferencia, pudiendo crecer a costa de una degradación de la señal recibida hasta que, eventualmente, la comunicación deje de ser posible.

La relación entre capacidad y cobertura depende del número de móviles activos y por ende de los niveles de interferencia, no solo de la celda en referencia sino de todo el sistema. Esta relación producida por las variaciones propias de la movilidad celular da origen al concepto de *respiración celular*, característica de los sistemas CDMA.

CAPITULO III: DESCRIPCIÓN

3.1 Escenario e hipótesis propuestas para la solución

A continuación se procederá a detallar el marco en que se plantea el problema y por consiguiente en el cual se desarrollará la solución al mismo.

Debido a que el objetivo de este proyecto es representar el proceso que envuelve la planificación de una red celular en un ámbito local, es importante remarcar el enfoque del proyecto desde las perspectivas y proyecciones de mercado que se planteen.

Así pues las expectativas de crecimiento de la operadora en lo referente a su participación en el mercado y el incremento en la demanda de los servicios son factores de suma importancia en el dimensionado tanto inicial, como en las proyecciones de expansión de capacidad en la red.

Nos hemos visto entonces en la necesidad de utilizar datos proporcionados en fuentes oficiales como la Superintendencia de Telecomunicaciones [5], mientras que para otras consideraciones necesarias en el desarrollo del proyecto se ha utilizado una herramienta que consideramos válida como son las encuestas, las mismas que proporcionaron una muy útil información referente a las necesidades de los usuarios y modelos de comportamiento.

3.1.1 Mercado

Después de haber analizado en el capítulo 1.2.3, las condiciones y factores que caracterizan al mercado local, podemos entonces enmarcar los orígenes del proyecto en dos distintos escenarios:

- ❖ La participación de un nuevo operador en el mercado.
- ❖ La migración de las redes GSM actuales hacia UMTS.

Se ha seleccionado la primera de las opciones es decir, partimos de la hipótesis de un cuarto operador celular, debido a que este planteamiento obliga a un diseño completo de la red, además de permitirnos analizar los efectos de un nuevo oferente en el mercado y las consecuencias del mismo. De igual manera, esta asunción permite al proyecto evaluar las problemáticas presentes en la coexistencia de varios operadores, desde el punto de vista técnico.

Entonces, el operador en cuestión debió participar en un concurso público para la licitación de una sub-banda de frecuencia dentro del segmento denominado Servicios Móviles Avanzados. Esta licitación tiene una duración de 15 años, pudiendo ser renovado el contrato con un previo aviso de 3 años, dentro del proyecto se ha realizado la planificación para los 10 primeros años de operación.

En lo que respecta al Ecuador, las concesiones se firmaron en 1993, terminando el periodo en el 2008 tanto para CONECEL como para OTECEL, en octubre del 2006 el gobierno de Alfredo Palacio aprobó la concesión de 10 MHz en las bandas 1900 MHz por un monto de 4.4 millones de dólares para cada una, pero debido a que no firmaron pronto el convenio los precios disminuyeron a US\$ 3.1 millones (Porta) y US\$ 3.28 millones (Movistar), mientras que en Estados Unidos se acaba de adjudicar una banda similar por 15 mil millones de dólares. [24]

Como consideraciones iniciales para el proceso de planificación, se ha estimado conveniente tomar un índice conservador de participación en el mercado considerando el grado de captación de las otras operadoras y por ende las dificultades y efectos presentes en la libre competencia que debe afrontar un operador que ingresará al mercado con un retraso de cerca de 15 años.

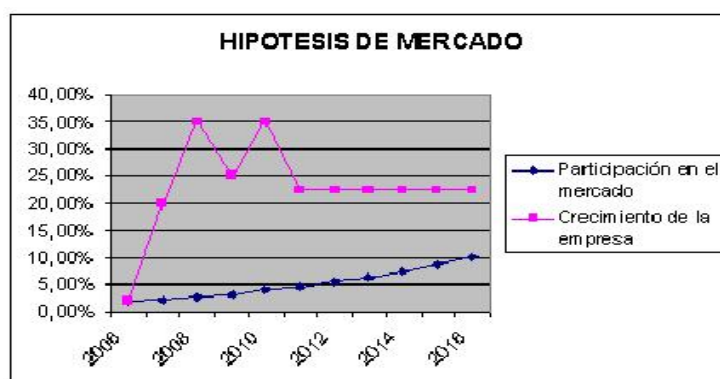


Figura 3.1 Hipótesis de mercado del proyecto

En la Figura 3.1 se muestran las tasas de crecimientos anuales y los índices de penetración estimados para este proyecto. El objetivo final del operador será captar por lo menos un 10% del mercado, refiriéndonos por supuesto al ámbito de la ciudad de Guayaquil.

Comparando las tasas estimadas con los datos mostrados en la Tabla 1.8, podemos relacionar los niveles de proyección y darnos cuenta lo conservadoras que han sido en referencia a los dos operadores más fuertes. Ahora bien si realizamos la misma comparación con el operador más reciente, el resultado podría ser opuestos, ya que podemos notar que a pesar de tener una tasa de crecimiento muy buena, la participación en el mercado de TELECSA todavía es muy baja.

Así, el criterio que ha primado en la selección de las tasas estimadas para las proyecciones en el presente estudio, ha sido el de representar una empresa con expectativas de crecimiento muy bien marcadas, lo que a su vez se traduce en importantes modificaciones e incrementos en cuanto a la capacidad y estructura de la red.

Por otra parte, estimar índices de mercado demasiado elevados puede traer consigo sobredimensionar la red, aspecto que desde el punto de vista del operador no representa una planificación eficiente al nivel económico.

Como una herramienta para el modelado de los parámetros y consideraciones de la red, se efectuó una encuesta el día 12 de Julio del año 2006, la cual se enfocó principalmente hacia aspectos como:

- ❖ Expectativas de mercado
- ❖ Servicios
- ❖ Comportamiento de los usuarios

La encuesta fue realizada a un grupo de 100 personas repartidas en cuanto a sexo y grupos de edades como lo muestra la Figura 3.2. Fue realizada en 4 distintos puntos de la ciudad: ESPOL Campus Prosperina, Universidad Católica de Guayaquil, la intersección entre Av. 9 de Octubre y Boyacá, y Garzocentro.

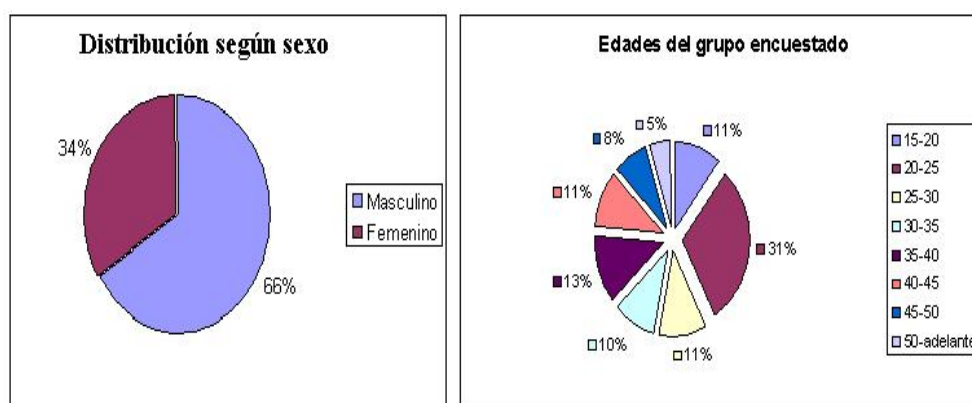


Figura 3.2 Descripción del grupo de muestreo

Esta encuesta además nos sirvió para obtener datos representativos referentes al mercado celular en la ciudad de Guayaquil, ya que los datos

proporcionados por la Superintendencia de Telecomunicaciones son de índole nacional.

Así en la Figura 3.3 se muestra la distribución de los encuestados en función a los operadores existentes. La encuesta arroja como resultados valores muy similares a los datos nacionales. Se distingue un claro predominio de la empresa CONECEL sobre el resto de operadores celulares.

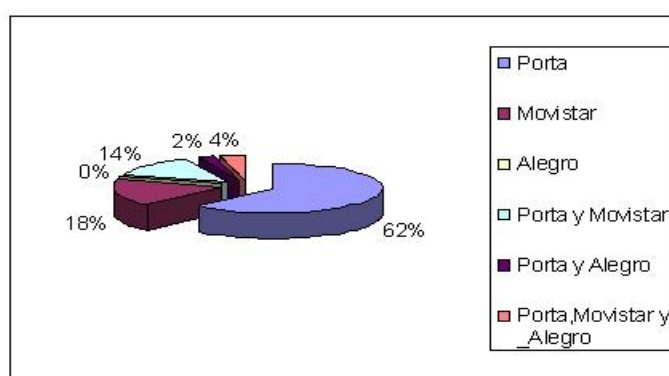


Figura 3.3 Distribución de la encuesta en función del operador celular

En lo que respecta a las expectativas que produce un nuevo operador que además oferte nuevos y mejores servicios, con una mayor calidad y con costos accesibles, los resultados mostrados en la Figura 3.4 pueden ser interpretados de la siguiente forma:

1. El hecho de que alrededor del 50% de la muestra grupal indique que estaría dispuesto ha cambiarse a un nuevo operador a cambio de nuevos servicios, nos da una buena referencia de las posibilidades del

operador en el mercado. Pero también nos indica que existe un segmento bastante importante de la población que no prioriza la calidad de los servicios sino que da mayor peso a factores de igual importancia como cobertura y niveles de captación de mercado.

2. La importancia de la oferta de servicios de banda ancha al mercado, ya que como lo muestra la encuesta, el interés hacía el nuevo operador aumenta de acuerdo con los servicios ofertados.

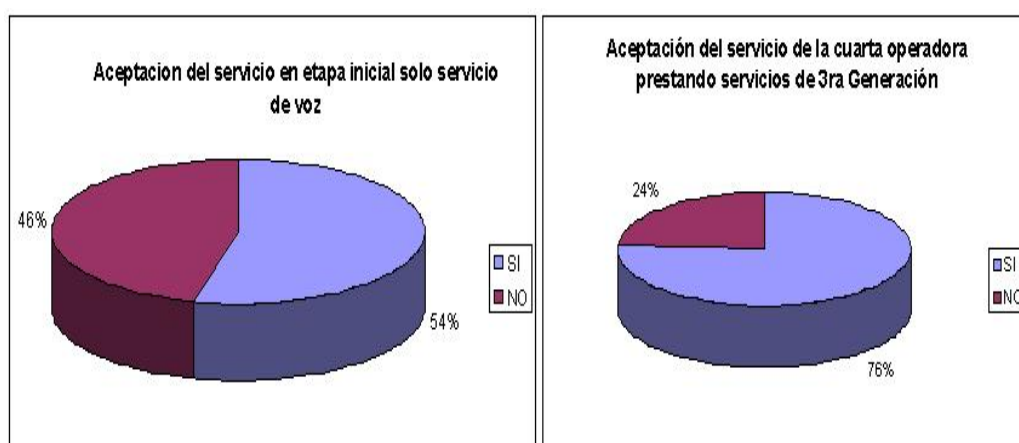


Figura 3.4 Aceptación del operador en función de los servicios

Se aprecia un incremento de cerca del 20% en relación con la aceptación marcado por el hecho de la definición de los servicios ofertados.

En referencia a los requerimientos de los usuarios en cuanto a los servicios, la encuesta se enfocó hacia el grado del uso de los servicios actuales y del nivel de interés hacia servicios en el futuro.

Se realizó una segregación en función de la edad y los servicios, y como se observa en la Figura 3.5, los datos obtenidos entre los dos grupos de edades muestran una notable diferencia.

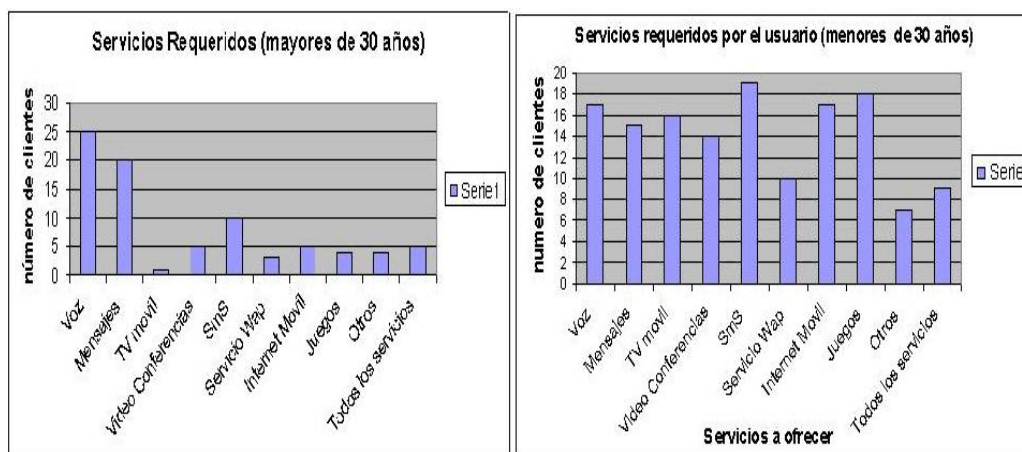


Figura 3.5 Servicios requeridos según grupo de edades

Esta relación entre edad y servicios, junto con los datos obtenidos en el Instituto Nacional de Estadísticas y Censo (*INEC*) [25], han sido de gran utilidad para definir el nicho de mercado del operador. La Figura 3.6 nos indica la distribución de la población ecuatoriana en función de la edad. Como se puede apreciar más del 78% de la población ecuatoriana es menor

a 45 años, y es precisamente este sector del mercado el que muestra un mayor interés en la oferta de servicios de tercera generación.

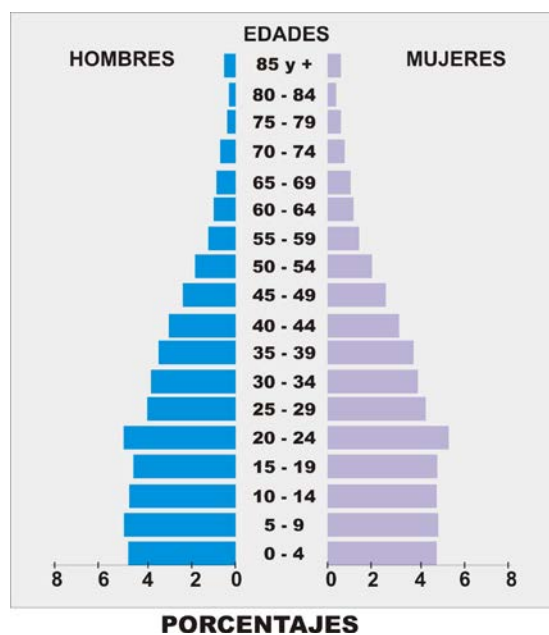


Figura 3.6 Distribución demográfica de la población ecuatoriana

Entonces, los esfuerzos del operador deben ser orientados hacia captar este sector, claro está sin descuidar al resto del mercado, así pues el enfoque del operador también debe apuntar a satisfacer las necesidades del sector comercial y ejecutivo, diferenciando entre las características y necesidades de cada uno.

Una de estas características se aprecian en la Figura 1.11 y 1.12, que tienen relación a la segmentación del mercado según el método de pago del servicio, es sencillo pues relacionar y por ende deducir una estrategia fundamental a la que debe de apuntar el operador para cumplir sus

expectativas comerciales, es menester entonces enfocar las campañas de publicidad iniciales a la captación del mercado joven que comúnmente opta por el servicio prepago.

3.1.2 Evolución de la solución planteada

A través del período de planificación de la red, se ha previsto la implementación inicial de GSM para después de un año agregar GPRS como plataforma tecnológica. De esta manera también demostramos los pasos necesarios de dicha migración. Aunque en la encuesta aparezca una inclinación hacia usar servicios de transmisión de datos para la conexión a Internet en la realidad no se da con el porcentaje que indica los resultados debido principalmente al elevado costo por la utilización de dicho servicio por parte de las operadoras actuales. Así también la inversión inicial no será la misma si iniciáramos con un despliegue GSM/GPRS.

Es importante diferenciar entre los conceptos aquí expuestos, ya que las características del mercado local muestran un evidente grado de requerimientos o solicitud de servicios de 3G, pero esto no implica que el nivel de consumo de estos servicios tenga la misma magnitud,

Tabla 3.1 Camino Evolutivo de la red

	FASE1	FASE2			FASE3			FASE4		
UMTS										
GPRS/EDGE										
GSM										
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
	AÑOS									

La Tabla 3.1 muestra el camino evolutivo planteado en el proyecto, el primer año el operador ofrecerá servicios de voz, para el siguiente año brindará servicios de voz y de datos de media velocidad, con una infraestructura GSM/GPRS así como también la activación de EDGE.

Durante este tiempo el operador buscará obtener un nivel suficiente de maduración de la red, es decir se planteará la necesidad de cumplir con los parámetros de cobertura, capacidad y calidad respectivamente.

La cobertura de los servicios GPRS/EDGE será la misma que la de la red GSM, debido a que:

- En la red de acceso, solo se requiere incorporar un módulo especial llamado PCU en las BSC, que es el encargado básicamente de distribuir y discriminar entre el tráfico según la naturaleza de su conmutación, ya sea por circuitos (voz y SMS) y paquetes (datos).
- Desde el punto de vista comercial, permitirá al operador ofrecer al menos servicios de transmisión de datos de mediana velocidad a los sectores de la ciudad donde no se tenga previsto brindar servicios 3G.

Luego en la planificación se propone iniciar el despliegue de la red UMTS, sobre la ya analizada estructura GSM/GPRS que para ese tiempo ya debe de estar consolidada.

El despliegue de UMTS aprovecha muchos de los recursos de la red GSM/GPRS, principalmente en el núcleo de red debido a la propia concepción del estándar. Adicionalmente la reutilización de los emplazamientos de las estaciones bases representa para el operador un ahorro considerable.

Este esquema de configuración involucra nuevos problemas principalmente en la red radio, donde se emplea una técnica de acceso diferente a la empleada en la red GSM, este es el caso de WCDMA la cual tiene como principales ventajas ofrecer una mayor capacidad y una comunicación de banda ancha. Otra modificación necesaria en la red, es la adopción en la red de transporte de una tecnología que se ajuste al tipo de servicios previstos, siendo la opción escogida ATM, lo que a su vez implica modificar el medio físico de la red de transporte con el objeto de evitar un cuello de botella en la red.

Inicialmente se planea ofrecer una cobertura UMTS limitada al sector central de la ciudad, donde existe una alta concentración de usuarios y una elevada actividad comercial, para posteriormente alcanzar un mayor grado de cobertura, expandiendo esta hacia el sector norte de la ciudad.

Es importante aclarar que la cobertura UMTS será enfocada hacia los sectores de la ciudad donde se prevea una elevada demanda de los servicios.

3.2 Descripción del Software

En esta sección describiremos brevemente el impacto del uso de herramientas informáticas especializadas en la planificación de redes móviles 2G y 3G.

Como un ejemplo de estas herramientas se presentará a RADIO MOBILE [26], un software de planificación radioeléctrica que a pesar de no ser especializado en la planificación de redes móviles celulares nos permite visualizar los efectos de la topología del terreno de la ciudad en función de la propagación radioeléctrica.

3.2.1 Herramienta de predicción radioeléctrica “RADIO MOBILE”

RADIO MOBILE es una herramienta que nos permite graficar los patrones RF y predice el comportamiento radioeléctrico de los sistemas en función de la morfología del terreno.

Su naturaleza de distribución libre junto con la posibilidad de descargar datos de elevación de terreno igualmente de manera gratuita, representa una gran ventaja de esta herramienta.

El software puede producir mapas donde se grafique la cobertura y la interferencia, además de vistas 3D y animaciones de sobrevuelo sobre el terreno analizado. Otra aplicación útil es la visualización de los efectos de Fresnel sobre los enlaces establecidos.

En las Figuras mostradas a continuación podremos observar las utilidades que incluye el programa aplicadas a los datos de Guayaquil para dos estaciones bases una colocada en el Cerro del Carmen (base 2 a la derecha) y la otra en el Cerro San Eduardo (base 1 a la izquierda)..

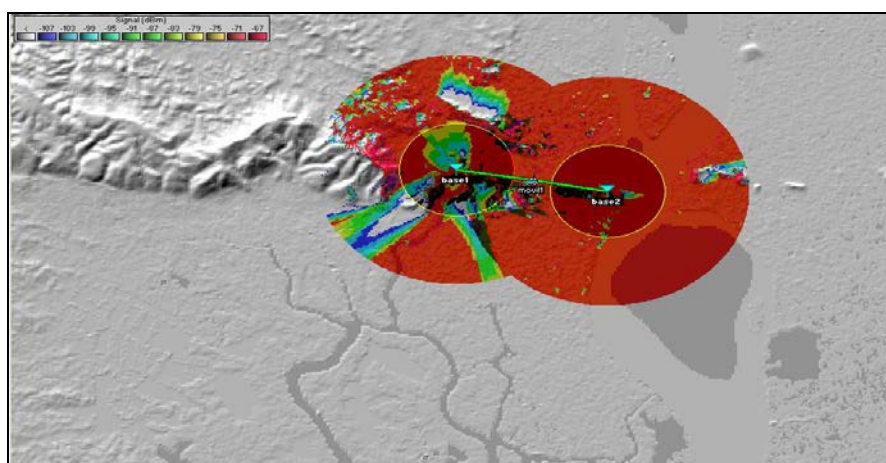


Figura 3.7 Cobertura radioeléctrica combinada

En la Figura 3.7 la región roja muestra los sectores de cobertura válida dentro de los rangos establecidos en la simulación. Por otro lado las áreas en

verde, azul y sin pintar dentro de la zona de cobertura, presentan niveles de señal inferiores al umbral, nótese que esto sucede en zonas de sombra es decir en los sectores ubicados detrás de las elevaciones montañosas.

La Figura 3.8 muestra el análisis de interferencia entre dos estaciones bases ubicadas en distintos puntos de la ciudad en relación a un móvil ubicado en el centro de estas dos.

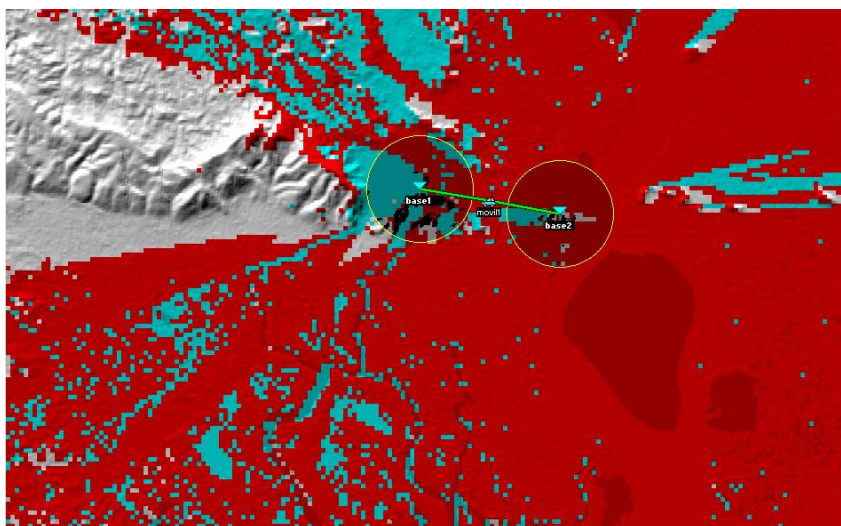


Figura 3.8 Interferencia entre las BTS con relación a un móvil

Las zonas en celeste muestran las regiones con un valor de C/I aceptable, mientras las zonas pintadas de rojo presentan problemas de interferencia.

En el caso de los enlaces vía radio que se utilizan para conectar las estaciones bases a las controladoras y estas al núcleo de red, RADIO

MOBILE permite analizar en función de los datos de elevación del terreno si los enlaces cumplen con el criterio de Fresnel. Vea Figura 3.9

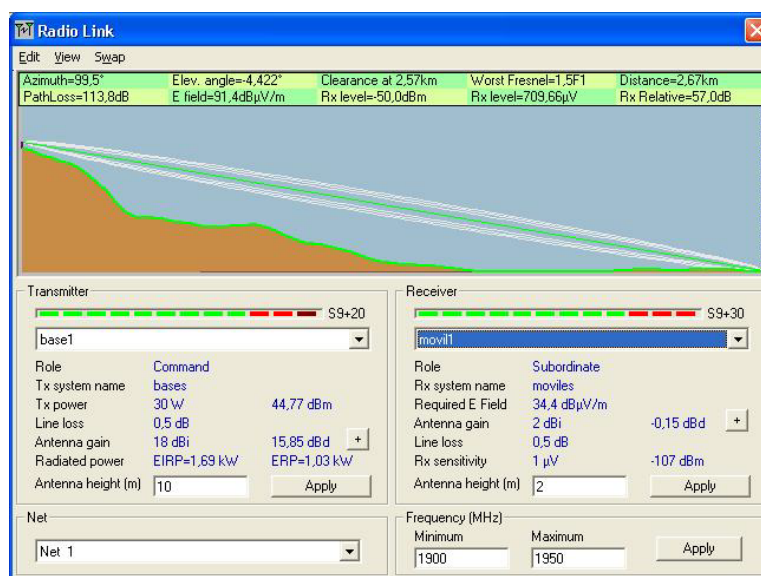


Figura 3.9 Análisis de la Zona de Fresnel

Pero existen ciertos aspectos que limitan y condicionan la utilización de RADIO MOBILE en el proyecto, así debido a la baja definición de los datos de elevación ofrecidos gratuitamente en Internet, no es factible analizar toda la red. Además el enfoque del programa es generalizado y por lo tanto no cuenta con utilidades especializadas en la planificación y análisis de redes celulares.

A pesar de lo expuesto, el programa ha sido de suma utilidad en el análisis visual de la red. El uso dado en el proyecto a este programa está orientado al análisis de la cobertura individual de cada estación base, y de los enlaces vía radio en la red de transporte planificada.

3.2.2 Otros Programas de planificación celular

En el mercado existe una gran cantidad de aplicaciones informáticas especializadas en la planificación y diseño de redes celulares.

Grandes planos A0 y utensilios de medida como el compás y la regla ya no tienen cabida. A las herramientas de software modernas se suma la disponibilidad de datos cartográficos digitales con unos niveles de resolución bastante buenos. Así por ejemplo se puede contar con datos cartográficos de la NASA (SRTM) o modelos digitales de 1 metro de resolución, en ocasiones de forma gratuita. Vea Figura 3.10

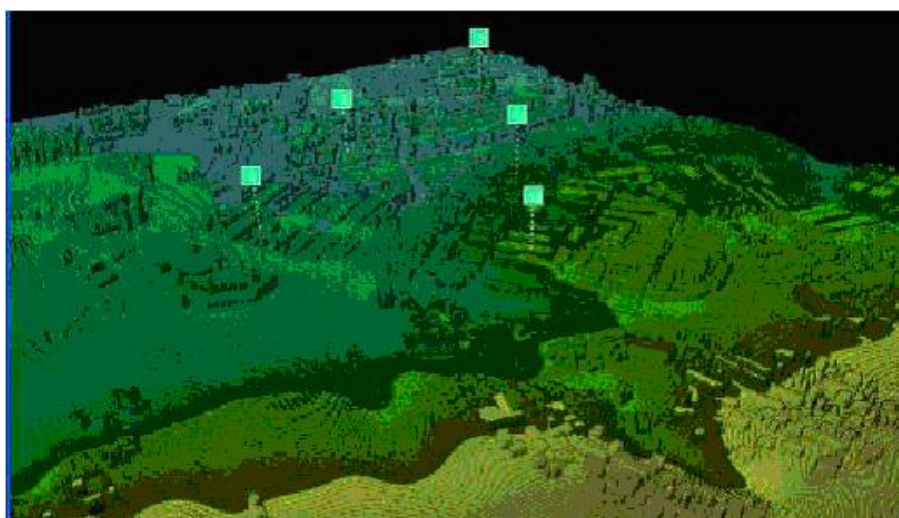


Figura 3.10 Mapa con resolución de 2m. de la Ciudad de León (México)

Estas herramientas trabajan en todos los aspectos del diseño, hasta obtener un pleno conocimiento de la mejor ubicación de sus estaciones, la cobertura

radioeléctrica de la señal de servicio, dónde será necesario mejorar la cobertura con picoceldas, cómo se estructurará la red troncal que comunica cada estación base, qué grado de servicio se ofrece a los usuarios, etc.

Las herramientas de planificación facilitan las labores de ingeniería reduciendo el tiempo de trabajo para aquellas tareas menos agradables como la búsqueda y validación de los emplazamientos de las estaciones base de la red celular que se completan de forma casi automática, sin desplazamientos para el reconocimiento del terreno hasta la fase final de instalación de los equipos y con una garantía de éxito que suprime el replanteo de estaciones en un 95% de las ocasiones ya que garantiza una fiabilidad de las predicciones de cobertura del 90%.

En conclusión, gracias a los medios de planificación de redes celulares actuales los equipos de planificación pueden profundizar en la eficiencia de sus redes, tanto al minimizar los costes de una red sobredimensionada, como al llegar a los usuarios con un grado de servicio garantizado que no deberá esperar a las reclamaciones de sus clientes para conocer las carencias de la red.

CAPITULO IV: DESARROLLO DEL PROYECTO

En el presente capítulo se detalla el desarrollo de la planificación de la red celular, el cual presenta un esquema secuencial. Primero procedemos a dimensionar los recursos necesarios para el servicio de voz en GSM, y los servicios de datos en GPRS. Como ya se ha indicado en el Capítulo III, GPRS no es más que la plataforma de datos para GSM, por lo que en el desarrollo del proyecto se la considera como una sola red (GSM/GPRS.) Finalmente para cumplir con uno de los principales propósitos de este proyecto, se procede con el dimensionado de la red UMTS, la cual presente una serie de nuevos enfoques y desafíos con relación a la red anterior.

La planificación y diseño de un sistema celular es una actividad compleja, en la que han de tenerse en cuenta numerosos factores interdependientes, entre los que destacan la cobertura radioeléctrica, interferencias, movilidad de usuarios, distribución de tráfico y la prestación de nuevos servicios..

4.1 Planificación GSM

Existen dos enfoques que pueden caracterizar el proceso de planificación de la red GSM:

La técnica de acceso al medio

Los servicios ha prestar.

Al emplear como técnica de acceso un híbrido TDMA/FDMA, la planificación de la red de acceso involucra la utilización de mecanismos para contrarrestar los efectos propios de las limitaciones en frecuencia e interferencia de estos sistemas. Así, el concepto de reutilización de frecuencia característico de una red 2G, conlleva un afinado proceso de agrupación celular, análisis de interferencias y asignación adecuada de frecuencias.

El enfoque hacia la prestación básicamente del servicio de voz y de los llamados mensajes cortos (SMS) hace que el análisis de la red frente a diversas fuentes de tráfico, no venga a lugar. Además en la red de transporte tampoco requiere del empleo de tecnologías que garanticen anchos de banda considerable ni tampoco implementen mecanismos sofisticados de QOS.

La metodología de planificación de la red GSM puede dividirse en las siguientes fases:

- ❖ Estimación de los parámetros de movilidad: tasas de conexión/desconexión, actualización de posición, avisos y traspasos
- ❖ Estimación de la intensidad de tráfico que deberá cursar la red radio (Interfaz Um) en los canales TCH y SDCCH.
- ❖ Elección del tipo de celdas y diseño de la malla celular

- ❖ Elección de los sistemas radiantes
- ❖ Determinación de cobertura y análisis de interferencias
- ❖ Asignación de frecuencias
- ❖ Dimensionado tanto de las estaciones base (número de radiocanales) y las controladoras en función del volumen de tráfico y del grado de servicio.
- ❖ Dimensionado de la capacidad del MSC, en función del número de suscriptores o de intensidad de tráfico soportada
- ❖ Dimensionado de la red fija para optimizar los costes de los circuitos de conexión.
- ❖ Dimensionado de los órganos que sustentan las funciones de movilidad (HLR, VLR), de seguridad (AuC, EIR) y de calidad (OMC).

4.1.1 Análisis de Factores de los Usuarios

Como en cualquier tipo de diseño, son el comportamiento y las necesidades del mercado, los que determinan las características del producto o servicio en cuestión, los sistemas de telefonía celular no escapan a este concepto, por tanto es fundamental analizar los diversos factores que modelan al perfil del usuario con el objeto de realizar un diseño que cumpla con los requerimientos establecidos.

4.1.1.1 Modelo Demográfico

Un análisis demográfico de la población es vital para el operador en la etapa de planificación de la red, ya que le brinda valiosa información para el despliegue de las estaciones base, además de ser de suma utilidad en las tareas de marketing y estimaciones de mercado lo cual se traduce en el dimensionado del tráfico y sus proyecciones.

Con datos obtenidos a partir de [25], se encuentran parámetros de la población como: Tasas de crecimiento poblacional, Distribución por edades, Distribución sectorial y por parroquias, e incluso algunos valiosos indicadores socioeconómicos. En la Tabla 4.1 se resumen algunos de estos parámetros demográficos correspondientes a Guayaquil, mientras en el Anexo A se muestran los resultados del último censo realizado en el país, los cuales además pueden ser apreciados de manera gráfica en la Figura 4.1 [26], donde la región de color rojo representa la densidad poblacional (punto = 50 habitantes), esta gráfica nos ayudará a comprender las distintas concentraciones poblacionales que se manejan dentro del entorno urbano para luego asumir los patrones de movilidad, claro está debe tomarse en consideración que estos datos se modificarán dada su naturaleza estática debido al censo.

Tabla 4.1 Índices demográficos y socioeconómicos de Guayaquil

Crecimiento Demográfico	2,15%
Población Urbana	1985379
Población Rural	45271
Mujeres	52,81%
Hombres	47,19%
Población inferior a 45 años	78,00%
Vivienda	505769
Población / Vivienda	4,23

El análisis demográfico junto con la encuesta cuyo formato y resultados se encuentra en el Anexos B, han sido empleados en las hipótesis de mercado utilizadas en esta planificación, esto es equivalente a los elaborados estudios que deben realizar las operadoras celulares.

Como fruto de esta investigación dirigida a modelar al universo de usuarios tentativos, se obtiene una segmentación inicial y referencial para el cálculo tanto del radio celular como de la distribución de los recursos, resaltando la interdependencia de estos factores

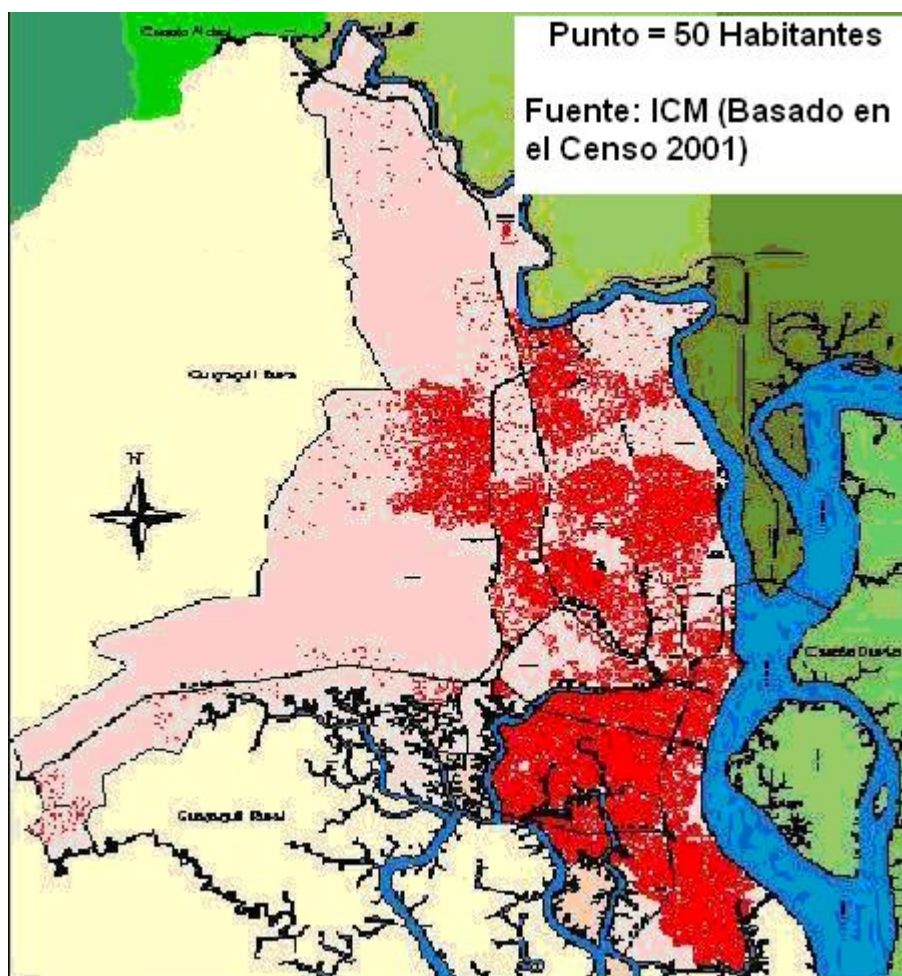


Figura 4.1 Distribución geográfica de la población en Guayaquil

4.1.1.2 Modelo de Movilidad

La principal característica de un sistema celular es la capacidad de mantener los servicios de comunicaciones sin importar el nivel de movilidad o localización de los usuarios dentro de la zona de cobertura.

La movilidad de los usuarios es modelada mediante procesos estadísticos que resultan muy complejos de explicar y están fuera del alcance de este estudio. Para el presente estudio se ha caracterizado de forma general a la población local, estimando que en las horas pico u horas ocupadas, alrededor del 70 al 75% de la población se encuentra fuera de su domicilio y distribuidos en distintos sectores de la ciudad realizando actividades de diversa naturaleza.

El patrón de movilidad estimado para los usuarios se muestra en la Figura 4.2, si se compara este con la Figura 4.1 se puede notar claramente el cambio de la distribución y densidad de la población durante las horas laborables.

Con el fin de obtener los valores de la estimación de las densidades poblacionales en el marco urbano, se empleo una primera división que se muestra en la Figura 4.3, así haciendo uso de esta división preliminar, los datos obtenidos del último censo de población y las estimaciones planteadas, se tienen los valores que se muestran en la Tabla 4.2, la cual relaciona el número de habitantes de cada celda, con un porcentaje que representa el grado de concentración de dicha celda en la hora pico.

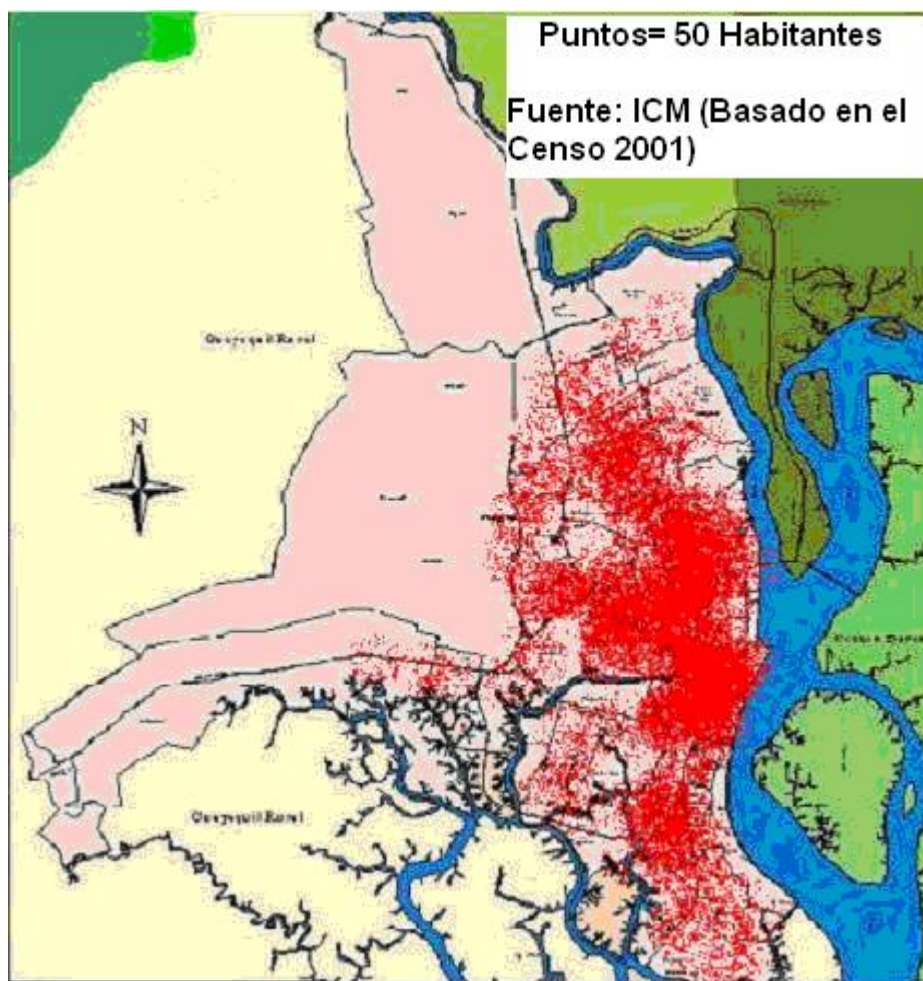


Figura 4.2 Modelo de movilidad en la ciudad de Guayaquil

En la fila superior de la Tabla 4.2 se encuentra la estimación del grado de movilidad de cada celda, mientras en la fila final se obtiene el dato estimado del número de habitantes que se encuentran en dicha celda en la HB. Cabe indicar en general se ha asumido que un 30% de la población no se moviliza por fuera de su zona domiciliaria.

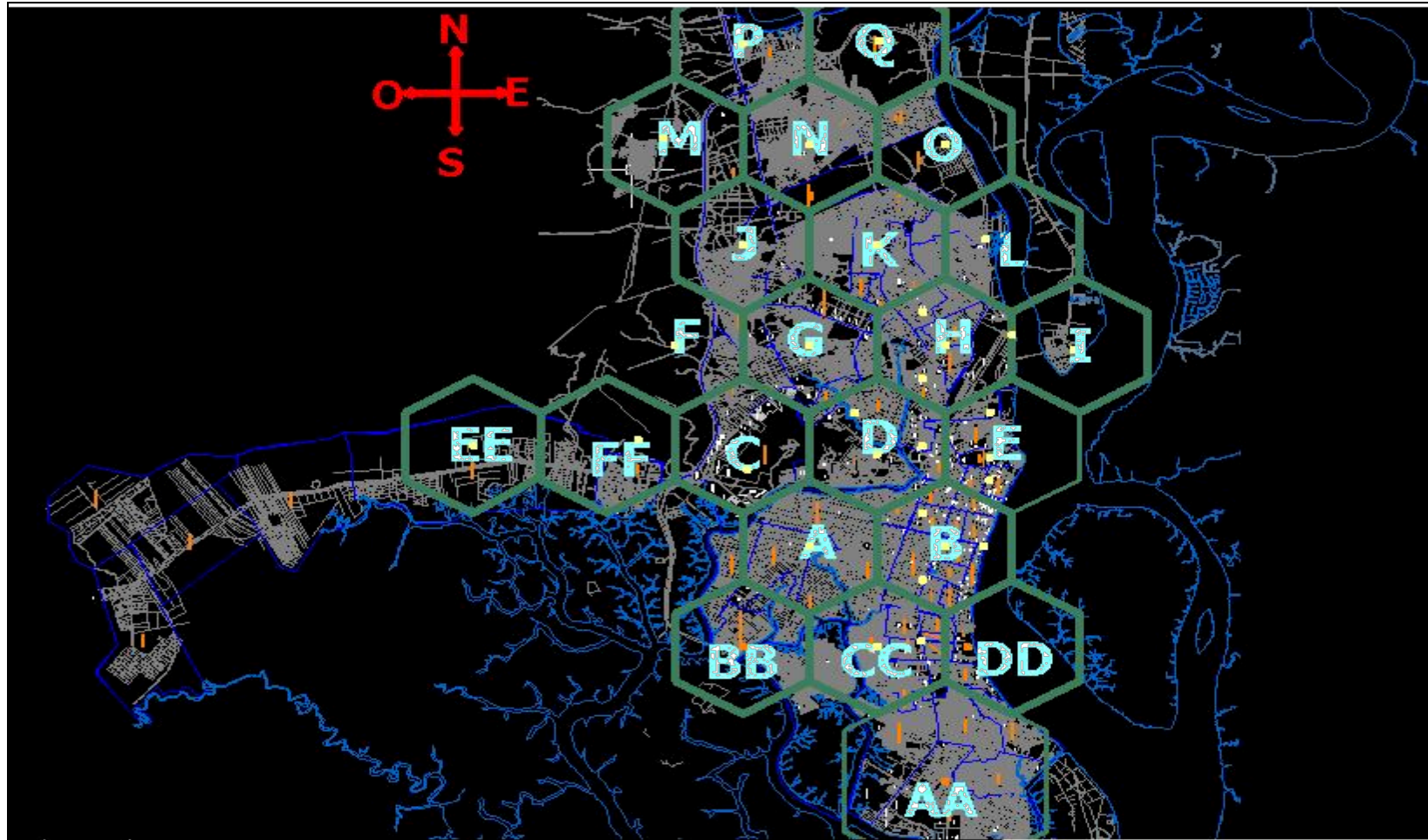


Figura 4.3 División Preliminar para la estimación del patrón de movilidad de Guayaquil

Tabla 4.2 Matriz de movilidad de los Usuarios durante la Hora Cargada en Guayaquil

Matriz de migración de los usuarios en la Hora Cargada																									
		2,0%	4,0%	2,5%	10%	12%	1,0%	2,0%	12%	2,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	2,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%
MOVIMIENTO DE USUARIOS EN LA ZONA DE COBERTURA																									
	Población	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	AA	BB	CC	DD	EE	FF	
1	A	3189	957	128	80	319	383	32	64	383	80	48	48	48	48	48	48	48	48	48	80	48	48	48	
2	B	2375	47	712	59	237	285	24	47	285	59	36	36	36	36	36	36	36	36	36	59	36	36	36	
3	C	125	3	5	38	13	15	1	3	15	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2	
4	D	1195	24	48	30	358	143	12	24	143	30	18	18	18	18	18	18	18	18	18	30	18	18	18	
5	E	598	12	24	15	60	179	6	12	72	15	9	9	9	9	9	9	9	9	9	15	9	9	9	
6	F	343	7	14	9	34	41	103	7	41	9	5	5	5	5	5	5	5	5	5	9	5	5	5	
7	G	1633	33	65	41	163	196	16	490	196	41	24	24	24	24	24	24	24	24	24	41	24	24	24	
8	H	795	16	32	20	80	95	8	16	239	20	12	12	12	12	12	12	12	12	12	20	12	12	12	
9	I	19	0	1	0	2	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10	J	758	15	30	19	76	91	8	15	91	19	227	11	11	11	11	11	11	11	11	19	11	11	11	
11	K	1454	29	58	36	145	175	15	29	175	36	22	436	22	22	22	22	22	22	22	36	22	22	22	
12	L	73	1	3	2	7	9	1	1	9	2	1	1	22	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	
13	M	196	4	8	5	20	24	2	4	24	5	3	3	3	59	3	3	3	3	3	5	3	3	3	
14	N	901	18	36	23	90	108	9	18	108	23	14	14	14	14	270	14	14	14	14	23	14	14	14	
15	O	259	5	10	6	26	31	3	5	31	6	4	4	4	4	4	78	4	4	4	6	4	4	4	
16	P	155	3	6	4	15	19	2	3	19	4	2	2	2	2	2	2	46	2	2	2	4	2	2	2
17	Q	46	1	2	1	5	5	0	1	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
18	AA	934	19	37	23	93	112	9	19	112	23	14	14	14	14	14	14	14	14	280	14	23	14	14	
19	BB	661	13	26	17	66	79	7	13	79	17	10	10	10	10	10	10	10	10	10	198	17	10	10	
20	CC	1385	28	55	35	138	166	14	28	166	35	21	21	21	21	21	21	21	21	21	415	21	21	21	
21	DD	293	6	12	7	29	35	3	6	35	7	4	4	4	4	4	4	4	4	4	7	88	4	4	
22	EE	17	0	1	0	2	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0
23	FF	182	4	7	5	18	22	2	4	22	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	5	3	3	55	
	POBLACIÓN	17584	1244	1321	474	1997	2218	275	809	2253	439	480	678	284	320	521	338	308	277	530	452	820	347	269	316

Comparando la Figura 4.1 con la Figura 4.2 se puede apreciar una concentración en dos polos de desarrollo de la ciudad. El primero, en el sector céntrico de la ciudad tomando como eje la Av. Nueve de Octubre sobre la que se desarrolla una importante actividad comercial y bancaria. El otro punto al que hacemos referencia se encuentra en el norte, definido por los sectores circundantes a la Av. Francisco de Orellana, Av. de Las Américas y la Av. Víctor Emilio Estrada.

El resto de la ciudad puede ser considerada como de un movimiento relativamente moderado, y otros sectores han sido catalogados como netamente residenciales, de ahí sus bajas tasas de presencia de usuarios en la HB (Hora Ocupada). Esta estrategia de zonificación del área de cobertura es utilizada por los operadores en el proceso de planificación.

4.1.1.3 Modelo de Tráfico

El sistema GSM al igual que todos los sistemas celulares para la prestación de voz, se dimensionan utilizando el método de los sistemas de llamadas pérdidas, por lo que se utiliza la distribución Erlang B dada por:

$$p_b = B(N, A) = \frac{A^N}{\sum_{k=0}^N \frac{A^k}{k!}} \quad (\text{Ecuación 4.1})$$

Donde p_b es la probabilidad de una llamada pérdida, N es el número de canales por célula o sector y A es el tráfico ofrecido. Pero debe considerarse que no sólo el bloqueo es una razón de falla sino también la probabilidad de estar dentro de la zona de cobertura del operador (p_c), por lo que en realidad la probabilidad de pérdida es:

$$p = 1 - (1 - p_b) \cdot p_c \quad (\text{Ecuación 4.2})$$

En general, son objetivos de calidad del operador establecer p_b y p_c , pero finalmente se impone el cumplimiento de las normativas del ente regulador, que establece un grado de servicio (GOS) de valores menores o iguales al 2%, donde:

$$GOS(\%) = 100 * p \quad (\text{Ecuación 4.3})$$

Uno de los puntos básicos para un correcto establecimiento de los niveles de calidad y por consiguiente del dimensionado de la red es la definición del perfil del tráfico, así la intensidad de tráfico (A), no es más que el resultado

conjunto de M usuarios en la celda que siguen un patrón de consumo denominado tráfico por terminal (a):

$$A = M * a = M * \frac{(L * H)}{3600} \quad (\text{Ecuación 4.4})$$

Donde L es el número de llamadas realizadas en la HB con una duración media de H segundos.

Para el caso correspondiente a Guayaquil, nos encontramos con un mercado que como se dijo en el Capítulo 1 se caracteriza por su predominancia prepago, modalidad bajo la cual usualmente el usuario tiene un bajo índice de llamadas realizadas, y un considerable nivel de tráfico SMS.

Se ha empleado un método de estratificación económica de la ciudad, de tal manera, se ha catalogado a cada celda de referencia inicial de la Figura 4.3, con un determinado grado de generación de tráfico de voz según sigue en la Tabla 4.3, donde se distinguen 3 categorías.

Tabla 4.3 Modelo de Tráfico de voz en Guayaquil

PARAMETROS	Centro	Urbano	Suburbano
Tasa de Llamadas en la Hora Ocupada	0,5	0,2	0,1
Duración promedio de las Llamadas (s)	60	45	30
Trafico por Terminal (Erlang)	0,00833333	0,0025	0,00083333
GOS	0,02		

En la sección 4.1.6.1.1 se trata más a fondo el cálculo del tráfico de cada celda y su evolución en el tiempo, pero es claro que estos parámetros son determinados por los hábitos de los usuarios.

4.1.2 Elección del tamaño y tipo de celdas

La elección del tamaño y configuración de la celda (omnidireccional y/o sectorizada) depende del tipo de entorno y de la naturaleza del tráfico. Pueden clasificarse dos tipos de entornos.

- ❖ **Rural:** Caracterizado por densidades de tráfico pequeñas, altas velocidades de desplazamiento y características de propagación no muy críticas.
- ❖ **Urbano:** Presenta elevadas tasas de tráfico, y condiciones de propagación muy variadas, con velocidades de desplazamientos relativamente bajas.

En lo que respecta a la capacidad de tráfico, la limitación de frecuencias disponibles impone límites a la intensidad que puede cursarse dentro de una celda, por lo que para atender una cierta demanda de tráfico habrá que acotar, asimismo, el tamaño de la celda. Ello incide favorablemente en la cobertura ya que, al reducirse la distancia, disminuyen las pérdidas de propagación.

De las consideraciones anteriores se desprende que la capacidad y la cobertura son factores determinantes del tamaño de las celdas, las cuales según su radio pueden clasificarse así:

- ❖ **Macrocelas:** Con radios comprendidos entre 1.5 y 20Km para cobertura rural, carreteras y poblaciones cercanas.
- ❖ **Miniceladas:** Con radios comprendidos entre 0.5 y 1.5Km para cobertura de medios urbanos importantes
- ❖ **Microceladas:** con radios de 0.1 a 0.5Km para cobertura de zonas de ciudades con elevada densidad de tráfico y penetración en edificios.
- ❖ **Picoceladas:** con radios de 30 0 100m para cobertura localizadas en interiores: Aeropuertos, Centros Comerciales, Bancos, etc.

Se ha encontrado que la densidad de tráfico no es constante, sino que toma su valor máximo en el centro de las ciudades y decrece hacia las periferias, de manera exponencial aunque, al ser el radio de la célula una función de la densidad de tráfico y en la práctica usarse radios constantes, se propone más bien un modelo discreto.

En el marco del proyecto, se ha obtenido las estimaciones para el centro de la ciudad, resumidas en la Tabla 4.4

Tabla 4.4 Parámetros para el cálculo del radio celular inicial de la red

Estructura celular	3 sectores/sitio
Móviles promedio	500
Tráfico Promedio por terminal	8,33 mE
Densidad	2,5 E/Km²

El objetivo de este análisis para el proyecto, es obtener el radio celular inicial de la red, el cual estará limitado por las condiciones de tráfico críticas que se dan en el sector de la ciudad mencionado.

Si la superficie de la celda en la que se ofrece el tráfico A es:

$$S = \frac{A}{\rho} = \frac{3\sqrt{3}R^2}{2k} \quad (\text{Ecuación 4.5})$$

Donde k corresponde al número de sectores por célula.

Se puede calcular el radio requerido para esas condiciones. Para nuestro caso en particular el resultado es $R = 1.3\text{Km}$ aproximadamente.

La posterior segmentación o división de la red obedecerá a los aspectos expuestos en este capítulo y a las proyecciones de tráfico de la red en su período de operación. Es decir, que los radios correspondientes a las celdas

de zonas de menor tráfico, si bien obedecerán al concepto de disminución exponencial, darán prioridad el criterio de la carga de tráfico proyectada.

4.1.3 Diseño de la Malla Celular

En la fase inicial de establecimiento del sistema, como existirá poca demanda de tráfico, interesa que predomine la cobertura por lo que se establecen pocas celdas de gran tamaño. Para esta fase es indispensable tener un cálculo adecuado del radio inicial, que será el máximo del sistema, ya que supone un compromiso entre el coste y la calidad de transmisión. Este fue el objetivo de la sección anterior.

A medida que el sistema evoluciona empieza a prevalecer la necesidad de capacidad y en la mayoría de las celdas, sobre todo en las situadas en el núcleo urbano, se alcanza pronto una saturación de tráfico. Las soluciones a esta situación son:

- ❖ Dotar de más recursos radio a la celda
- ❖ Efectuar una división celular.

Asignar indiscriminadamente nuevos canales a las celdas, puede provocar escasez de recursos radio, mientras que, la división celular al reducir el área

de servicio permite manejar menos usuarios con la misma cantidad de radiocanales.

Esta técnica junto con la reutilización de frecuencias permite a la red adaptarse al crecimiento de la demanda de tráfico, pero en consecuencia genera un mayor volumen de tráfico de señalización y de proceso de datos en el sistema de control de la red, además de aumentar los costes, al ser necesarias más ubicaciones y estaciones base.

La evolución hacía celdas más pequeñas es gradual, aplicándose el concepto de recubrimiento, es decir, se añaden las celdas necesarias dentro de la zona requerida. Como ya se ha venido mencionando la división celular no es homogénea, ya que la densidad de tráfico tampoco lo es.

A continuación se incluyen las gráficas correspondientes al diseño de la malla celular de la red y su evolución en las fases correspondientes a las proyecciones del mercado asumidas y presentadas en la Tabla 3.1.

En la secuencia de las Figuras desde la 4.4 hasta la 4.7 se observa un patrón de superposición de capas, lo que en efecto representa cada una de las fases de implementación de la red. Las capas inician con un radio celular de 1Km, luego van reduciendo su radio y por ende la zona de cobertura en función del incremento de la demanda de tráfico (500 y 250m), hasta que la

división celular conlleva que la red adopte celdas con radios micro celulares de 125m.

En la Figura 4.8 y la Tabla 4.5 se muestra la ubicación en la ciudad de los emplazamientos o sitios físicos donde se asentarán las radiobases, controladoras y el centro de conmutación, esta distribución obedece en un alto grado al diseño que esta dictado por aspectos de índole teórica como el tráfico y condiciones de propagación, y a factores externos propios de un medio urbanístico real donde el operador debe enfrentarse a la presencia de otras edificaciones que modificarán su plan inicial.

Por ejemplo dada la geometría celular una estación base puede llegar a estar ubicada precisamente en el patio de una escuela, el diseño debe tener la suficiente flexibilidad para solucionar esta situación en la práctica.

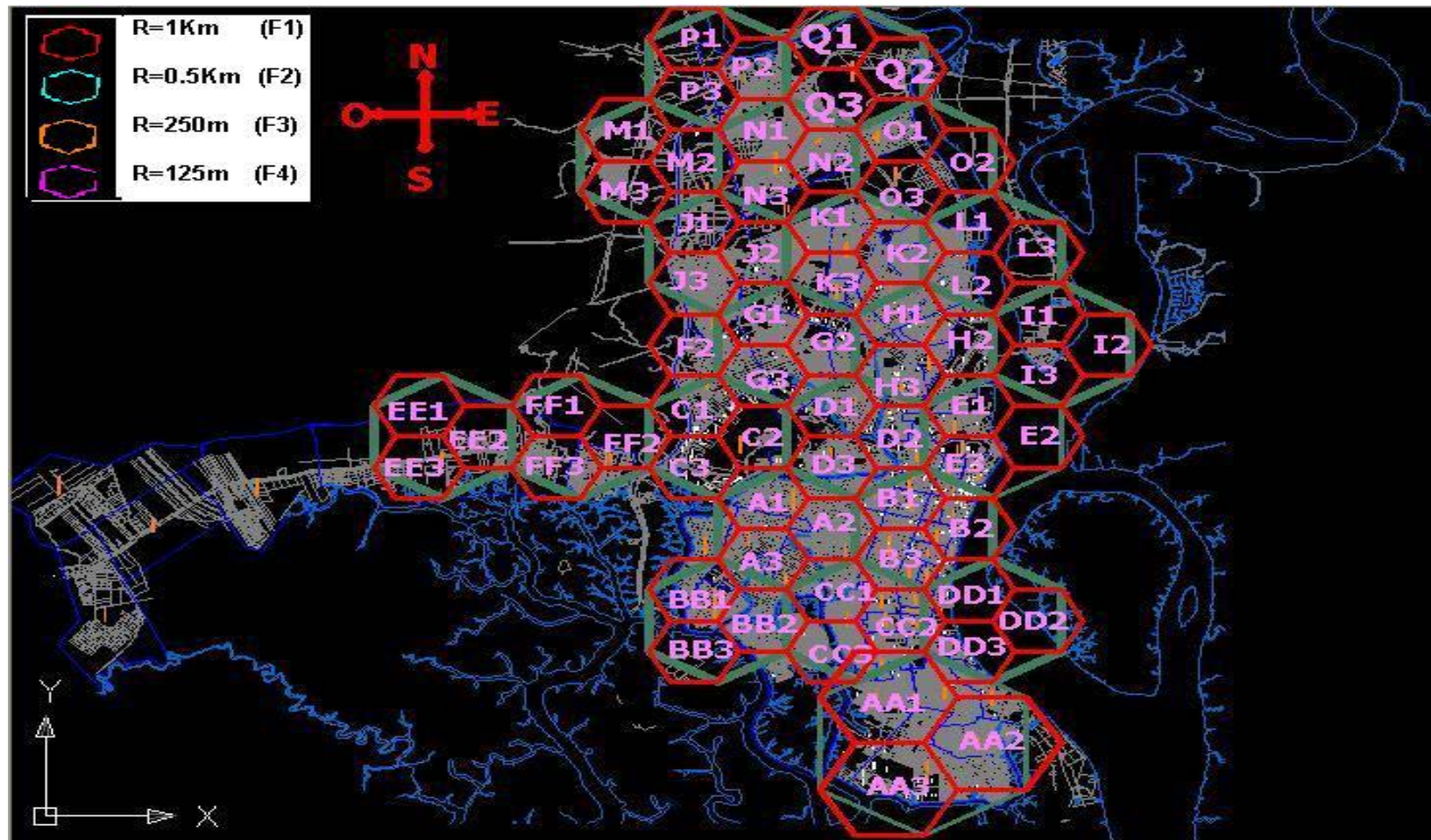


Figura 4.4 Diseño de la malla celular de la Fase 1

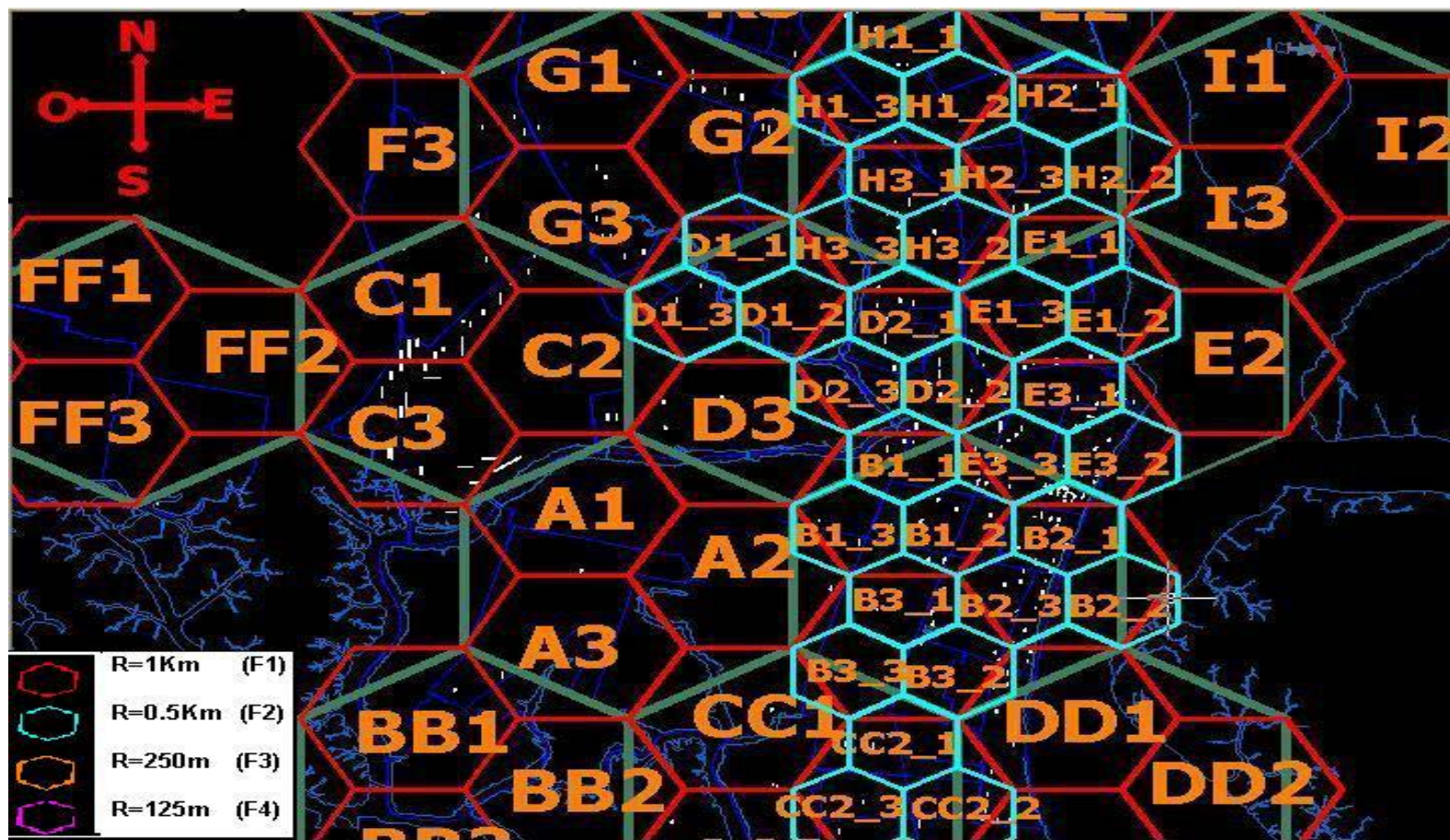


Figura 4.5 Diseño de la malla celular de la Fase 2

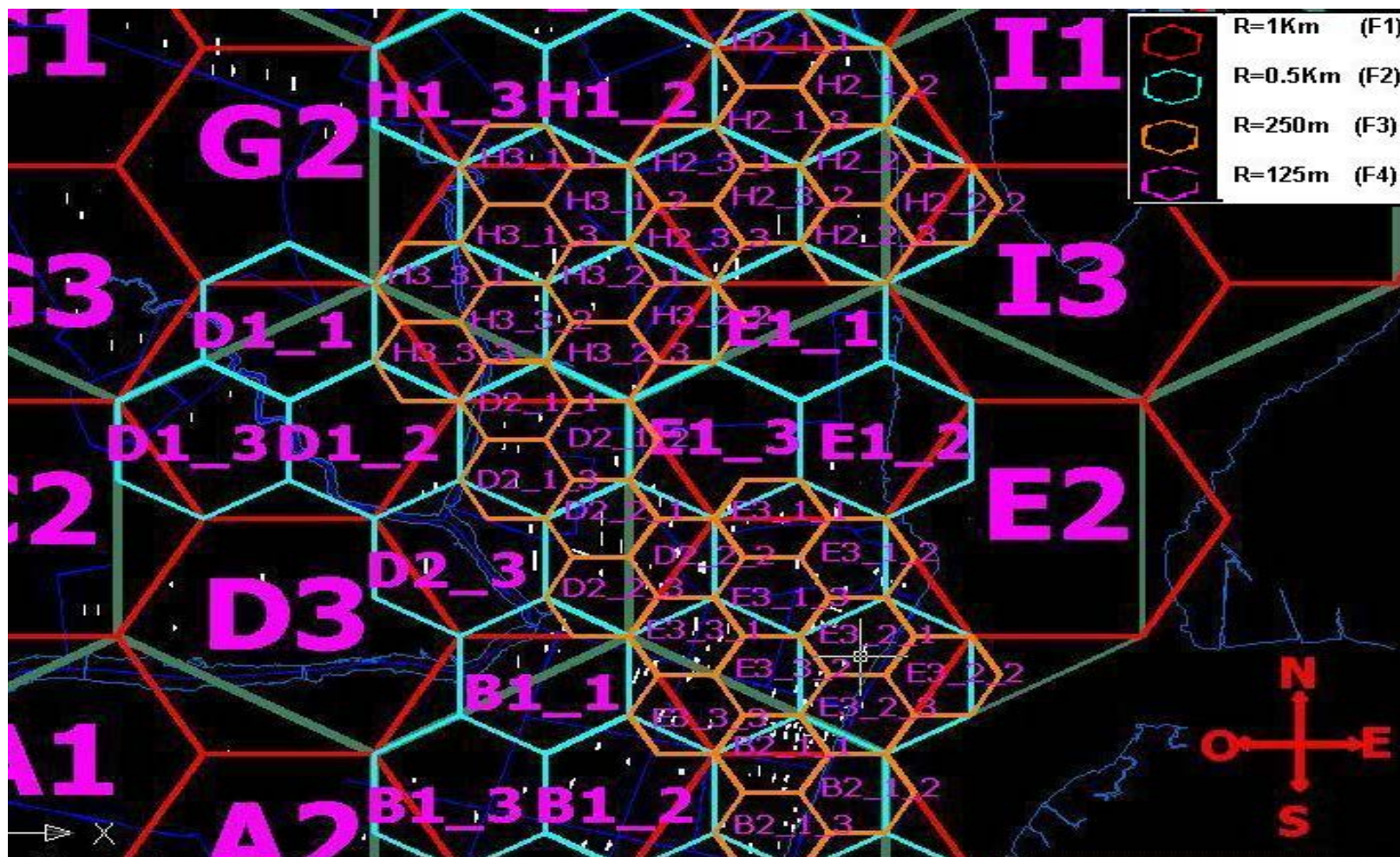


Figura 4.6 Diseño de la malla celular de la Fase 3

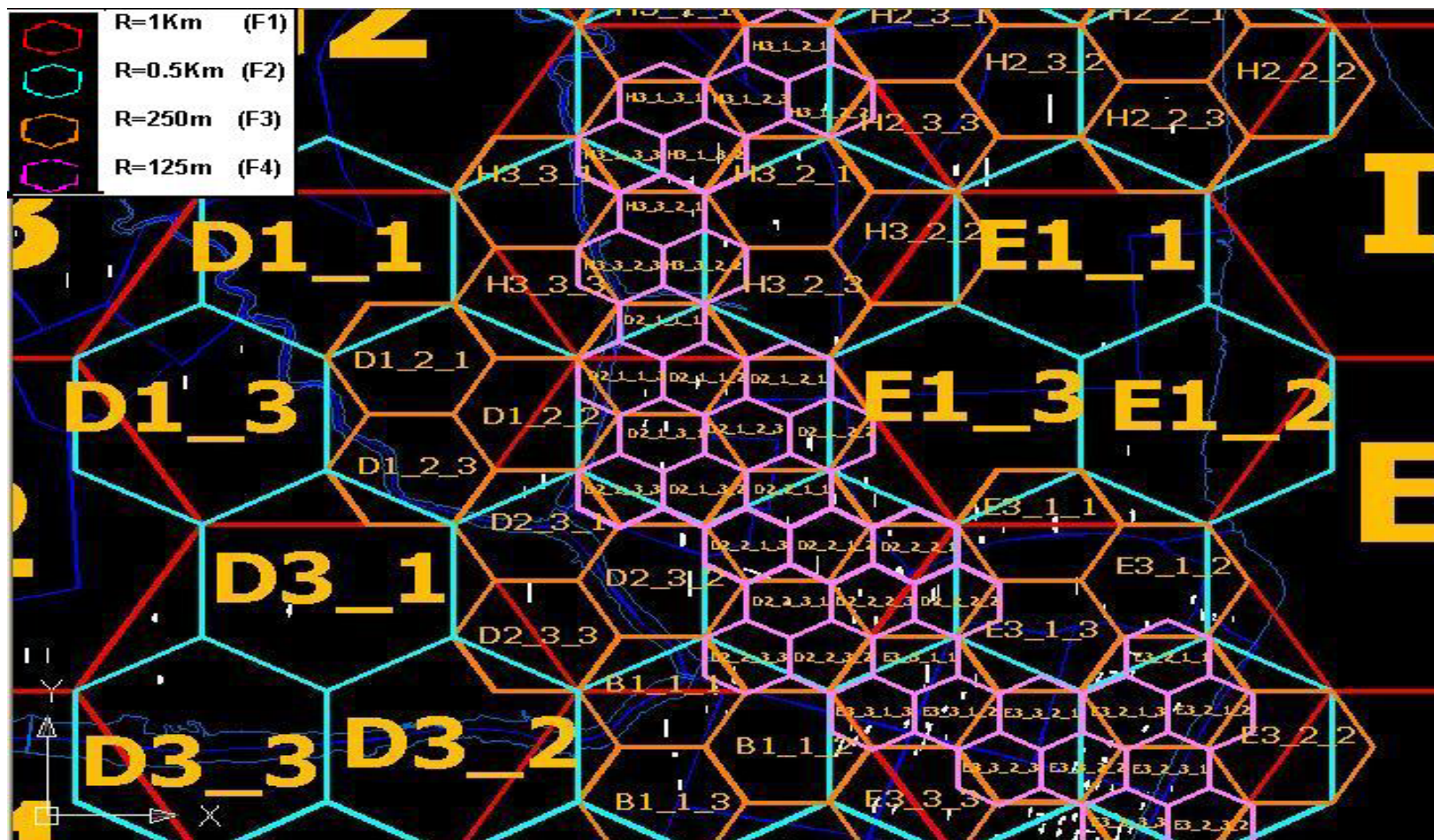


Figura 4.7 Diseño de la malla celular de la Fase 4

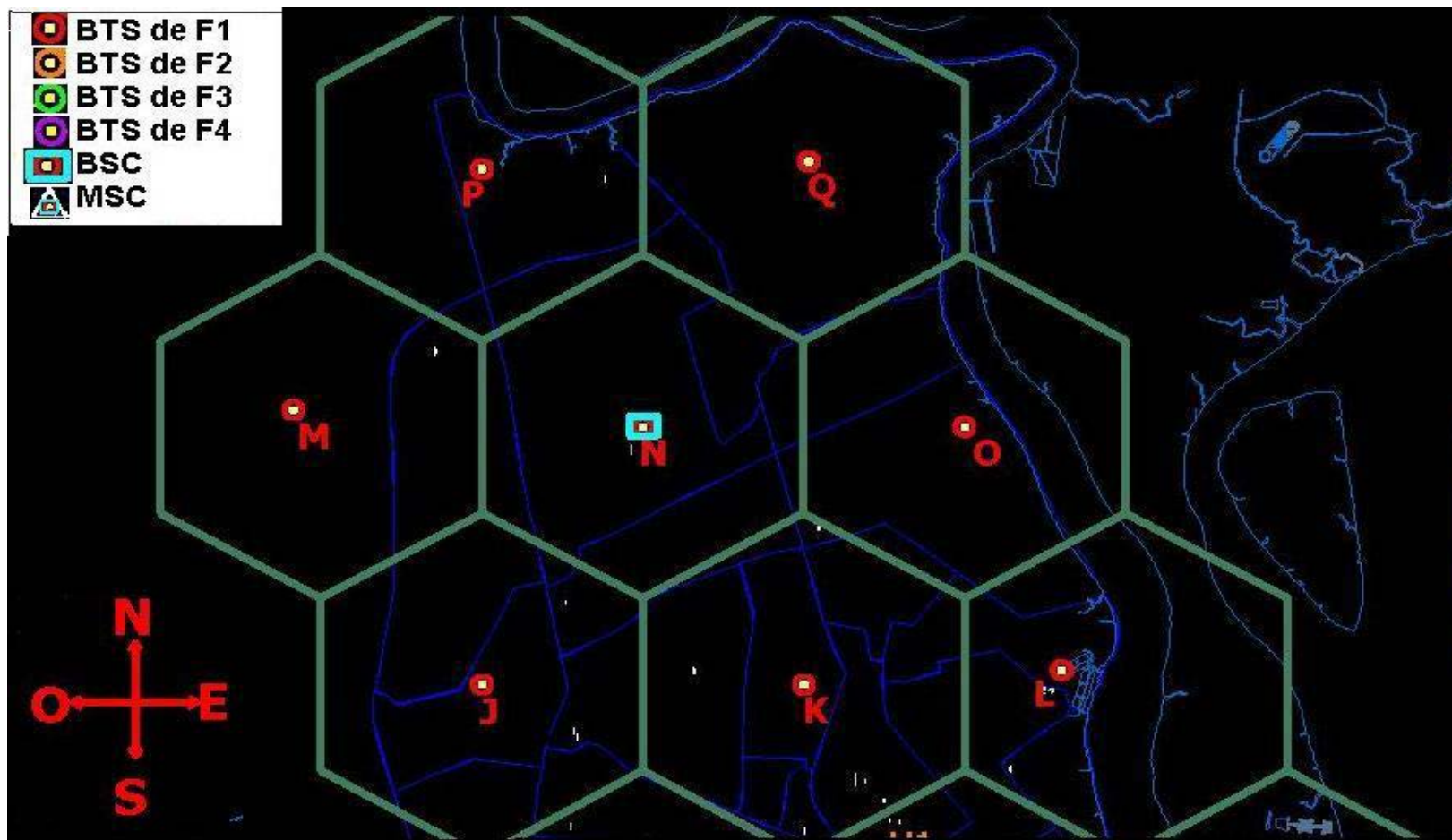


Figura 4.8-a Ubicación de los elementos de la red (Norte de la ciudad)

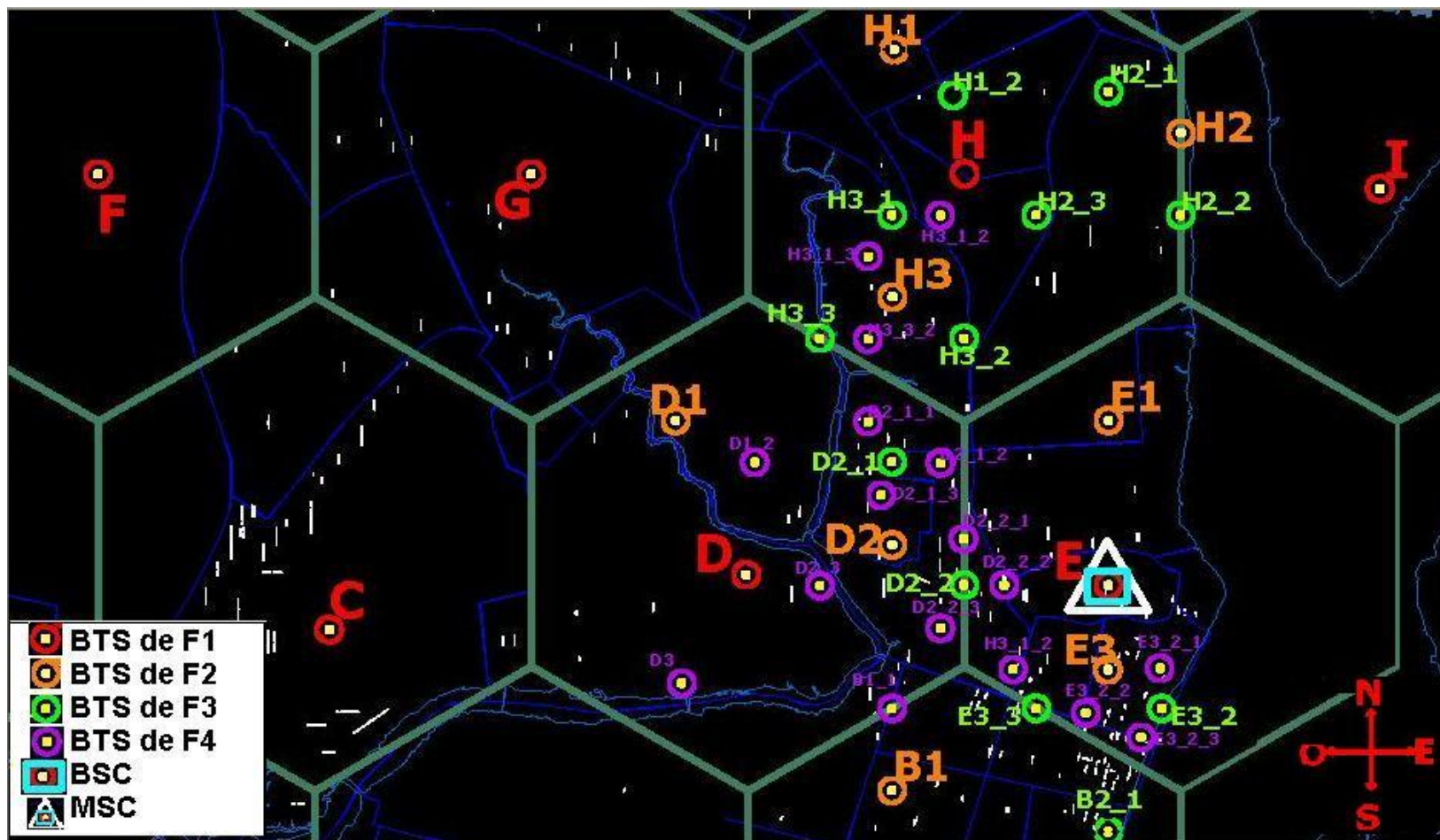


Figura 4.8-b Ubicación de los elementos de la red (Centro de la ciudad)



Figura 4.8-c Ubicación de los elementos de la red (Sur de la ciudad)

Tabla 4.5 Ubicación de los Emplazamientos de la red

EMPLAZAMIENTOS FASE 4 (2013-2016)				
ID	BTS	BSC	PARROQUIA	CALLES
1	A	3	Abel Gilbert	Ismael Perez Castro entre Fray Enriquez Vacas G. Y El Oro
2	B	2	Ayacucho	Juan Pio Montufar y Letamendi
3	B1	2	Sucre	Ayacucho entre Carchi y Tulcán
4	B1_1	2	9 de Octubre	Aguirre y Lizardo García
5	B2	2	Astillero	Gómez Rendón y la Ría
6	B2_1	2	Olmedo	General , Franco y Eloy Alfaro
7	B3	2	García Moreno	Av. Machala y Guatemala
8	C	3	San Eduardo	Cerros de San Eduardo (H=200m) , detrás del Club de Empleados del IE
9	D	2	Bellavista	A la Altura de Sí Café
10	D1	2	Urdesa	Ficus y Mirtos
11	D1_2	2	Urdesa	Victor Emilio Estrada y Miguel Aspiazu Carbo
12	D2	2	Kennedy	Av. Del Periodista y Francisco de Icaza Bustamante
13	D2_1	2	Tarqui	Teodoro Maldonado Carbo y 12 Oeste
14	D2_1_1	2	Kennedy	Carlos Luis Plaza Dañin y Francisco de Orellana
15	D2_1_2	2	Tarqui	4 PA 11B NO y Segundo Pasaje 8 NO
16	D2_1_3	2	Kennedy	Av. Del Periodista y Prof. Alfredo Saenz
17	D2_2	2	Tarqui	Avenida de las Américas y John F. Kennedy
18	D2_2_1	2	Tarqui	Av de las Américas y Ing. Elías Jacome Guerrero
19	D2_2_2	2	Tarqui	Pedro Menendez Guilbert y Dr. Luis Cordero
20	D2_2_3	2	Tarqui	Manuel Galecio y Pedro Gual
21	D2_3	2	Bellavista	Carlos Julio Arosemena (Campus Universidad Católica)
22	D3	2	Bellavista	Av. Barcelona y Presidente José María Velasco Ibarra
23	E	2	Cerro del Carmen	Cerro del Carmen
24	E1	2	FAE	Eliot Luit y Juan Pio M.
25	E3	2	Pedro Carbo	Escobedo y Alejo Lascano
26	E3_1	2	Cerro del Carmen	Cerro del Carmen (H=88m)
27	E3_2	2	Pedro Carbo	Malecón Simón Bolívar y Roca
28	E3_2_1	2	Pedro Carbo	Tomás Martínez y Panamá
29	E3_2_3	2	Pedro Carbo	Simón Bolívar y Nueve de Octubre
30	E3_3	2	Rocafuerte	Lorenzo de Garaycoa y 9 de Octubre
31	E3_3_1	2	Tarqui	Luis Urdaneta y Machala
32	E3_3_2	2	Pedro Carbo	Francisco P. Icaza y Boyaca
33	F	1		Cerros de El Retiro (H=148m)
34	G	1	Mapasingue	Callejón 12D y 6°PT 3B
35	H	2	Garzota	Gillermo Pareja yRolando y Hermano Miguel
36	H1	2	Alborada Este	Segundo Celi y Ing. Rodolfo Baquerizo
37	H2	2	FAE	Benjamín Rosales Aspiazu
38	H2_1	2	FAE	Centro Terminal
39	H2_2	2	FAE	Av. Benjamín Rosales y Puente Rafael Mendoza Aviles
40	H2_3	2	Simón Bolívar	4° Peatonal 2A NE y 4° Paseo 14 NE
41	H3	2	Kennedy	Vicente Norero Lucca y Clotario Paz
42	H3_1	2	Kennedy	Juan Tanca Marengo y María Piedad Castillo
43	H3_1_2	2	Simón Bolívar	Segunda Peatonal 1 NE y Tercer callejón 14A NE
44	H3_1_3	2	Kennedy	Dr. Luis Orrantia Cornejo y Dr. Miguel H. Alcívar
45	H3_2	2	Kennedy	Juan Tanca Marengo y 1° callejon 13 NE
46	H3_3	2	Urdesa	Rodrigo Chavez González y 1° CJ 12A NO
47	H332	2	Kennedy	Justino Cornejo y Dr. Luis Orrantia Cornejo
48	I	2	La Puntilla	La Puntilla (por el sector del redondel)
49	J	1	La Florida	Pre-Cooperativa Colinas de La Florida ; 6° PJ 42 NO y 1° CJ 20 NO
50	K	1	El Condor	2°PT 8 NO y 1° CJ 19H NO
51	L	2	Guayacanes	Rafael Ugarte de Cevallos y Alberto Stagg Coronel
52	M	1	Monte Bello	Cerros La Compañía (H=90m)
53	N	1	Bastión Popular	1°PJ 38A NO y el 7° CJ 24 NO
54	O	1	Quinto Guayas	Quinto Guayas Este
55	P	1	Pascales	Montecristi y Manta
56	Q	1	Orquideas Este	Cerro Colorado (H=40m)
57	AA	3	Guasmo Este	Av 11 SE y 2° Callejo 55 SE
58	BB	3	Batallón	La Victoria y Suscal
59	CC	3	Luz del Guayas	Santa Clara y Lizardo García
60	CC2	3	Huancavilca	Av. 25 de Julio y Ernesto Albán Mosquera
61	DD	3	Cuba	Ría
62	EE	3	Cerro Azul	Cerro 210m
63	FF	3	Puerto Azul	Cerro 225m

4.1.4 Elección de los parámetros de los sistemas radiantes

Debe ser de vital importancia realizar un análisis adecuado de las características requeridas en el sistema radiante o red de acceso, haciendo referencia principalmente a las antenas utilizadas. En la Tabla 4.6 se muestran algunos de los parámetros más importantes y los valores promedios requeridos para la red planificada, la selección de estos parámetros determinará la cobertura de cada celda y por ende del sistema

Tabla 4.6 Parámetros de selección de las antenas

Parámetros	Valores Típicos	
Rango de Frecuencia (MHz)	1710	1990
Potencia Máxima de Transmisión	300-500W	
Ganancia	16-18 dBi	
Ancho de Haz de Media Potencia	65°	
Polarización	45°	
Tilt	0-8°	
Relación Front to Back	>25dB	
VSWR	< 1.5	
Impedancia	50 Ohm	
Aislamiento	>30dB	

La red planteada parte de una estructura trisectorizada formada por celdas de 1Km de radio, por lo que se impone el uso de antenas con características de propagación altamente direccionales, por ello se utilizan las antenas tipo

panel [28] que presentan patrones de radiación como lo muestra la Figura 4.9.

El punto de partida para la proceso de selección de las antenas es definir la frecuencia de operación de la red, como se ha mencionado previamente, para la presente planificación se ha tomado como hipótesis, haber obtenido la concesión por parte del Estado de la banda comprendida entre 1850 a 1865 MHz para el enlace ascendente, y 1930 a 1945 MHz para el enlace descendente, de la red GSM. De igual manera se asume la concesión de los segmentos de 5MHz contiguos a las bandas mencionadas, es decir de 1865-1870MHz para la subida y de 1945-1950MHz para la bajada, empleados en el sistema UMTS bajo su modalidad FDD.

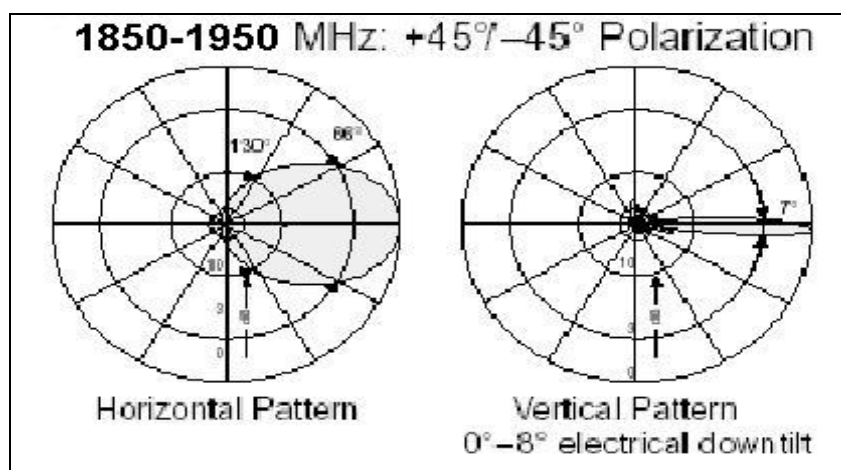


Figura 4.9 Patrón de radiación de las antenas tipo panel

En la planificación se ha previsto el caso de la necesidad de variar el haz de radiación para cubrir zonas de mayor demanda ó las concentraciones de

usuarios en determinadas áreas, es por ello que se propone el uso de antenas con Tilt [28] (ajuste del ángulo de radiación ya sea mecánico o eléctrico), lo que evitaría modificaciones físicas no necesarias.

Además, debido a la sustentación de 3 sectores por parte de un único sitio, se debe prestar atención al efecto que podría presentar la radiación del lóbulo trasero generado por las antenas.

En vista de que el proyecto plantea la coexistencia de la red GSM con una red UMTS, una alternativa válida para el operador podría ser utilizar antenas de banda Dual lo que permitiría un ahorro tanto físico como económico, pero se ha optado por seleccionar una configuración separada de los equipos radiantes, lo que otorga mayor flexibilidad en el despliegue y optimización de las redes

En el Anexo C se incluyen las hojas de especificaciones de las antenas seleccionadas para la red

4.1.5 Análisis de Cobertura y Balances de Potencia

Como ya se ha dicho la cobertura de la red es el objetivo fundamental de la fase inicial de la misma, es menester de la planificación asegurar la

prestación del servicio para los distintos entornos y escenario de movilidad de los usuarios.

Al trabajar la red de acceso con un medio físico inalámbrico y de condiciones móviles, las transmisiones están sujetas a la pérdida por propagación relacionada a la distancia entre el transmisor y el receptor, además deben tomarse en cuenta las características topológicas del terreno (desvanecimiento lento) y el efecto multitrayecto propio de los entornos urbanos (desvanecimiento rápido).

$$L_b(d) = 10 \log k + 10n \log d + G(x, y) + R(t, f) \quad (\text{Ecuación 4.6})$$

Donde k y n dependen del tipo de terreno, frecuencia, y la altura de las antenas; $G(x, y)$ es una variable aleatoria gaussiana log-normal que caracteriza al desvanecimiento lento y $R(t, f)$ es una variable aleatoria de distribución Rayleigh en función del tiempo y de la frecuencia.

Este análisis requiere de complejos cálculos, por lo que, hemos empleado los modelos de predicción radioeléctrica semi-empíricos desarrollados por la ITU [29] [30], entre los que se seleccionó el modelo de Okumura y el COST 231-Hata, que presentan la ventaja de ser aplicable a cualquier punto de la ciudad, ya que no tiene en cuenta los efectos del entorno del receptor.

En el Anexo D se presentan las fórmulas y curvas empíricas de los modelos empleados para la planificación de la red.

Para verificar la máxima distancia a la cual la propagación de la señal es recibida, se emplea el balance o presupuesto de potencia, en el cual se analizan las ganancias y pérdidas involucradas en la comunicación inalámbrica.

A continuación se presentan los balances de potencia para las dos principales clases de terminales utilizadas comúnmente por los usuarios [12] (cerca del 95%). Estos cuadros presupuestan la máxima distancia permisible entre transmisor y receptor en función de las pérdidas y ganancias de potencia contribuidas tanto por los elementos de transmisión como por el medio físico.

Los balances se realizan para las dos direcciones de transmisión y muestran en los registros pintados de rojo la distancia condicionada por: medios urbanos ó rurales, coberturas exteriores ó interiores.

Tabla 4.7 Balance de Potencia para terminales clase 1 (1W)

Balance de Enlace para GSM 1900MHz, para equipos terminales clase 1 (1W). Tipo de celda: Large and Small				
Area de Propagacion: Zonas Rurales y Urbanas				
RX:		BTS	MS	Eq.
TX:		MS	BTS	(dB)
Figura de Ruido	dB	5	10	A
Perfil Multicarmino		TU50 or	RA130	
Ec/No min. fading	dB	5	5	B
Sensitividad de entrada de RX	dBm	-109,7	-104,7	C=A+B+W-174
Margen de Degradación de Interferencia	dB	3	3	D (W=54.3dB/Hz)
Pérdidas cable + conectores	dB	2	0	E
Ganancia de antena RX	dB	18	0	F
Diversidad de Ganancia	dB	5	0	F1
Potencia Isotrópica (50% Ps)	dBm	-127,7	-101,7	G=C+D+E-F-F1
Margen Log-Normal	dB	4	4	H
Potencia Isotrópica (75% Ps)	dBm	-123,7	-97,7	I=G+H
Campo Mediano (75 % Ps)		19,2	45,2	J=I+142.9 en 1,9GHz
Potencia de TX	W	1	30	
	dBm	30	44,77121255	K
Pérdidas en aislante, combinador y filtro	dB	0	3	L
Potencia Pico TX	dBm	30	41,77121255	M=K-L
	W	1	15,03561701	
Pérdida en Cable + Conectores	dB	0	2	N
Ganancia de antena TX	dB	0	18	O
PIRE	W	1	598,5786945	
	dBm	30	57,77121255	P=M-N+O
Pérdida Isotrópica (50% Ps)	dB	151,7	153,4712125	Q=P-G-6
Pérdida Isotrópica (75% Ps)	dB	147,7	149,4712125	R=P-I-6
Rango km - 75 % Ps		COST 231 Hata		
Urbano, Exterior	Km	1,156532642	1,28756378	
Urbano, Interior	km	0,466037703	0,518838158	
Rural, Exterior	km	1,337567752	1,48910954	
Rural, Interior	km	0,729722764	0,812397824	

Claramente se puede notar que es el enlace ascendente el que limita la cobertura, debido a la baja potencia de transmisión de los terminales. Además se muestran los efectos de la penetración en edificios, donde se considera una pérdida estimada entre 10 y 15 dB.

Tabla 4.8 Balance de Potencia para terminales Clase 2 (0.25W)

Balance de Enlace para GSM 1900MHz, para equipos terminales clase 2 (0,25W). Tipo de celda: Large and Small				
Area de Propagacion: Zonas Rurales y Urbanas				
RX:		BTS	MS	Eq.
TX:		MS	BTS	(dB)
Figura de Ruido	dB	5	10	A
Perfil Multicanal		TU50 or	RA130	
Ec/No min. fading	dB	5	5	B
Sensitividad de entrada de RX	dBm	-109,7	-104,7	C=A+B+W-174
Margen de Degradación de Interferencia	dB	3	3	D (W=54.3dB/Hz)
Pérdidas cable + conectores	dB	2	0	E
Ganacia de antena RX	dBi	18	0	F
Diversidad de Ganancia	dB	5	0	F1
Potencia Isotrópica (50% Ps)	dBm	-127,7	-101,7	G=C+D+E-F-F1
Margen Log-Normal	dB	4	4	H
Potencia Isotrópica (75% Ps)	dBm	-123,7	-97,7	I=G+H
Campo Mediano (75 % Ps)		19,2	45,2	J=I+142.9 en 1,9GHz
Potencia de TX	W	0,25	30	
	dBm	23,97940009	44,77121255	K
Pérdidas en aislante, combinador y filtro	dB	0	3	L
	dBm	23,97940009	41,77121255	M=K-L
Potencia Pico TX	W	0,25	15,03561701	
	dB	0	2	N
Pérdida en Cable + Conectores	dB	0	2	N
	dBi	0	18	O
PIRE	W	0,25	598,5786945	
	dBm	23,97940009	57,77121255	P=M-N+O
Pérdida Isotrópica (50% Ps)	dB	145,6794001	153,4712125	Q=P-G-6
Pérdida Isotrópica (75% Ps)	dB	141,6794001	149,4712125	R=P-I-6
Rango km - 75 % Ps		COST 231 Hata		
Urbano, Exterior	km	0,803010187	1,28756378	
Urbano, Interior	km	0,323581894	0,518838158	
Rural, Exterior	km	0,928707493	1,48910954	
Rural, Interior	km	0,506665175	0,812397824	

Como resultado de este análisis se obtiene la verificación de los límites de propagación y cobertura de la red, así el valor de 1Km como radio inicial de despliegue cumple con las condiciones radioeléctricas. Para la posterior división celular de la red, se deberá utilizar los mecanismos de control con el fin de disminuir la potencia de transmisión de las bases para evitar que se produzcan exagerados niveles de traslapes entre las celdas vecinas.

4.1.6 Dimensionado del Tráfico

Se entiende por dimensionado de tráfico a la determinación del número de recursos radio que deben asignarse a la red para que puedan efectuarse en ellas las comunicaciones con una característica de calidad de servicio determinada

4.1.6.1 Estimación del Tráfico por celda

Debido al concepto celular que manejan las redes móviles, la estimación del tráfico de la red no es más que el resultado del tráfico generado en cada una de las celdas.

Las características propias de las actividades laborales y económicas desarrolladas en la celda, al igual que su tamaño y condiciones demográficas han sido fundamentales para estimar el nivel de tráfico producido en cada una.

Como se describió en 2.1.4, la carga de tráfico se compone de la llamada información útil (el servicio de voz), y la señalización del sistema, el dimensionado de cada uno de los tipos de tráfico requiere sus propias consideraciones.

Se pondrá especial atención al dimensionado de los canales SDCCH (Stand Alone Dedicated Control Channel), el cual muy aparte de sus funciones de localización y actualización de posición en la red, es utilizado para cursar el servicio de SMS.

4.1.6.1.1 Tráfico útil

La estimación del tráfico de voz de cada celda se basa en:

- ❖ El número de usuarios estimados en la hora cargada (de acuerdo al patrón de movilidad y clase de celda).
- ❖ El modelo de generación de tráfico de voz (tasas de consumo)
- ❖ El grado de servicio establecido por el operador y por el regulador.

El objetivo es establecer el número de canales y por ende de frecuencias o servidores de los que se debe dotar a una celda para manejar un determinado monto de tráfico, las dos primeras consideraciones hacen uso de los análisis e hipótesis realizadas en 4.1.1.2 y 4.1.1.3.

El dimensionado debe basarse en el hecho de que la probabilidad de que todos los usuarios establezcan una comunicación o hagan uso de los recursos es muy baja, esto es un fundamento básico de la telefonía llamado

Probabilidad de Bloqueo o GOS, para la red local se ha establecido este valor en 2%.

En las Tablas 4.9 a 4.12 se muestran los valores del tráfico de voz estimado para cada celda dentro de cada etapa establecida, de igual manera se obtiene el número de canales necesarios para satisfacer esa carga.

Estas tablas muestran el radio celular de cada celda, la población estimada que habita en dicha zona, y el número de usuarios de nuestro operador que se encuentren en dicha celda en la HB en función del patrón de movilidad antes mencionado. El factor K1 hace referencia a la estratificación de los perfiles de tráfico de la Tabla 4.3, con estos valores característicos se procede a calcular la intensidad de tráfico con la Ecuación 4.4. Finalmente se aplica la fórmula de Erlang B [31] para estimar el número de canales necesarios para satisfacer un Grado de servicio de 2%

Es importante establecer la diferencia entre los canales lógicos de tráfico de voz (**TCH**) que son los que se han calculado en este caso, y los canales físicos que son propiamente las portadoras.

La relación entre estos términos es que un canal físico puede sustentar hasta 8 canales lógicos de voz. Pero el cálculo de los servidores totales para cada celda depende del dimensionado posterior del servicio GPRS.

Tabla 4.12 Canales TCH de la red GSM en la Fase 4

	Celda	R	P. HB	k1	U. HB	Tráfico	Canal		Celda	R	P. HB	k1	U. HB	Tráfico	Canal
1	A1	1	1608	3	1623	1,3524	5	39	D2_2_2_3	0,13	197	1	347	2,8930	7
2	A2	1	1400	3	1415	1,1792	5	40	D2_2_3_1	0,13	197	1	347	2,8930	7
3	A3	1	1617	3	1632	1,3602	5	41	D2_2_3_2	0,13	197	1	347	2,8930	7
4	B1_1_1	0,25	214	1	364	3,0301	8	42	D2_2_3_3	0,13	197	1	347	2,8930	7
5	B1_1_2	0,25	214	1	364	3,0301	8	43	D2_3_1	0,25	656	2	706	1,7644	6
6	B1_1_3	0,25	214	1	364	3,0301	8	44	D2_3_2	0,25	564	2	614	1,5341	5
7	B1_2	0,5	731	2	781	1,9533	6	45	D2_3_3	0,25	656	2	706	1,7644	6
8	B1_3	0,5	590	2	640	1,5992	5	46	D3_1	0,5	939	2	989	2,4728	7
9	B2_1_1	0,25	264	1	414	3,4461	8	47	D3_2	0,5	848	2	898	2,2448	6
10	B2_1_2	0,25	242	1	392	3,2686	8	48	D3_3	0,5	939	2	989	2,4728	7
11	B2_1_3	0,25	165	1	315	2,6234	7	49	E1_1	0,5	950	2	1000	2,4998	7
12	B2_2	0,5	1244	2	1294	3,2348	8	50	E1_2	0,5	950	2	1000	2,4998	7
13	B2_3	0,5	461	2	511	1,2772	5	51	E1_3	0,5	950	2	1000	2,4998	7
14	B3_1	0,5	829	2	879	2,1965	6	52	E2	1	27	2	77	0,1936	2
15	B3_2	0,5	829	2	879	2,1965	6	53	E3_1_1	0,25	944	2	994	2,4857	7
16	B3_3	0,5	838	2	888	2,2191	6	54	E3_1_2	0,25	944	2	994	2,4857	7
17	C1	1	975	2	1025	2,5619	7	55	E3_1_3	0,25	937	2	987	2,4665	7
18	C2	1	682	2	732	1,8303	6	56	E3_2_1_1	0,13	299	2	349	0,8736	4
19	C3	1	774	2	824	2,0604	6	57	E3_2_1_2	0,13	392	2	442	1,1038	5
20	D1_1	0,5	648	2	698	1,7455	6	58	E3_2_1_3	0,13	299	2	349	0,8736	4
21	D1_2_1	0,25	215	1	365	3,0425	8	59	E3_2_2	0,25	922	2	972	2,4293	7
22	D1_2_2	0,25	307	1	457	3,8097	9	60	E3_2_3_1	0,13	311	1	461	3,8441	9
23	D1_2_3	0,25	215	1	365	3,0425	8	61	E3_2_3_2	0,13	403	1	553	4,6112	10
24	D1_3	0,5	806	2	856	2,1411	6	62	E3_2_3_3	0,13	311	1	461	3,8441	9
25	D2_1_1_1	0,13	194	1	344	2,8690	7	63	E3_3_1_1	0,13	312	1	462	3,8482	9
26	D2_1_1_2	0,13	286	1	436	3,6368	9	64	E3_3_1_2	0,13	404	1	554	4,6153	10
27	D2_1_1_3	0,13	194	1	344	2,8690	7	65	E3_3_1_3	0,13	312	1	462	3,8482	9
28	D2_1_2_1	0,13	203	1	353	2,9402	8	66	E3_3_2_1	0,13	343	1	493	4,1056	9
29	D2_1_2_2	0,13	295	1	445	3,7078	9	67	E3_3_2_2	0,13	343	1	493	4,1056	9
30	D2_1_2_3	0,13	203	1	353	2,9402	8	68	E3_3_2_3	0,13	352	1	502	4,1823	9
31	D2_1_3_1	0,13	194	1	344	2,8690	7	69	E3_3_3	0,5	1061	2	1111	2,7773	7
32	D2_1_3_2	0,13	194	1	344	2,8690	7	70	F3	1	1370	3	1385	1,1545	5
33	D2_1_3_3	0,13	194	1	344	2,8690	7	71	G1	1	1669	3	1684	1,4034	5
34	D2_2_1_1	0,13	203	1	353	2,9402	8	72	G2	1	1467	3	1482	1,2353	5
35	D2_2_1_2	0,13	295	1	445	3,7078	9	73	G3	1	638	3	653	0,5440	3
36	D2_2_1_3	0,13	203	1	353	2,9402	8	74	H1_1	0,5	1262	2	1312	3,2804	8
37	D2_2_2_1	0,13	197	1	347	2,8930	7	75	H1_2_1	0,25	362	1	512	4,2640	9
38	D2_2_2_2	0,13	289	1	439	3,6608	9	76	H1_2_2	0,25	362	1	512	4,2640	9

4.1.6.1.2 Tráfico de Señalización

Para poder sustentar el establecimiento de una llamada o de una conexión la red hace uso de la señalización, la cual toma forma en los llamados canales lógicos de control [12.] Estos canales de control se dividen en:

Canales de Usuario: Asignados temporalmente a un terminal y comprenden los canales SDCCH; y los asociados SACCH y FACCH.

Canales comunes de Acceso: Compartidos por múltiples usuarios, y comprenden:

Canales de difusión (BCCH, FCCH, SCH)

Canales Comunes (PCH, RACH, AGCH)

La forma en que estos canales lógicos son proyectados en canales físicos se conoce como mapping. En GSM se aprovecha la flexibilidad de asignación que ofrece el multiacceso TDMA, así la norma especifica las siguientes correspondencias:

1 BCCH y los CCCH en un TS

8 SDCCH con su señalización asociada en un TS

4 SDCCH, 1 BCCH y los CCCH en un TS

Por las características de la red en Guayaquil se seleccionó utilizar el esquema descombinado de señalización (Ver Figura 4.10), el cual hace uso de 1) y 2). La razón principal de esta configuración obedece a las tasas de consumo local del servicio SMS, por esto se ha preferido otorgar una mayor flexibilidad y escalabilidad para el dimensionado de los canales SDCCH.

Además se considera necesario separar estos canales para poder así emplear la capacidad de los canales comunes para difundir adicionalmente los canales de control de GPRS como lo contemplan las especificaciones.

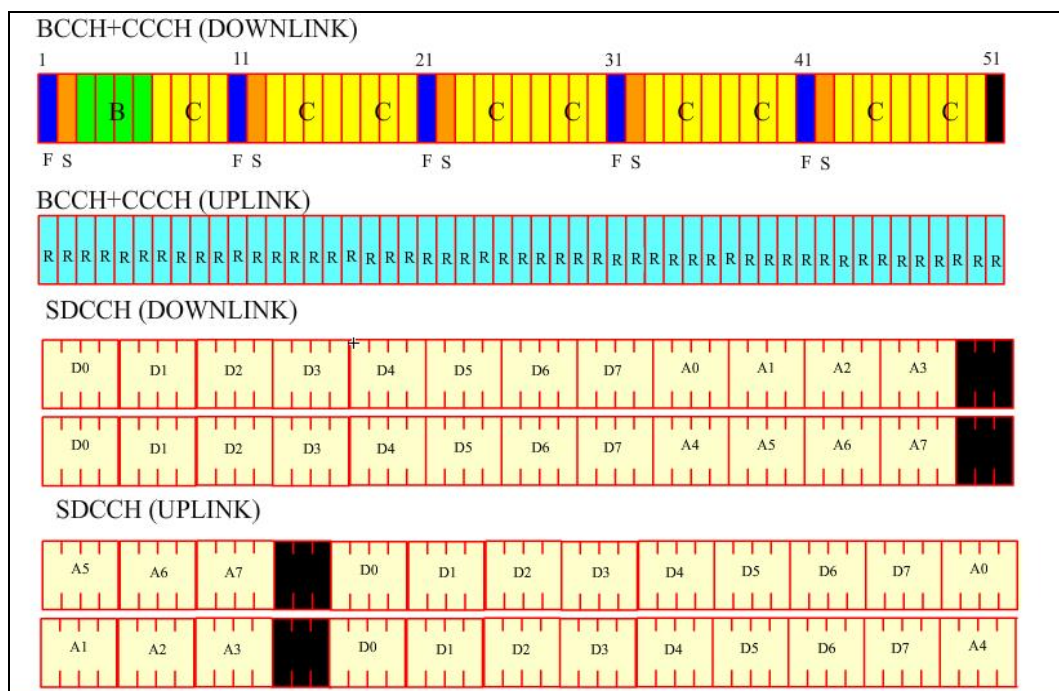


Figura 4.10 Disposición de los canales en modo descombinado

Mientras los canales comunes son difundidos por el T0 de la llamada **Portadora B**, los canales SDCCH comparten una asignación muy similar a la de los TCH en la estructura TDMA.

Abordemos primero el dimensionado de los canales SDCCH, ellos son empleados en la localización y actualización de posición de los terminales en la red, la cual se encuentra dividida en sendas áreas de localización que agrupan varias celdas (Ver Figura 4.11, correspondiente al diseño de la red local), además son empleados para brindar el servicio SMS. Para el cálculo de estos canales hemos empleado las tasas que son presentadas en la Tabla 4.13 y responde a la siguiente ecuación [31]:

$$A_{SDCCH} = (\lambda_{AD} + \lambda_{LU} + \lambda_{SMS} + \lambda_{Voz}) \cdot M \cdot T_s + \lambda_C \quad \text{Ecuación 4.7}$$

$$Canales_{SDCCH} = (A_{SDCCH}; GOS_{SDCCH}) \quad \text{Ecuación 4.8}$$

Tabla 4.13 Tasas locales para el cálculo de los canales SDCCH

Número de SDCCH		ALTO	MEDIO	BAJO
Tráfico de voz		0,008333333	0,0025	0,000833333
Duración media de una llamada de voz		60	45	30
Cuota de mercado		2%		
Penetración		65%	35%	15%
Número medio de SMS en un mes		200	200	200
Número de attach por día		1,5	1,5	1,5
Número de dettach por día		1,5	1,5	1,5
Localizaciones periódica cada 2 horas		1	1	1
GOS SDCCH		0.2%	0.2%	0.2%
Establecimiento de llamada				
Tasa de llamada de voz	λ_{Voz}	0,000138889	5,55556E-05	2,77778E-05
Datos				
Tasa de mensajes cortos	λ_{SMS}	0,000231481	0,000231481	0,000231481
Tasa de Attach/detach	λ_{AD}	0,0001042	0,0001042	0,0001042
Tasa de Localización periódica	λ_{LU}	0,000138889	0,000138889	0,000138889
Tiempo medio de Ocupación SDCCH	T_c	1	1	1
Tasa Total x celda		0,000613426	0,000530093	0,000502315
Cruce Promedio de AL	λ_C	15	8	3

Los valores mostrados en las Tabla 4.14 a 4.17 responden a la estratificación de perfiles de tráfico de las celdas, y se añade el factor correspondiente al movimiento de los usuarios entre las Áreas de Localización (LA). Aplicando las Ecuaciones 4.7 y 4.8 con un GOS de 0.2% se obtiene la dotación estimada de canales SDCCH para cada celda.

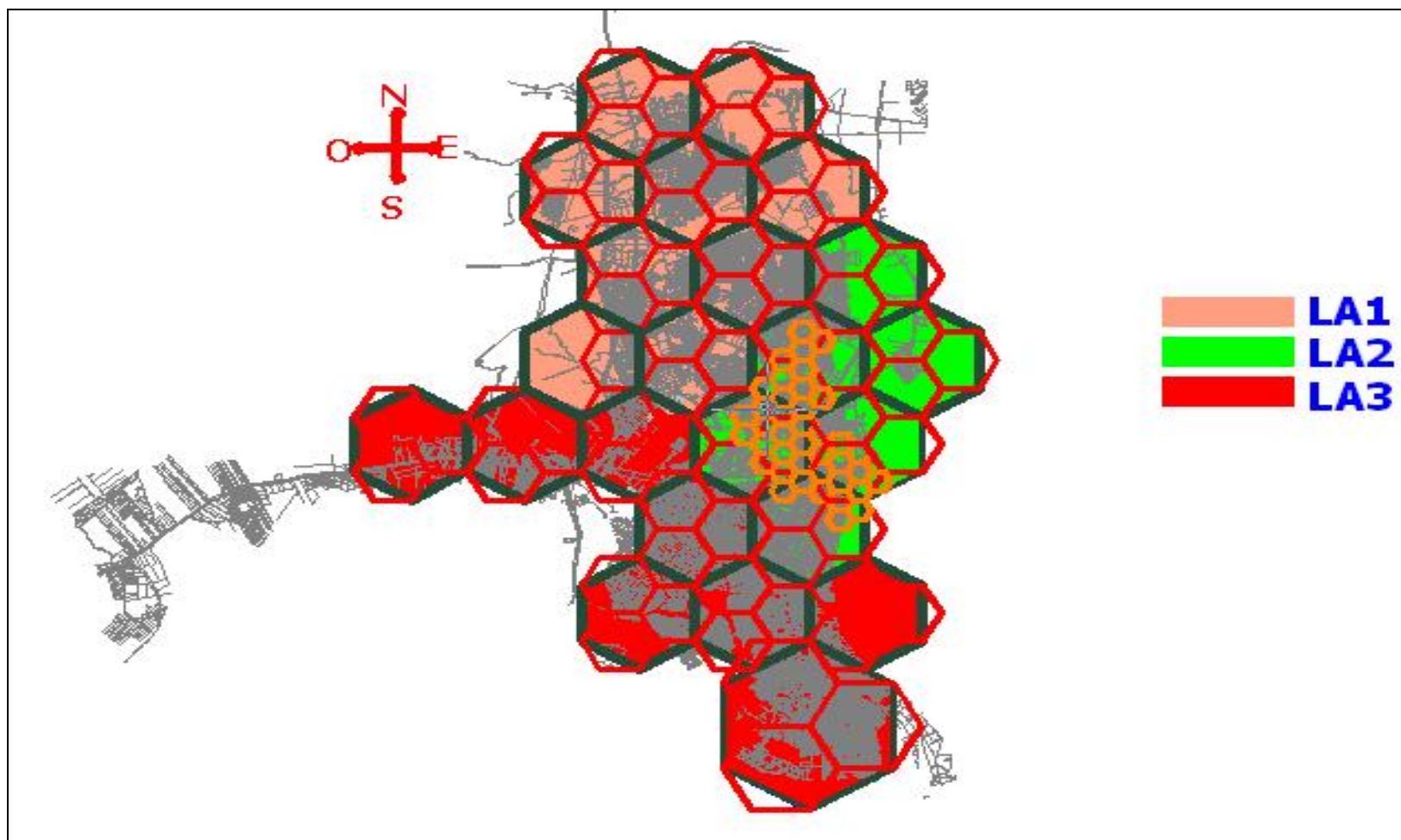


Figura 4.11 Áreas de Localización de la red de Guayaquil

Tabla 4.14 Cálculo de los canales SDCCH en la Fase 1

FASE 1							FASE 1						
	Celda	A. Loc	Frontera	Cruces	Tráfico	Canales		Celda	A. Loc	Frontera	Cruces	Tráfico	Canales
1	A1	3	1	0,003	0,26	4	51	AA2	3	0	0	0,20	3
2	A2	3	1	0,003	0,18	3	52	AA3	3	0	0	0,20	3
3	A3	3	0	0	0,25	4	53	BB1	3	0	0	0,16	3
4	B1	2	1	0,021	0,28	4	54	BB2	3	0	0	0,16	3
5	B2	2	1	0,104	0,54	5	55	BB3	3	0	0	0,16	3
6	B3	2	1	0,104	0,54	5	56	CC1	3	1	0,003	0,13	3
7	C1	3	1	0,021	0,17	3	57	CC2	3	1	0,104	0,46	4
8	C2	3	1	0,021	0,14	3	58	CC3	3	0	0	0,14	3
9	C3	3	0	0	0,13	3	59	DD1	3	1	0,003	0,11	3
10	D1	2	1	0,003	0,27	4	60	DD2	3	0	0	0,11	3
11	D2	2	0	0	0,95	6	61	DD3	3	0	0	0,11	3
12	D3	2	1	0,104	0,58	5	62	EE1	3	0	0	0,07	3
13	E1	2	0	0	0,52	4	63	EE2	3	0	0	0,07	3
14	E2	2	0	0	0,01	2	64	EE3	3	0	0	0,07	3
15	E3	2	0	0	1,38	7	65	FF1	3	0	0	0,09	3
16	F3	1	1	0,003	0,17	3	66	FF2	3	0	0	0,09	3
17	G1	1	0	0	0,23	3	67	FF3	3	0	0	0,09	3
18	G2	1	1	0,021	0,23	3							
19	G3	1	1	0,021	0,15	3							
20	H1	2	1	0,104	0,70	5							
21	H2	2	0	0	0,65	5							
22	H3	2	1	0,104	0,90	5							
23	I1	2	0	0	0,23	3							
24	I2	2	0	0	0,23	3							
25	I3	2	0	0	0,17	3							
26	J1	1	0	0	0,07	3							
27	J2	1	0	0	0,09	3							
28	J3	1	0	0	0,15	3							
29	K1	1	0	0	0,10	3							
30	K2	1	1	0,021	0,22	3							
31	K3	1	1	0,021	0,18	3							
32	L1	2	1	0,021	0,12	3							
33	L2	2	0	0	0,10	3							
34	L3	2	1	0,021	0,15	3							
35	M1	1	0	0	0,07	3							
36	M2	1	0	0	0,07	3							
37	M3	1	0	0	0,07	3							
38	N1	1	0	0	0,12	3							
39	N2	1	0	0	0,09	3							
40	N3	1	0	0	0,11	3							
41	O1	1	0	0	0,08	3							
42	O2	1	1	0,003	0,09	3							
43	O3	1	1	0,003	0,09	3							
44	P1	1	0	0	0,09	3							
45	P2	1	0	0	0,09	3							
46	P3	1	0	0	0,09	3							
47	Q1	1	0	0	0,07	3							
48	Q2	1	0	0	0,07	3							
49	Q3	1	0	0	0,07	3							
50	AA1	3	0	0	0,20	3							

Tabla 4.15 Cálculo de los canales SDCCH en la Fase 2

FASE 2							FASE 2						
	Celda	A. Loc	Frontera	Cruces	Tráfico	Canales		Celda	A. Loc	Frontera	Cruces	Tráfico	Canales
1	A1	3	1	0,003	0,331	4	46	J1	1	0	0	0,093	3
2	A2	3	1	0,003	0,282	4	47	J2	1	0	0	0,12	3
3	A3	3	0	0	0,326	4	48	J3	1	0	0	0,21	3
4	B1 1	2	0	0	0,138	3	49	K1	1	0	0	0,141	3
5	B1 2	2	0	0	0,155	3	50	K2	1	1	0,003	0,241	3
6	B1 3	2	1	0,021	0,152	3	51	K3	1	1	0,003	0,198	3
7	B2 1	2	0	0	0,231	3	52	L1	2	1	0,003	0,105	3
8	B2 2	2	1	0,003	0,168	3	53	L2	2	0	0	0,102	3
9	B2 3	2	1	0,021	0,187	3	54	L3	2	1	0,003	0,105	3
10	B3 1	2	1	0,021	0,193	3	55	M1	1	0	0	0,1	3
11	B3 2	2	1	0,021	0,193	3	56	M2	1	0	0	0,102	3
12	B3 3	2	1	0,021	0,194	3	57	M3	1	0	0	0,1	3
13	C1	3	1	0,021	0,223	3	58	N1	1	0	0	0,174	3
14	C2	3	1	0,021	0,172	3	59	N2	1	0	0	0,127	3
15	C3	3	0	0	0,168	3	60	N3	1	0	0	0,152	3
16	D1 1	2	1	0,021	0,164	3	61	O1	1	0	0	0,117	3
17	D1 2	2	0	0	0,159	3	62	O2	1	1	0,003	0,12	3
18	D1 3	2	1	0,021	0,192	3	63	O3	1	1	0,003	0,12	3
19	D2 1	2	0	0	0,508	4	64	P1	1	0	0	0,12	3
20	D2 2	2	0	0	0,508	4	65	P2	1	0	0	0,12	3
21	D2 3	2	0	0	0,365	4	66	P3	1	0	0	0,12	3
22	D3	2	1	0,021	0,525	4	67	Q1	1	0	0	0,096	3
23	E1 1	2	0	0	0,199	3	68	Q2	1	0	0	0,096	3
24	E1 2	2	0	0	0,199	3	69	Q3	1	0	0	0,096	3
25	E1 3	2	0	0	0,199	3	70	AA1	3	0	0	0,288	4
26	E2	2	0	0	0,031	2	71	AA2	3	0	0	0,288	4
27	E3 1	2	0	0	0,681	5	72	AA3	3	0	0	0,288	4
28	E3 2	2	0	0	0,708	5	73	BB1	3	0	0	0,229	3
29	E3 3	2	0	0	0,736	5	74	BB2	3	0	0	0,229	3
30	F3	1	1	0,003	0,241	3	75	BB3	3	0	0	0,229	3
31	G1	1	0	0	0,283	4	76	CC1	3	1	0,003	0,185	3
32	G2	1	1	0,003	0,257	4	77	CC2 1	3	1	0,021	0,159	3
33	G3	1	1	0,003	0,141	3	78	CC2 2	3	0	0	0,138	3
34	H1 1	2	1	0,104	0,464	4	79	CC2 3	3	0	0	0,138	3
35	H1 2	2	0	0	0,319	4	80	CC3	3	0	0	0,205	3
36	H1 3	2	1	0,104	0,427	4	81	DD1	3	1	0,003	0,153	3
37	H2 1	2	0	0	0,292	4	82	DD2	3	0	0	0,15	3
38	H2 2	2	0	0	0,292	4	83	DD3	3	0	0	0,15	3
39	H2 3	2	0	0	0,484	4	84	EE1	3	0	0	0,09	3
40	H3 1	2	1	0,104	0,496	4	85	EE2	3	0	0	0,09	3
41	H3 2	2	0	0	0,392	4	86	EE3	3	0	0	0,09	3
42	H3 3	2	1	0,104	0,598	5	87	FF1	3	0	0	0,123	3
43	I1	2	0	0	0,197	3	88	FF2	3	0	0	0,123	3
44	I2	2	0	0	0,197	3	89	FF3	3	0	0	0,123	3
45	I3	2	0	0	0,114	3							

Tabla 4.16 Cálculo de los canales SDCCH en la Fase 3

FASE 3							FASE 3						
	Celda	A. Loc	Frontera	Cruce	Tráfico	Canales		Celda	A. Loc	Frontera	Cruce	Tráfico	Canales
1	A1	3	1	0,003	0,623	5	58	H3 1 1	2	1	0,104	0,396	4
2	A2	3	1	0,003	0,532	4	59	H3 1 2	2	0	0	0,284	4
3	A3	3	0	0	0,617	5	60	H3 1 3	2	1	0,104	0,397	4
4	B1 1	2	0	0	0,345	4	61	H3 2 1	2	0	0	0,290	4
5	B1 2	2	0	0	0,278	4	62	H3 2 2	2	0	0	0,282	4
6	B1 3	2	1	0,021	0,251	4	63	H3 2 3	2	0	0	0,294	4
7	B2 1 1	2	0	0	0,198	3	64	H3 3 1	2	1	0,104	0,392	4
8	B2 1 2	2	0	0	0,190	3	65	H3 3 2	2	0	0	0,288	4
9	B2 1 3	2	0	0	0,158	3	66	H3 3 3	2	1	0,104	0,408	4
10	B2 2	2	1	0,021	0,479	4	67	I1	2	0	0	0,352	4
11	B2 3	2	1	0,021	0,209	3	68	I2	2	0	0	0,352	4
12	B3 1	2	1	0,021	0,331	4	69	I3	2	0	0	0,191	3
13	B3 2	2	1	0,021	0,331	4	70	J1	1	0	0	0,173	3
14	B3 3	2	1	0,021	0,334	4	71	J2	1	0	0	0,227	3
15	C1	3	1	0,021	0,388	4	72	J3	1	0	0	0,403	4
16	C2	3	1	0,021	0,289	4	73	K1	1	0	0	0,267	4
17	C3	3	0	0	0,301	4	74	K2	1	1	0,003	0,461	4
18	D1 1	2	1	0,021	0,273	4	75	K3	1	1	0,003	0,377	4
19	D1 2	2	0	0	0,389	4	76	L1	2	1	0,003	0,194	3
20	D1 3	2	1	0,021	0,328	4	77	L2	2	0	0	0,191	3
21	D2 1 1	2	0	0	0,365	4	78	L3	2	1	0,003	0,194	3
22	D2 1 2	2	0	0	0,375	4	79	M1	1	0	0	0,190	3
23	D2 1 3	2	0	0	0,328	4	80	M2	1	0	0	0,190	3
24	D2 2 1	2	0	0	0,375	4	81	M3	1	0	0	0,190	3
25	D2 2 2	2	0	0	0,368	4	82	N1	1	0	0	0,332	4
26	D2 2 3	2	0	0	0,331	4	83	N2	1	0	0	0,241	3
27	D2 3	2	0	0	0,682	5	84	N3	1	0	0	0,290	4
28	D3	2	1	0,021	0,977	6	85	O1	1	0	0	0,220	3
29	E1 1	2	0	0	0,361	4	86	O2	1	1	0,003	0,223	3
30	E1 2	2	0	0	0,361	4	87	O3	1	1	0,003	0,223	3
31	E1 3	2	0	0	0,361	4	88	P1	1	0	0	0,226	3
32	E2	2	0	0	0,036	2	89	P2	1	0	0	0,226	3
33	E3 1 1	2	0	0	0,357	4	90	P3	1	0	0	0,226	3
34	E3 1 2	2	0	0	0,357	4	91	Q1	1	0	0	0,180	3
35	E3 1 3	2	0	0	0,356	4	92	Q2	1	0	0	0,180	3
36	E3 2 1	2	0	0	0,378	4	93	Q3	1	0	0	0,180	3
37	E3 2 2	2	0	0	0,349	4	94	AA1	3	0	0	0,534	4
38	E3 2 3	2	0	0	0,505	4	95	AA2	3	0	0	0,534	4
39	E3 3 1	2	0	0	0,506	4	96	AA3	3	0	0	0,534	4
40	E3 3 2	2	0	0	0,510	4	97	BB1	3	0	0	0,420	4
41	E3 3 3	2	0	0	0,396	4	98	BB2	3	0	0	0,420	4
42	F3	1	1	0,003	0,460	4	99	BB3	3	0	0	0,420	4
43	G1	1	0	0	0,546	5	100	CC1	3	1	0,021	0,403	4
44	G2	1	1	0,003	0,490	4	101	CC2 1	3	1	0,021	0,374	4
45	G3	1	1	0,003	0,259	4	102	CC2 2	3	0	0	0,345	4
46	H1 1	2	1	0,021	0,490	4	103	CC2 3	3	0	0	0,345	4
47	H1 2	2	0	0	0,534	4	104	CC3	3	0	0	0,405	4
48	H1 3	2	1	0,021	0,438	4	105	DD1	3	1	0,003	0,275	4
49	H2 1 1	2	0	0	0,176	3	106	DD2	3	0	0	0,272	4
50	H2 1 2	2	0	0	0,316	4	107	DD3	3	0	0	0,272	4
51	H2 1 3	2	0	0	0,171	3	108	EE1	3	0	0	0,167	3
52	H2 2 1	2	0	0	0,215	3	109	EE2	3	0	0	0,167	3
53	H2 2 2	2	0	0	0,219	3	110	EE3	3	0	0	0,167	3
54	H2 2 3	2	0	0	0,215	3	111	FF1	3	0	0	0,212	3
55	H2 3 1	2	0	0	0,292	4	112	FF2	3	0	0	0,212	3
56	H2 3 2	2	0	0	0,283	4	113	FF3	3	0	0	0,212	3
57	H2 3 3	2	0	0	0,357	4							

Tabla 4.17 Cálculo de los canales SDCCH en la Fase 4

FASE 4							FASE 4						
	Celda	A. Loc	Frontera	Cruce	Tráfico	Canales		Celda	A. Loc	Frontera	Cruce	Tráfico	Canales
1	A1	3	1	0,003	0,818	5	39	D2 2 2 3	2	0	0	0,213	3
2	A2	3	1	0,003	0,714	5	40	D2 2 3 1	2	0	0	0,213	3
3	A3	3	0	0	0,820	5	41	D2 2 3 2	2	0	0	0,213	3
4	B1 1 1	2	0	0	0,223	3	42	D2 2 3 3	2	0	0	0,213	3
5	B1 1 2	2	0	0	0,223	3	43	D2 3 1	2	0	0	0,374	4
6	B1 1 3	2	0	0	0,223	3	44	D2 3 2	2	0	0	0,325	4
7	B1 2	2	0	0	0,414	4	45	D2 3 3	2	0	0	0,374	4
8	B1 3	2	1	0,021	0,360	4	46	D3 1	2	1	0,021	0,545	5
9	B2 1 1	2	0	0	0,254	4	47	D3 2	2	1	0,021	0,497	4
10	B2 1 2	2	0	0	0,241	3	48	D3 3	2	1	0,021	0,545	5
11	B2 1 3	2	0	0	0,193	3	49	E1 1	2	0	0	0,530	4
12	B2 2	2	1	0,021	0,707	5	50	E1 2	2	0	0	0,530	4
13	B2 3	2	1	0,021	0,292	4	51	E1 3	2	0	0	0,530	4
14	B3 1	2	1	0,021	0,487	4	52	E2	2	0	0	0,041	2
15	B3 2	2	1	0,021	0,487	4	53	E3 1 1	2	0	0	0,527	4
16	B3 3	2	1	0,021	0,492	4	54	E3 1 2	2	0	0	0,527	4
17	C1	3	1	0,021	0,564	5	55	E3 1 3	2	0	0	0,523	4
18	C2	3	1	0,021	0,409	4	56	E3 2 1 1	2	0	0	0,185	3
19	C3	3	0	0	0,437	4	57	E3 2 1 2	2	0	0	0,234	3
20	D1 1	2	1	0,021	0,391	4	58	E3 2 1 3	2	0	0	0,185	3
21	D1 2 1	2	0	0	0,224	3	59	E3 2 2	2	0	0	0,515	4
22	D1 2 2	2	0	0	0,280	4	60	E3 2 3 1	2	0	0	0,283	4
23	D1 2 3	2	0	0	0,224	3	61	E3 2 3 2	2	0	0	0,339	4
24	D1 3	2	1	0,021	0,475	4	62	E3 2 3 3	2	0	0	0,283	4
25	D2 1 1 1	2	0	0	0,211	3	63	E3 3 1 1	2	0	0	0,283	4
26	D2 1 1 2	2	0	0	0,268	4	64	E3 3 1 2	2	0	0	0,340	4
27	D2 1 1 3	2	0	0	0,211	3	65	E3 3 1 3	2	0	0	0,283	4
28	D2 1 2 1	2	0	0	0,216	3	66	E3 3 2 1	2	0	0	0,302	4
29	D2 1 2 2	2	0	0	0,273	4	67	E3 3 2 2	2	0	0	0,302	4
30	D2 1 2 3	2	0	0	0,216	3	68	E3 3 2 3	2	0	0	0,308	4
31	D2 1 3 1	2	0	0	0,211	3	69	E3 3 3	2	0	0	0,589	5
32	D2 1 3 2	2	0	0	0,211	3	70	F3	1	1	0,003	0,699	5
33	D2 1 3 3	2	0	0	0,211	3	71	G1	1	0	0	0,846	5
34	D2 2 1 1	2	0	0	0,216	3	72	G2	1	1	0,003	0,748	5
35	D2 2 1 2	2	0	0	0,273	4	73	G3	1	1	0,003	0,331	4
36	D2 2 1 3	2	0	0	0,216	3	74	H1 1	2	1	0,021	0,717	5
37	D2 2 2 1	2	0	0	0,213	3	75	H1 2 1	2	0	0	0,314	4
38	D2 2 2 2	2	0	0	0,269	4	76	H1 2 2	2	0	0	0,314	4

FASE 4							FASE 4						
	Celda	A. Loc	Frontera	Cruce	Tráfico	Canales		Celda	A. Loc	Frontera	Cruce	Tráfico	Canales
77	H1 2 3	2	0	0	0,320	4	114	L3	2	1	0,003	0,291	4
78	H1 3	2	1	0,021	0,638	5	115	M1	1	0	0	0,284	4
79	H2 1 1	2	0	0	0,276	4	116	M2	1	0	0	0,286	4
80	H2 1 2	2	0	0	0,318	4	117	M3	1	0	0	0,284	4
81	H2 1 3	2	0	0	0,269	4	118	N1	1	0	0	0,510	4
82	H2 2 1	2	0	0	0,279	4	119	N2	1	0	0	0,365	4
83	H2 2 2	2	0	0	0,284	4	120	N3	1	0	0	0,443	4
84	H2 2 3	2	0	0	0,279	4	121	O1	1	0	0	0,333	4
85	H2 3 1	2	0	0	0,289	4	122	O2	1	1	0,003	0,336	4
86	H2 3 2	2	0	0	0,277	4	123	O3	1	1	0,003	0,336	4
87	H2 3 3	2	0	0	0,527	4	124	P1	1	0	0	0,342	4
88	H3 1 1	2	1	0,104	0,386	4	125	P2	1	0	0	0,342	4
89	H3 1 2 1	2	0	0	0,208	3	126	P3	1	0	0	0,342	4
90	H3 1 2 2	2	0	0	0,208	3	127	Q1	1	0	0	0,270	4
91	H3 1 2 3	2	0	0	0,208	3	128	Q2	1	0	0	0,270	4
92	H3 1 3 1	2	1	0,104	0,317	4	129	Q3	1	0	0	0,270	4
93	H3 1 3 2	2	0	0	0,213	3	130	AA1	3	0	0	0,826	5
94	H3 1 3 3	2	1	0,104	0,317	4	131	AA2	3	0	0	0,815	5
95	H3 2 1	2	0	0	0,286	4	132	AA3	3	0	0	0,812	5
96	H3 2 2	2	0	0	0,276	4	133	BB1	3	0	0	0,631	5
97	H3 2 3	2	0	0	0,292	4	134	BB2	3	0	0	0,643	5
98	H3 3 1	2	1	0,021	0,304	4	135	BB3	3	0	0	0,649	5
99	H3 3 2 1	2	0	0	0,193	3	136	CC1	3	1	0,021	0,597	5
100	H3 3 2 2	2	0	0	0,193	3	137	CC2 1	3	1	0,021	0,556	5
101	H3 3 2 3	2	0	0	0,187	3	138	CC2 2	3	0	0	0,508	4
102	H3 3 3	2	0	0	0,305	4	139	CC2 3	3	0	0	0,508	4
103	I1	2	0	0	0,519	4	140	CC3	3	0	0	0,606	5
104	I2	2	0	0	0,519	4	141	DD1	3	1	0,003	0,411	4
105	I3	2	0	0	0,275	4	142	DD2	3	0	0	0,431	4
106	J1	1	0	0	0,259	4	143	DD3	3	0	0	0,413	4
107	J2	1	0	0	0,343	4	144	EE1	3	0	0	0,251	4
108	J3	1	0	0	0,621	5	145	EE2	3	0	0	0,252	4
109	K1	1	0	0	0,406	4	146	EE3	3	0	0	0,250	4
110	K2	1	1	0,003	0,710	5	147	FF1	3	0	0	0,308	4
111	K3	1	1	0,003	0,579	5	148	FF2	3	0	0	0,308	4
112	L1	2	1	0,003	0,291	4	149	FF3	3	0	0	0,308	4
113	L2	2	0	0	0,288	4							

Si se comparan el monto de los canales TCH con los SDCCH en algunas celdas, se podrá apreciar que en ocasiones el número de canales SDCCH requeridos supera a los canales de tráfico, esto es debido al tamaño de estas celdas que deben servir a un gran número de usuarios caracterizados por el bajo consumo de servicios, en otras palabras tenemos poco tráfico pero una elevada señalización.

En lo referente a los canales comunes de acceso en el sentido ascendente, la estimación del canal RACH [31][32] es primordial para el rendimiento general de la red. Su cálculo obedece a:

$$\lambda_{RACH} = (\lambda_{AD} + \lambda_{Voz} + \lambda_{SMS} + \lambda_{LU}) \cdot M \cdot K + \lambda_C \quad \text{Ecuación 4.9}$$

Donde k corresponde a una constante cuyo valor para el diseño es K = 4.

Para los canales descendentes debemos estimar las tasas de uso de PCH y AGCH, usando las siguientes ecuaciones:

$$\lambda_{PG} = \lambda_{MT} \left(NPR(N_{LA} - 1) + \frac{(NM - 1)P_{NRC}}{1 + P_{NRC} + P_{NA}} + 1 \right) \quad \text{Ecuación 4.10}$$

$$\lambda_{PCH} = M \cdot \lambda_{PG} \quad \text{Ecuación 4.11}$$

$$\lambda_{AGCH} = M \cdot \lambda_{RACH} \quad \text{Ecuación 4.12}$$

El objetivo es determinar el porcentaje de utilización de los canales lógicos en relación con el canal físico sobre el que se proyectan, para de esta manera determinar si se aplican una de estas estrategias:

Pueden los canales comunes de acceso GSM y GPRS compartir el mismo canal físico

Se requerirá utilizar otros TS de la portadora B para difundir los canales

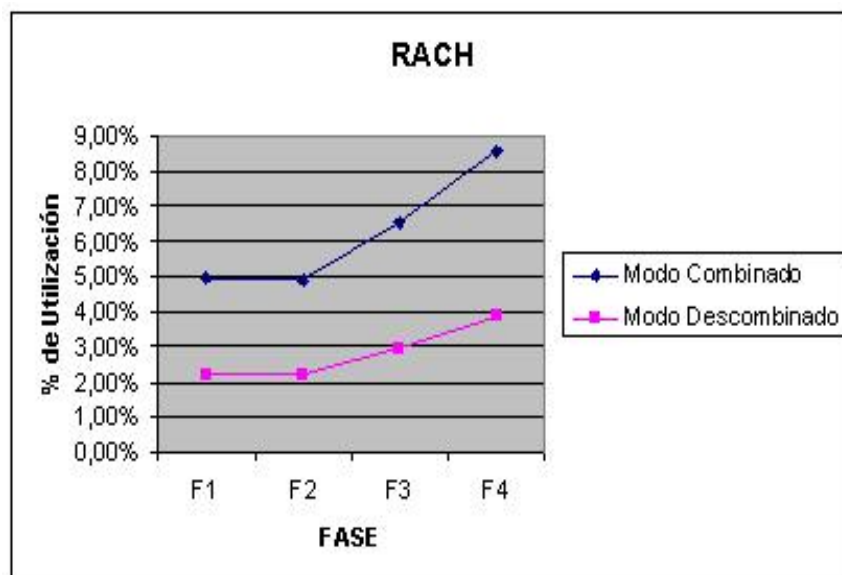


Figura 4.12 Tasa de Utilización de los canales RACH

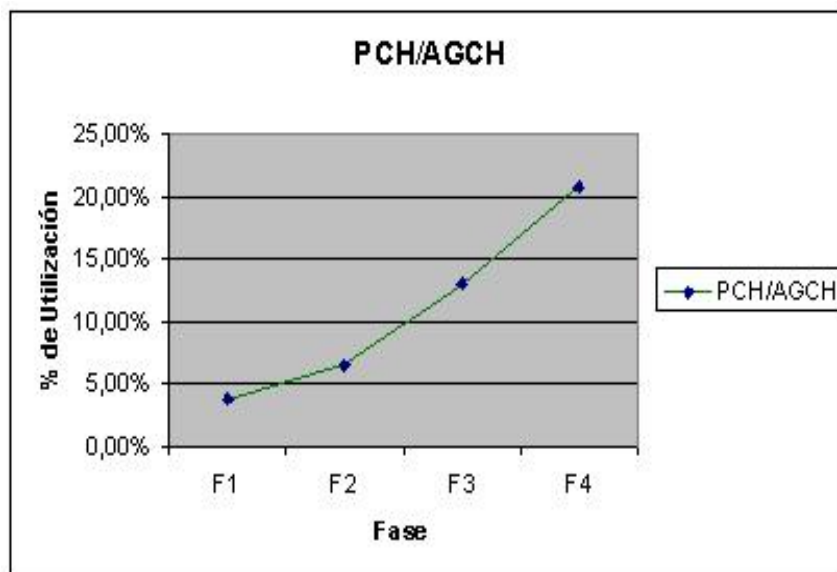


Figura 4.13 Tasa de Utilización de los canales PCH/AGCH

En las Figuras 4.12 y 4.13 se aprecia una notable diferencia entre el porcentaje de utilización de los canales RACH y PCH/AGCH, la explicación está en la cantidad de tramas asignadas a cada canal (Ver Figura 4.10)

Según las especificaciones del estándar GSM, se acepta la posibilidad de compartir los canales de control GSM y GPRS si la tasa de uso de los canales RACH no supera el 20%.

4.1.7 Diseño del Patrón de Reutilización

En vista que la frecuencia radioeléctrica es el recurso primordial de un sistema de acceso TDMA/FDMA, la eficiencia en su utilización es uno de los

principales objetivos de la planificación. Así se pasó de un esquema de pocas y grandes celdas que concentraban un gran número de frecuencias portadoras a una estructura formada por agrupaciones de tamaño moderado, con un uso de recursos más eficiente y que se iban repitiendo sucesivamente hasta cubrir la cobertura total de la red.

Esta reutilización de recursos conlleva a un análisis de la interferencia que experimenta la celda i servida por una frecuencia f_1 , y que es producida por la celda j servida por f_2 , donde $f_1=f_2$, esto es lo que se conoce como **Interferencia Cocanal**.

El nivel de interferencia es función entre otras cosas de la distancia entre los dos agentes, la planificación busca entonces asegurar un mínimo de distancia entre estos, la **distancia de reutilización D**.

$$D = \sqrt{3NR} \quad \text{Ecuación 4.13}$$

Donde: **N** = Tamaño ó numero de celdas que forma la agrupación.

R = Radio de la celda

Para evitar traslapes en el diseño de las agrupaciones o clusters se recomienda que N cumpla con la condición $N = i^2 + ij + j^2$; donde i y j son enteros positivos.

En el desarrollo de la red en Guayaquil, debido a la estructura y evolución de la red marcada por las etapas de división celular progresiva se optó por realizar una asignación multicapa, es decir dependiendo del tamaño del radio celular se procedió a configurar el diseño del cluster.

Los clusters correspondientes a la primera fase ($R=1\text{Km}$) sirven como base para sobreponer la siguiente capa ($R=0.5\text{Km}$), la cual contara con otra estructura de agrupación en el sentido que manejará un juego distinto de frecuencia. El procedimiento sigue sucesivamente a través de las fases 3 y 4.

El tamaño de la agrupación se seleccionó de tal manera que incluya 3 radiobases, es decir $N = 3$ (aunque debido a la estructura trisectorizada de la red realmente se agrupan 9 celdas). La razón de la selección de este valor obedece a un compromiso entre el número de cluster para satisfacer la cobertura, de lo cual depende los niveles de interferencia, y del número de recursos por agrupación

A continuación se incluyen los esquemas de asignación desarrollados para la red GSM/GPRS en Guayaquil en cada una de sus etapas, al igual que las tablas que resumen el proceso.

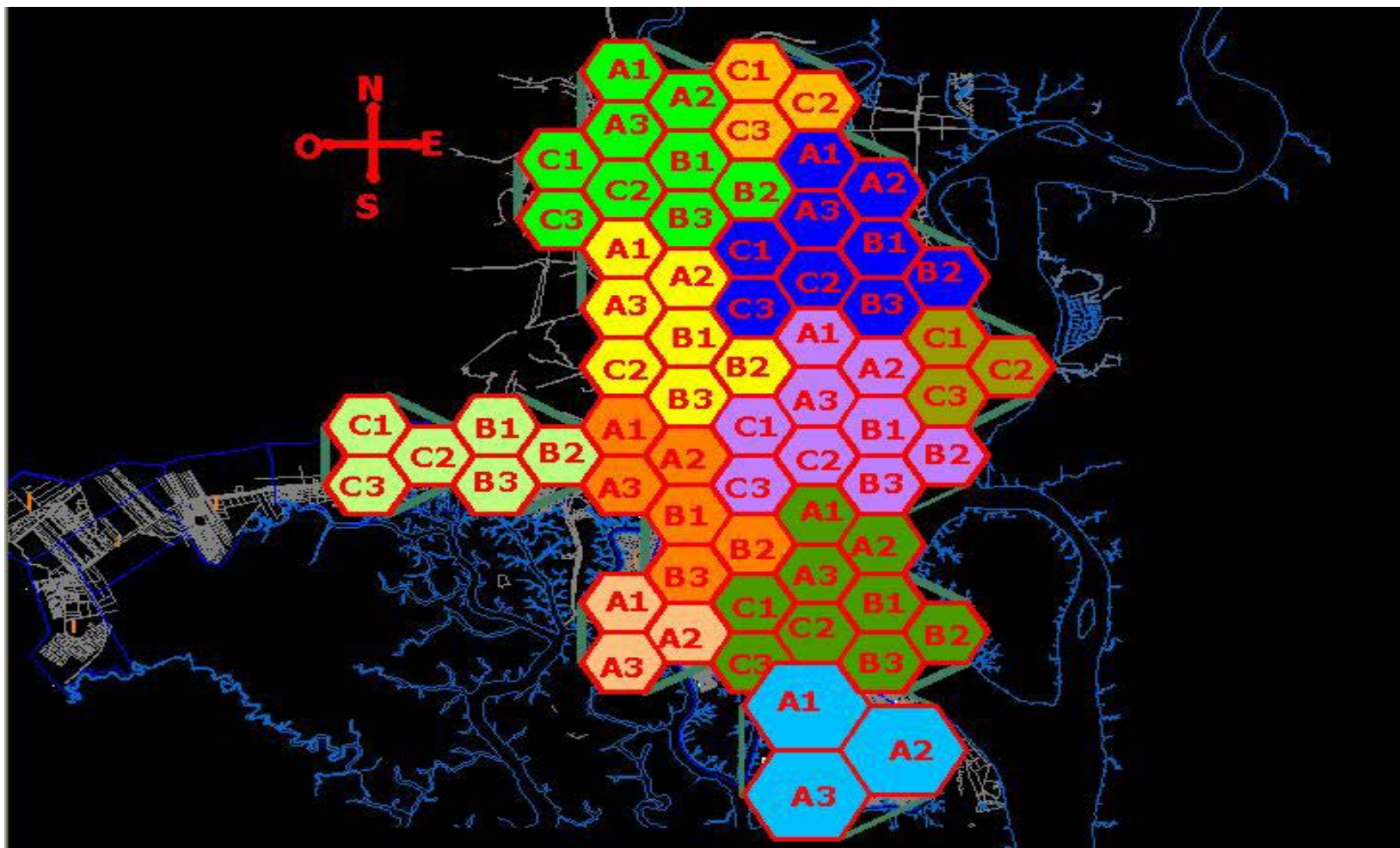


Figura 4.14 Diseño de las agrupaciones celulares para la Fase 1

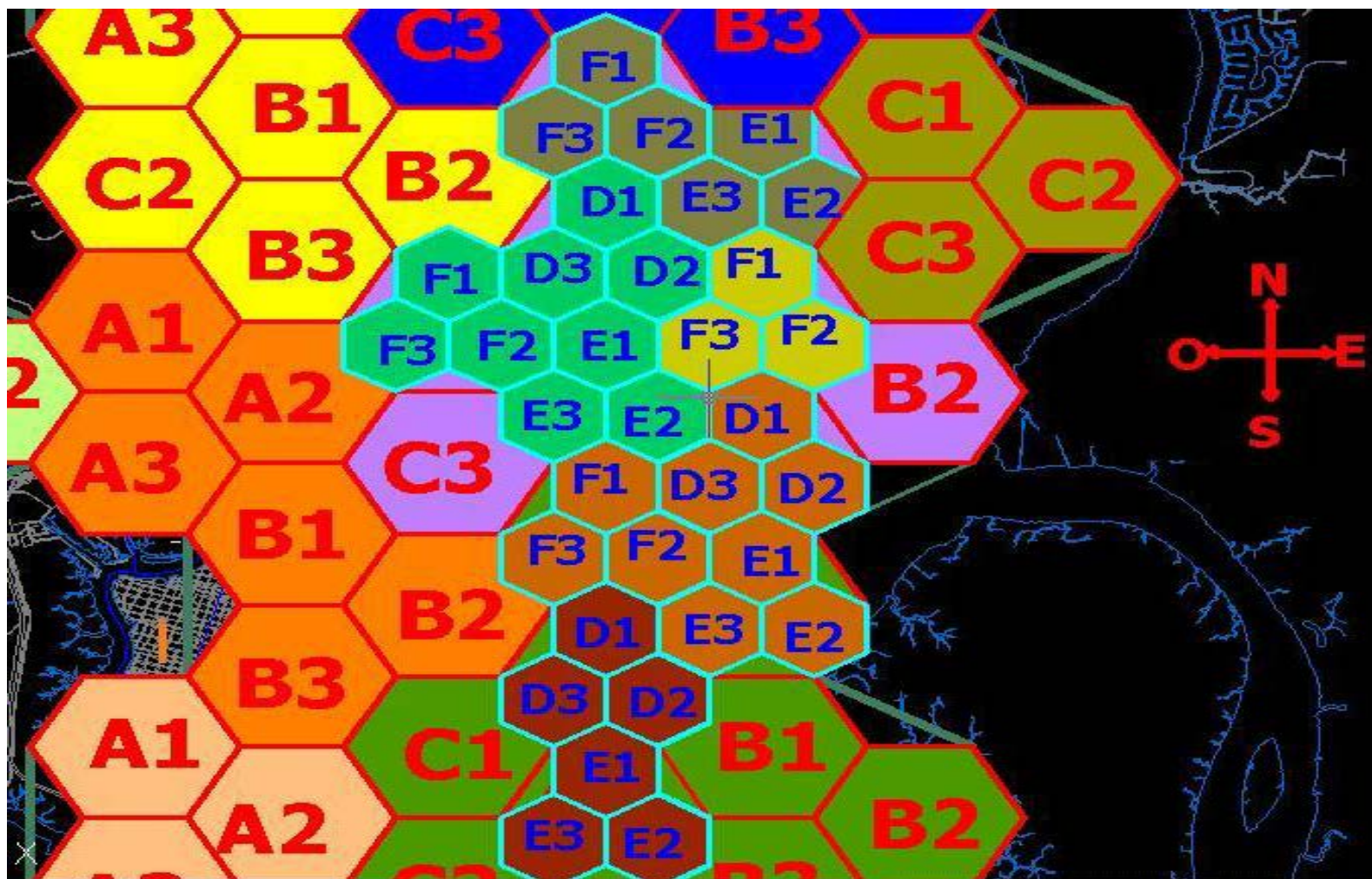


Figura 4.15 Diseño de las agrupaciones celulares para la Fase 2

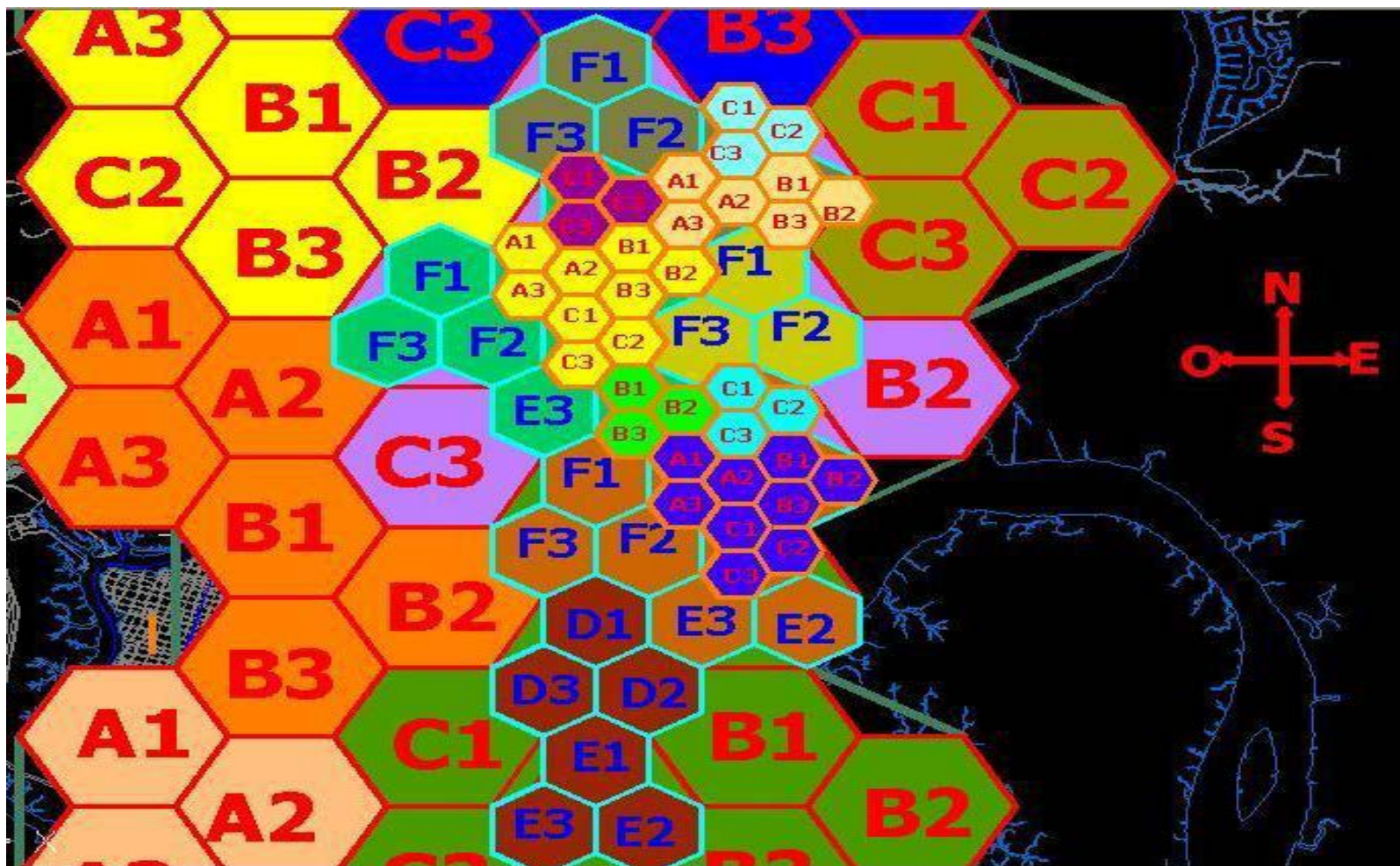


Figura 4.16 Diseño de las agrupaciones celulares para la Fase 3

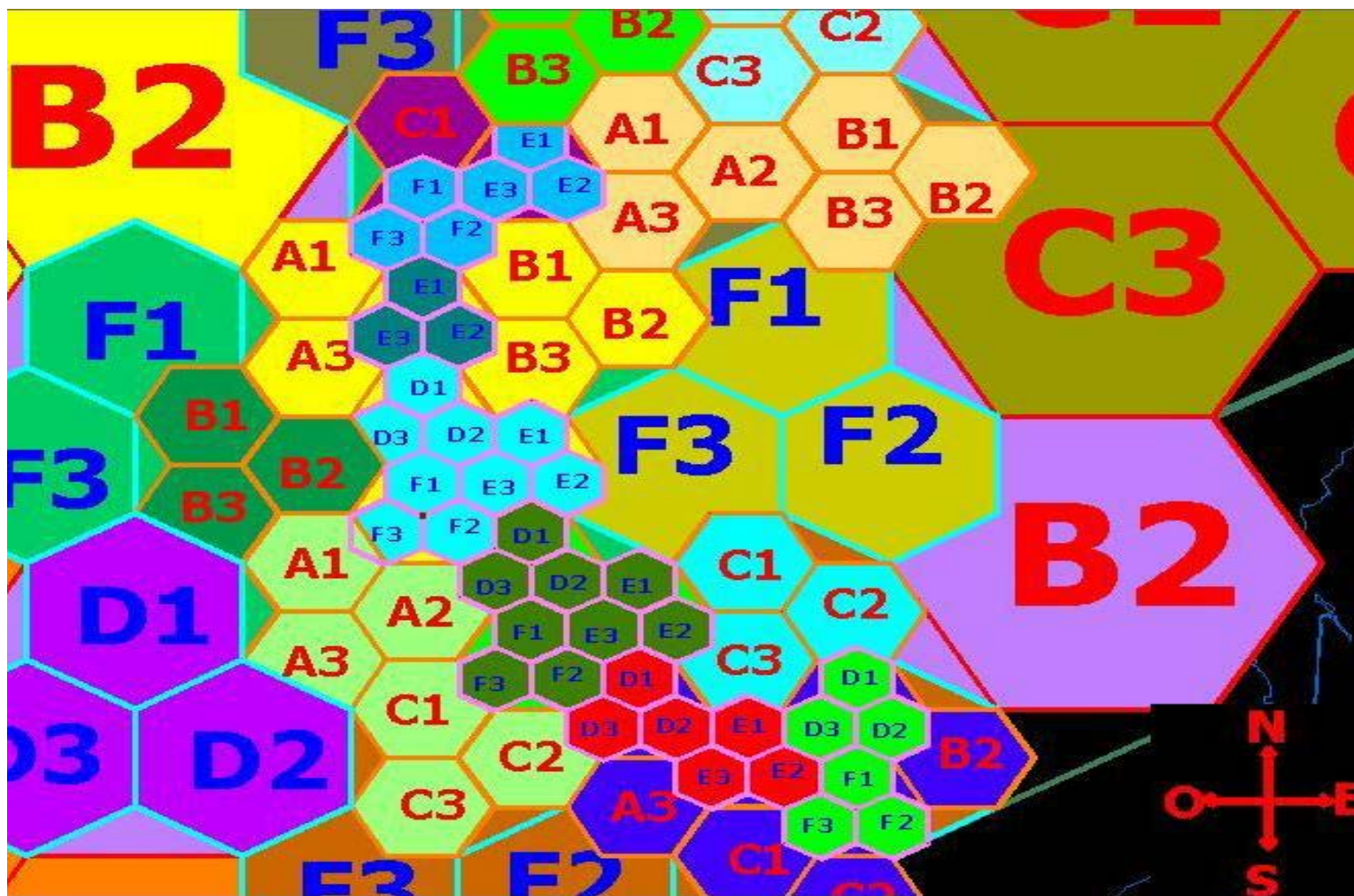


Figura 4.17 Diseño de las agrupaciones celulares para la Fase 4

Cada celda en las Tablas 4.18 a 4.21 está identificada con una clave o ID, el cual indica el juego de frecuencia que le corresponderá en la asignación posterior. Mientras en la columna denominada Cluster se indica el patrón o agrupación a la que pertenece dicha celda.

4.1.8 Asignación de Frecuencia

Si bien el diseño de las agrupaciones celulares trata de manejar adecuadamente la interferencia cocanal de la red, existe otra componente interferente en el sistema, esta es la llamada interferencia de canal adyacente.

La planificación y diseño de la red de acceso debe cuidar ciertas limitaciones en la asignación de los recursos radio a las celdas. Estas consideraciones se hacen respecto tanto a la celda i , como a las contiguas a ella.

Debemos distinguir dos clases de celdas adyacentes: las celdas vecinas, las cuales son servidas por la misma BTS; y las celdas colindantes que tienen estaciones bases diferentes pero comparten una frontera.

Para garantizar los valores adecuados de protección contra la interferencia de canal adyacente se exige las siguientes separaciones entre las frecuencias asignadas:

- ❖ Mayor o igual que tres canales dentro de una misma celda
- ❖ Mayor que dos canales en celdas vecinas
- ❖ Mayor que un canal en celdas colindantes.

Para nuestra red hemos optado por un esquema fijo, y hemos generado la asignación preliminar de las frecuencias empleando el llamado **método geométrico**, el cual se basa en el uso de una matriz $F = (I+1) \times J$; donde I representa las frecuencias que requieren las celdas y J el número de celdas a evaluar en la asignación.

Por ejemplo en la Fase 1 la asignación de frecuencias obedeció a la matriz que se muestra en la Tabla 4.22

Tabla 4.22 Matriz de asignación de frecuencia en la Fase 1

A1	B1	C1	A2	B2	C2	A3	B3	C3
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

Siendo la estructura de las agrupaciones diseñadas un esquema trisectorizado N/M=3/9 (3 bases y 9 celdas), en la primera fila se ubican las celdas en el orden mostrado donde las letras representan a las bases y los números a los sectores, como se puede apreciar la asignación de las frecuencias se hace de manera progresiva.

El método garantiza:

- ❖ La separación entre canales de la misma celda es igual al número M
- ❖ La separación entre canales de celdas vecinas es igual a N.

El método no garantiza la asignación adecuada para la condición de colindancia, entonces se modifica la matriz hasta obtener un resultado válido y adecuado.

El diseño de las agrupaciones realizado para nuestra red obedece a la siguiente matriz de colindancia, Tabla 4.23

Tabla 4.23 Matriz de colindancia de celdas en la Fase 1

ID	Celda		Celdas Colindantes					
	Estación	Sector						
1	A	1	5	6	8	9	0	0
2	A	2	4	6	7	9	0	0
3	A	3	4	5	7	8	0	0
4	B	1	2	3	8	9	0	0
5	B	2	1	3	7	9	0	0
6	B	3	1	2	7	8	0	0
7	C	1	2	3	5	6	0	0
8	C	2	1	3	4	6	0	0
9	C	3	1	2	4	5	0	0

A continuación se incluyen las Tablas donde se resumen las asignaciones de frecuencias para cada Fase, en ellas se presentan directamente el valor ARFCN, que es el identificador internacional para los canales de frecuencia GSM, correspondientes en este caso al segmento de 1900 MHz [13].

Para obtener los valores reales de frecuencia se usan las siguientes ecuaciones:

$$F_{Uplink} = 1850,2 + (ARFCN - 512) \cdot 0,2 \quad \text{Ecuación 4.14}$$

$$F_{Downlink} = F_{Uplink} + 80 \quad \text{Ecuación 4.15}$$

Tabla 4.24 Asignación de frecuencias en la Fase 1

	Cel.	F	ID	ARFCN						
1	A1	2	B1	514	523	0	0	0	0	0
2	A2	2	B2	579	583	0	0	0	0	0
3	A3	2	B3	520	529	0	0	0	0	0
4	B1	2	A1	513	522	0	0	0	0	0
5	B2	3	A2	516	525	534	0	0	0	0
6	B3	3	A3	543	549	552	0	0	0	0
7	C1	2	A1	513	522	0	0	0	0	0
8	C2	2	A2	516	525	0	0	0	0	0
9	C3	2	A3	543	549	0	0	0	0	0
10	D1	2	C1	563	577	0	0	0	0	0
11	D2	5	C2	518	527	536	545	554	0	0
12	D3	3	C3	568	571	574	0	0	0	0
13	E1	3	B1	514	523	532	541	0	0	0
14	E2	1	B2	579	583	0	0	0	0	0
15	E3	7	B3	520	529	538	547	556	565	569
16	F2	2	C2	518	527	0	0	0	0	0
17	G1	2	B1	514	523	0	0	0	0	0
18	G2	2	B2	579	583	0	0	0	0	0
19	G3	2	B3	520	529	0	0	0	0	0
20	H1	4	A1	513	522	531	540	0	0	0
21	H2	4	A2	516	525	534	566	0	0	0
22	H3	4	A3	543	549	552	557	560	0	0
23	I1	3	C1	563	577	581	0	0	0	0
24	I2	3	C2	518	527	536	0	0	0	0
25	I3	2	C3	568	571	574	0	0	0	0
26	J1	1	A1	513	522	0	0	0	0	0
27	J2	2	A2	516	525	0	0	0	0	0
28	J3	2	A3	543	549	0	0	0	0	0
29	K1	2	C1	563	577	0	0	0	0	0
30	K2	2	C2	518	527	0	0	0	0	0
31	K3	2	C3	568	571	0	0	0	0	0
32	L1	2	B1	514	523	0	0	0	0	0
33	L2	2	B2	579	583	0	0	0	0	0
34	L3	2	B3	520	529	0	0	0	0	0
35	M1	1	C1	563	0	0	0	0	0	0
36	M2	1	C2	518	527	0	0	0	0	0
37	M3	1	C3	568	571	0	0	0	0	0
38	N1	2	B1	514	523	0	0	0	0	0
39	N2	2	B2	579	583	0	0	0	0	0
40	N3	2	B3	520	529	0	0	0	0	0
41	O1	2	A1	513	522	0	0	0	0	0
42	O2	2	A2	516	525	0	0	0	0	0
43	O3	2	A3	543	549	0	0	0	0	0
44	P1	2	A1	513	522	0	0	0	0	0
45	P2	2	A2	516	525	0	0	0	0	0
46	P3	2	A3	543	549	0	0	0	0	0
47	Q1	1	C1	563	0	0	0	0	0	0
48	Q2	1	C2	518	0	0	0	0	0	0
49	Q3	1	C3	568	0	0	0	0	0	0
50	AA1	2	A1	513	522	0	0	0	0	0
51	AA2	2	A2	516	525	0	0	0	0	0
52	AA3	2	A3	543	549	0	0	0	0	0
53	BB1	2	A1	513	522	0	0	0	0	0
54	BB2	2	A2	516	525	0	0	0	0	0
55	BB3	2	A3	543	549	0	0	0	0	0
56	CC1	2	C1	563	577	0	0	0	0	0
57	CC2	3	C2	518	527	0	0	0	0	0
58	CC3	2	C3	568	571	512	0	0	0	0
59	DD1	2	B1	514	523	0	0	0	0	0
60	DD2	2	B2	579	583	0	0	0	0	0
61	DD3	2	B3	520	529	0	0	0	0	0
62	EE1	1	C1	563	0	0	0	0	0	0
63	EE2	1	C2	518	0	0	0	0	0	0
64	EE3	1	C3	568	0	0	0	0	0	0
65	FF1	2	B1	514	523	0	0	0	0	0
66	FF2	2	B2	579	583	0	0	0	0	0
67	FF3	2	B3	520	529	0	0	0	0	0

Tabla 4.25 Asignación de frecuencias en la Fase 2

	Cel.	F	ID	A R F C N				
1	A1	2	B1	514	523	0	0	0
2	A2	2	B2	517	526	0	0	0
3	A3	2	B3	520	529	0	0	0
4	B1_1	2	F1	515	524	533	0	0
5	B1_2	2	F2	518	527	0	0	0
6	B1_3	2	F3	521	530	0	0	0
7	B2_1	3	E1	542	551	560	0	0
8	B2_2	2	E2	545	554	0	0	0
9	B2_3	2	E3	548	557	0	0	0
10	B3_1	2	D1	541	550	0	0	0
11	B3_2	2	D2	544	553	0	0	0
12	B3_3	2	D3	547	556	0	0	0
13	C1	2	A1	513	522	0	0	0
14	C2	2	A2	516	525	0	0	0
15	C3	2	A3	519	528	0	0	0
16	D1_1	2	F1	515	524	0	0	0
17	D1_2	2	F2	518	527	0	0	0
18	D1_3	2	F3	521	530	0	0	0
19	D2_1	4	E1	542	551	560	569	0
20	D2_2	4	E2	545	554	563	572	0
21	D2_3	2	E3	535	538	0	0	0
22	D3	2	C3	549	558	0	0	0
23	E1_1	2	F1	515	524	0	0	0
24	E1_2	2	F2	537	543	0	0	0
25	E1_3	2	F3	521	530	0	0	0
26	E2	2	B2	517	526	0	0	0
27	E3_1	5	D1	541	550	559	568	577
28	E3_2	5	D2	544	553	562	571	581
29	E3_3	5	D3	547	556	565	574	585
30	F2	2	C2	546	555	0	0	0
31	G1	2	B1	514	523	0	0	0
32	G2	2	B2	517	526	0	0	0
33	G3	2	B3	532	540	0	0	0
34	H1_1	4	F1	515	524	533	0	0
35	H1_2	3	F2	570	580	584	0	0
36	H1_3	3	F3	521	530	539	0	0
37	H2_1	3	E1	542	551	560	0	0
38	H2_2	3	E2	545	554	563	0	0
39	H2_3	4	E3	548	557	566	575	0
40	H3_1	3	D1	541	550	559	0	0
41	H3_2	3	D2	544	553	562	571	0
42	H3_3	4	D3	547	556	565	574	0
43	I1	2	C1	579	583	587	0	0
44	I2	2	C2	546	555	564	0	0
45	I3	2	C3	549	558	567	0	0
46	J1	2	A1	513	522	0	0	0
47	J2	2	A2	516	525	0	0	0
48	J3	2	A3	519	528	0	0	0
49	K1	2	C1	579	583	0	0	0
50	K2	2	C2	546	555	0	0	0
51	K3	2	C3	549	558	0	0	0
52	L1	2	B1	514	523	0	0	0
53	L2	2	B2	517	526	0	0	0
54	L3	2	B3	520	529	0	0	0
55	M1	2	C1	579	583	0	0	0
56	M2	2	C2	546	555	0	0	0
57	M3	2	C3	549	558	0	0	0
58	N1	2	B1	514	523	0	0	0
59	N2	2	B2	517	526	0	0	0
60	N3	2	B3	520	529	0	0	0
61	O1	2	A1	513	522	0	0	0
62	O2	2	A2	516	525	0	0	0
63	O3	2	A3	519	528	0	0	0
64	P1	2	A1	513	522	0	0	0
65	P2	2	A2	516	525	0	0	0
66	P3	2	A3	519	528	0	0	0
67	Q1	2	C1	579	583	0	0	0
68	Q2	2	C2	546	555	0	0	0
69	Q3	2	C3	549	558	0	0	0
70	AA1	2	A1	513	522	0	0	0
71	AA2	2	A2	516	525	0	0	0
72	AA3	2	A3	519	528	0	0	0
73	BB1	2	A1	513	522	0	0	0
74	BB2	2	A2	516	525	0	0	0
75	BB3	2	A3	519	528	0	0	0
76	CC1	2	C1	579	583	0	0	0
77	CC2_1	2	E1	542	551	560	0	0
78	CC2_2	2	E2	545	554	563	0	0
79	CC2_3	2	E3	531	534	0	0	0
80	CC3	2	C3	549	558	0	0	0
81	DD1	2	B1	514	523	0	0	0
82	DD2	2	B2	517	526	0	0	0
83	DD3	2	B3	520	529	0	0	0
84	EE1	2	C1	579	583	0	0	0
85	EE2	2	C2	546	555	0	0	0
86	EE3	2	C3	549	558	0	0	0
87	FF1	2	B1	514	523	0	0	0
88	FF2	2	B2	517	526	0	0	0
89	FF3	2	B3	520	529	0	0	0

4.1.9 Análisis de Interferencia

La interferencia existente en el sistema es básicamente función de la distancia entre la fuente de interferente y el agente interferido. Gracias a las consideraciones en la asignación de frecuencia se mitiga en gran medida la contribución de la interferencia de canal adyacente en el sistema, pero los efectos de la interferencia cocanal deben ser muy tomados en cuenta en la planificación para poder alcanzar los niveles y estándares aceptables para la comunicación. El objetivo es lograr un nivel umbral de la relación entre la señal deseada y la interferencia existente, **(c/i.)**

Los cálculos pueden efectuarse mediante métodos determinísticos o estadísticos, en vista del nivel de complejidad requerido y de los recursos presentes, se seleccionó el primero de los métodos, el cual brinda valores teóricos constantes aproximados

Este método hace uso de las siguientes condiciones:

- ❖ **Condición geométrica:** Derivada de la geometría celular, que establece el tamaño y separación de las agrupaciones

$$\left(\frac{D}{R}\right)^2 = 3N \quad \text{Ecuación 4.16}$$

- ❖ **Condición radioeléctrica:** Establece la magnitud de la propagación.
Donde r_p es la relación de protección o umbral.

$$\frac{c}{i} \geq r_p$$

Ecuación 4.17

Y de las siguientes hipótesis:

- ❖ El cálculo se realiza solo en el enlace descendente, debido a la complejidad que involucra el movimiento aleatorio de los móviles en el enlace ascendente.
- ❖ Solo se toman en cuenta las celdas de la primera corona, que son las 6 celdas circundantes con la misma frecuencia asignada a la celda genérica i . Ver Figura 4.18
- ❖ La pérdida básica de propagación obedece a la ley exponencial:

$$p(r) = kr^{-s}$$

Ecuación 4.17

Donde k se supone una constante para toda la planificación, r es la distancia y s es el exponente de propagación que es función de la frecuencia, del terreno y del clima.

- ❖ Las señales interferentes están incorreladas entre sí y con la señal deseada

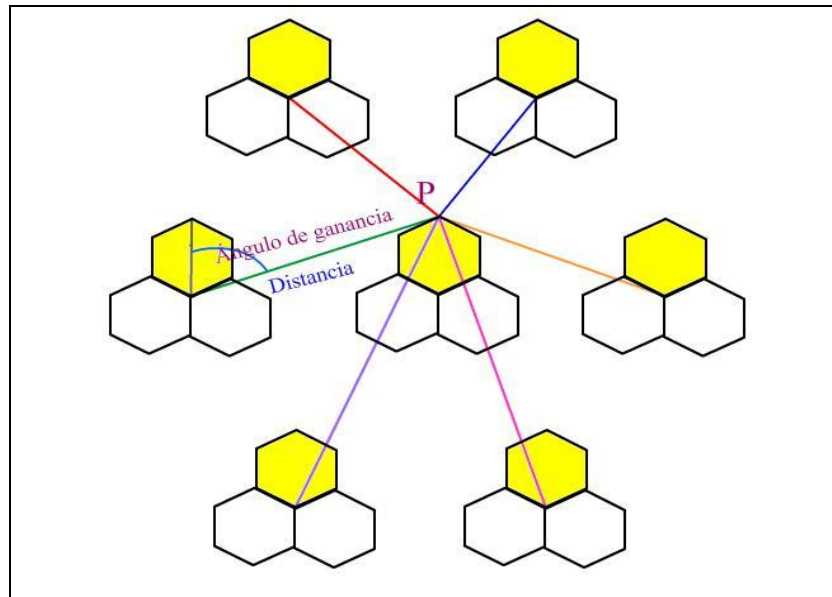


Figura 4.18 Cálculo de Interferencia Cocanal

Para nuestra estructura trisectorizada, el método se resume en la obtención y aplicación de la siguiente ecuación, para cada una de las celas de la red:

$$\frac{c}{i} = \frac{1}{\sum_{n=1}^6 g(\alpha_n) \cdot d_n^{-s}} \quad \text{Ecuación 4.18}$$

Donde $g(\alpha_n)$ es la ganancia de la señal interferente en función del ángulo de directividad de la antena., cuyos rangos de valores se muestra en la Tabla 4.28. Se trabajó con el valor $s = 3,8$ a 4 [29]; valores típicos para los entornos similares a los de la ciudad de Guayaquil

Tabla 4.28 Ganancia en función del Ángulo de Directividad

Antena Sectorizada		
Ángulo	Ganancia Relativa	
	G (dB)	g (absoluta)
<10	0	1
20	-1	0,79432823
30	-3	0,50118723
40	-5	0,31622777
50	-7	0,19952623
60	-10	0,1
70	-13	0,05011872
80	-16	0,02511886
90	-20	0,01
100	-23	0,00501187
110	-27	0,00199526
120	-30	0,001
130	-31	0,00079433
>130	-40	0,0001

En las Tablas 4.29 a 4.32 mostramos el resumen de los valores C/I obtenidos para cada una de las fases, se aplicó la Ecuación 4.18, evaluando para cada una de las celdas la contribución de interferencia de la primera corona. Es importante aclarar que para satisfacer el umbral de calidad establecido por el ente regulador para el servicio SMA ($C/I = 17\text{dB}$), la planificación ha debido modificar en algunos casos la asignación de frecuencias.

Tabla 4.31 Relación C/I en la Fase 3

	R	Celda	ID	1° Corona										C/I [dB]
1	1	A1	B1	G1	DD1	FF1	E3 2 1	D2 2 1	H2 2 1	0	0	0	19,76	
2	1	A2	B2	G2	DD2	FF2	E3 2 2	D2 2 2	H2 2 2	0	0	0	22,44	
3	1	A3	B3	0	DD3	FF3	E3 2 3	D2 2 3	H2 2 3	0	0	0	17,16	
4	0,5	B1 1	F1	D1 1	0	0	0	0	0	0	0	45,47		
5	0,5	B1 2	G1	G3	H3 2 3	0	0	0	0	0	0	27,20		
6	0,5	B1 3	F3	D1 3	E1 3	0	0	0	0	0	0	25,28		
7	0,3	B2 1	C1	K1	I1	0	E3 1 1	D2 1 1	H2 1 1	H3 1 1	0	47,96		
8	0,3	B2 1 2	C2	K2	I2	F2	E3 1 2	D2 1 2	H2 1 2	H3 1 2	0	33,04		
9	0,3	B2 1 3	C3	K3	I3	CC3	E3 1 3	D2 1 3	H2 1 3	H3 1 3	0	28,17		
10	0,5	B2 2	G2	AA2	H3 2 2	0	0	0	0	0	0	37,94		
11	0,5	B2 3	E3	CC2 3	D2 3	0	0	0	0	0	0	31,42		
12	0,5	B3 1	D1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00		
13	0,5	B3 2	D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00		
14	0,5	B3 3	D3	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00		
15	1	C1	A1	J1	BB1	E3 3 1	H2 3 1	H3 3 1	0	0	0	18,84		
16	1	C2	A2	J2	BB2	E3 3 2	H2 3 2	H3 3 2	0	0	0	25,57		
17	1	C3	A3	J3	BB3	E3 3 3	H2 3 3	0	0	0	0	20,34		
18	0,5	D1 1	F1	H1 1	B1 1	0	0	0	0	0	0	26,37		
19	0,5	D1 2	F2	H1 2	0	E1 2	0	0	0	0	0	31,46		
20	0,5	D1 3	F3	H1 3	B1 3	E1 3	0	0	0	0	0	22,80		
21	0,3	D2 1	C1	K1	I1	0	E3 1 1	B2 1 1	H2 1 1	H3 1 1	0	27,87		
22	0,3	D2 1 2	C2	K2	I2	F2	E3 1 2	B2 1 2	H2 1 2	H3 1 2	0	33,37		
23	0,3	D2 1 3	C3	K3	I3	CC3	E3 1 3	B2 1 3	H2 1 3	H3 1 3	0	26,74		
24	0,3	D2 2	B1	L1	A1	DD1	G1	E3 2 1	H2 2 1	0	0	28,55		
25	0,3	D2 2 2	B2	L2	A2	DD2	G2	E3 2 2	H2 2 2	0	0	37,93		
26	0,3	D2 2 3	B3	L3	A3	DD3	0	E3 2 3	H2 2 3	0	0	31,32		
27	0,5	D2 3	E3	B2 3	0	0	0	0	0	0	0	31,59		
28	1	D3	H3	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00		
29	0,5	E1 1	H2	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00		
30	0,5	E1 2	F2	D1 2	H1 2	0	0	0	0	0	0	23,41		
31	0,5	E1 3	F3	D1 3	H1 3	B1 3	0	0	0	0	0	31,34		
32	1	E2	G3	H3 2 1	CC1	0	0	0	0	0	0	36,45		
33	0,3	E3 1	C1	K1	I1	0	B2 1 1	H2 1 1	H3 1 1	D2 1 1	0	28,77		
34	0,3	E3 1 2	C2	K2	I2	F2	B2 1 2	H2 1 2	H3 1 2	D2 1 2	0	27,26		
35	0,3	E3 1 3	C3	K3	I3	CC3	B2 1 3	H2 1 3	H3 1 3	D2 1 3	0	30,68		
36	0,3	E3 2	B1	L1	A1	DD1	G1	H2 2 1	D2 2 1	0	0	39,37		
37	0,3	E3 2 2	B2	L2	A2	DD2	G2	H2 2 2	D2 2 2	0	0	28,42		
38	0,3	E3 2 3	B3	L3	A3	DD3	0	H2 2 3	D2 2 3	0	0	32,35		
39	0,3	E3 3	A1	O1	C1	J1	H2 3 1	H3 3 1	0	0	0	64,51		
40	0,3	E3 3 2	A2	O2	C2	J2	H2 3 2	H3 3 2	0	0	0	38,06		
41	0,5	E3 3 3	A3	O3	C3	J3	H2 3 3	0	0	0	0	26,33		
42	1	F2	C2	M2	K2	EE2	B2 1 2	H2 1 2	D2 1 2	E3 1 2	H3 3 2	22,84		
43	1	G1	B1	FF1	N1	L1	A1	E3 2 1	H2 2 1	D2 2 1	0	16,76		
44	1	G2	B2	FF2	N2	L2	A2	E3 2 2	H2 2 2	D2 2 2	0	21,56		
45	1	G3	B3	B1 2	H3 2 3	0	0	0	0	0	0	20,98		
46	0,5	H1 1	F1	D1 1	0	0	0	0	0	0	0	26,32		
47	0,5	H1 2	F2	D1 2	E1 2	0	0	0	0	0	0	31,45		
48	0,5	H1 3	F3	D1 3	E1 3	0	0	0	0	0	0	31,47		
49	0,3	H2 1	C1	K1	I1	0	B2 1 1	H3 1 1	D2 1 1	E3 1 1	0	29,20		
50	0,3	H2 1 2	C2	K2	I2	F2	B2 1 2	H3 1 2	D2 1 2	E3 1 2	0	28,06		
51	0,3	H2 1 3	C3	K3	I3	CC3	B2 1 3	H3 1 3	D2 1 3	E3 1 3	0	36,93		
52	0,3	H2 2	B1	L1	A1	DD1	G1	E3 2 1	D2 2 1	0	0	34,04		
53	0,3	H2 2 2	B2	L2	A2	DD2	G2	E3 2 2	D2 2 2	0	0	36,82		
54	0,3	H2 2 3	B3	L3	A3	DD3	0	E3 2 3	D2 2 3	0	0	35,32		
55	0,3	H2 3	A1	O1	C1	J1	H3 3 1	E3 3 1	0	0	0	32,54		
56	0,3	H2 3 2	A2	O2	C2	J2	H3 3 2	E3 3 2	0	0	0	28,55		
57	0,3	H2 3 3	A3	O3	C3	J3	0	E3 3 3	0	0	0	46,26		
58	0,3	H3 1	C1	K1	I1	0	B2 1 1	H2 1 1	D2 1 1	E3 1 1	0	26,72		
59	0,3	H3 1 2	C2	K2	I2	F2	B2 1 2	H2 1 2	D2 1 2	E3 1 2	0	32,93		
60	0,3	H3 1 3	C3	K3	I3	CC3	B2 1 3	H2 1 3	D2 1 3	E3 1 3	0	28,21		

	R	Celda	ID	1º Corona									C/I [dB]	
61	0,3	H3 2 1	G3	CC1	E2	0	0	0	0	0	0	0	0	49,36
62	0,3	H3 2 2	G2	AA2	B2 2	0	0	0	0	0	0	0	0	64,41
63	0,3	H3 2 3	G1	G3	B1 2	0	0	0	0	0	0	0	0	48,22
64	0,3	H3 3 1	A1	O1	C1	J1	H2 3 1	E3 3 1	0	0	0	0	0	31,47
65	0,3	H3 3 2	A2	O2	C2	J2	H2 3 2	E3 3 2	0	0	0	0	0	37,25
66	0,3	H3 3 3	H1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
67	1	I1	C1	K1	B2 1 1	H2 1 1	D2 1 1	E3 1 1	H3 1 1	0	0	0	0	10,16
68	1	I2	C2	K2	B2 1 2	H2 1 2	D2 1 2	E3 1 2	H3 1 2	0	0	0	0	11,06
69	1	I3	C3	K3	B2 1 3	H2 1 3	D2 1 3	E3 1 3	H3 1 3	0	0	0	0	12,90
70	1	J1	A1	P1	O1	C1	H3 3 1	E3 3 1	H2 3 1	0	0	0	0	18,52
71	1	J2	A2	P2	O2	C2	H3 3 2	E3 3 2	H2 3 2	0	0	0	0	25,95
72	1	J3	A3	P3	O3	C3	0	E3 3 3	H2 3 3	0	0	0	0	20,77
73	1	K1	C1	Q1	M1	I1	B2 1 1	H2 1 1	D2 1 1	E3 1 1	H3 1 1	0	0	13,19
74	1	K2	C2	Q2	M2	I2	B2 1 2	H2 1 2	D2 1 2	E3 1 2	H3 1 2	F2	0	17,28
75	1	K3	C3	Q3	M3	I3	B2 1 3	H2 1 3	D2 1 3	E3 1 3	H3 1 3	0	0	17,73
76	1	L1	B1	G1	N1	E3 2 1	H2 2 1	D2 2 1	0	0	0	0	0	15,58
77	1	L2	B2	G2	N2	E3 2 2	H2 2 2	D2 2 2	0	0	0	0	0	16,37
78	1	L3	B3	0	N3	E3 2 3	H2 2 3	D2 2 3	0	0	0	0	0	20,61
79	1	M1	C1	Q1	K1	B2 1 1	H2 1 1	D2 1 1	E3 1 1	H3 1 1	0	0	0	20,35
80	1	M2	C2	Q2	K2	B2 1 2	H2 1 2	D2 1 2	E3 1 2	H3 1 2	F2	0	0	28,88
81	1	M3	C3	Q3	K3	B2 1 3	H2 1 3	D2 1 3	E3 1 3	H3 1 3	0	0	0	22,80
82	1	N1	B1	L1	G1	E3 2 1	H2 2 1	D2 2 1	0	0	0	0	0	19,44
83	1	N2	B2	L2	G2	E3 2 2	H2 2 2	D2 2 2	0	0	0	0	0	28,91
84	1	N3	B3	L3	0	E3 2 3	H2 2 3	D2 2 3	0	0	0	0	0	29,03
85	1	O1	A1	J1	P1	H3 3 1	E3 3 1	H2 3 1	0	0	0	0	0	21,25
86	1	O2	A2	J2	P2	H3 3 2	E3 3 2	H2 3 2	0	0	0	0	0	19,27
87	1	O3	A3	J3	P3	0	E3 3 3	H2 3 3	0	0	0	0	0	28,95
88	1	P1	A1	O1	J1	H3 3 1	E3 3 1	H2 3 1	0	0	0	0	0	20,15
89	1	P2	A2	O2	J2	H3 3 2	E3 3 2	H2 3 2	0	0	0	0	0	29,00
90	1	P3	A3	O3	J3	0	E3 3 3	H2 3 3	0	0	0	0	0	29,05
91	1	Q1	C1	K1	M1	B2 1 1	H2 1 1	D2 1 1	E3 1 1	H3 1 1	0	0	0	20,35
92	1	Q2	C2	K2	M2	B2 1 2	H2 1 2	D2 1 2	E3 1 2	H3 1 2	0	0	0	22,77
93	1	Q3	C3	K3	M3	B2 1 3	H2 1 3	D2 1 3	E3 1 3	H3 1 3	0	0	0	39,23
94	1	AA1	A1	BB1	H3 3 1	E3 3 1	H2 3 1	0	0	0	0	0	0	40,00
95	1	AA2	G2	H3 2 2	B2 2	0	0	0	0	0	0	0	0	26,33
96	1	AA3	A3	BB3	0	E3 3 3	H2 3 3	0	0	0	0	0	0	26,96
97	1	BB1	A1	C1	AA1	H3 3 1	E3 3 1	H2 3 1	0	0	0	0	0	24,97
98	1	BB2	A2	C2	AA2	H3 3 2	E3 3 2	H2 3 2	0	0	0	0	0	28,97
99	1	BB3	A3	C3	AA3	0	E3 3 3	H2 3 3	0	0	0	0	0	12,79
100	1	CC1	G3	E2	H3 2 1	0	0	0	0	0	0	0	0	46,26
101	0,5	CC2 1	E1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
102	0,5	CC2 2	E2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
103	0,5	CC2 3	E3	B2 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26,42
104	1	CC3	C3	B2 1 3	H2 1 3	D2 1 3	E3 1 3	H3 1 3	0	0	0	0	0	17,33
105	1	DD1	B1	A1	E3 2 1	H2 2 1	D2 2 1	0	0	0	0	0	0	35,03
106	1	DD2	B2	A2	E3 2 2	H2 2 2	D2 2 2	0	0	0	0	0	0	20,71
107	1	DD3	B3	A3	E3 2 3	H2 2 3	D2 2 3	0	0	0	0	0	0	18,77
108	1	EE1	C1	0	B2 1 1	H2 1 1	D2 1 1	E3 1 1	H3 1 1	0	0	0	0	32,47
109	1	EE2	C2	F2	B2 1 2	H2 1 2	D2 1 2	E3 1 2	H3 1 2	0	0	0	0	43,01
110	1	EE3	C3	0	B2 1 3	H2 1 3	D2 1 3	E3 1 3	H3 1 3	0	0	0	0	30,69
111	1	FF1	B1	G1	A1	E3 2 1	H2 2 1	D2 2 1	0	0	0	0	0	22,03
112	1	FF2	B2	G2	A2	E3 2 2	H2 2 2	D2 2 2	0	0	0	0	0	40,11
113	1	FF3	B3	0	A3	E3 2 3	H2 2 3	D2 2 3	0	0	0	0	0	26,23

Tabla 4.32 Relación C/I en la Fase 4

R	Celda	ID	1° Corona														C/I [dB]	
1	1	A1	B1	H121	H221	H321	D121	G1	N1	L1	FF1	DD1	0	0				22,29
2	1	A2	B2	H122	H222	H322	D122	G2	N2	L2	FF2	DD2	0	0				19,271
3	1	A3	B3	0	H223	H323	0	0	N3	L3	FF3	DD3	0	0				19,184
4	0,25	B1	1	1	C1	H211	H311	E311	B211	Q1	M1	0	0	EE1	0	l1	27,647	
5	0,25	B1	1	2	C2	H212	0	E312	B212	Q2	M2	K2	F2	EE2	0	l2	42,001	
6	0,25	B1	1	3	C3	H213	0	0	B213	Q3	M3	K3	0	EE3	CC3	l3	32,662	
7	0,5	B1	2	G1	D211	E13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28,666	
8	0,5	B1	3	F3	H3133	0	D2233	E3233	H13	D13	0	0	0	0	0	0	14,595	
9	0,25	B2	1	1	C1	H211	H311	E311	B111	Q1	M1	0	0	EE1	0	l1	45,05	
10	0,25	B2	1	2	C2	H212	0	E312	B112	Q2	M2	K2	F2	EE2	0	l2	27,604	
11	0,25	B2	1	3	C3	H213	0	0	B113	Q3	M3	K3	0	EE3	CC3	l3	33,006	
12	0,5	B2	2	G2	D2133	H123	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38,026	
13	0,5	B2	3	E3	D2233	D2123	H3323	CC23	0	0	0	0	0	0	0	0	25,826	
14	0,5	B3	1	D1	D31	E321	E331	0	D221	0	0	0	0	0	0	0	39,108	
15	0,5	B3	2	D2	D32	E3212	E3312	D2112	D2212	0	0	0	0	0	0	0	22,975	
16	0,5	B3	3	D3	D33	E3213	E3313	D2113	D2213	0	0	0	0	0	0	0	20,966	
17	1	C1	A1	0	H231	0	D231	O1	P1	J1	BB1	AA1	0	0			17,235	
18	1	C2	A2	0	0	0	D232	O2	P2	J2	BB2	AA2	0	0			24,221	
19	1	C3	A3	H333	H233	E333	D233	O3	P3	J3	BB3	AA3	0	0			15,621	
20	0,5	D1	1	H1	E322	CC1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36,115	
21	0,25	D1	2	1	B1	H121	H221	H321	A1	G1	N1	L1	FF1	DD1	0	0	32,681	
22	0,25	D1	2	2	B2	H122	H222	H322	A2	G2	N2	L2	FF2	DD2	0	0	34,46	
23	0,25	D1	2	3	B3	H3	H3123	K1	0	0	0	0	0	0	0	0	37,108	
24	0,5	D1	3	F3	E3233	D2233	0	H3133	H13	0	B13	0	0	0	0	0	17,885	
25	0,13	D2	1	1	G1	B12	E13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39,1	
26	0,13	D2	1	1	D2	D32	E3212	E3312	B32	D2212	0	0	0	0	0	0	47,928	
27	0,13	D2	1	1	D3	D33	E3213	E3313	B33	D2213	0	0	0	0	0	0	36,174	
28	0,13	D2	1	2	E1	D222	E332	H332	H312	0	CC21	0	0	0	0	0	27,439	
29	0,13	D2	1	2	E2	D222	E3322	H3322	H3122	0	CC22	0	0	0	0	0	30,939	
30	0,13	D2	1	2	E3	D2223	0	H3323	0	B23	CC23	0	0	0	0	0	33,455	
31	0,13	D2	1	3	F1	E323	0	H313	0	0	E11	0	0	0	0	0	46,945	
32	0,13	D2	1	3	F2	E3232	D2232	H3132	0	0	E12	0	0	0	0	0	42,529	
33	0,13	D2	1	3	G2	B22	H123	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44,695	
34	0,13	D2	2	1	D1	D31	E321	E331	0	B31	0	0	0	0	0	0	30,743	
35	0,13	D2	2	1	D2	D32	E3212	E3312	D2112	B32	0	0	0	0	0	0	30,961	
36	0,13	D2	2	1	D3	D33	E3213	E3313	D2113	B33	0	0	0	0	0	0	33,036	
37	0,13	D2	2	2	E1	E332	D212	H332	H312	0	CC21	0	0	0	0	0	31,219	
38	0,13	D2	2	2	E2	E3322	D2122	H3322	H3122	0	CC22	0	0	0	0	0	36,796	
39	0,13	D2	2	2	E3	0	D2123	H3323	0	B23	CC23	0	0	0	0	0	46,799	
40	0,13	D2	2	3	G3	E2	H232	H331	0	0	0	0	0	0	0	0	63,309	
41	0,13	D2	2	3	F2	E3232	D2132	H3132	E12	0	0	0	0	0	0	0	30,908	
42	0,13	D2	2	3	F3	E3233	0	H3133	0	B13	H13	0	0	0	0	0	42,462	
43	0,25	D2	3	1	A1	0	H231	0	C1	O1	P1	J1	BB1	AA1	0	0	46,834	
44	0,25	D2	3	2	A2	0	0	0	C2	O2	P2	J2	BB2	AA2	0	0	37,07	
45	0,25	D2	3	3	A3	H333	H233	E333	C3	O3	P3	J3	BB3	AA3	0	0	26,898	
46	0,5	D3	1	D1	D221	E321	E331	0	B31	0	0	0	0	0	0	0	22,682	
47	0,5	D3	2	D2	D2212	E3212	E3312	D2112	B32	0	0	0	0	0	0	0	24,718	
48	0,5	D3	3	D3	D2213	E3213	E3313	D2113	B33	0	0	0	0	0	0	0	16,915	
49	0,5	E1	1	F1	0	0	0	H313	D213	0	E323	0	0	0	0	0	19,112	
50	0,5	E1	2	F2	0	0	0	H3132	D2132	D2232	E3232	0	0	0	0	0	17,146	
51	0,5	E1	3	G1	B12	D211	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30,407	
52	1	E2	G3	D223	H232	H331	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15,671	
53	0,25	E3	1	1	C1	H211	H311	B211	B111	Q1	M1	0	0	EE1	0	l1	27,636	
54	0,25	E3	1	2	C2	H212	0	B212	B112	Q2	M2	K2	F2	EE2	0	l2	27,527	
55	0,25	E3	1	3	H2	E3323	H11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15,9	
56	0,13	E3	2	1	D1	D221	D31	E331	0	B31	0	0	0	0	0	0	36,166	
57	0,13	E3	2	1	D2	D2212	D32	E3312	D2112	B32	0	0	0	0	0	0	30,08	
58	0,13	E3	2	1	D3	D2213	D33	E3313	D2113	B33	0	0	0	0	0	0	49,074	
59	0,25	E3	2	2	H1	D11	CC1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54,503	
60	0,13	E3	2	3	F1	D213	H313	0	0	0	E11	0	0	0	0	0	68,928	

	R	Celda	ID	1° Corona										C/I [dB]	
61	0,13	F3 2 3	F2	D2132	H3132	D2232	0	0	E12	0	0	0	0	0	36,079
62	0,13	F3 2 3	F3	0	H3133	D2233	H13	D13	0	B13	0	0	0	0	54,761
63	0,13	F3 3 1	D1	D2211	D31	E3211	0	B31	0	0	0	0	0	35,544	
64	0,13	F3 3 1	D2	D2212	D32	E3212	D2112	B32	0	0	0	0	0	30,579	
65	0,13	F3 3 1	D3	D2213	D33	E3213	D2113	B33	0	0	0	0	0	30,103	
66	0,13	F3 3 2	E1	D2221	D2121	H3321	H3121	0	CC21	0	0	0	0	45,583	
67	0,13	F3 3 2	E2	D2222	D2122	H3322	H3122	0	CC22	0	0	0	0	28,154	
68	0,13	F3 3 2	H2	E313	H11	0	0	0	0	0	0	0	0	28,037	
69	0,5	E3 3 3	A3	H333	H233	D233	C3	O3	P3	J3	BB3	AA3	0	20,469	
70	1	F2	C2	B212	H212	B112	E312	M2	K2	Q2	EE2	I2	0	20,389	
71	1	G1	B1	H121	H221	H321	A1	D121	N1	L1	FF1	DD1	0	11,934	
72	1	G2	B2	H122	H222	H322	A2	D122	N2	L2	FF2	DD2	0	14,318	
73	1	G3	H3	D213	H3123	K1	0	0	0	0	0	0	0	12,062	
74	0,5	H1 1	H2	E313	E3323	0	0	0	0	0	0	0	0	53,725	
75	0,25	H1 2 1	B1	G1	H221	H321	A1	D121	N1	L1	FF1	DD1	0	25,594	
76	0,25	H1 2 2	B2	G2	H222	H322	A2	D122	N2	L2	FF2	DD2	0	30,891	
77	0,25	H1 2 3	G2	B22	D2133	0	0	0	0	0	0	0	0	57,728	
78	0,5	H1 3	F3	D13	E3233	0	H3133	D2233	0	B13	0	0	0	18,392	
79	0,25	H2 1 1	C1	B211	H311	E311	B111	Q1	M1	0	0	EE1	0	29,289	
80	0,25	H2 1 2	C2	B212	0	E312	B112	Q2	M2	K2	F2	EE2	0	36,732	
81	0,25	H2 1 3	C3	B213	0	0	B113	Q3	M3	K3	0	EE3	CC3	13	45,934
82	0,25	H2 2 1	B1	H121	A1	H321	D121	G1	N1	L1	FF1	DD1	0	33,514	
83	0,25	H2 2 2	B2	H122	A2	H322	D122	G2	N2	L2	FF2	DD2	0	25,309	
84	0,25	H2 2 3	B3	0	A3	H323	0	0	N3	L3	FF3	DD3	0	35,121	
85	0,25	H2 3 1	A1	0	D231	0	C1	O1	P1	J1	BB1	AA1	0	40,655	
86	0,25	H2 3 2	G3	D2231	E2	H331	0	0	0	0	0	0	0	33,619	
87	0,25	H2 3 3	A3	H333	D233	E333	C3	O3	P3	J3	BB3	AA3	0	43,902	
88	0,25	H3 1 1	C1	H211	B111	E311	B211	Q1	M1	0	EE1	I1	0	30,074	
89	0,13	F3 1 2	E1	H3321	D2121	D2221	E3321	CC21	0	0	0	0	0	30,085	
90	0,13	F3 1 2	E2	H3322	D2122	D2222	E3322	CC22	0	0	0	0	0	36,415	
91	0,13	F3 1 2	H3	D123	G3	K1	0	0	0	0	0	0	0	63,347	
92	0,13	F3 1 3	F1	D2131	E3231	0	0	0	E11	0	0	0	0	36,572	
93	0,13	F3 1 3	F2	D2132	E3232	D2232	0	0	E12	0	0	0	0	55,582	
94	0,13	F3 1 3	F3	0	E3233	D2233	H13	D13	0	B13	0	0	0	39,119	
95	0,25	H3 2 1	B1	H121	A1	H221	D121	G1	N1	L1	FF1	DD1	0	30,753	
96	0,25	H3 2 2	B2	H122	A2	H222	D122	G2	N2	L2	FF2	DD2	0	26,915	
97	0,25	H3 2 3	B3	0	A3	H223	0	0	N3	L3	FF3	DD3	0	28,418	
98	0,25	H3 3 1	G3	D2231	E2	H232	0	0	0	0	0	0	0	32,165	
99	0,13	F3 3 2	E1	H3121	D2121	D2221	E3321	0	CC21	0	0	0	0	30,612	
100	0,13	F3 3 2	E2	H3122	D2122	D2222	E3322	0	CC22	0	0	0	0	36,291	
101	0,13	F3 3 2	E3	0	D2123	D2223	0	B2 3	CC23	0	0	0	0	36,281	
102	0,25	H3 3 3	A3	H233	D233	E333	C3	O3	P3	J3	BB3	AA3	0	28,633	
103	1	I1	C1	B211	H311	E311	B111	Q1	M1	0	0	EE1	0	10,2	
104	1	I2	C2	B212	0	E312	B112	Q2	M2	K2	F2	EE2	0	12,088	
105	1	I3	C3	B213	0	0	B113	Q3	M3	K3	0	EE3	CC3	H213	13,033
106	1	J1	A1	0	H231	0	C1	O1	P1	D231	BB1	AA1	0	19,352	
107	1	J2	A2	0	0	0	C2	O2	P2	D232	BB2	AA2	0	26,036	
108	1	J3	A3	H333	H233	E333	C3	O3	P3	D233	BB3	AA3	0	20,512	
109	1	K1	H3	D123	G3	H3123	0	0	0	0	0	0	0	37,966	
110	1	K2	C2	B212	0	E312	B112	Q2	M2	I2	F2	EE2	0	H212	17,863
111	1	K3	C3	B213	0	0	B113	Q3	M3	I3	0	EE3	CC3	H213	18,811
112	1	L1	B1	H121	A1	H221	D121	G1	N1	H321	FF1	DD1	0	0	14,88
113	1	L2	B2	H122	A2	H222	D122	G2	N2	H322	FF2	DD2	0	0	15,261
114	1	L3	B3	0	A3	H223	0	0	N3	H323	FF3	DD3	0	0	20,311
115	1	M1	C1	B211	H311	E311	B111	Q1	0	I1	0	EE1	0	H211	22,449
116	1	M2	C2	B212	0	E312	B112	Q2	K2	I2	F2	EE2	0	H212	25,663
117	1	M3	C3	B213	0	0	B113	Q3	K3	I3	0	EE3	CC3	H213	22,803
118	1	N1	B1	H121	A1	H221	D121	G1	L1	H321	FF1	DD1	0	0	17,381
119	1	N2	B2	H122	A2	H222	D122	G2	L2	H322	FF2	DD2	0	0	26,834
120	1	N3	B3	0	A3	H223	0	0	L3	H323	FF3	DD3	0	0	28,906

	R	Celda	ID	1° Corona										C/I [dB]	
121	1	O1	A1	0	H231	0	C1	J1	P1	D231	BB1	AA1	0	0	21,873
122	1	O2	A2	0	0	0	C2	J2	P2	D232	BB2	AA2	0	0	20,81
123	1	O3	A3	H333	H233	E333	C3	J3	P3	D233	BB3	AA3	0	0	28,939
124	1	P1	A1	0	H231	0	C1	O1	J1	D231	BB1	AA1	0	0	20,055
125	1	P2	A2	0	0	0	C2	O2	J2	D232	BB2	AA2	0	0	28,844
126	1	P3	A3	H333	H233	E333	C3	O3	J3	D233	BB3	AA3	0	0	29,031
127	1	Q1	C1	B211	H311	E311	B111	M1	0	I1	0	EE1	0	H211	22,231
128	1	Q2	C2	B212	0	E312	B112	M2	K2	I2	F2	EE2	0	H212	22,382
129	1	Q3	C3	B213	0	0	B113	M3	K3	I3	0	EE3	CC3	H213	38,979
130	1	AA1	A1	0	H231	0	C1	O1	P1	D231	BB1	J1	0	0	37,695
131	1	AA2	A2	0	0	0	C2	O2	P2	D232	BB2	J2	0	0	23,357
132	1	AA3	A3	H333	H233	E333	C3	O3	P3	D233	BB3	J3	0	0	23,017
133	1	BB1	A1	0	H231	0	C1	O1	P1	D231	J1	AA1	0	0	24,142
134	1	BB2	A2	0	0	0	C2	O2	P2	D232	J2	AA2	0	0	28,519
135	1	BB3	A3	H333	H233	E333	C3	O3	P3	D233	J3	AA3	0	0	18,622
136	1	CC1	H1	D11	E322	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52,592
137	0,5	CC2 1	E1	E332	D222	D212	H332	H312	0	0	0	0	0	0	58,572
138	0,5	CC2 2	E2	E332	D222	D212	H332	H312	0	0	0	0	0	0	32,547
139	0,5	CC2 3	E3	0	D222	D212	H332	0	B23	0	0	0	0	0	25,645
140	1	CC3	C3	B213	H213	B113	M3	K3	Q3	EE3	I3	0	0	0	16,864
141	1	DD1	B1	H121	A1	H221	D121	G1	L1	H321	FF1	N1	0	0	42,496
142	1	DD2	B2	H122	A2	H222	D122	G2	L2	H322	FF2	N2	0	0	21,497
143	1	DD3	B3	0	A3	H223	0	0	L3	H323	FF3	N3	0	0	23,522
144	1	EE1	C1	B211	H311	E311	B111	M1	0	I1	0	Q1	0	H211	31,626
145	1	EE2	C2	B212	0	E312	B112	M2	K2	I2	F2	Q2	0	H212	39,478
146	1	EE3	C3	B213	0	0	B113	M3	K3	I3	0	Q3	CC3	H213	26,726
147	1	FF1	B1	H121	A1	H221	D121	G1	L1	H321	DD1	N1	0	0	21,089
148	1	FF2	B2	H122	A2	H222	D122	G2	L2	H322	DD2	N2	0	0	28,514
149	1	FF3	B3	0	A3	H223	0	0	L3	H323	DD3	N3	0	0	23,191

Al emplear la reutilización alternada de las agrupaciones celulares y por ende de los juegos de frecuencia, se obtuvo un efecto considerable en la interferencia del sistema.

Así de una primera etapa con niveles elevados de C/I, se pasó a niveles muy bajos debido a que se aumentó el número de celdas que utilizan la misma frecuencia.

Veamos el ejemplo de la celda C1, la cual se ha mantenido con la misma asignación y radio durante el período de la planificación. Ver la Figura 4.19

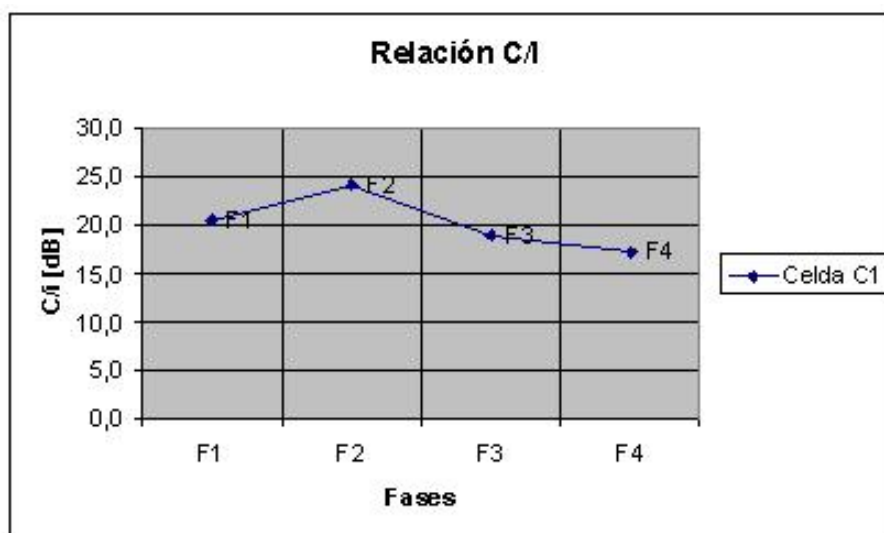


Figura 4.19 Evolución de C/I en la red

Se aprecia que inicialmente hay un mejoramiento de la relación debido al empleo de un segundo juego de frecuencias, por lo que disminuyen las fuentes interferentes.

Luego de la Fase2 a la Fase3 y Fase 4 se experimenta una considerable disminución de la relación C/I motivada por el uso del mismo juego de frecuencia que C1 por más celdas en la red.

En algunas de las celdas de las tablas se puede apreciar el valor de 0, este valor no debe ser tomado literalmente sino más bien se lo debe relacionar con el hecho de que no existen otras fuentes de interferencias ó celdas en la red que manejen la misma frecuencia.

4.1.10 Dimensionado del Subsistema BSS

Los componentes generales de este subsistema de la red los conforman las estaciones bases (BTS) y las controladoras (BSC). Los cálculos y estimaciones anteriores se han realizado centrando la atención en obtener la capacidad o dotación eficiente de recursos a cada BTS.

A manera de compendio en la Tabla 4.33 se muestra un resumen del despliegue celular hasta ahora expuesto:

Tabla 4.33 Resumen del despliegue de la red GSM

Resumen del Despliegue GSM				
	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
Usuarios	25191	35562	67885	103124
Celdas	67	89	113	149
Canales (GSM)	612	788	1185	1651
Emplazamientos	23	34	46	63

En lo que respecta a las controladoras, estas deben proveer las funciones de control y gestión para múltiples BTS, es decir deben ser capaces de sustentar elevados índices de tráfico.

Por lo general las características de capacidad de las BSC se manejan en el orden del número de Erlangs, TRX que soportan, ó de las BTS que pueden operar. Estos valores oscilan entre 128, 256, 512, 660 y hasta 1024 TRX dependiendo de la capacidad requerida y el fabricante.

El diseño de la red local consta de 3 BSC ó Controladoras de Estaciones Bases, ubicadas en el Norte, Centro y Sur de la ciudad, aunque una cuarta BSC podría ser necesaria para manejar un crecimiento sustentado del área circundante a la Vía a la Costa.

En las Tablas 4.34 a 4.37 se resumen los montos de capacidad del sistema, expresados tanto en Erlang, como en canales PCM para cada BTS y se relaciona a que BSC del sistema pertenece.

Tabla 4.34 Capacidad del sistema BSS en la Fase 1

FASE 1					FASE 1						
Celda	BTS	Capacidad		BSC	Celda	BTS	Capacidad		BSC		
		Tráfico	Canales GSM				Tráfico	Canales GSM			
A1	A	1,80571	35	3	50	AA1	AA	1,60751	33	3	
A2					51	AA2					
A3					52	AA3					
B1	B	14,5108	58	2	53	BB1	BB	1,2845	33		
B2					54	BB2					
B3					55	BB3					
C1	C	2,2844	34	3	56	CC1	CC	6,10612	40		
C2					57	CC2					
C3					58	CC3					
D1	D	21,5881	66	2	59	DD1	DD	0,85355	30		
D2					60	DD2					
D3					61	DD3					
E1	E	27,6191	71	2	62	EE1	EE	0,52369	30		
E2					63	EE2					
E3					64	EE3					
F3	F	0,4516	11	1	65	FF1	FF	1,62337	33		
G1	G	3,29157	36		66	FF2					
G2					67	FF3					
G3											
H1	H	29,8907	78	2							
H2											
H3											
I1	I	9,2315	47	2							
I2											
I3											
J1	J	0,80232	31	1							
J2											
J3											
K1	K	2,35858	34	1							
K2											
K3											
L1	L	1,89712	34	2							
L2											
L3											
M1	M	0,58106	30	1							
M2											
M3											
N1	N	0,85864	30	1							
N2											
N3											
O1	O	0,67503	30	1							
O2											
O3											
P1	P	0,68661	30	1							
P2											
P3											
Q1	Q	0,55779	30	1							
Q2											
Q3											

Tabla 4.35 Capacidad del sistema BSS en la Fase 2

FASE 2						FASE 2					
	Celda	BTS	Capacidad		BSC		Celda	BTS	Capacidad		BSC
			Tráfico	Canales (GSM/GPRS)					Tráfico	Canales (GSM/GPRS)	
1	A1	A	2,48678	36	3	46	J1	J	1,12493	31	1
2	A2					47	J2				
3	A3					48	J3				
4	B1 1	B1	2,45003	36	2	49	K1	K	1,53059	33	2
5	B1 2					50	K2				
6	B1 3					51	K3				
7	B2 1	B2	4,77845	39	2	52	L1	L	0,82092	30	2
8	B2 2					53	L2				
9	B2 3					54	L3				
10	B3 1	B3	3,01613	36	3	55	M1	M	0,79959	30	3
11	B3 2					56	M2				
12	B3 3					57	M3				
13	C1	C	3,02466	36	3	58	N1	N	1,20667	32	3
14	C2					59	N2				
15	C3					60	N3				
16	D1 1	D1	2,7412	36	2	61	O1	O	0,93676	30	1
17	D1 2					62	O2				
18	D1 3					63	O3				
19	D2 1	D2	16,9	61	2	64	P1	P	0,95637	30	2
20	D2 2					65	P2				
21	D2 3					66	P3				
22	D3	D	2,90208	16	2	67	Q1	Q	0,76872	30	2
23	E1 1					68	Q2				
24	E1 2					69	Q3				
25	E1 3	E	0,17838	9	2	70	AA1	AA	2,29715	36	3
26	E2					71	AA2				
27	E3 1					72	AA3				
28	E3 2	E3	30,9993	87	2	73	BB1	BB	1,82683	33	3
29	E3 3					74	BB2				
30	F3					75	BB3				
31	G1	F	0,63641	11	1	76	CC1	CC	1,03237	22	3
32	G2					77	CC2 1				
33	G3					78	CC2 2				
34	H1 1	H1	14,8195	57	2	79	CC2 3	CC			3
35	H1 2					80	CC3				
36	H1 3					81	DD1				
37	H2 1	H2	15,5643	58	2	82	DD2	DD	1,19796	33	3
38	H2 2					83	DD3				
39	H2 3					84	EE1				
40	H3 1	H3	18,8461	66	2	85	EE2	EE	0,71903	30	3
41	H3 2					86	EE3				
42	H3 3					87	FF1				
43	I1	I	2,90729	35	1	88	FF2	FF	2,11023	33	3
44	I2					89	FF3				
45	I3										

Tabla 4.36 Capacidad del sistema BSS en la Fase 3

FASE 3							FASE 3						
Capacidad							Capacidad						
	Celda	BTS	Tráfico	Canales GSM/GPRS	E1 (UMTS)	BSC		Celda	BTS	Tráfico	Canales GSM/GPRS	E1 (UMTS)	BSC
1	A1	A	4,7006	41	0	3	70	J1	J	2,1352	35	0	1
2	A2												
3	A3												
4	B1_1	B1	7,9519	47	0	2	73	K1	K	2,9264	38	0	2
5	B1_2												
6	B1_3												
7	B2_1_1	B2_1	7,9557	44	3	2	76	L1	L	1,5321	33	0	2
8	B2_1_2												
9	B2_1_3												
10	B2_2	B2	3,733	27	0	2	79	M1	M	1,5178	33	0	2
11	B2_3												
12	B3_1						B3	5,393					
13	B3_2												
14	B3_3												
15	C1	C	5,3933	43	0	3	83	N1	O	1,7597	33	0	1
16	C2												
17	C3												
18	D1_1	D1	8,909	49	3	2	84	N2	P	1,804	33	0	2
19	D1_2												
20	D1_3												
21	D2_1_1	D2_1	15,567	61	3	2	85	N3	Q	1,4353	33	0	2
22	D2_1_2												
23	D2_1_3												
24	D2_2_1	D2_2	15,664	61	3	2	86	O1	AA	4,2614	39	0	3
25	D2_2_2												
26	D2_2_3												
27	D2_3	D2_3	3,9009	19	1	2	87	O2	BB1	3,3534	39	0	3
28	D3	D	5,4853	24	0		88	O3					
29	E1_1	E1	6,1885	45	3		89	P1					
30	E1_2												
31	E1_3												
32	E2	E	0,2043	9	0	2	90	P2	CC	4,5208	30	0	3
33	E3_1_1												
34	E3_1_2						E3_1	6,1144					
35	E3_1_3												
36	E3_2_1	E3_2	11,529	53	3	92			Q1	Q	1,4353	33	0
37	E3_2_2												
38	E3_2_3												
39	E3_3_1	E3_3	17,075	63	3	2	93	Q2	AA1	4,2614	39	0	3
40	E3_3_2												
41	E3_3_3												
42	F3	F	1,2169	13	0	1	94	Q3	BB2	3,3534	39	0	3
43	G1												
44	G2						G	3,4348					
45	G3												
46	H1_1	H1	12,896	54	3	96			AA3	CC1	4,5208	30	0
47	H1_2												
48	H1_3												
49	H2_1_1	H2_1	9,672	49	3	2	97	BB1	CC2	5,9829	43	0	3
50	H2_1_2												
51	H2_1_3												
52	H2_2_1	H2_2	9,4753	46	3	2	98	DD1	DD	2,176	36	0	3
53	H2_2_2												
54	H2_2_3												
55	H2_3_1	H2_3	10,433	51	3	2	99	DD2	EE	1,3319	33	0	3
56	H2_3_2												
57	H2_3_3												
58	H3_1_1	H3_1	12,882	54	3	2	100	DD3	EE1	1,3319	33	0	3
59	H3_1_2												
60	H3_1_3												
61	H3_2_1	H3_2	12,646	54	3	2	101	EE1	FF	3,6412	36	0	3
62	H3_2_2												
63	H3_2_3												
64	H3_3_1	H3_3	13,046	55	3	2	102	EE2	FF1	3,6412	36	0	3
65	H3_3_2												
66	H3_3_3												
67	I1	I	5,1124	44	0	2	103	EE3	FF2	3,6412	36	0	3
68	I2												
69	I3												

Tabla 4.37 Capacidad del sistema BSS en la Fase 4

FASE 4							FASE 4						
	Celda	BTS	Capacidad			BSC		Celda	BTS	Capacidad			BSC
			Tráfico	Canales (GSM/GPRS)	E1 (UMTS)					Tráfico	Canales (GSM/GPRS)	E1 (UMTS)	
1	A1	A	6,24	47	0	3	70	E3	F	1,85	15	0	1
2	A2												
3	A3												
4	B1_1_1	B1_1	9,76	48	3	2	71	G1	G	5,11	49	0	
5	B1_1_2												
6	B1_1_3												
7	B1_2	B1	4,33	31	2	2	72	G2	H1	7,54	39	2	
8	B1_3												
9	B2_1_1												
10	B2_1_2	B2_1	10,03	50	3	2	73	G3	H1_2	13,82	57	3	
11	B2_1_3												
12	B2_2												
13	B2_3	B2	5,51	34	0	2	74	H1_1	H1	7,54	39	2	
14	B3_1												
15	B3_2												
16	B3_3	B3	8,08	48	3	2	75	H1_2_1	H1_2	13,82	57	3	
17	C1												
18	C2						C	7,86					50
19	C3												
20	D1_1	D1	4,75	31	2	2			77	H1_2_3	H1_2	13,82	
21	D1_2_1												
22	D1_2_2						D1_2	10,62	51	3			2
23	D1_2_3												
24	D1_3												
25	D2_1_1_1	D2_1_1	10,06	49	3	2	79	H2_1_1	H2_1	12,58	57	3	
26	D2_1_1_2												
27	D2_1_1_3												
28	D2_1_2_1	D2_1_2	10,29	51	3	2	80	H2_1_2	H2_1	12,58	57	3	
29	D2_1_2_2												
30	D2_1_2_3												
31	D2_1_3_1	D2_1_3	9,24	45	3	2	81	H2_1_3	H2_2	12,27	57	3	
32	D2_1_3_2												
33	D2_1_3_3												
34	D2_2_1_1	D2_2_1	10,29	51	3	2	82	H2_2_1	H2_2	12,27	57	3	
35	D2_2_1_2												
36	D2_2_1_3												
37	D2_2_2_1	D2_2_2	10,14	49	3	2	83	H2_2_2	H2_2	12,27	57	3	
38	D2_2_2_2												
39	D2_2_2_3												
40	D2_2_3_1	D2_2_3	9,32	45	3	2	84	H2_2_3	H2_3	6,25	45	3	
41	D2_2_3_2												
42	D2_2_3_3												
43	D2_3_1	D2_3	6,14	46	3	2	85	H2_3_1	H2_3	6,25	45	3	
44	D2_3_2												
45	D2_3_3												
46	D3_1	D3	8,78	52	0	2	86	H2_3_2	H3_1	4,22	19	1	
47	D3_2												
48	D3_3												
49	E1_1	E1	9,09	51	3	2	87	H2_3_3	H3_1	4,22	19	1	
50	E1_2												
51	E1_3												
52	E2	E	0,23	9	0	2	88	H3_1_1	H3_1	4,22	19	1	
53	E3_1_1												
54	E3_1_2												
55	E3_1_3	E3_1	9,01	51	3	2	89	H3_1_2_1	H3_1_2	9,09	45	3	
56	E3_2_1_1												
57	E3_2_1_2												
58	E3_2_1_3	E3_2	2,94	17	0	2	90	H3_1_2_2	H3_1_2	9,09	45	3	
59	E3_2_2												
60	E3_2_3_1												
61	E3_2_3_2	E3_2_3	13,20	59	3	2	91	H3_1_2_3	H3_1_3	9,52	47	3	
62	E3_2_3_3												
63	E3_3_1_1												
64	E3_3_1_2	E3_3_1	13,22	59	3	2	92	H3_1_3_1	H3_1_3	9,52	47	3	
65	E3_3_1_3												
66	E3_3_2_1												
67	E3_3_2_2	E3_3_2	13,31	57	3	2	93	H3_1_3_2	H3_1_3	9,52	47	3	
68	E3_3_2_3												
69	E3_3_3												
70	E3_3_3	E3_3	3,37	19	1	2	94	H3_1_3_3	H3_2_1	4,88	42	3	
71	G1												
72	G2												
73	G3	G	5,11	49	0	1	95	H3_2_1	H3_2	4,88	42	3	
74	H1_1												
75	H1_2_1												
76	H1_2_2	H1_2	13,82	57	3	1	96	H3_2_2	H3_2	4,88	42	3	
77	H1_2_3												
78	H1_3												
79	H2_1_1	H2_1	12,58	57	3	1	97	H3_2_3	H3_3	3,39	28	1	
80	H2_1_2												
81	H2_1_3												
82	H2_2_1	H2_2	12,27	57	3	1	98	H3_3_1	H3_3	3,39	28	1	
83	H2_2_2												
84	H2_2_3												
85	H2_3_1	H2_3	6,25	45	3	1	99	H3_3_2_1	H3_3_2	8,36	45	3	
86	H2_3_2												
87	H2_3_3												
88	H3_1_1	H3_1	4,22	19	1	1	100	H3_3_2_2	H3_3_2	8,36	45	3	
89	H3_1_2_1												
90	H3_1_2_2												
91	H3_1_2_3	H3_1_2	9,09	45	3	1	101	H3_3_2_3	H3_3_2	8,36	45	3	
92	H3_1_3_1												
93	H3_1_3_2												
94	H3_1_3_3	H3_1_3	9,52	47	3	1	102	H3_3_3	H3_3	6,25	45	3	
95	H3_2_1												
96	H3_2_2												
97	H3_2_3	H3_2	4,88	42	3	1	103	I1	I	7,50	57	3	
98	H3_3_1												
99	H3_3_2_1												
100	H3_3_2_2	H3_3_2	8,36	45	3	1	104	I2	J	3,25	38	0	
101	H3_3_2_3												
102	H3_3_3												
103	I1	I	7,50	57	3	1	105	I3	K	4,50	42	0	
104	I2												
105	I3												
106	J1	J	3,25	38	0	1	106	J1	L	2,30	36	0	
107	J2												
108	J3												
109	K1	K	4,50	42	0	1	107	J2	M	2,27	36	0	
110	K2												
111	K3												
112	L1	L	2,30	36	0	2	108	J3	N	3,50	39	0	
113	L2												
114	L3												
115	M1	M	2,27	36	0	1	109	K1	O	2,66	36	0	
116	M2												
117	M3												
118	N1	N	3,50	39	0	1	110	K2	P	2,73	36	0	
119	N2												
120	N3												
121	O1	O	2,66	36	0	1	111	K3	Q	2,15	36	0	
122	O2												
123	O3												
124	P1	P	2,73	36	0	1	112	L1	Q	2,15	36	0	
125	P2												
126	P3												
127	Q1	Q	2,15	36	0	1	113	L2	O	2,66	36	0	
128	Q2												
129	Q3												

FASE 4										
	Celda	BTS	Capacidad			BSC				
			Tráfico	Canales (GSM/GPRS)	E1 (UMTS)					
130	AA1	AA	6,52	47	0	3				
131	AA2									
132	AA3									
133	BB1	BB	5,11	42	0		3			
134	BB2									
135	BB3									
136	CC1	CC	6,78	38	0			3		
137	CC2 1									
138	CC2 2									
139	CC2 3	CC2	8,89	52	3				3	
140	CC3									
141	DD1									DD
142	DD2									
143	DD3									
144	EE1	EE	2,00	36	0					3
145	EE2									
146	EE3									
147	FF1	FF	5,28	42	0	3				
148	FF2									
149	FF3									

Tabla 4.38 Resumen de la Capacidad de Tráfico GSM de los BSC

Fase 1						
BSC	Usuarios	BTS	Celdas	A(Erlangs)	Canales (GSM)	TRX (GSM)
1	5396	9	25	10,2632	100	25
2	12840	6	18	104,737	278	43
3	6956	8	24	12,52	172	25
Fase 2						
1	7292	9	25	9,76	162	25
2	18659	16	38	120,34	435	62
3	9611	9	26	17,08	191	26
Fase 3						
1	13854	9	25	18,525	192	31
2	35770	28	62	203,32	757	123
3	18261	9	26	54,85	236	43
Fase 4						
1	20968	9	25	28,03	220	35
2	55302	45	98	294,60	1156	190
3	26853	9	26	52,02	275	49

En la Tabla 4.38 se muestra los valores correspondientes a la capacidad de las BSC de la red para la carga GSM a lo largo de las distintas fases de implementación.

El objetivo de las Tablas 4.34-4.38 es obtener el dimensionado de los equipos del subsistema BSS, es en función de estas estimaciones de recursos y capacidades que se procede a seleccionar en el mercado los equipos que más satisfagan los requerimientos impuestos, es importante anotar en este aspecto que deben ser ampliamente considerados criterios como la escalabilidad, flexibilidad y actualizaciones que estos ofrezcan a la red en el transcurso de su ciclo de trabajo.

Unificando los criterios del dimensionado realizado y de las soluciones que el mercado ofrece; como modelo referencial de requerimientos para el subsistema BSS de la red en estudio se puede mencionar las siguientes características generales:

- ❖ **Estaciones Transmisoras (BTS):** Se manejará la capacidad de hasta 12 TRX bajo la modalidad (4+4+4), es decir que sean capaces de manejar 4 TRX por sector en un esquema trisectorizado. Esta condición asegurará un adecuado umbral de capacidad frente a los cambios que se prevé afrontará la red en el transcurso de su actividad.

Además se plantea la necesidad de que las BTS manejen la actualización modular de sus características y sean capaces de soportar GPRS, EDGE y UMTS.

- ❖ **Estaciones Controladoras (BSC):** Se plantea una solución que maneje hasta 256 TRX/248 BTS por BSC, y que contemple la migración evolutiva hacia UMTS de manera simple y modular.

Analizando las soluciones que el mercado ofrece, no solo debemos tomar en consideración los aspectos netamente técnicos, sino también la fiabilidad, confianza y respaldo que maneja un determinado producto o marca, en este aspecto el proyecto ha considerado la experiencia que tienen los productos Nokia [33] en el mercado al ser el principal proveedor del operador local dominante y por sobre todo una empresa líder mundial de las comunicaciones móviles. Analizando el conjunto de criterios antes expuestos se seleccionó como solución integrada la Plataforma DX200 de Nokia que incluye BSC, MSC/VLR, HLR/AUC/EIR; mientras que para las BTS la serie Nokia UltraSite cumple adecuadamente con el perfil requerido. En el Anexo E se incluyen las hojas de especificaciones técnicas de los elementos mencionados.

4.1.11 Dimensionado del Núcleo de Red

Los valores de capacidad de tráfico calculados en las Tabla 4.38, determinan la capacidad total del sistema, es decir el tráfico total que el centro de conmutación debe ser capaz de manejar. En la Figura 4.20 se muestra la evolución de la capacidad total en función del número de suscriptores del sistema para el tráfico GSM a lo largo de las fases de implementación.

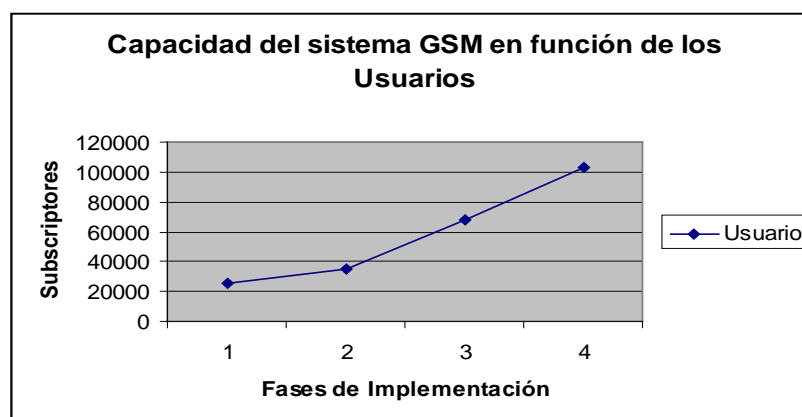


Figura 4.20 Evolución de la Capacidad Total del Sistema

De la gráfica se obtiene que los valores promedio que se manejarán en cuanto a la capacidad global del tráfico GSM oscilan entre los 100.000 y 150.000 suscriptores. A pesar de que los valores que manejan las entidades funcionales de la solución integrada seleccionada en el diseño sobrepasan los requerimientos, debe tomarse en consideración que aún falta por incorporar los valores correspondientes tanto GPRS como UMTS.

4.1.12 Dimensionado de la Red de Transporte

La llamada Red de Transporte o Troncal de un sistema de comunicaciones, es el subsistema encargado de conectar los nodos de la red, en el caso de las redes celulares su función es la de llevar la información tanto útil como de señalización entre las estaciones base (BTS) y las controladoras (BSC), y a su vez entre estas últimas y el centro de conmutación (MSC).

El eficiente diseño de la infraestructura de transporte representa un importante desafío dentro de la planificación de las redes celulares, debido al compromiso entre la capacidad requerida por los servicios y los costos que involucran la instalación y funcionamiento de la misma.

Los aspectos más importantes para el diseño de la red de transporte son los siguientes:

- ❖ **La capacidad requerida por las celdas**, es el parámetro fundamental para el dimensionado de los enlaces, los cuales deben ser capaces de manejar los perfiles de tráfico estimados (carga útil y señalización) para los usuarios servidos por dichas celdas, asegurando los requerimientos de calidad para cada servicio, en otras palabras es menester del operador asegurar que la red de transporte no se convierta en un cuello de botella dentro de la PLMN sino más bien

asegure una eficiente plataforma para sustentar sus servicios, sin embargo el sobredimensionado de los enlaces puede conllevar a elevados costos innecesarios, el problema entonces es manejar adecuadamente la capacidad y escalabilidad del sistema.

- ❖ **La topología seleccionada en el diseño**, es decir la estructura o jerarquía que tendrán los enlaces para formar la red, para ello juegan un papel fundamental criterios como: la escalabilidad, fiabilidad, seguridad y los costos involucrados.
- ❖ **La elección de las tecnologías empleadas**, viene en función de los requerimientos de la red y de los servicios que esta prestará, así por ejemplo un servicio como la video conferencia necesita un cierto manejo de QoS (Quality Of Service).

La Figura 4.21 muestra el proceso empleado en el diseño del subsistema de transporte para la red, cuyos fundamentos son normalmente empleados para cualquier tipo de red de distribución [34]

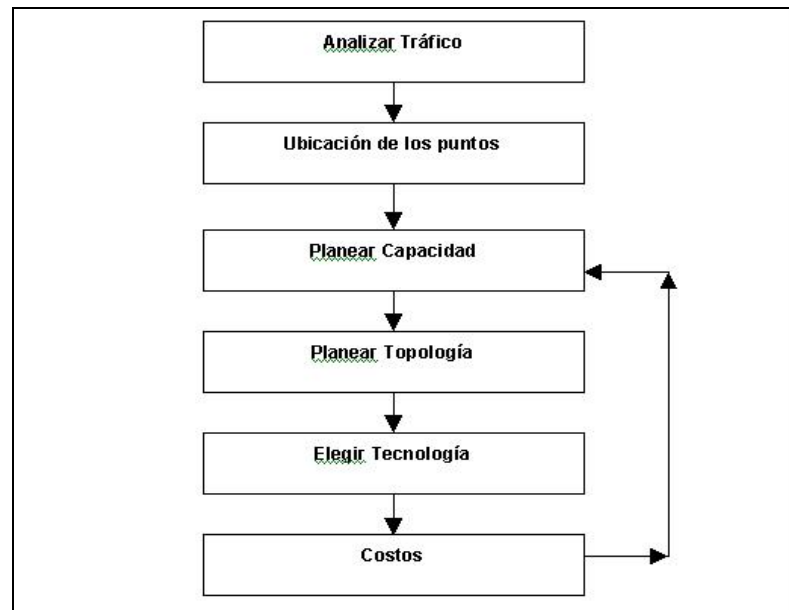


Figura 4.21 Proceso de diseño de la red de Transporte

Para la primera fase de nuestra red, en la que solo se proveerá servicio de transmisión de voz (es decir una red GSM pura), las características cualitativas del servicio de tráfico de voz se muestran en la Tabla 4.39, mientras que los requerimientos en cuanto a la capacidad para cada uno de los nodos, se resume en la Tabla 4.40, donde se incluyen valores de relevancia técnica como la distancia y la capacidad, vitales para seleccionar proveedores, tecnología y productos

Tabla 4.39 Características del Tráfico de Voz

CARACTERÍSTICAS					
Tráfico	Flujo	Tolerancia a Latencia	Tolerancia a Disponibilidad de red	Prioridad	Tolerancia a Errores
VOZ	UP/DOWN	BAJA	BAJA	ALTA	BAJA

Tabla 4.40 Capacidad de los enlaces de la Fase 1

FASE1					
ENLACES	NODOS		DISTANCIA (m)	CANALES	E1
Enlace1	P	BSC1	3486,82	18	1
Enlace2	Q	BSC1	3546,1	18	1
Enlace3	M	BSC1	3767,47	18	1
Enlace4	O	BSC1	3509,1	18	1
Enlace5	J	BSC1	3464,1	50	2
Enlace6	K	BSC1	3441,82	22	1
Enlace7	F	J	3419,1	7	1
Enlace8	G	J	3486,82	24	1
Enlace9	L	MSC/BSC2	5147,05	22	1
Enlace10	H	MSC/BSC2	1274,12	65	3
Enlace11	I	MSC/BSC2	3848,88	35	2
Enlace12	D	MSC/BSC2	2898,94	53	2
Enlace13	B	MSC/BSC2	2907,88	46	2
Enlace14	EE	FF	4242,96	18	1
Enlace15	FF	C	2939,68	39	2
Enlace16	C	A	2788,06	61	3
Enlace17	A	BSC3	3486,81	84	3
Enlace18	BB	BSC3	3457,21	21	1
Enlace19	DD	BSC3	2308,67	18	1
Enlace20	AA	BSC3	4394,18	21	1
Principal1	BSC1	MSC/BSC2	10399,15	193	7
Principal2	BSC3	MSC/BSC2	6339,8	290	10

Debido al carácter evolutivo del proyecto planteado, la topología de la red consiste básicamente en una estructura jerárquica formada por enlaces de accesos que unen los nodos con concentradores, luego estos concentradores se conectan con las controladoras por medio de enlaces de distribución, y finalmente estas se dirigen hacia la MSC por enlaces de región.

Esta estructura facilita primordialmente el crecimiento de la red, y garantiza la fiabilidad del sistema. En las Figuras 4.22 a 4.24 se muestra la topología y el diseño de la red completa a través de las distintas fases de implementación, dada la alta densidad de emplazamientos que se da en el LA2 correspondiente al sector céntrico de la ciudad se prefirió dividir en gráfico con el objeto de hacer más apreciable los detalles expuestos.

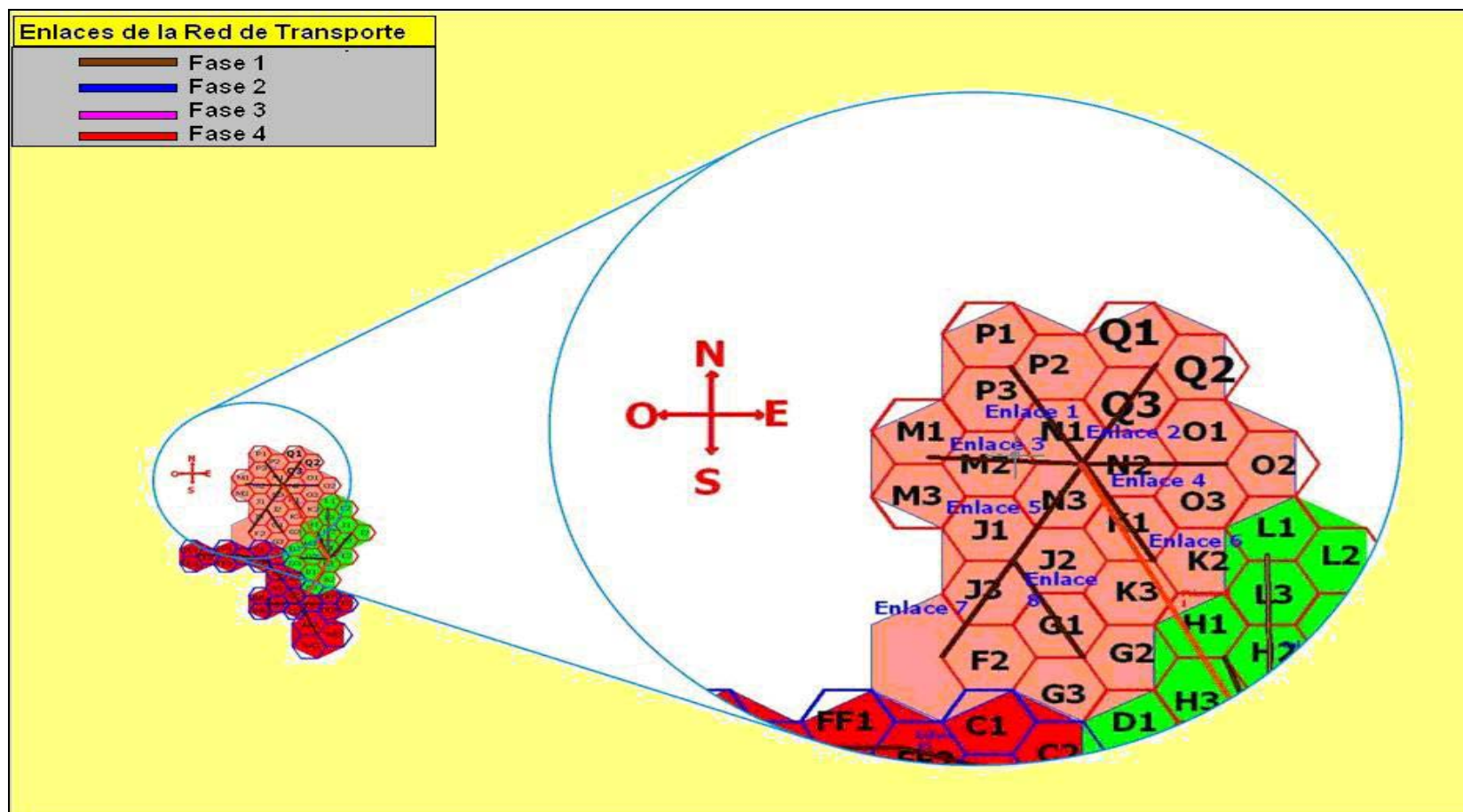


Figura 4.22 Red de Transporte (Área de Localización 1)

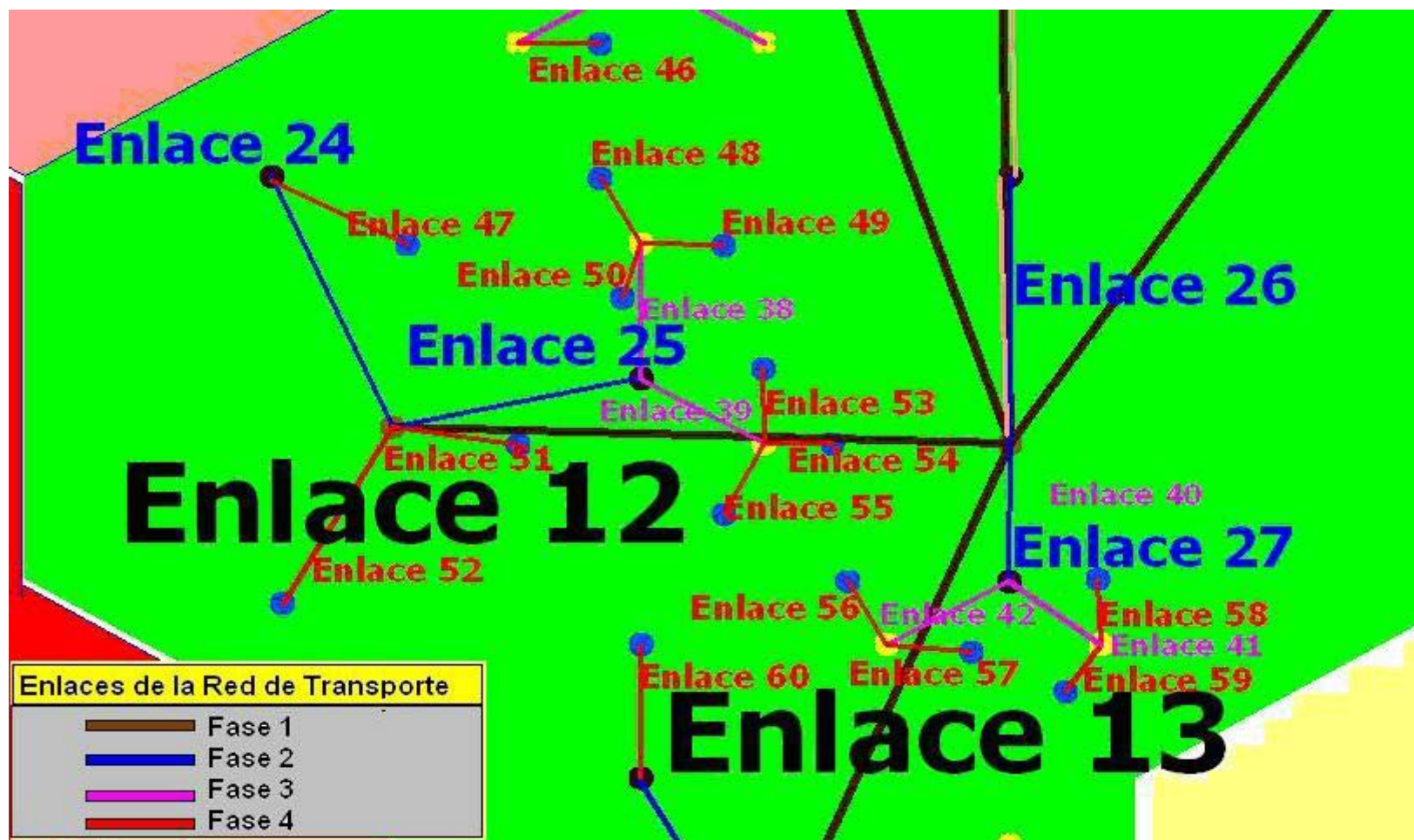


Figura 4.23-b Red de Transporte (Área de Localización 2)

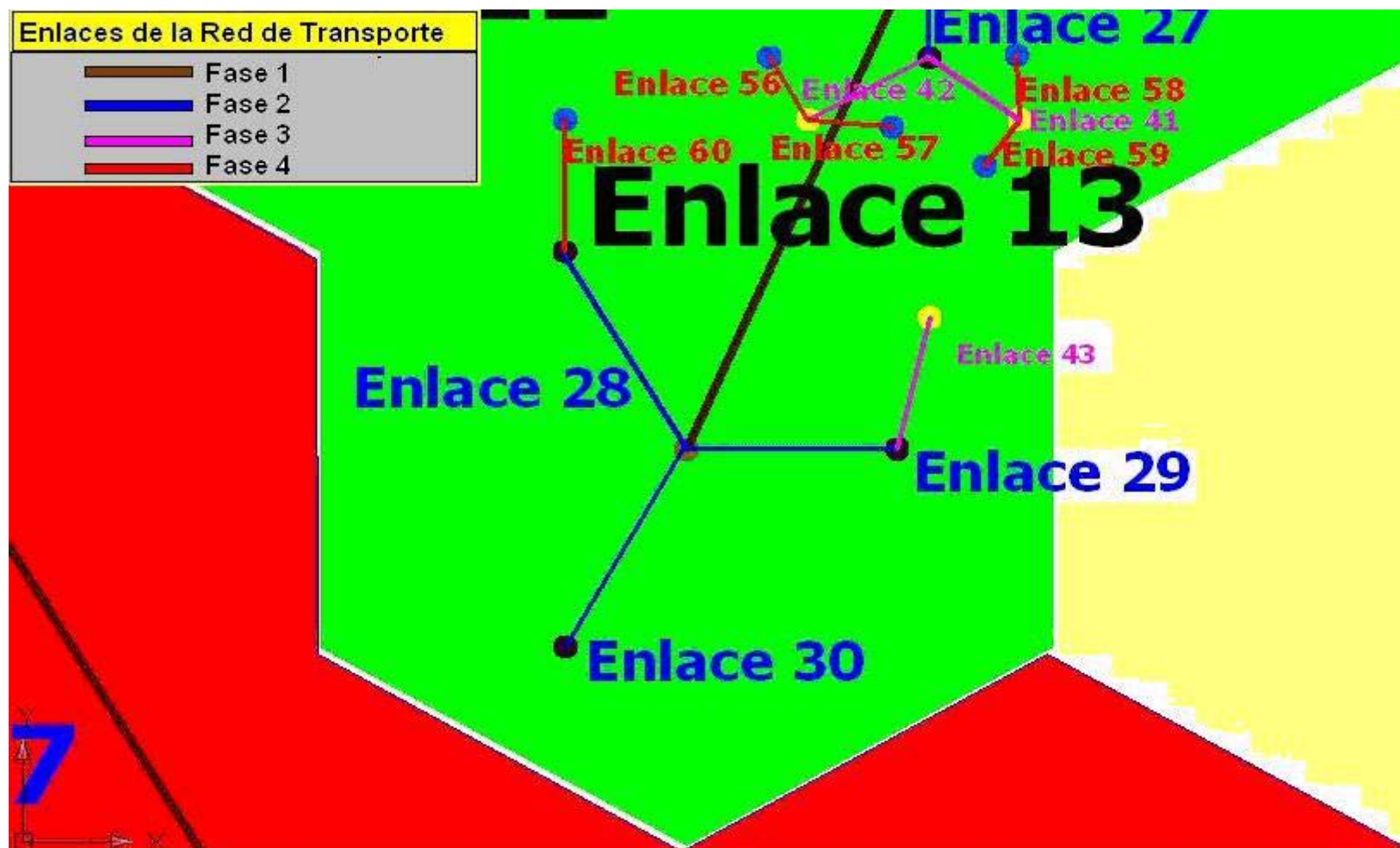


Figura 4.23-c Red de Transporte (Área de Localización 2)

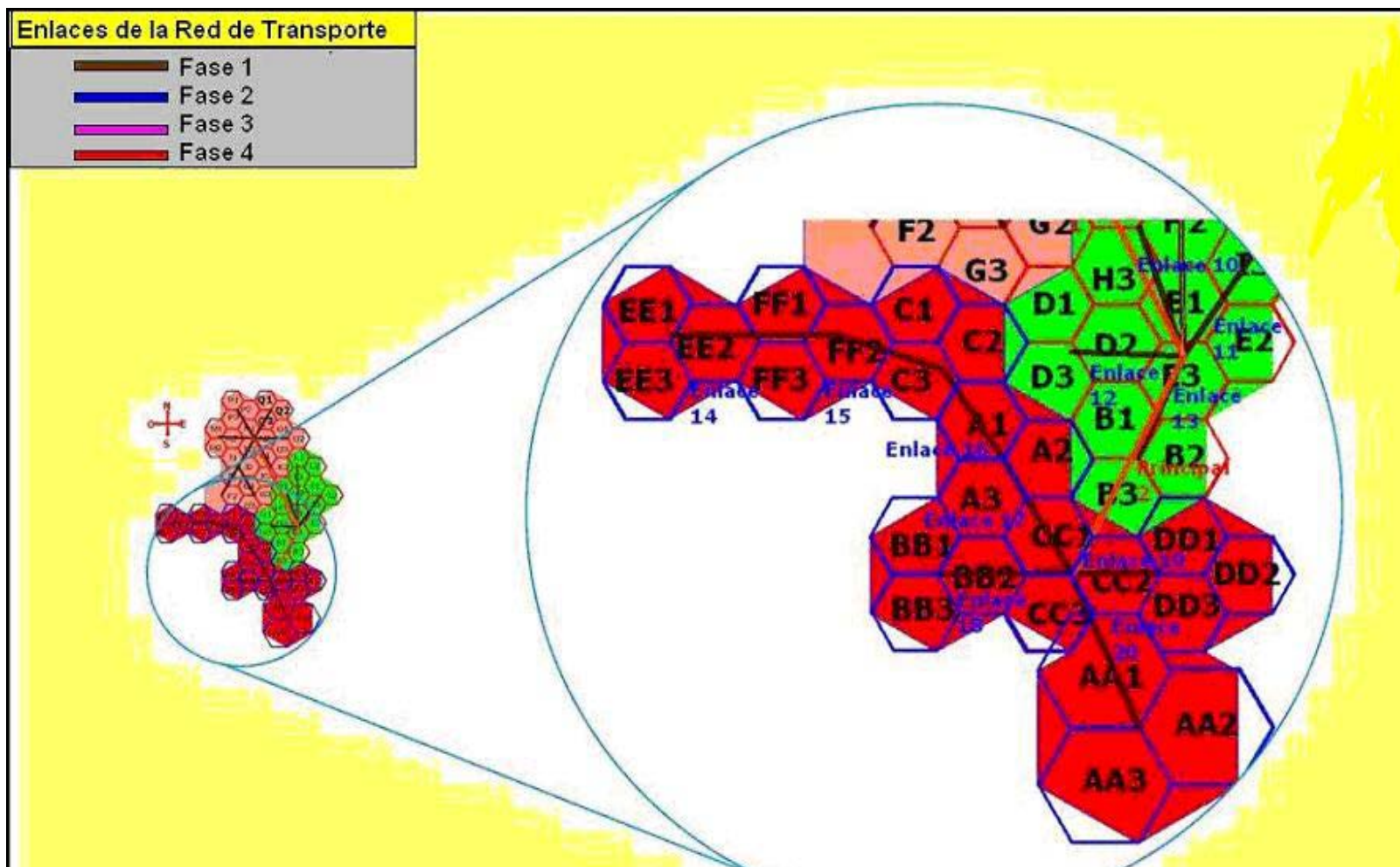


Figura 4.24 Red de Transporte (Área de Localización 3)

Se distingue en la Figura la segmentación de la topología en función de las áreas de localización (LA), donde los enlaces principales unen las controladoras de cada LA al MSC, mientras las ramas de la estructura en forma de árbol son los enlaces secundarios.

Las expectativas de crecimiento y participación en el mercado de nuestra red, nos obligan a buscar la solución más eficiente en cuanto al ahorro de recursos, pero a la vez debemos asegurar las condiciones de capacidad, calidad y escalabilidad de la red.

Así en el LA2, de color verde en la Figura 4.23 a-c, donde se tiene planificada la mayor división celular en la red y se estima que será la futura zona de cobertura de los servicios de 3ra Generación dada la concentración y tipo de usuarios del sector, se ha visto de manera conveniente adoptar como medio físico enlaces de fibra óptica, los cuales además de asegurar una velocidad de transferencia elevada, permitirán en el mediano plazo la implementación de ATM como tecnología de transporte para los servicios UMTS.

Mientras tanto en las LA externas donde no se tiene planificado el despliegue de UMTS en el periodo de estudio, los radio enlaces representan una alternativa viable dada las capacidades y anchos de banda necesarios,

además de ser una solución mucho menos compleja de implementar y más fácil de solventar por la empresa.

Los aspectos y análisis de costos serán realizados en el próximo capítulo.

4.2 Planificación GPRS

El despliegue de las funcionalidades GPRS se realizan sobre la estructura de la red GSM. La planificación de GPRS se concentra entonces básicamente en determinar los índices de consumo y los modelos de tráfico de las aplicaciones de transferencias de datos de mediana velocidad, para así calcular la capacidad adicional requerida por cada celda y por el sistema. En la Figura 4.25 se muestra un esquema simplificado del proceso de planificación GPRS [35].

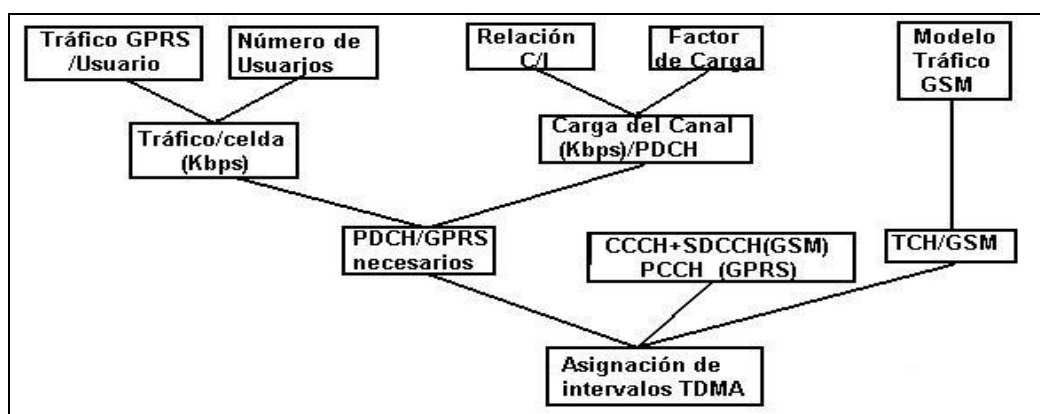


Figura 4.25 Proceso de Planificación de los recursos Radio de GPRS

Dependiendo de las tareas de dimensionado de tráfico, se debe diseñar y planificar las modificaciones a la red de transporte y núcleo de red.

4.2.1 Zonificación y expansión gradual

Dentro de la planificación GPRS, debe ser evaluado el criterio de la cobertura, en este análisis intervienen principalmente dos consideraciones o puntos de vistas:

Por un lado el aspecto técnico, ya que en la red acceso por ejemplo se necesitará la inclusión del PCU y se deberá implementar Frame Relay sobre los enlaces de la red de transporte.

La perspectiva comercial, deberá ser evaluada las características del sector para determinar si la demanda de los servicios GPRS será la suficiente para justificar la inversión del despliegue de la red.

Para el despliegue local de la red, nuestro diseño contempla la misma cobertura planteada para la red GSM, debido a:

La funcionalidad provista por el PCU será implementada de forma modular en las tres BSC de la red, lo que no implica mayores complicaciones de carácter técnico y de tiempo de implementación.

Para lograr las expectativas de mercado que este estudio se ha fijado, una de las hipótesis es brindar servicios de calidad a los usuarios en Guayaquil, por lo que buscamos ofrecer este tipo servicios en toda la ciudad.

Además, en vista del relativamente mediano tamaño de la ciudad, una estratificación de este servicio no parece factible, ni adecuado en este caso.

4.2.2 Dimensionamiento del tráfico

La red GPRS sustentará los servicios que impliquen la transferencia de datos, los dos servicios básicos que brindará nuestra red sobre esta plataforma son mostrados en la Tabla 4.41, en la cual además se incluye el valor promedio de velocidad de transferencia que requieren y sus características generales [36][37]:

Tabla 4.41 Servicios básicos en el dimensionado de la red GPRS

CARACTERÍSTICAS							
Servicio	Flujo	Tolerancia a Latencia	Tolerancia a Disponibilidad de red	Prioridad	Tolerancia a Errores	Protocolo de Transp.	Throughput Promedio (Kbps)
MMS	UP /DOWN	ALTA	ALTA	MEDIA / BAJA	MEDIA	UDP	8 a 16
WAP	DOWN	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA	UDP	8 a 32

Estos servicios se caracterizan por requerir una velocidad de transferencia media baja y un tiempo de respuesta no real, en especial el servicio de mensajería.

El tráfico GPRS comparte características muy similares al tráfico GSM desde la perspectiva de la estructura de la trama TDMA, de igual forma esta compuesto por: la carga o datos útiles propiamente dichos, y la señalización.

Mientras la carga adicional del tráfico de la celda generada por los servicios GPRS debe ser dimensionada para estimar los canales de tráfico GPRS que se ocuparán en la trama TDMA, los canales de señalización de ambas redes GSM y GPRS compartirán los mismos canales físicos.

4.2.2.1 Tráfico útil

Para el dimensionado del tráfico GPRS se parte del número de abonados GSM en la zona de cobertura y se estima el número de usuarios GPRS activos en la hora cargada, lo cual depende de los índices de penetración y consumo de los servicios, en las Figuras 4.26 y 4.27 se muestran las tasas de penetración y utilización de los servicios asumidas y su evolución a través de las fases de implementación.

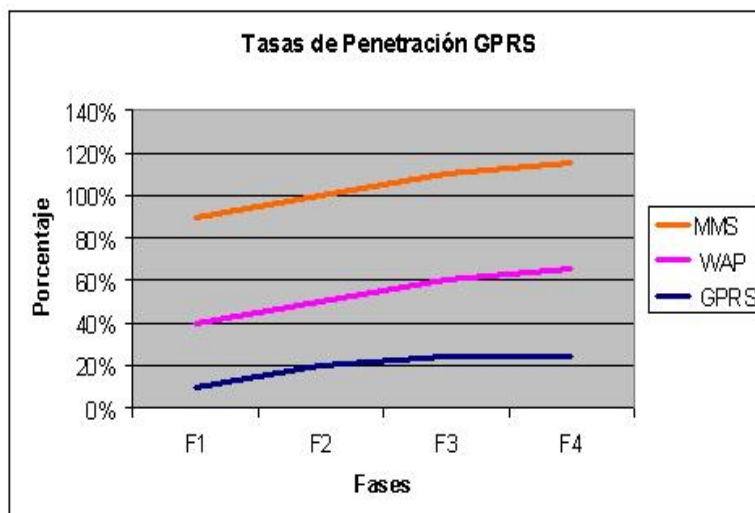


Figura 4.26 Tasas de penetración de los servicios GPRS

Debemos hacer hincapié nuevamente en la diferencia entre los conceptos expuestos en las Figuras 4.26 y 4.27, la penetración del servicio (es decir el número de usuarios que cuentan con él) es menor que la tasa efectiva de consumo de los mismos, esta hipótesis es mucho acentuada en mercados de escasos recursos como el ecuatoriano.

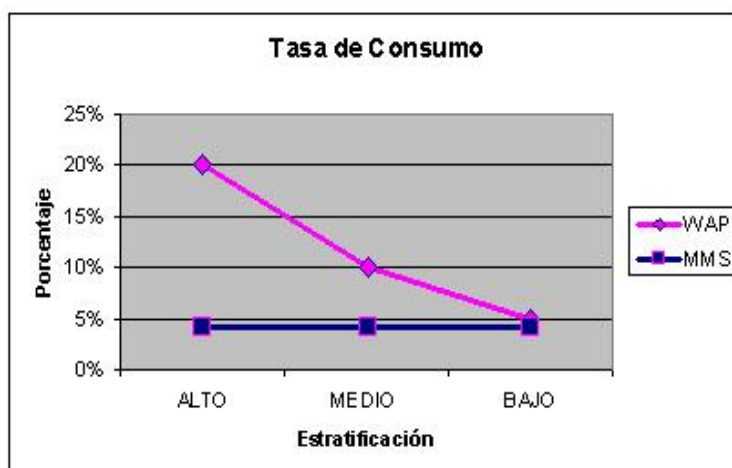


Figura 4.27 Tasas de consumo de los servicios GPRS

Al igual que en el caso del tráfico GSM, se ha realizado una estratificación del consumo de los servicios provistos bajo la red GPRS, así lo muestra la Figura 4.27. En efecto, se ha estimado un consumo equitativo para la tasa de servicio MMS dada las características de mercado local que nos llevan a asumir que el consumo de los SMS afectará las tasas de utilización de los mensajes multimedia; mientras que por el contrario se analiza una diferenciación en las tasas de consumo de la navegación WAP por la misma índole de diferencias económicas y comerciales dentro de la ciudad.

Luego se realiza la estimación del volumen de datos para cada servicio y se suman los resultados. Generalmente el cálculo se realiza para el enlace descendente que es habitualmente, el que cursa un mayor tráfico, por lo que será el condicionante del dimensionado.

Se determinan para un usuario medio genérico, la duración media de una ráfaga de datos y los números medios de bytes por ráfaga y de ráfagas por sesión GPRS, con el objeto de determinar el caudal medio (Kbits/s) de información por usuario, notándose que el caudal no representa una velocidad binaria, sino simplemente el número de bits transmitidos en una hora. En la Tabla 4.42 se muestran los parámetros usados para el modelo de tráfico empleado en la red, y que se encuentran dentro del rango de los

valores típicos del tráfico de datos cuya característica principal es su naturaleza de flujo en forma de ráfagas [37]

Tabla 4.42 Parámetros del modelo de tráfico GPRS

Duración de ráfaga	a	3	segundos
Volumen de datos por ráfaga	b	8	Kbytes/s
Duración media de sesión	c	300	segundos
Número medio de ráfagas por sesión	$d=c/a$	100	
Caudal medio en la ráfaga	$e=b*d/a$	21,3333333	Kbit/s
Caudal por usuario en la HC	$f=8*b*d/3600$	1,77777778	kbit/s
Factor de carga MLF	g	50	%
Número medio de sesiones en la HC	h	1	

Con el valor f de la tabla anterior y el monto estimado de los usuarios de los servicios se determina el caudal teórico por celda, este caudal debe ser reevaluado en función de los esquemas de codificación empleados en la transmisión y el factor de carga empleado en el diseño de la red.

Un aspecto fundamental para la transmisión de paquetes en GPRS, es la selección adecuada del esquema de codificación empleada en la interfase radio, se han desarrollado cuatro esquemas de codificación (CS), con diferentes caudales y grados de protección contra errores: El CS1 ofrece la máxima protección y el mínimo caudal, las características van variando hasta llegar al CS4, cuyo caudal es máximo y no otorga protección. Las

características de los CS se aprecian en la Figura 4.28, que ha sido aplicada para realizar los cálculos en nuestra red.

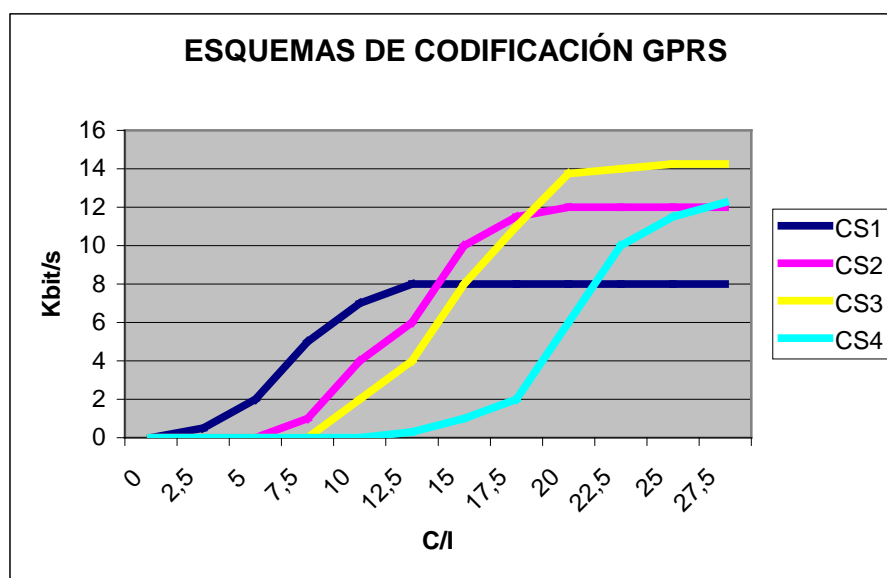


Figura 4.28 Esquemas de Codificación para GPRS

De la gráfica se puede apreciar la relación casi directa entre los niveles de C/I y el caudal soportado, concluimos que a mayor C/I existen menos posibilidades de errores y por ende el caudal real de la transmisión aumenta.

Dada las características esperadas de la red en cuanto a la relación de protección C/I y considerando los requerimientos en cuanto a velocidad, se decidió seleccionar como esquema de codificación el CS1 en toda la cobertura.

El cálculo final de los TS necesarios para satisfacer las demandas de tráfico GPRS es el siguiente:

$$TS / célula = Max \left[Int \left(\frac{f * Usuarios_{GPRS}}{Caudal_{Real}(C/I) * g} \right), Int \left(\frac{e}{Caudal_{Real}(C/I)} \right) \right] \quad \text{Ecuación 4.18}$$

Donde los parámetros mencionados obedecen a los valores expuestos en la Tabla 4.42

Por medio de las Tablas 4.43 a la 4.45 se muestran el número de TS necesarios por cada celda para satisfacer las tasas de consumo asumidas en cada fase de desarrollo de la red, se ha obviado los valores correspondientes a la Fase1 ya que en esta solo se tiene planificado un despliegue solo de GSM.

Estas Tablas incluyen para los servicios analizados:

- ❖ El número de usuarios referenciados al universo de usuarios GPRS estimados, y cuyas tasas de crecimiento son mostradas en la Figura 4.26.
- ❖ La tasa de consumo en función de los perfiles de tráfico de la celda.
- ❖ El caudal en Kbps que requerida la celda para satisfacer los requerimientos de los usuarios de dicha celda.
- ❖ Finalmente se obtiene el número de TS a partir de la Ecuación 4.18; que deben ser añadidos a la ya existente capacidad GSM.

Tabla 4.44 Dimensionado del Tráfico GPRS en la Fase 3

	Celda	WAP				MMS				Total		Celda	WAP				MMS				Total
		Usuario	Tasa	[Kbps]	TS	Usuario	Tasa	[Kbps]	TS				Usuario	Tasa	[Kbps]	TS	Usuario	Tasa	[Kbps]	TS	
1	A1	86,399	4,32	7,68	2	123,43	5,14	9,143	2	4	31	E1 3	47,655	4,77	8,472	2	68,078	2,84	5,043	2	4
2	A2	73,668	3,68	6,548	2	105,24	4,39	7,796	2	4	32	E2	4,7197	0,47	0,839	2	6,7424	0,28	0,499	2	4
3	A3	85,974	4,3	7,642	2	122,82	5,12	9,098	2	4	33	E3 1 1	47,137	4,71	8,38	2	67,339	2,81	4,988	2	4
4	B1 1	39,368	7,87	14	3	56,24	2,34	4,166	2	5	34	E3 1 2	47,137	4,71	8,38	2	67,339	2,81	4,988	2	4
5	B1 2	36,663	3,67	6,518	2	52,376	2,18	3,88	2	4	35	E3 1 3	46,978	4,7	8,352	2	67,111	2,8	4,971	2	4
6	B1 3	30,313	3,03	5,389	2	43,305	1,8	3,208	2	4	36	E3 2 1	49,942	4,99	8,879	2	71,346	2,97	5,285	2	4
7	B2 1 1	22,545	4,51	8,016	2	32,207	1,34	2,386	2	4	37	E3 2 2	46,136	4,61	8,202	2	65,908	2,75	4,882	2	4
8	B2 1 2	21,711	4,34	7,719	2	31,015	1,29	2,297	2	4	38	E3 2 3	57,662	11,5	20,5	4	82,374	3,43	6,102	2	6
9	B2 1 3	17,99	3,6	6,397	2	25,7	1,07	1,904	2	4	39	E3 3 1	57,727	11,5	20,53	4	82,467	3,44	6,109	2	6
10	B2 2	60,45	6,04	10,75	2	86,366	3,6	6,397	2	4	40	E3 3 2	58,153	11,6	20,68	4	83,076	3,46	6,154	2	6
11	B2 3	24,818	2,48	4,412	2	35,454	1,48	2,626	2	4	41	E3 3 3	52,319	5,23	9,301	2	74,742	3,11	5,536	2	4
12	B3 1	40,904	4,09	7,272	2	58,434	2,43	4,328	2	4	42	F3	63,619	3,18	5,655	2	90,885	3,79	6,732	2	4
13	B3 2	40,904	4,09	7,272	2	58,434	2,43	4,328	2	4	43	G1	76,044	3,8	6,759	2	108,63	4,53	8,047	2	4
14	B3 3	41,323	4,13	7,346	2	59,032	2,46	4,373	2	4	44	G2	67,925	3,4	6,038	2	97,036	4,04	7,188	2	4
15	C1	48,492	4,85	8,621	2	69,275	2,89	5,131	2	4	45	G3	35,732	1,79	3,176	2	51,046	2,13	3,781	2	4
16	C2	35,437	3,54	6,3	2	50,624	2,11	3,75	2	4	46	H1 1	61,917	6,19	11,01	2	88,453	3,69	6,552	2	4
17	C3	39,693	3,97	7,057	2	56,705	2,36	4,2	2	4	47	H1 2	60,956	12,2	21,67	4	87,081	3,63	6,45	2	6
18	D1 1	33,31	3,33	5,922	2	47,585	1,98	3,525	2	4	48	H1 3	55,047	5,5	9,786	2	78,639	3,28	5,825	2	4
19	D1 2	44,376	8,88	15,78	3	63,394	2,64	4,696	2	5	49	H2 1 1	20,053	4,01	7,13	2	28,647	1,19	2,122	2	4
20	D1 3	40,507	4,05	7,201	2	57,868	2,41	4,286	2	4	50	H2 1 2	36,081	7,22	12,83	3	51,545	2,15	3,818	2	5
21	D2 1 1	41,646	8,33	14,81	3	59,495	2,48	4,407	2	5	51	H2 1 3	19,54	3,91	6,948	2	27,914	1,16	2,068	2	4
22	D2 1 2	42,767	8,55	15,21	3	61,095	2,55	4,526	2	5	52	H2 2 1	24,57	4,91	8,736	2	35,1	1,46	2,6	2	4
23	D2 1 3	37,387	7,48	13,29	3	53,41	2,23	3,956	2	5	53	H2 2 2	24,996	5	8,888	2	35,709	1,49	2,645	2	4
24	D2 2 1	42,767	8,55	15,21	3	61,095	2,55	4,526	2	5	54	H2 2 3	24,57	4,91	8,736	2	35,1	1,46	2,6	2	4
25	D2 2 2	42,025	8,41	14,94	3	60,036	2,5	4,447	2	5	55	H2 3 1	33,342	6,67	11,85	2	47,631	1,98	3,528	2	4
26	D2 2 3	37,767	7,55	13,43	3	53,953	2,25	3,997	2	5	56	H2 3 2	32,326	6,47	11,49	2	46,18	1,92	3,421	2	4
27	D2 3	90,118	9,01	16,02	3	128,74	5,36	9,536	2	5	57	H2 3 3	47,135	4,71	8,379	2	67,335	2,81	4,988	2	4
28	D3	126,23	12,6	22,44	4	180,33	7,51	13,36	3	7	58	H3 1 1	33,302	6,66	11,84	2	47,575	1,98	3,524	2	4
29	E1 1	47,655	4,77	8,472	2	68,078	2,84	5,043	2	4	59	H3 1 2	32,381	6,48	11,51	2	46,258	1,93	3,427	2	4
30	E1 2	47,655	4,77	8,472	2	68,078	2,84	5,043	2	4	60	H3 1 3	33,476	6,7	11,9	2	47,823	1,99	3,542	2	4

Tabla 4.45 Dimensionado del Tráfico GPRS en la Fase 4

	Celda	WAP			MMS			Total		Celda	WAP			MMS			Total				
		Usuario	Tasa [Kbps]	TS	Usuario	Tasa [Kbps]	TS				Usuario	Tasa [Kbps]	TS	Usuario	Tasa [Kbps]	TS					
1	A1	129,829	6,49	11,54	2	162,29	6,76	12,02	3	5	39	D2 2 2 3	27,7731	6,39	11,36	2	34,716	1,45	2,572	3	5
2	A2	113,207	5,66	10,06	2	141,51	5,9	10,48	3	5	40	D2 2 3 1	27,7731	6,39	11,36	2	34,716	1,45	2,572	3	5
3	A3	130,582	6,53	11,61	2	163,23	6,8	12,09	3	5	41	D2 2 3 2	27,7731	6,39	11,36	2	34,716	1,45	2,572	3	5
4	B1 1 1	29,0887	6,69	11,89	2	36,361	1,52	2,693	3	5	42	D2 2 3 3	27,7731	6,39	11,36	2	34,716	1,45	2,572	3	5
5	B1 1 2	29,0887	6,69	11,89	2	36,361	1,52	2,693	3	5	43	D2 3 1	56,4617	6,78	12,05	3	70,577	2,94	5,228	3	5
6	B1 1 3	29,0887	6,69	11,89	2	36,361	1,52	2,693	3	5	44	D2 3 2	49,0908	5,89	10,47	2	61,363	2,56	4,545	3	5
7	B1 2	62,5043	7,5	13,33	3	78,13	3,26	5,787	3	5	45	D2 3 3	56,4617	6,78	12,05	3	70,577	2,94	5,228	3	5
8	B1 3	51,1734	6,14	10,92	2	63,967	2,67	4,738	3	5	46	D3 1	79,1299	9,5	16,88	3	98,912	4,12	7,327	3	5
9	B2 1 1	33,0826	7,61	13,53	3	41,353	1,72	3,063	3	5	47	D3 2	71,835	8,62	15,32	3	89,794	3,74	6,651	3	5
10	B2 1 2	31,3789	7,22	12,83	3	39,224	1,63	2,905	3	5	48	D3 3	79,1299	9,5	16,88	3	98,912	4,12	7,327	3	5
11	B2 1 3	25,1845	5,79	10,3	2	31,481	1,31	2,332	3	5	49	E1 1	79,9943	9,6	17,07	3	99,993	4,17	7,407	3	5
12	B2 2	103,515	12,4	22,08	4	129,39	5,39	9,585	3	5	50	E1 2	79,9943	9,6	17,07	3	99,993	4,17	7,407	3	5
13	B2 3	40,869	4,9	8,719	2	51,086	2,13	3,784	3	5	51	E1 3	79,9943	9,6	17,07	3	99,993	4,17	7,407	3	5
14	B3 1	70,288	8,43	14,99	3	87,86	3,66	6,508	3	5	52	E2	6,19641	0,74	1,322	2	7,7455	0,32	0,574	3	5
15	B3 2	70,288	8,43	14,99	3	87,86	3,66	6,508	3	5	53	E3 1 1	79,5419	9,55	16,97	3	99,427	4,14	7,365	3	5
16	B3 3	71,0115	8,52	15,15	3	88,764	3,7	6,575	3	5	54	E3 1 2	79,5419	9,55	16,97	3	99,427	4,14	7,365	3	5
17	C1	81,9816	9,84	17,49	3	102,48	4,27	7,591	3	5	55	E3 1 3	78,9273	9,47	16,84	3	98,659	4,11	7,308	3	5
18	C2	58,5702	7,03	12,49	3	73,213	3,05	5,423	3	5	56	E3 2 1 1	27,9553	3,35	5,964	2	34,944	1,46	2,588	3	5
19	C3	65,9341	7,91	14,07	3	82,418	3,43	6,105	3	5	57	E3 2 1 2	35,323	4,24	7,536	2	44,154	1,84	3,271	3	5
20	D1 1	55,8572	6,7	11,92	2	69,822	2,91	5,172	3	5	58	E3 2 1 3	27,9553	3,35	5,964	2	34,944	1,46	2,588	3	5
21	D1 2 1	29,2079	6,72	11,94	2	36,51	1,52	2,704	3	5	59	E3 2 2	77,738	9,33	16,58	3	97,172	4,05	7,198	3	5
22	D1 2 2	36,5735	8,41	14,95	3	45,717	1,9	3,386	3	5	60	E3 2 3 1	36,903	8,49	15,09	3	46,129	1,92	3,417	3	5
23	D1 2 3	29,2079	6,72	11,94	2	36,51	1,52	2,704	3	5	61	E3 2 3 2	44,2675	10,2	18,1	4	55,334	2,31	4,099	3	5
24	D1 3	68,5149	8,22	14,62	3	85,644	3,57	6,344	3	5	62	E3 2 3 3	36,903	8,49	15,09	3	46,129	1,92	3,417	3	5
25	D2 1 1 1	27,5419	6,33	11,26	2	34,427	1,43	2,55	3	5	63	E3 3 1 1	36,9427	8,5	15,11	3	46,178	1,92	3,421	3	5
26	D2 1 1 2	34,9131	8,03	14,28	3	43,641	1,82	3,233	3	5	64	E3 3 1 2	44,3071	10,2	18,12	4	55,384	2,31	4,103	3	5
27	D2 1 1 3	27,5419	6,33	11,26	2	34,427	1,43	2,55	3	5	65	E3 3 1 3	36,9427	8,5	15,11	3	46,178	1,92	3,421	3	5
28	D2 1 2 1	28,2256	6,49	11,54	2	35,282	1,47	2,613	3	5	66	E3 3 2 1	39,4139	9,07	16,12	3	49,267	2,05	3,649	3	5
29	D2 1 2 2	35,5945	8,19	14,55	3	44,493	1,85	3,296	3	5	67	E3 3 2 2	39,4139	9,07	16,12	3	49,267	2,05	3,649	3	5
30	D2 1 2 3	28,2256	6,49	11,54	2	35,282	1,47	2,613	3	5	68	E3 3 2 3	40,1503	9,23	16,42	3	50,188	2,09	3,718	3	5
31	D2 1 3 1	27,5419	6,33	11,26	2	34,427	1,43	2,55	3	5	69	E3 3 3	88,8732	10,7	18,96	4	111,09	4,63	8,229	3	5
32	D2 1 3 2	27,5419	6,33	11,26	2	34,427	1,43	2,55	3	5	70	F3	110,835	5,54	9,852	2	138,54	5,77	10,26	3	5
33	D2 1 3 3	27,5419	6,33	11,26	2	34,427	1,43	2,55	3	5	71	G1	134,73	6,74	11,98	2	168,41	7,02	12,48	3	5
34	D2 2 1 1	28,2256	6,49	11,54	2	35,282	1,47	2,613	3	5	72	G2	118,59	5,93	10,54	2	148,24	6,18	10,98	3	5
35	D2 2 1 2	35,5945	8,19	14,55	3	44,493	1,85	3,296	3	5	73	G3	52,2229	2,61	4,642	2	65,279	2,72	4,835	3	5
36	D2 2 1 3	28,2256	6,49	11,54	2	35,282	1,47	2,613	3	5	74	H1 1	104,974	12,6	22,39	4	131,22	5,47	9,72	3	5
37	D2 2 2 1	27,7731	6,39	11,36	2	34,716	1,45	2,572	3	5	75	H1 2 1	40,9348	9,42	16,74	3	51,169	2,13	3,79	3	5
38	D2 2 2 2	35,1435	8,08	14,37	3	43,929	1,83	3,254	3	5	76	H1 2 2	40,9348	9,42	16,74	3	51,169	2,13	3,79	3	5

4.2.2.2 Tráfico de Señalización

Con el objeto de optimizar el rendimiento de las redes GSM/GPRS el estándar incluye la posibilidad de utilizar una configuración compartida de los canales físicos ó TS asignados para sustentar los canales lógicos de señalización tanto de GSM como de GPRS [38].

Esta configuración por lo general se recomienda para la fase inicial de despliegue de las funcionalidades GPRS, pero debido a las moderadas tasas de consumo de los servicios GPRS localmente, se ha previsto que esta configuración sea aplicada a lo largo del ciclo de trabajo de la red. Las principales condicionantes para la aplicación de esta técnica son:

- ❖ La tasa de utilización de los canales de señalización ascendentes en GSM (RACH) no debe sobrepasar el 20%.
- ❖ La tasa de utilización de los canales de señalización descendentes en GSM (PCH, AGCH, BCH) no debe sobrepasar el 50%



Figura 4.29 Tasa de Utilización de la de señalización GSM/GPRS

En la Figura 4.29 se muestra la evolución de las tasas de utilización de los recursos o canales para la señalización, algunas conclusiones del gráfico son:

- ❖ La baja tasa de uso de los canales ascendentes es debido al gran número de TS que forman su trama.
- ❖ Por el contrario, en el enlace descendente se da una mayor tasa de uso de los canales en función de los pocos TS y del número de funciones que deben sustentar.

4.2.3 Asignación de Intervalos TDMA

El resultado del dimensionado del tráfico GSM y GPRS, tanto de la carga útil como de la señalización asociada a las comunicaciones, es determinar la dotación del número de radiocanales y a su vez de portadoras en una celda.

La dotación de una celda obedece a la siguiente ecuación:

$$TS / celda = TCH + SDCCH + PDCH + Señaliz. \quad \text{Ecuación 4.19}$$

Donde ocho TS son sustentados por una portadora P, es común entonces en el dimensionado de recursos que existan TS libres, para esta situación se describe el siguiente esquema:

$$TS_{total} = TS_{fijo} GPRS + TS_{fijo} GSM + TS_{mix} \quad \text{Ecuación 4.20}$$

El uso de los TS mixtos o conmutables es como sigue: En ausencia del tráfico GSM, se ofrecen al GPRS. Si se produce un incremento en las llamadas GSM se dedican a este servicio, el tráfico de voz tiene mayor prioridad que el de datos. El uso de los canales conmutables será muy eficiente cuando no coincidan las horas cargadas de tráfico de voz y datos.

4.2.4 Redimensionamiento y modificaciones de la Red

Una de las principales modificaciones en la red se encuentra en el subsistema de distribución o de transporte, es la adopción de una tecnología como Frame Relay [39] sobre los enlaces que conectan a las PCU en las estaciones controladoras con el CN (la llamada Interfaz Gb). El nuevo servicio de transmisión de datos requiere de una tecnología capaz de manejar cierto grado de calidad de servicio como es la retrasmisión de tramas.

Frame Relay ofrece una conectividad permanente, compartida, de ancho de banda mediano, perfecto para cursar tanto tráfico de voz como de datos, es un protocolo mucho más sencillo que funciona al nivel de la capa de enlace de datos y no realiza ningún control de errores o flujo, lo que resulta en un menor nivel de latencia.

Además de la adopción de una nueva tecnología de capa de enlace por la implementación del servicio de transmisión de datos, los requerimientos de la red se han incrementado, aumentando así tanto el número de celdas como su carga de tráfico correspondiente. Para observar los nuevos enlaces compare las Figuras 4.22 a 4.24 con los datos de la Tabla 4.46 que muestra los nuevos valores de capacidad para cada uno de los enlaces.

Tabla 4.46 Capacidad de los enlaces en la Fase 2

FASE2					
ENLACES	NODOS		DISTANCIA (m)	CANALES	E1
Enlace1	P	BSC1	3486,82	30	2
Enlace2	Q	BSC1	3546,1	30	2
Enlace3	M	BSC1	3767,47	30	2
Enlace4	O	BSC1	3509,1	30	2
Enlace5	J	BSC1	3464,1	77	3
Enlace6	K	BSC1	3441,82	33	2
Enlace7	F	J	3419,1	11	1
Enlace8	G	J	3486,82	35	2
Enlace9	L	MSC/BSC2	5147,05	30	2
Enlace10	H	MSC/BSC2	1274,12	451	16
Enlace11	I	MSC/BSC2	3848,88	35	2
Enlace12	D	MSC/BSC2	2898,94	203	7
Enlace13	B	MSC/BSC2	2907,88	111	4
Enlace14	EE	FF	4242,96	30	2
Enlace15	FF	C	2939,68	63	3
Enlace16	C	A	2788,06	99	4
Enlace17	A	BSC3	3486,81	135	5
Enlace18	BB	BSC3	3457,21	33	2
Enlace19	DD	BSC3	2308,67	33	2
Enlace20	AA	BSC3	4394,18	36	2
Enlace21	H1	H	1156,45	57	2
Enlace22	H2	H	1761,2	58	2
Enlace23	H3	H	1153,43	66	3
Enlace24	D1	D	1371,57	36	2
Enlace25	D2	D	1192,37	61	3
Enlace26	E1	E	1334,56	36	2
Enlace27	E3	E	688,12	87	3
Enlace28	B1	B	1137,42	36	2
Enlace29	B2	B	999,15	39	2
Enlace30	B3	B	1162,05	36	2
Enlace31	CC2	CC	1130,32	36	2
Principal1	BSC1	MSC/BSC2	10399,15	308	11
Principal2	BSC3	MSC/BSC2	6339,8	487	17

Comparando las Tablas 4.40 y 4.46 se puede notar un considerable aumento en los requerimientos de capacidad de los enlaces, esto no es solo resultado del incremento en las tasas de usuarios y consumo de servicios sino también es fruto de la contribución requerida por las aplicaciones GPRS a la red.

En lo que respecta al redimensionado de las entidades funcionales ya existentes, cabe indicar que en su selección ya fueron evaluados y

considerados los requisitos tanto de capacidad como de funcionalidad inherentes a GPRS, más sin embargo tanto en este subsistema como en el CN se requieren elementos e interfases nuevas. Se han tomado las siguientes consideraciones:

- La serie UltraSite de BTS de Nokia que fue seleccionada como parte de la solución Integral para la red, posee entre sus características el soporte de las funcionalidades radio de GPRS sin cambio alguno en su hardware. (Ver Apéndice E).
- La implementación de GPRS no afecta en nada la capacidad de las BSC para manejar el servicio de voz, pero para soportar los servicios de datos se requerirá incorporar básicamente una PCU por cada BSC en la cual se haya planificado brindar estos servicios, la cual es responsable de separar el tráfico de conmutación por circuitos y de paquetes del usuario, y enviarlos a la red GSM ó GPRS respectivamente. Entre las especificaciones generales de una PCU obtenida como solución en el mercado tenemos que puede manejar hasta 256 canales GPRS (Ver Apéndice E), este aspecto de capacidad debe ser analizado en función de los datos generales referente al dimensionado GPRS de nuestra red que se resumen en la Tabla 4.47.

De los resultados expuestos en la Tabla 4.47 se desprende que serán necesarios en el diseño final 4 unidades PCU, repartidas de la siguiente manera:

- ❖ 1 PCU para la LA1
- ❖ PCU para la LA2
- ❖ 1 PCU para la LA3

Tabla 4.47 Resumen de la Capacidad de Tráfico GPRS de los BSC

Fase 2					
BSC	Usuarios GPRS	TS (WAP)	TS (MMS)	Canales GPRS	Caudal (Kbps)
1	760	50	50	100	92,9
2	3666	91	76	167	449,06
3	1922	52	52	104	135,58
Fase 3					
1	2770	50	50	100	188,82
2	7154	147	125	272	905,46
3	3652	52	52	104	288,8
Fase 4					
1	4193	53	54	107	295,54
2	11060	260	198	458	1684,4
3	5370	62	56	118	484,23

En el CN se necesitará incorporar elementos especializados en el tratamiento de los servicios de conmutación de paquetes (datos), los principales son el

SGSN (equivalente al MSC de la red GSM) y el GGSN (provee la conexión de la red GPRS con redes externas). La plataforma seleccionada como solución incluye un SGSN cuya característica principal es manejar una capacidad escalable de entre 30000 a 120000 subscriptores GPRS, lo cual se acomoda perfectamente a las condiciones de nuestro proyecto, bastando asumir la configuración mínima de este. Mientras que para el GGSN se ha tenido en consideración características como el número de túneles GTP [15] soportados, cantidad de puntos de acceso, compatibilidad con 3G y demás funciones propias de las redes que manejan protocolo IP (Ver Apéndice E.)

4.3 Planificación UMTS

La necesidad por parte de los operadores de poder incrementar la capacidad de sus redes minimizando los costos involucrados y maximizando los beneficios a sus usuarios, los cuales requieren cada vez mejores y más sofisticados servicios, impulsó el desarrollo de la 3G, y UMTS se presenta como la respuesta por parte de la familia de tecnologías GSM.

Un aspecto a considerar antes de profundizar en el proceso de planificación de la red UMTS como tal, es la inclusión de la técnica conocida como EDGE [32] en la red GSM/GPRS como una plataforma intermedia, que le permita al

operador poder ofrecer en la totalidad del área de cobertura GPRS los beneficios de un incremento considerable de la capacidad y rendimiento.

En efecto EDGE sumado a la estructura de la red GSM/GPRS incrementa las velocidades de transferencia de datos en un factor de 3 comparado con GPRS y duplica su eficiencia espectral, así la red puede llegar a ofrecer tasas entre 110 y 130 Kbps, lo que aún se considera banda angosta.

Esta optimización la logra en la interfaz radio aplicando básicamente 3 técnicas:

- ❖ Uso de un nuevo esquema de modulación, 8-PSK
- ❖ Aplicación esquemas de codificación múltiples y variables de acuerdo a las condiciones del entorno.
- ❖ Incremento porcentual de datos correctores de errores en cada retransmisión.

Además, el despliegue EDGE no implica incorporación alguna de nuevos elementos en la arquitectura, de hecho en las redes actuales este proceso no es más que una actualización de software de los elementos de la red, y se estima que el costo de actualizar la red oscila entre \$1 y \$2 por usuario, los mismos que podrán aprovechar las ventajas de esta tecnología porque la mayoría de los terminales admiten esta técnica, facilitando una evolución fluida y natural.

La migración de una red GSM/GPRS madura, hacia UMTS es concebida de tal manera que el operador aproveche los recursos existentes principalmente en los elementos del núcleo de red. Aunque por otra parte, se requiere una fuerte inversión técnica y económica en la interfaz radio y de transporte de la red, cuyo objetivo primordial es incrementar su capacidad y calidad de servicio.

En la Figura 4.30 se muestra el proceso básico de planificación UMTS

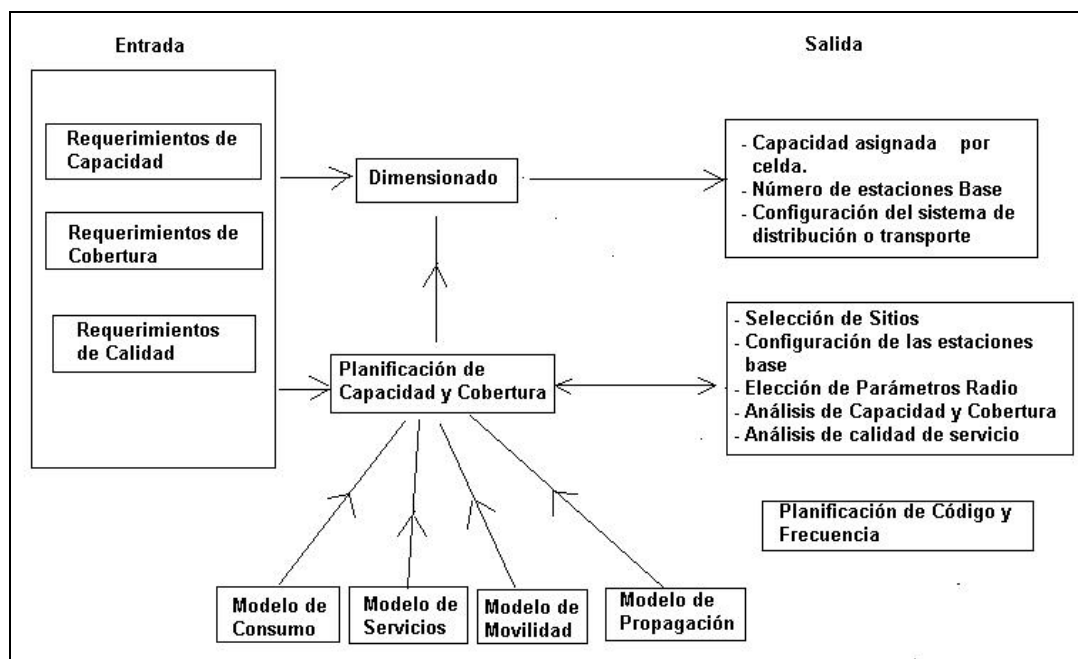


Figura 4.30 Proceso de planificación de UMTS

El empleo de una técnica diferente de acceso como lo es WCDMA, trae consigo nuevos aspectos técnicos y desafíos en la planificación, entre los que podemos mencionar:

- ❖ Relación de dependencia entre la cobertura y la capacidad del sistema
- ❖ Reutilización de emplazamientos.
- ❖ Administración y asignación de códigos.
- ❖ Balance de tráfico
- ❖ Traspasos suaves

En las siguientes secciones se analizarán en detalle las etapas de la planificación de la red de acceso y las modificaciones necesarias en la red de transporte.

4.3.1 Zonificación y Expansión Gradual

La planificación de la red para este estudio se enfoca básicamente ha analizar los desafíos y problemáticas involucradas en el despliegue inicial de UMTS basándose en una estructura GSM/GPRS ya sólida, sin embargo la implementación total de la red UMTS se plantea en 3 etapas muy bien diferenciadas:

- ❖ **Despliegue UMTS inicial:** Solo una porción del área de cobertura tiene UMTS. GSM brindará cobertura continua y UMTS ofrecerá servicios optimizados y específicos a un determinado sector.

- ❖ **Interfuncionamiento optimizado UMTS y GSM/GPRS:** La cobertura UMTS será continua. La red de acceso será seleccionada basándose en la demanda de servicio y carga.
- ❖ **Capacidad de red Multi-radio completa:** Denso despliegue de UMTS, incluyendo microceldas y el uso de más de una portadora WCDMA. Se plantea la convergencia con otras redes de acceso como las WLAN.

Las características comerciales del mercado local, como las tasas y perfiles de consumo en los distintos puntos de la ciudad, obligan a zonificar el área de cobertura.

Un despliegue total de la red UMTS resulta demasiado ambicioso y hasta cierto punto ineficiente dadas las marcadas diferencias de los tipos de servicios y las tasas de tráfico que se requieren, las características de las zonas comerciales no son las mismas que en los sectores residenciales ni periféricos de la ciudad. Además se ha planteado como recientemente se mencionó la incorporación de EDGE a la red GSM/GPRS lo que permitirá que las zonas no atendidas por la cobertura UMTS poder contar una tasa de transferencia y por ende servicios bastante aceptables.

Entonces, el diseño de la red planifica un área de cobertura inicial focalizada hacia el sector céntrico de la ciudad, posteriormente a lo largo del período de trabajo se ampliará la cobertura.

En la Figura 4.31 se puede apreciar la expansión en cuanto al despliegue de cobertura de la red en sus fases de evolución.

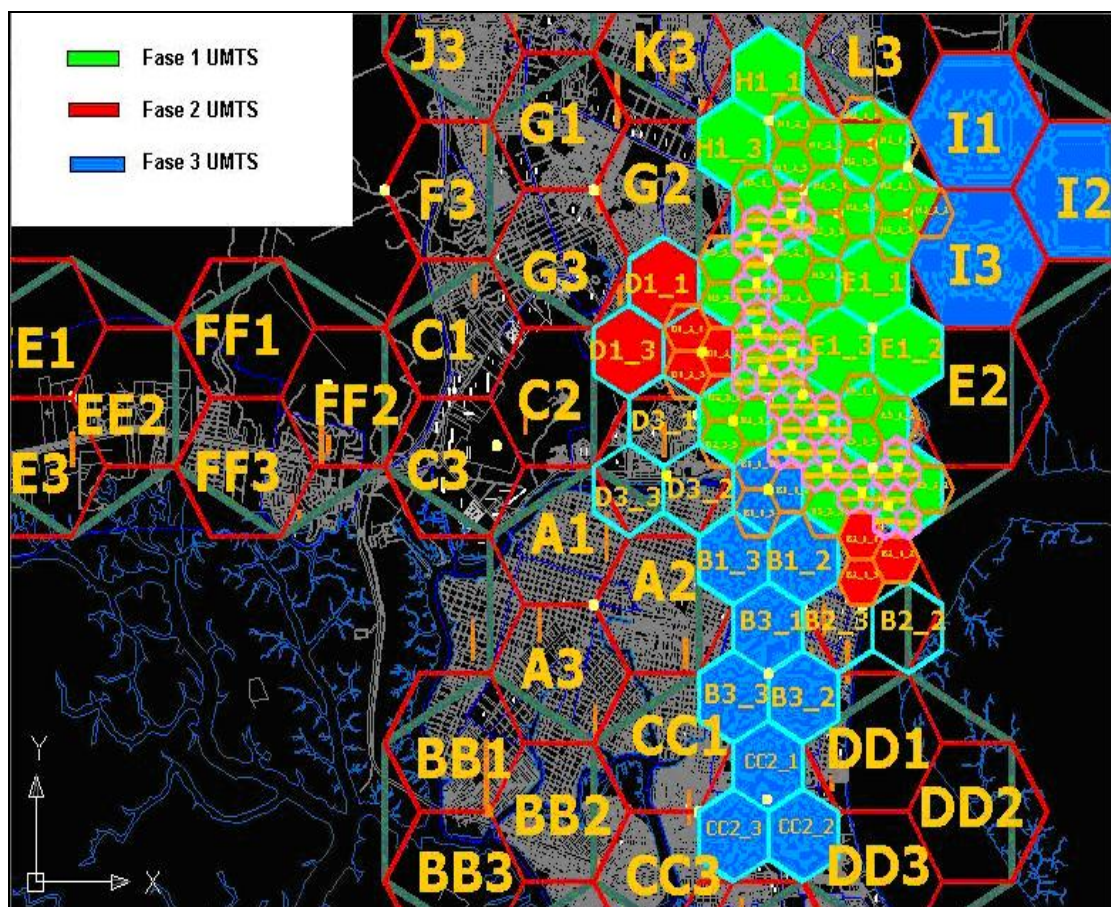


Figura 4.31 Zonificación y crecimiento gradual de la cobertura UMTS

4.3.2 Dimensionado de la Red de Acceso

El estándar UMTS adoptó como técnica de acceso a WCDMA, que resulta ser una variante de CDMA que incrementa la capacidad y calidad del sistema.

En WCDMA se da una relación de interdependencia entre la interferencia, la capacidad y la cobertura del sistema, como se explico en 2.3.6.

El dimensionado de la red UMTS para Guayaquil y el análisis de la relación entre los factores mencionados anteriormente se realiza a continuación.

4.3.2.1 Análisis de Cobertura

La mayor complejidad existente en el acceso se manifiesta en la llamada **respiración celular**, las celdas dilatan o contraen su radio dinámicamente en función de los cambios que experimenten en la carga de su tráfico.

La planificación debe primordialmente asegurar un radio máximo nominal que coincidirá con los radios fijos usados en las Fases de División Celular de la red GSM, dada la estrategia de reutilización de emplazamientos. Luego es función de los mecanismos de control de potencia manejar los niveles de transmisión de forma que garanticen la adecuada calidad de los servicios.

A continuación se presenta los cuadros de balance de potencias tanto para el enlace ascendente como el descendente:

Tabla 4.48 Balance de Potencias del Enlace Ascendente

BALANCE DE POTENCIA EN EL ENLACE ASCENDENTE			Servicios			
			Voz	Correo	WEB	Video
a	Tasa binaria (Kbps)		12,2	64	144	384
b	Ganancia de Procesado	$b=3840/a$	314,7541	60	26,6667	10
c	Relación Eb/lo (dB)		5	2	1,5	3
d	Factor k	$d=b/(10^{(c/10)})$	99,53399	37,8574	18,8786	5,01187
e	Factor de actividad		0,4	0,55	0,55	1
f	Factor de reutilización		1,56			
g	Carga Celular		65%			
TX (Móvil)						
H	Potencia de Transmisión (W)		0,125			
h	(dBm)	$h=10^{*}\log(H^{*}1000)$	20,96910013			
i	Ganancia de Antena TX (dB)		0			
j	Pérdidas en terminales TX (dB)		0			
k	PIRE (dBm)	$k=h+i-j$	20,96910013			
Rx (Base)						
l	Ganancia de Antena RX (dB)		18			
m	Pérdidas en Terminales RX (dB)		2			
n	Factor de Ruido Rx (dB)		5			
o	Margen de Interferencia (dB)	$o=-10^{*}\log(1-g/100)$	4,559319556			
p	Umbral de Recepción (dB)	$p=-108-10^{*}\log(d+e)+n+o$	-118,438	-114,285	-111,33	-106,23
q	Margen Log-Normal (dB)		7			
r	Ganancia por SHO (dB)		3			
s	Margen de desvanecimiento rápido (dB)		4			
t	Pérdidas por cuerpo humano (dB)		3			
u	Pérdidas por Interiores (dB)		15			
v	Pérdidas Totales (dB) (Indoor)	$v=k+l-m-p-q+r-s-t-u$	129,4069	125,254	122,294	117,2
w	Distancia (COST-HATA) (Km) (Indoor)	$w=10^{*}[(v-145,3)/38]$	0,381734	0,29681	0,24808	0,18219
x	Pérdidas Totales (dB) (Outdoor)	$x=k+l-m-p-q+r-s-t$	144,4069	140,254	137,294	132,2
y	Distancia (COST-HATA) (Km) (Outdoor)	$y=10^{*}[(x-145,3)/38]$	0,947322	0,73656	0,61563	0,45213

En la parte superior de los balances se incluyen los parámetros propios del diseño de la red tales como los factores de reutilización, actividad y ortogonalidad, y de igual manera se especifican los parámetros de radiación empleados.

Analizando el resultado y las magnitudes de los radios que arrojan los balances, notamos que es el enlace ascendente el que limita el radio máximo de la celda, además a mayor velocidad de transferencia demandada por los servicios, mayor es la condicionante para la cobertura.

Tabla 4.49 Balance de Potencias del Enlace Descendente

BALANCE DE POTENCIA EN EL ENLACE DESCENDENTE			Servicios			
			Voz	Correo	WEB	Video
a	Tasa binaria (Kbps)		12,2	64	144	384
b	Ganancia de Procesado	$b=3840/a$	314,7541	60	26,66667	10
c	Relación Eb/Io (dB)		5	2	1,5	3
d	Factor k	$d=b/(10^{(c/10)})$	99,53399	37,85744	18,87855	5,011872
e	Factor de actividad		0,4	0,55	0,55	1
f	Factor de reutilización		1,56			
g	Factor de Ortogonalidad		0,4			
h	Carga Celular		65%			
TX (Base)						
i	Potencia Total del Nodo B (W)		20			
j	Potencia Canales de Control (W)		2			
k	Pérdidas Terminales Nodo B (dB)		1,5			
l	Ganancia de la Antena TX (dBi)		18			
m	Factor de Ruido (dB)		5			
n	Pérdida de Transmisión (dB)	$n=10*\log\{[i*(1-h/100)-j*(1+(1-e)*h/e/100)]+10*\log\{e*(1-g+f)*100/h\}+138-m$	139,2958	140,3196	139,5753	139,5753
RX (Móvil)						
o	Ganancia antena RX (dB)		0			
p	Pérdidas en terminales RX (dB)		0			
q	Margen Log-normal (dB)		7			
r	Ganancia por SHO (dB)		3			
s	Margen de Desvanecimiento lento (dB)		4			
t	Pérdidas por el cuerpo humano (dB)		3			
u	Perdidas por interiores (dB)		15			
v	Pérdidas Totales (Indoor)	$v=n-k+l+o-p-q+r-s-t-u$	129,7958	130,8196	130,0753	130,0753
w	Distancia (COST-HATA) (Indoor)	$w=10^{(v-145,3)/38}$	0,390837	0,415849	0,397511	0,397511
x	Pérdidas Totales (Outdoor)	$x=n-k+l+o-p-q+r-s-t$	144,7958	145,8196	145,0753	145,0753
y	Distancia (COST-HATA) (Outdoor)	$y=10^{(x-145,3)/38}$	0,969913	1,031984	0,986475	0,986475

La relación entre la cobertura obtenida y la capacidad viene dada en los balances por el denominado Factor de Carga, en las Figura 4.32 y 4.33 se muestra el efecto de la variabilidad de la carga sobre el radio celular.

Si comparamos las tendencias de las curvas de cada enlace, se puede apreciar que es en el enlace descendente donde la variación de capacidad es más sensible. Esto se puede explicar en el hecho de que al aumentar el número de usuarios en una celda y la potencia total de la base es compartida, el control de potencia obliga a disminuir el radio de cobertura original.

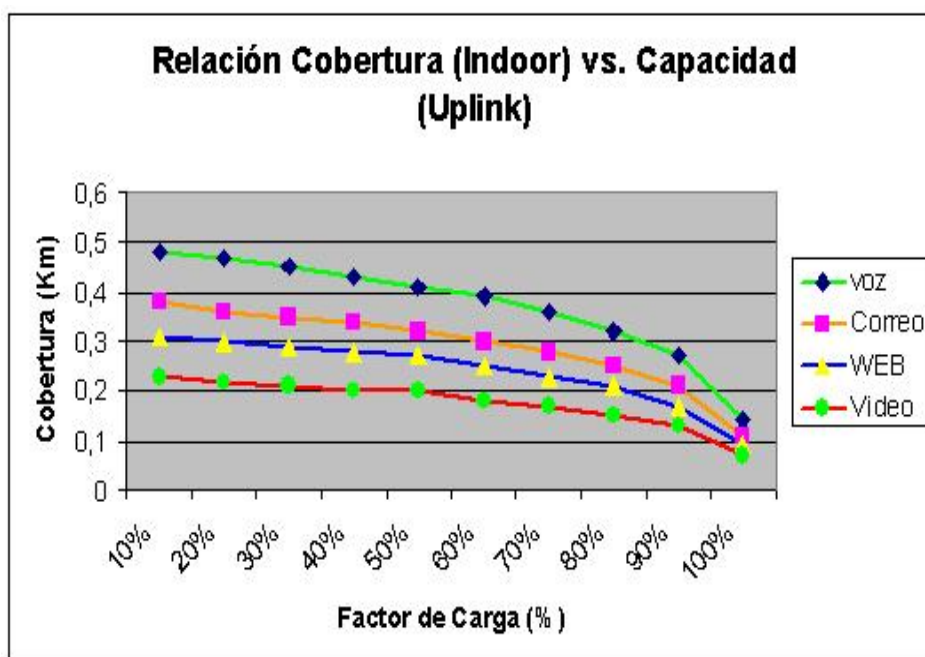


Figura 4.32 Relación entre la Cobertura y la Capacidad en el Uplink

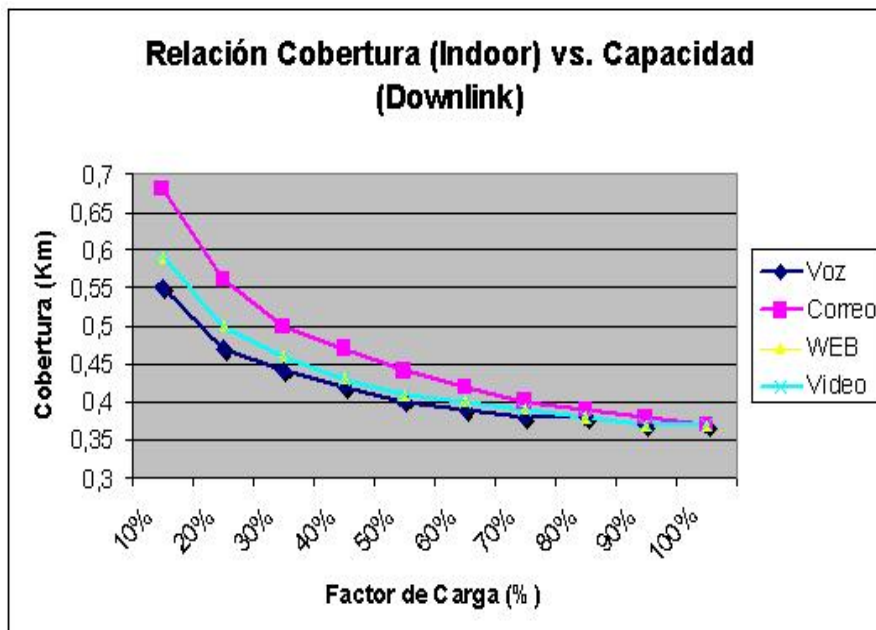


Figura 4.33 Relación entre la Cobertura y la Capacidad en el Downlink

Aún sin evaluar ni dimensionar los parámetros de capacidad del sistema, podemos concluir que las limitantes de cobertura están marcadas por el enlace ascendente, mientras la capacidad es denotada en el enlace descendente.

4.3.2.2 Análisis de Capacidad

La segunda fase del dimensionado y análisis de la interfase UTRAN es la estimación del tráfico soportado por cada celda. Como ya se mencionó previamente debe buscarse un compromiso entre la capacidad y cobertura que viene dado por el parámetro conocido como Factor de Carga, que es el cociente o relación entre la capacidad actual del sistema y su valor máximo.

Capacidad Enlace Ascendente

Para la evaluación de la capacidad ascendente, se adoptan las siguientes hipótesis:

- ❖ Las estaciones móviles están distribuidas de modo uniforme en las células.
- ❖ Existe un Control de potencia ideal.
- ❖ Cada estación móvil está conectada a la “mejor” estación base servidora.
- ❖ La interferencia producida sobre la estación base es de tipo gaussiano.

Hay que evaluar la interferencia recibida en la estación base procedente de las estaciones móviles situadas dentro de la célula cubierta por la estación base (interferencia intracelular), y las situadas en las células vecinas (interferencia intercelular)

Si en la célula hay S_v servicios y M_j móviles de servicio j -ésimo, la carga celular será:

$$CL = \sum_{j=1}^{S_v} l_j \cdot M_j \quad \text{Ecuación 4.21}$$

El valor de CL es un parámetro de diseño que se establece entre 60 y 70%, valores inferiores producen una estimación subestimada de la capacidad, mientras que tasas superiores conllevan inestabilidad en el sistema.

Los móviles activos M están condicionado por las tasas de consumo y penetración de los servicios, y limitada por la carga máxima dada por:

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{k}{f \cdot a} \quad \text{Ecuación 4.22}$$

Mientras el factor de carga l_j de la conexión j -ésima obedece a:

$$l_j = f \cdot \frac{i_{producida}}{i_{total}} = f \cdot \frac{a_i \cdot p_i}{i_{total}} \quad \text{Ecuación 4.23}$$

Los parámetros de Factor de actividad del canal físico (a) y Factor de reutilización (f) son parámetros de diseño, por otro lado los términos k , p_i e i_{total} se obtienen mediante las siguientes ecuaciones:

$$k = \frac{pg_i}{\left(\frac{e_b}{i_o}\right)_i} \quad \text{Ecuación 4.24}$$

$$p_i = \frac{i_{total}}{k_i + a_i} \quad \text{Ecuación 4.25}$$

$$i_{total} = \frac{P_N}{1-CL} = \frac{W * F_{sis} * 10^{-\left(\frac{174}{10}\right)}}{1-CL}$$

Ecuación 4.26

En la siguiente tabla, se muestran los valores de los parámetros utilizados para cada uno de los servicios previstos, y la capacidad tanto de usuarios como de carga soportada:

Tabla 4.50 Cuadro de Capacidad para el enlace ascendente

CAPACIDAD DEL ENLACE ASCENDENTE				SERVICIOS				
				voz	Datos-CS	Datos-PS	Video	
a	Tasa binaria	R	(kbits/s)	12,2	64	144	384	384
b	Tasa de Bloqueo	BLER		1%	10%	10%	10%	10%
c	Factor de actividad	a		0,4	1	0,55	0,55	1
d	Relación Eb/lo	Eb/lo	dB	5	2	1,5	3	0,4
e	Tasa Mc	W		3840				
f	Ganancia de Procesado	pg		314,754	60	26,6667	10	10
g	Factor k			99,534	37,85744	18,8786	5,01187	9,120108
h	Factor de reutilización	f		1,56				
i	Capacidad Asintótica	Mmax		159,51	24,26759	22,003	5,84134	5,846223
j	Carga Celular	CL	%	65%				
k	Capacidad real	M		103,681	15,77393	14,3019	3,79687	3,800045
l	Umbral de ruido	nrf		2,85714				
		Nrf	dB	4,55932				
m	Factor de ruido del RX	Fsis	dB	5				
		fsis		3,16228				
n	Potencia de Ruido Térmico	pn		4,8E-17				
o	Potencia de RX usuario i	pi		1,4E-18	3,55E-18	7,1E-18	2,5E-17	1,36E-17
p	Interferencia Total	iTotal		1,4E-16				
q	Factor de carga	l		0,00624	0,040147	0,04416	0,15426	0,154149
r	Interferencia Interna	i _{int}		5,7E-17	5,61E-17	5,6E-17	5,2E-17	5,19E-17
			dB	-162,42	-162,513	-162,52	-162,852	-162,851
s	Interferencia Externa	i _{ext}		3,2E-17	3,14E-17	3,1E-17	2,9E-17	2,9E-17
			dB	-164,94	-165,031	-165,04	-165,37	-165,369
t	USUARIOS y SERVICIOS SIMULTANEOS			5	2	8	0	1
u	Carga		Kbps	61	128	1152	0	384
v	Throughput		Kbps	60,39	115,2	1036,8	0	345,6
								1557,99

En la fila t de la Tabla 4.50 se muestra el número de usuarios simultáneos de cada aplicación a los que se garantiza la calidad de servicios requerida.

Puede darse cualquier combinación de números de usuarios por servicio siempre que cumplan con la ecuación.

La relación entre el Factor de Carga seleccionada y la capacidad soportada por el sistema es representada en las Figuras 4.34 y 4.35

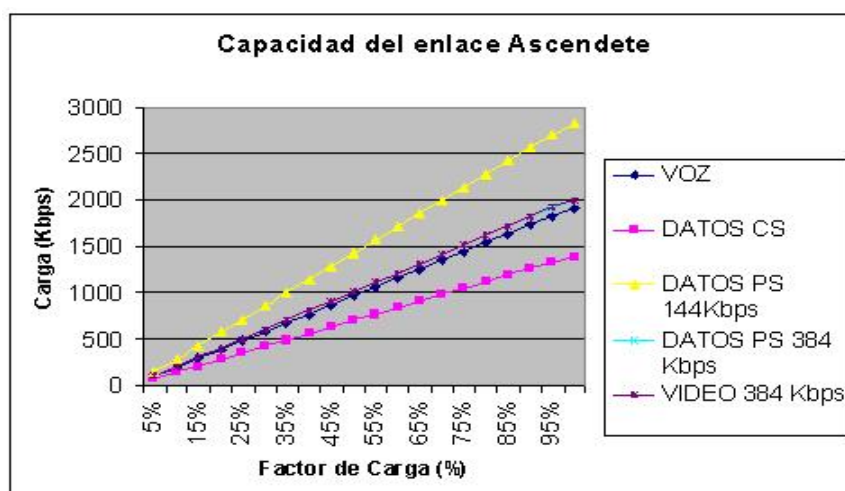


Figura 4.34 Carga de tráfico soportada en el enlace ascendente

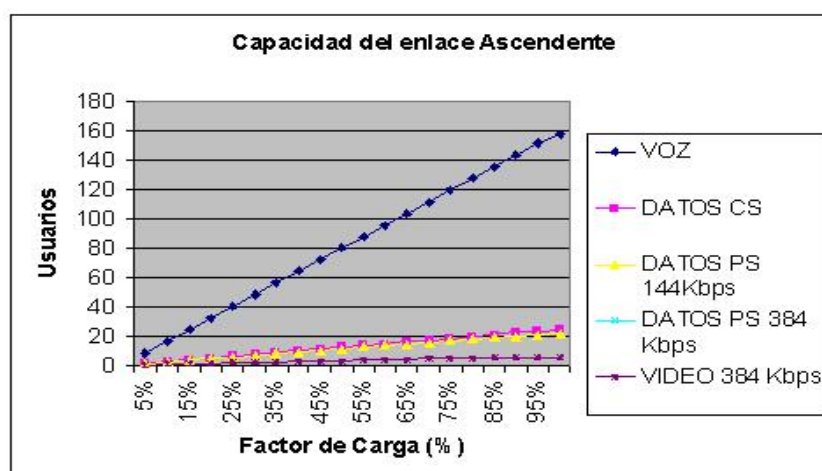


Figura 4.35 Usuarios soportados en el enlace ascendente

De la gráfica se concluye que para $CL = 65\%$, la dotación de un E1 (2048Kbps) para el enlace ascendente sustenta la capacidad de una celda genérica, lo cual guarda concordancia con el número de usuarios de estos servicios que se asume desde el punto de vista comercial.

Capacidad Enlace Descendente

El análisis de la capacidad descendente tiene características operativas diferentes a las ascendentes debido a:

- ❖ La comunicación procede de una base con destino a múltiples receptores.
- ❖ Debe radiarse con cierto nivel una señal de referencia (piloto) para la adquisición de sincronismo por parte de los móviles
- ❖ La interferencia externa recibida por un móvil procede de un número limitado de fuentes concentradas y no distribuidas como en el enlace ascendente.
- ❖ La interferencia interna, teóricamente es nula, ya que en el enlace descendente utiliza códigos ortogonales

Básicamente, el recurso que se utiliza en el enlace descendente es la potencia de la estación base que se reparte entre el canal piloto, los canales comunes y los canales de tráfico. El límite de capacidad se alcanza con un

número de usuarios tal que la potencia disponible de la estación base, distribuida entre ellos es insuficiente para asegurar el cumplimiento del requisito de calidad de servicio.

El cálculo de la capacidad del enlace descendente es complicado porque influyen las posiciones donde estén los móviles, así como la carga de tráfico de las células vecinas y de la referencia, por ello en la práctica se suele recurrir a simuladores y herramientas informáticas.

Para los cálculos correspondientes a la planificación de nuestra red, se han empleado las siguientes ecuaciones, las cuales hacen uso de parámetros de diseño estandarizados y recomendados por las especificaciones.

La carga asintótica de la celda genérica viene dada por:

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{k + a(1 - o)}{a(1 - o + f)} \quad \text{Ecuación 4.27}$$

De la definición física del Factor de Carga del sistema se obtiene el número adecuado de móviles para garantizar la calidad de los servicios:

$$M = CL * M_{m\acute{a}x} \quad \text{Ecuación 4.28}$$

La máxima pérdida de transmisión admisible es:

$$l_{m\acute{a}x} = \frac{p_1(1-CL) - p_c \left[1 + \frac{1-a}{a} \cdot CL \right]}{CL \cdot p_N} \cdot a(1-o+f) \quad \text{Ecuación 4.29}$$

La potencia mínima de recepción necesaria en el móvil (sensibilidad del receptor), será:

$$s = \frac{P_{TCH}}{l_{m\acute{a}x}} = \frac{(p_1 - p_c) / M}{l_{m\acute{a}x}} \quad \text{Ecuación 4.30}$$

Donde: **P_{TCH}** = Potencia transmitida a cada móvil en su canal de tráfico

P₁ = Potencia Total de la estación Base

P_c = Potencia requerida por los canales de control

Como ya se mencionó previamente, el objetivo del análisis en este enlace es garantizar un nivel de potencia para el tráfico de una cantidad determinada de usuarios, a razón de que la potencia total de la base se distribuye entre los canales de tráfico y control. En la Tabla 4.51 se muestra la típica distribución de potencia entre los canales de control, para una potencia total de 20W [40].

Tabla 4.51 Distribución de Potencia de los canales de control DL

Canales Comunes en el Downlink	Actividad	Potencia Promedio (W)
Canal Piloto Común CPICH	100%	2
Canal de Sincronización Primaria SCH	10%	0,1
Canal de Sincronización Secundaria SCH	10%	0,1
Canal Físico de Control Común Primario P-CCPCH	90%	0,3
Canal Indicador de Avisos PICH	100%	0,15
Canal Indicador de Adquisición AICH	100%	0,15
Canal Físico de Control Común Secundario S-CCPCH	10%	0,2
Potencia Total de los Canales Comunes		3

La distribución general de los canales obedece a las siguientes ecuaciones:

$$P_1 = Potencia_{Total} = 20W \quad \text{Ecuación 4.31}$$

$$P_c = P_1(1 - \beta) \quad \text{Ecuación 4.32}$$

$$P_{TCH} = P_1 \cdot \beta \cdot \phi \quad \text{Ecuación 4.33}$$

Al final, la potencia asignada a la carga de tráfico de cada móvil depende de la potencia inicial, del monto asignado a los canales de control y de un valor determinado por el control de potencia del sistema Φ en función del tipo de servicio (\mathbf{k}), de la pérdida de transmisión ($I_{\text{máx}}$) y del factor de ortogonalidad (\mathbf{o}).

En la Tabla 4.52 se resumen los parámetros utilizados en el diseño y las estimaciones realizadas para obtener la capacidad necesaria y requerida por cada celda para sustentar la demanda de tráfico esperada:

Tabla 4.52 Cuadro de Capacidad para el enlace descendente

	CAPACIDAD DEL ENLACE DESCENDENTE			SERVICIOS				
				voz	Datos-C	Datos-PS	Video	
a	Tasa binaria	R	(kbits/s)	12,2	64	144	384	384
b	Tasa de Bloqueo	BLER		1%	10%	10%	10%	10%
c	Factor de Carga de la celda	CL	%	65%				
d	Factor de actividad	a		0,4	1	0,55	0,55	1
e	Factor de Ortogonalidad	o		0,4				
f	Relación Eb/lo	Eb/lo	dB	5	2,5	2,5	2,5	2,5
				3,1623	1,7783	1,778	1,7783	1,77828
g	Factor de ruido del receptor	Fsis	dB	5				
h	Tasa de código	W		3840				
i	Factor de Reutilización	f		1,1				
j	Potencia de Transmisión Base	P1	W	20				
		p1	dB	43,01				
k	Porcentaje de potencia para los canales de tráfico	B		0,9				
l	Factor k	k		99,534	33,74	15	5,6234	5,62341
m	Potencia de Ruido	pN	W	5E-14				
			mW	5E-11				
n	Capacidad Asintótica	Mmax		146,73	20,2	16,39	6,3673	3,66083
o	Número de móviles	M		95,372	13,13	10,65	4,1387	2,37954
p	Pérdida máx de Transmisión	lmax		9E+13	1E+14	9E+13	9E+13	1,1E+14
		Lmax	dB	139,3	140,32	139,6	139,58	140,32
q	Sensibilidad	s		2E-12	1E-11	2E-11	5E-11	7E-11
		S	dBm	-116,5	-108,9	-107,3	-103,19	-101,532
r	Potencia transmitida a cada móvil	pTch	mW	188,73	1370,9	1689	4349,2	7564,49
		PTch	dB	22,759	31,37	32,28	36,384	38,7878
s	Control de potencia	min		0,0087	0,055	0,073	0,1888	0,30351
t	USUARIOS Y SERVICIOS SIMULTANEOS			6	3	3	0	1
u	Carga		kbps	73,2	192	432	0	384
v	Carga Throughput		Kbps	72,468	172,8	388,8	0	345,6

Para cualquier combinación del número simultáneo de usuarios por servicios en la celda (fila t) nunca se sobrepasa la capacidad de 1E1.

Además, se aprecia los requerimientos de potencia para cada servicio y su relación con la capacidad que estos emplean.

Por medio de las Figuras 4.36 y 4.37 podemos observar con mayor claridad la relación entre la capacidad, número de usuarios y factor de carga. Nuevamente la dotación de 1E1 se ajusta adecuadamente a los requerimientos de la celda.

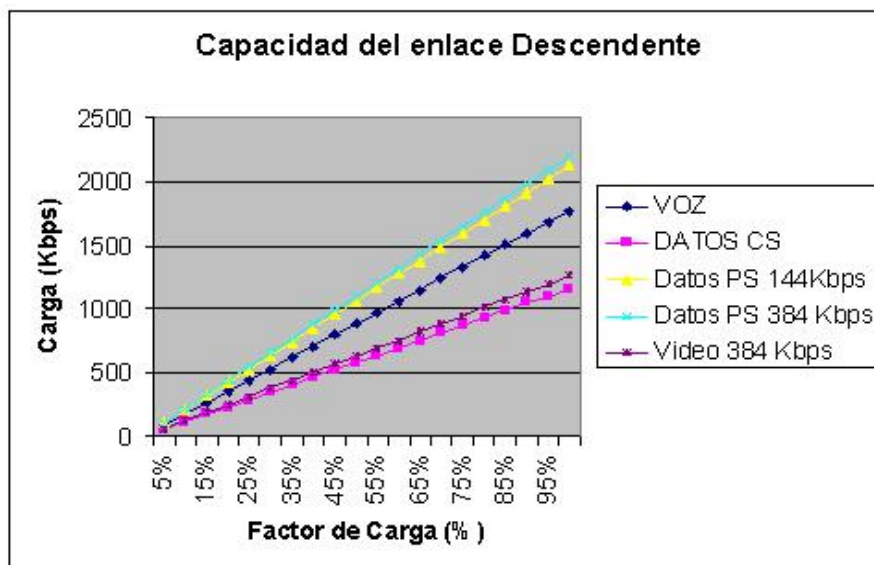


Figura 4.36 Carga de tráfico soportada en el enlace descendente

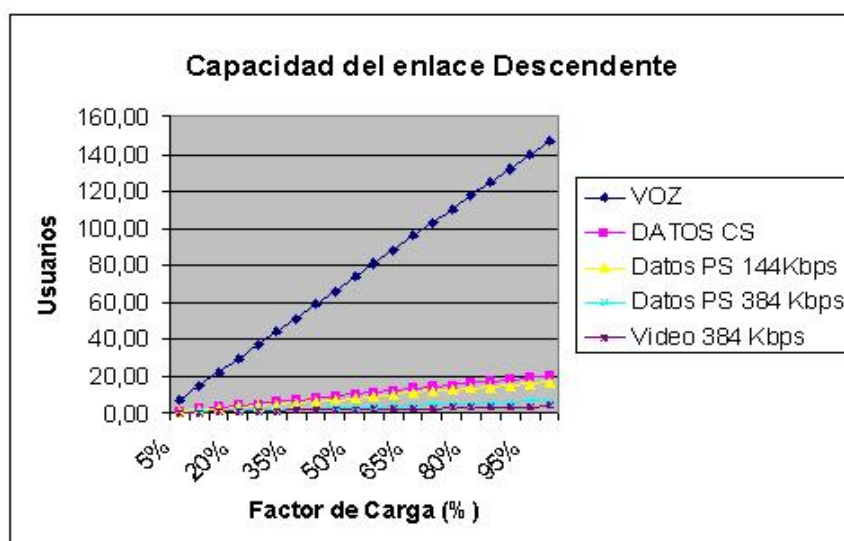


Figura 4.37 Usuarios soportados en el enlace descendente

En la Figura 4.37 se obtiene que los valores típicos comprendidos entre el 60 y 70% de CL, garantizan una capacidad de usuarios adecuada para cada servicio.

Otra forma de entender el concepto de la capacidad en el sistema UMTS es por medio del criterio de las tasas de consumo de un usuario genérico [18], para este diseño se han tomado las tasas mostradas a través de la Tabla 4.53.

Tabla 4.53 Consumo promedio de los servicios UMTS por usuario

Consumo Promedio										Kbps	Usuarios	
	SERVICIO	Tasa	Tam/Dur	SERVICIO	Tasa	Tam/Dur	SERVICIO	Tasa	Tam/Dur			
384 (Kbps)	Video Telef	0,5	60 s	Audio Strea	0,25	5 MB	Video Strea	0,1	30 MB	12,64	161,97	
144 (Kbps)	WEB	5	150 KB	Archivos	3	250 KB					3,33	614,40
64 (Kbps)	E-mail	3	20 KB	MMS	3	150 KB					1,13	1807,06
12,2 (Kbps)	Llamadas	6	90 s								1,83	1119,13
										18,94	108,12	

Las tasas hacen referencia al consumo en la hora cargada de los servicios UMTS y establece que la capacidad requerida por un usuario genérico es de 19 Kbps, lo que sustenta el servicio a 108 usuarios en la celda para una dotación de 1E1 de capacidad. Este análisis guarda concordancia con la capacidad y número de usuarios obtenidos a partir de las gráficas

A partir de este análisis se procede a estimar el número de usuarios del servicio UMTS por celda en la red, las estimaciones de mercado realizadas se resumen en la Figura 4.38.

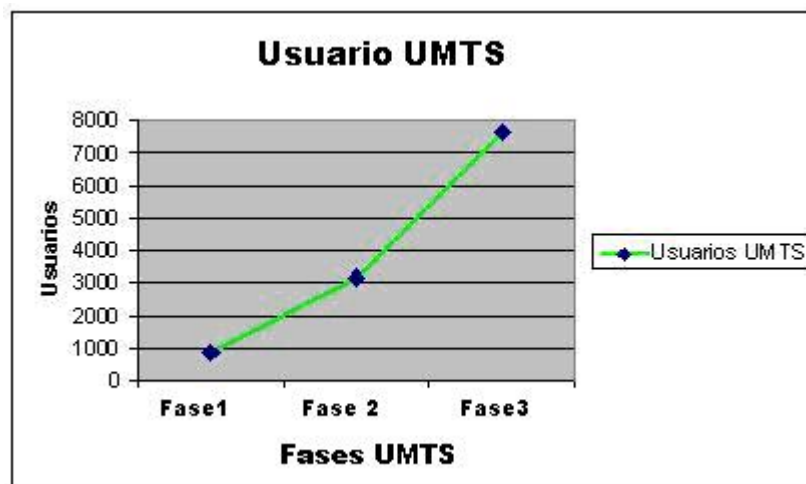


Figura 4.38 Usuarios de servicio UMTS

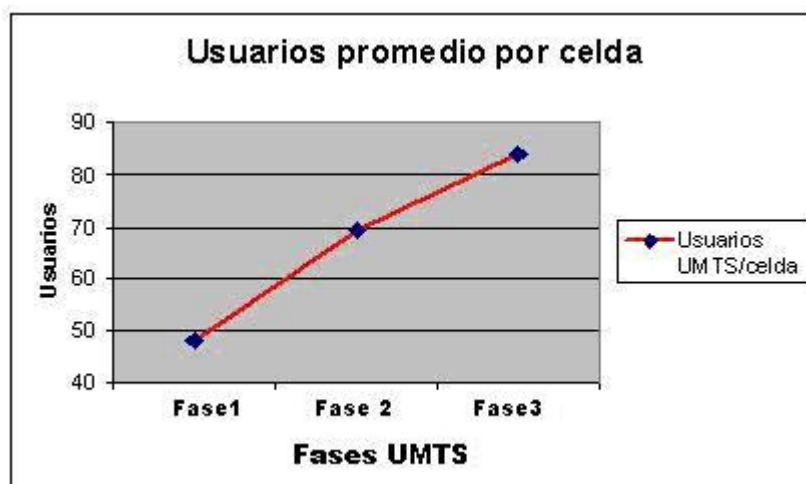


Figura 4.39 Usuarios por celda en la Hora Cargada

La carga de usuarios por celda y el perfil de consumo por usuario asumido concuerdan y se ajustan a los parámetros de diseño de capacidad y de cobertura seleccionados para la red. La estimación del número de usuarios potenciales por celda se muestra en la Figura 4.39

Al no poder contar con una segunda o tercera portadora UMTS para implementar un esquema multicapas con relación al radio celular, la división celular fue adoptada como estrategia de planificación, así a costa de los recursos económicos e inversiones involucradas se obtiene un rendimiento adecuado entre la capacidad y cobertura del sistema.

4.3.2.3 Análisis de Interferencia

La reutilización de frecuencia de grado 1 empleada en UMTS, produce que el sistema sea típicamente limitado en interferencia.

El análisis se realiza tanto para el enlace ascendente como para el descendente, para el enlace ascendente deben tomarse en cuenta las siguientes consideraciones:

- ❖ Las fuentes de interferencia son los móviles, los que pueden estar en cualquier posición dentro de la celda, así para simplificar los cálculos se considera que todos están apilados en el centro de las celdas.
- ❖ En todas las celdas o sectores existe el mismo número promedio de móviles, es decir la carga del sistema está en equilibrio. Y todos ellos transmiten a la misma potencia
- ❖ Se supone una ley de propagación exponencial con $n=3.8$ (parámetro obtenido de la ITU)

Se realiza el cálculo seleccionando una celda representativa y que se encuentre en la región central de la red UMTS. Al utilizar la misma frecuencia de trabajo el análisis toma en consideración la contribución de la interferencia producida por los móviles de cada una de las celdas del sistema.

La relación señal útil / interferencia total (SIR ó S/I) es calculada según la ecuación:

$$\frac{s}{i} = \frac{R^{-n}}{(M-1)R^{-n} + M \sum_{i=1}^{N-1} (d_i)^{-n}} \quad \text{Ecuación 4.34}$$

Donde: R= Radio de la celda evaluada

M= Número de móviles por celda

N= Número de Celdas del sistema

n= Exponente de Propagación

di= Distancia entre la celda evaluada y cada celda del sistema

El resultado de este análisis claramente está determinado por el número de móviles presentes, al incrementarse el número de usuarios en las celdas la interferencia se eleva y por tanto la relación SIR se aproxima cada más a un umbral de calidad determinado, por ejemplo en el caso del servicio de voz tenemos un umbral de -18dB.

En las Tablas 4.54 a 4.56 se muestra el análisis para el servicio de voz realizado para cada una de las fases, tomando en consideración para el estudio las celdas más representativas y condicionantes para la interferencia

Tabla 4.54 Análisis de Interferencia del UL para la Fase 1 de UMTS

Propagación	3,8	
Radio	667	
Móviles	19	
En relación a la celda	E1 1	
Celda	Distancia	Interferencia
E1 2	667	1,85491E-11
E1 3	667	1,85491E-11
E3 1	1333	1,3355E-12
E3 2	2500	1,22413E-13
E3 3	2500	1,22413E-13
D2 1	1730	4,95935E-13
D2 2	1730	4,95935E-13
D2 3	2700	9,1373E-14
H1 1	4058	1,94274E-14
H1 2	2885	7,10307E-14
H1 3	3517	3,34615E-14
H2 1	2700	9,1373E-14
H2 2	1730	4,95935E-13
H2 3	1730	4,95935E-13
H3 1	2500	1,22413E-13
H3 2	1387	1,14844E-12
H3 3	2415	1,39609E-13
		4,23793E-11
	s/i	0,016284101
	S/I	-17,88236217

Tabla 4.55 Análisis de Interferencia del UL para la Fase 2 de UMTS

	Propagación	3,8	
	Radio	385	
	Móviles	19	
	En relación a la celda		D2 1 1
	Celda	Distancia	Interferencia
1	B2 1 1	3079	5,54681E-14
2	B2 1 2	3688	2,79379E-14
3	B2 1 3	3688	2,79379E-14
4	D1 1	1999	2,86359E-13
5	D1 2	1148	2,35625E-12
6	D1 3	2286	1,71993E-13
7	D2 1 2	385	1,49709E-10
8	D2 1 3	385	1,49709E-10
9	D2 2 1	796	9,47393E-12
10	D2 2 2	1428	1,02809E-12
11	D2 2 3	1395	1,12362E-12
12	D2 3	1100	2,77145E-12
13	E1 1	2013	2,78865E-13
14	E1 2	2319	1,62876E-13
15	E1 3	1153	2,31765E-12
16	E3 1 1	1676	5,59447E-13
17	E3 1 2	2365	1,51162E-13
18	E3 1 3	2039	2,65592E-13
19	E3 2 1	2716	8,93443E-14
20	E3 2 2	3378	3,90026E-14
21	E3 2 3	3156	5,04986E-14
22	E3 3 1	1921	3,33116E-13
23	E3 3 2	2531	1,16813E-13
24	E3 3 3	2531	1,16813E-13
25	H1 1	4006	2,04032E-14
26	H1 2	3033	5,87334E-14
27	H1 3	3033	5,87334E-14
28	H2 1 1	3677	2,82569E-14
29	H2 1 2	3677	2,82569E-14
30	H2 1 3	3093	5,45201E-14
31	H2 2 1	3158	5,03772E-14
32	H2 2 2	3346	4,04391E-14
33	H2 2 3	2712	8,98461E-14
34	H2 3 1	2522	1,18405E-13
35	H2 3 2	2536	1,1594E-13
36	H2 3 3	1895	3,50821E-13
37	H3 1 1	2340	1,57391E-13
38	H3 1 2	2058	2,56394E-13
39	H3 1 3	1692	5,39608E-13
40	H3 2 1	1391	1,13594E-12
41	H3 2 2	1406	1,09058E-12
42	H3 2 3	790	9,75028E-12
43	H3 3 1	1541	7,6975E-13
44	H3 3 2	1008	3,86234E-12
45	H3 3 3	1023	3,65151E-12
			3,43452E-10
		s/i	0,016236849
		S/I	-17,89498254

Tabla 4.56 Análisis de Interferencia del UL para la Fase 3 de UMTS

	Propagación	3,8					
	Radio	223					
	Móviles	20					
	En relación a la celda		D2 2 2 1				
	Celda	Distancia	Interferencia				
1	B1 1 1	1317	1,3982E-12	51	E3 3 1 2	795	9,5193E-12
2	B1 1 2	1151	2,333E-12	52	E3 3 1 3	795	9,5193E-12
3	B1 1 3	1766	4,586E-13	53	E3 3 2 1	963	4,5943E-12
4	B1 2	2054	2,583E-13	54	E3 3 2 2	1368	1,2102E-12
5	B1 3	2485	1,2524E-13	55	E3 3 2 3	1191	2,049E-12
6	B2 1 1	1766	4,586E-13	56	E3 3 3	1300	1,469E-12
7	B2 1 2	2335	1,5868E-13	57	H1 1	5116	8,055E-15
8	B2 1 3	2392	1,4478E-13	58	H1 2 1	4392	1,4384E-14
9	B3 1	3163	5,0075E-14	59	H1 2 2	4012	2,0287E-14
10	B3 2	4017	2,0192E-14	60	H1 2 3	3704	2,7482E-14
11	B3 3	4260	1,6153E-14	61	H1 3	4241	1,6429E-14
12	D1 1	3366	3,9534E-14	62	H2 1 1	4387	1,4447E-14
13	D1 2 1	2672	9,5065E-14	63	H2 1 2	4184	1,7296E-14
14	D1 2 2	1979	2,9751E-13	64	H2 1 3	3718	2,7091E-14
15	D1 2 3	2398	1,4341E-13	65	H2 2 1	3535	3,2819E-14
16	D1 3	3405	3,784E-14	66	H2 2 2	3463	3,5488E-14
17	D2 1 1 1	1952	3,1346E-13	67	H2 2 3	2911	6,865E-14
18	D2 1 1 2	1565	7,2585E-13	68	H2 3 1	2344	1,5637E-13
19	D2 1 1 3	1816	4,1244E-13	69	H2 3 2	3067	5,6297E-14
20	D2 1 2 1	1369	1,2069E-12	70	H2 3 3	2713	8,972E-14
21	D2 1 2 2	961	4,6307E-12	71	H3 1 1	3540	3,2643E-14
22	D2 1 2 3	1176	2,1501E-12	72	H3 1 2 1	3295	4,287E-14
23	D2 1 3 1	1465	9,3286E-13	73	H3 1 2 2	2921	6,7761E-14
24	D2 1 3 2	1114	2,6414E-12	74	H3 1 2 3	2988	6,2166E-14
25	D2 1 3 3	1457	9,5248E-13	75	H3 1 3 1	3111	5,3331E-14
26	D2 2 1 1	815	8,6617E-12	76	H3 1 3 2	2748	8,5455E-14
27	D2 2 1 2	428	1,0012E-10	77	H3 1 3 3	2889	7,0658E-14
28	D2 2 1 3	791	9,7035E-12	78	H3 2 1	2432	1,3594E-13
29	D2 2 2 2	223	1,1925E-09	79	H3 2 2	2012	2,7939E-13
30	D2 2 2 3	223	1,1925E-09	80	H3 2 3	1784	4,4127E-13
31	D2 2 3 1	590	2,9564E-11	81	H3 3 1	2936	6,6455E-14
32	D2 2 3 2	578	3,1965E-11	82	H3 3 2 1	2513	1,2002E-13
33	D2 2 3 3	880	6,4709E-12	83	H3 3 2 2	2116	2,307E-13
34	D2 3 1	1774	4,5079E-13	84	H3 3 2 3	2310	1,653E-13
35	D2 3 2	1131	2,4937E-12	85	H3 3 3	2423	1,3787E-13
36	D2 3 3	1765	4,5959E-13	86	I1	4957	9,0817E-15
37	E1 1	2152	2,1637E-13	87	I2	5418	6,4776E-15
38	E1 2	1696	5,3479E-13	88	I3	3426	3,6966E-14
39	E1 3	1014	3,7762E-12	89	CC2 1	5123	8,0132E-15
40	E3 1 1	675	1,7727E-11	90	CC2 2	6073	4,1982E-15
41	E3 1 2	1169	2,1994E-12	91	CC2 3	6251	3,7618E-15
42	E3 1 3	660	1,9308E-11				2,7581E-09
43	E3 2 1 1	1254	1,6845E-12			s/i	0,01532351
44	E3 2 1 2	1576	7,0678E-13			S/I	-18,146418
45	E3 2 1 3	1253	1,6896E-12				
46	E3 2 2	1998	2,869E-13				
47	E3 2 3 1	1616	6,4257E-13				
48	E3 2 3 2	1984	2,9467E-13				
49	E3 2 3 3	1751	4,7371E-13				
50	E3 3 1 1	450	8,2755E-11				

De los cálculos se obtuvo que la limitante de la interferencia del sistema en función de los usuarios para el servicio de voz es de 19 a 20 móviles por sector servidos simultáneamente.

En el siguiente gráfico se recoge el efecto de la variación de la relación SIR en función de los usuarios activos

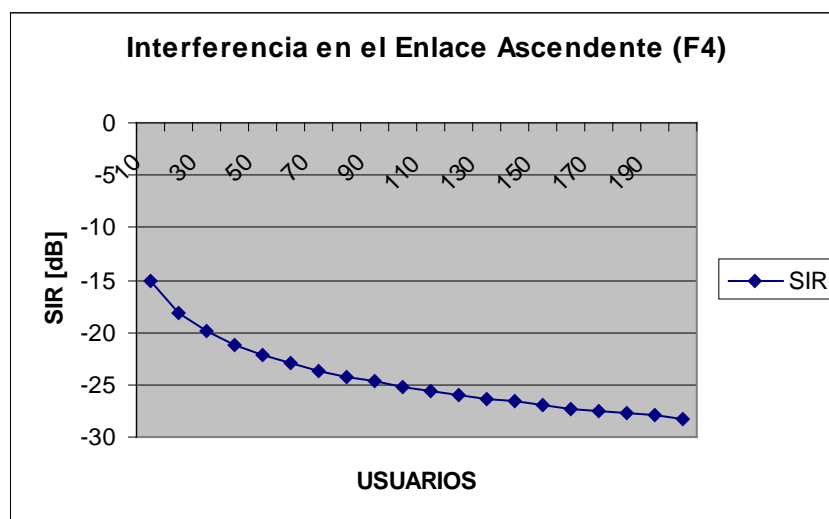


Figura 4.40 Relación entre SIR y el número de usuarios activos

La curva representa el funcionamiento y rendimiento en cuanto a interferencia de nuestra red para cada escenario posible en el enlace ascendente.

Para el enlace descendente deben tomarse en cuenta:

- ❖ Las fuentes de interferencia son las estaciones base.
- ❖ Las estaciones bases transmiten a la misma potencia.
- ❖ El control de potencia tiene un funcionamiento ideal.
- ❖ No se considera discriminación por las antenas de transmisión, por lo que el móvil recibe todas las interferencias por igual.

El cálculo es similar, aunque ahora se asume que el móvil de referencia evaluado se encuentra en el vértice más alejado de la base de la celda genérica. La ecuación es:

$$\frac{s}{i} = \frac{2R^{-n}}{\sum_{j=1}^{N-1} (d_j)^{-n}} \quad \text{Ecuación 4.35}$$

Donde d_j son las distancias entre el vértice \mathbf{v} de la celda genérica y las radiobases del sistema.

En este enlace la condicionante no es el número de usuarios, si no más bien el número de celdas y por ende de radiobases existentes, aunque en un análisis más real deben considerarse la potencia de emisión y el funcionamiento del control de potencia.

El objetivo del operador es garantizar un umbral que oscila entre los -6 y -8 dB de SIR. En las Tablas 4.57 a 4.59 se muestran los análisis de cada fase del sistema, evaluados en las celdas genéricas indicadas.

Se puede notar una disminución bien marcada principalmente en la última fase donde el número de celdas ha aumentado y por ende la contribución a la interferencia, lo que empeora la condición SIR.

Tabla 4.57 Análisis de Interferencia del DL para la Fase 1 de UMTS

En relación a la celda		E1 1
Celda	Distancia	Interferencia
E1 2	1334	1,3317E-12
E1 3	1334	1,3317E-12
E3 1	3335	4,09483E-14
E3 2	3335	4,09483E-14
E3 3	3335	4,09483E-14
D2 1	2906	6,90998E-14
D2 2	2906	6,90998E-14
D2 3	2906	6,90998E-14
H1 1	2403	1,42277E-13
H1 2	2403	1,42277E-13
H1 3	2403	1,42277E-13
H2 1	667	1,85491E-11
H2 2	667	1,85491E-11
H2 3	667	1,85491E-11
H3 1	1763	4,61574E-13
H3 2	1763	4,61574E-13
H3 3	1763	4,61574E-13
		6,04523E-11
	s/i	0,02202902
	S/I	-16,57004817

Tabla 4.58 Análisis de Interferencia del DL para la Fase 2 de UMTS

En relación a la celda			D2 1 1				
	Celda	Distancia	Interferencia		Celda	Distancia	Interferencia
1	B2 1 1	4233	1,65477E-14	26	H1 2	2706	9,06055E-14
2	B2 1 2	4233	1,65477E-14	27	H1 3	2706	9,06055E-14
3	B2 1 3	4233	1,65477E-14	28	H2 1 1	3151	5,08038E-14
4	D1 1	1387	1,14844E-12	29	H2 1 2	3151	5,08038E-14
5	D1 2	1387	1,14844E-12	30	H2 1 3	3151	5,08038E-14
6	D1 3	1387	1,14844E-12	31	H2 2 1	3006	6,07634E-14
7	D2 1 2	770	1,07482E-11	32	H2 2 2	3006	6,07634E-14
8	D2 1 3	770	1,07482E-11	33	H2 2 3	3006	6,07634E-14
9	D2 2 1	1924	3,31147E-13	34	H2 3 1	2038	2,66087E-13
10	D2 2 2	1924	3,31147E-13	35	H2 3 2	2038	2,66087E-13
11	D2 2 3	1924	3,31147E-13	36	H2 3 3	2038	2,66087E-13
12	D2 3	1387	1,14844E-12	37	H3 1 1	1387	1,14844E-12
13	E1 1	2143	2,19845E-13	38	H3 1 2	1387	1,14844E-12
14	E1 2	2143	2,19845E-13	39	H3 1 3	1387	1,14844E-12
15	E1 3	2143	2,19845E-13	40	H3 2 1	1019	3,70628E-12
16	E3 1 1	2694	9,21487E-14	41	H3 2 2	1019	3,70628E-12
17	E3 1 2	2694	9,21487E-14	42	H3 2 3	1019	3,70628E-12
18	E3 1 3	2694	9,21487E-14	43	H3 3 1	385	1,49709E-10
19	E3 2 1	3791	2,51614E-14	44	H3 3 2	385	1,49709E-10
20	E3 2 2	3791	2,51614E-14	45	H3 3 3	385	1,49709E-10
21	E3 2 3	3791	2,51614E-14				4,93409E-10
22	E3 3 1	3078	5,55366E-14			s/i	0,021783543
23	E3 3 2	3078	5,55366E-14			S/I	-16,61871483
24	E3 3 3	3078	5,55366E-14				
25	H1 1	2706	9,06055E-14				

Tabla 4.59 Análisis de Interferencia del DL para la Fase 3 de UMTS

En relación a la celda		D2 2 2 1					
	Celda	Distancia	Interferencia		Celda	Distancia	Interferencia
1	B1 1 1	1730	4,95935E-13	49	E3 2 3 3	2130	2,24987E-13
2	B1 1 2	1730	4,95935E-13	50	E3 3 1 1	1116	2,62347E-12
3	B1 1 3	1730	4,95935E-13	51	E3 3 1 2	1116	2,62347E-12
4	B1 2	2307	1,66119E-13	52	E3 3 1 3	1116	2,62347E-12
5	B1 3	2307	1,66119E-13	53	E3 3 2 1	1563	7,29383E-13
6	B2 1 1	2548	1,13879E-13	54	E3 3 2 2	1563	7,29383E-13
7	B2 1 2	2548	1,13879E-13	55	E3 3 2 3	1563	7,29383E-13
8	B2 1 3	2548	1,13879E-13	56	E3 3 3	1464	9,35285E-13
9	B3 1	4211	1,68786E-14	57	H1 1	4021	2,01155E-14
10	B3 2	4211	1,68786E-14	58	H1 2 1	3590	3,09486E-14
11	B3 3	4211	1,68786E-14	59	H1 2 2	3590	3,09486E-14
12	D1 1	2847	7,47012E-14	60	H1 2 3	3590	3,09486E-14
13	D1 2 1	2197	2,00007E-13	61	H1 3	4021	2,01155E-14
14	D1 2 2	2197	2,00007E-13	62	H2 1 1	3650	2,90594E-14
15	D1 2 3	2197	2,00007E-13	63	H2 1 2	3650	2,90594E-14
16	D1 3	2847	7,47012E-14	64	H2 1 3	3650	2,90594E-14
17	D2 1 1 1	1464	9,35285E-13	65	H2 2 1	2896	7,00109E-14
18	D2 1 1 2	1464	9,35285E-13	66	H2 2 2	2896	7,00109E-14
19	D2 1 1 3	1464	9,35285E-13	67	H2 2 3	2896	7,00109E-14
20	D2 1 2 1	805	9,0777E-12	68	H2 3 1	2574	1,09569E-13
21	D2 1 2 2	805	9,0777E-12	69	H2 3 2	2574	1,09569E-13
22	D2 1 2 3	805	9,0777E-12	70	H2 3 3	2574	1,09569E-13
23	D2 1 3 1	1181	2,11568E-12	71	H3 1 1	2744	8,59291E-14
24	D2 1 3 2	1181	2,11568E-12	72	H3 1 2 1	2634	1,00383E-13
25	D2 1 3 3	1181	2,11568E-12	73	H3 1 2 2	2634	1,00383E-13
26	D2 2 1 1	590	2,95639E-11	74	H3 1 2 3	2634	1,00383E-13
27	D2 2 1 2	590	2,95639E-11	75	H3 1 3 1	2516	1,19481E-13
28	D2 2 1 3	590	2,95639E-11	76	H3 1 3 2	2516	1,19481E-13
29	D2 2 2 2	446	8,56106E-11	77	H3 1 3 3	2516	1,19481E-13
30	D2 2 2 3	446	8,56106E-11	78	H3 2 1	1616	6,42574E-13
31	D2 2 3 1	970	4,46959E-12	79	H3 2 2	1616	6,42574E-13
32	D2 2 3 2	970	4,46959E-12	80	H3 2 3	1616	6,42574E-13
33	D2 2 3 3	970	4,46959E-12	81	H3 3 1	2199	1,99317E-13
34	D2 3 1	1605	6,5947E-13	82	H3 3 2 1	1946	3,17145E-13
35	D2 3 2	1605	6,5947E-13	83	H3 3 2 2	1946	3,17145E-13
36	D2 3 3	1605	6,5947E-13	84	H3 3 2 3	1946	3,17145E-13
37	E1 1	1181	2,11568E-12	85	H3 3 3	2199	1,99317E-13
38	E1 2	1181	2,11568E-12	86	I1	4226	1,66521E-14
39	E1 3	1181	2,11568E-12	87	I2	4226	1,66521E-14
40	E3 1 1	876	6,58392E-12	88	I3	4226	1,66521E-14
41	E3 1 2	876	6,58392E-12	89	CC2 1	6174	3,94318E-15
42	E3 1 3	876	6,58392E-12	90	CC2 2	6174	3,94318E-15
43	E3 2 1 1	1610	6,51721E-13	91	CC2 3	6174	3,94318E-15
44	E3 2 1 2	1610	6,51721E-13				3,59523E-10
45	E3 2 1 3	1610	6,51721E-13			s/i	0,238122859
46	E3 2 2	1961	3,08024E-13			S/I	-6,23198911
47	E3 2 3 1	2130	2,24987E-13				
48	E3 2 3 2	2130	2,24987E-13				

Debido a los efectos de la segmentación celular en los niveles de interferencia del sistema, se plantea la necesidad futura de la adopción del esquema multicapa (distintas frecuencias de trabajo entre las celdas en función de su radio celular), con lo cual no solo se mejorará el rendimiento de la interferencia, sino que también la capacidad del sistema se incrementará.

4.3.3 Códigos y Frecuencia

En una red WCDMA se cambia principalmente el enfoque de la planificación. Desde que todas las celdas dentro de la red emplean la misma frecuencia, la ortogonalidad es otorgada por los códigos.

Para la red planteada en Guayaquil, se asume la disponibilidad de una banda de 5MHz para el servicio UMTS (en el esquema FDD), por lo que una estructura donde se asigne una portadora diferente para las macro, micro y pico celdas (multicapas), no es aplicable.

UMTS básicamente hace uso de dos tipos de códigos, los llamados códigos de canalización que proporcionan la expansión de la señal en frecuencia y las características de ortogonalidad, y los códigos de aleatorización utilizados para identificar y separar las celdas en la red, además de permitir la reutilización de los códigos ortogonales que pueden resultar escasos.

Los códigos de expansión tienen una generación que sigue la forma de un árbol, los códigos ó ramas son asignados a los usuarios en función de los servicios requeridos (expansión variable). Aunque 512 códigos descendentes pueden parecer suficientes existe la restricción de que tanto la rama progenitora como las ramas descendientes ya no pueden ser empleadas, esto junto con la obligatoriedad de asignar ciertos códigos a los canales comunes y a los traspasos con continuidad reducen considerablemente la disponibilidad de ellos.

En la Tabla 4.60 se resumen las características fundamentales de estos códigos.

Tabla 4.60 Códigos empleados en la red UMTS

	CÓDIGOS UMTS			
	Sincronización	Expansión	Aleatorización	
			UL	DL
Tipo	GOLD	OVSF (Códigos de Walsh)	GOLD (Códigos de Pseudo Ruido)	GOLD (Códigos de Pseudo Código)
Longitud	256 chips	4-512 chips	38400 / 256 chips	3840 chips
Duración	66,67 us	1,04us-133,34us	10ms / 66,67 us	10ms
Número de códigos	1 primario/16 secundario	= Factor de expansión 4 a 256 UL 4 a 512 DL	16777.216	512 primarios / 15 secundarios por cada primario
Expansión	NO	SI	NO	NO
Uso	Permite al terminal localizar y sincronizarse con el canal de control de la celda	UL= Separa los datos y la señalización en el terminal DL=Separa conexiones de diferentes terminales en la celda	Separación de terminales	Separación de sectores y celdas en la red

La solución es la reutilización de los códigos ortogonales en la misma celda diferenciados por un código de aleatorización. Se disponen de 512 grupos, los cuales están formados por 1 código para los canales comunes y 15 para la separación de árboles.

En lo que respecta netamente al proyecto, mientras los códigos ortogonales son asignados por el RNC, la distribución de la asignación de los códigos de aleatorización representan uno de los principales desafíos en la planificación UMTS.

Se han analizado tres esquemas o métodos de asignación [41]:

- ❖ Asignación 1 a 1
- ❖ Agrupaciones
- ❖ Coloración de gráfico

Dada las características de cobertura y capacidad de la red planteada en la ciudad un esquema de asignación en relación 1 a 1 podría ser factible pero la ineficiencia y la falta de escalabilidad son notorias.

Mientras, el método de Coloración de Gráfico obedece a un algoritmo de prueba y error que requiere contar con información exacta y masiva de la red, y es aplicable básicamente a las herramientas informáticas de planificación

Se seleccionó el esquema de agrupaciones o clusters, el cual otorgó entre un 50 y 30 % de rendimiento en referencia a la asignación de códigos 1 a 1.

Los criterios fundamentales de este método son:

La separación entre las celdas con el mismo código debe ser mayor a la distancia de re-uso L:

$$L > R \cdot \left(1 + 10^{\frac{PG}{10\alpha}}\right) \quad \text{Ecuación 4.36}$$

Donde : R = Radio de la celda.

PG = Ganancia de Procesado en dB.

α = Exponente de propagación

El tamaño de la agrupación K debe obedecer a:

$$K > \frac{1}{3} \cdot \left(1 + 10^{\frac{PG}{10\alpha}}\right) \quad \text{Ecuación 4.37}$$

Para evitar problemas de traslape se recomienda que K sea rómbico.

En vista de la estructura en etapas de la planificación de la red, las agrupaciones y la asignación de los códigos relacionados también obedecen a las fases establecidas en la evolución de la red.

El resultado es un método de asignación basándose en las agrupaciones distribuidas en función de los radios celulares. Al contar con una cobertura y número de celdas moderado este esquema restituye en buena medida la

falta de una estructura de asignación multicapas para la frecuencia a costa del empleo de más agrupaciones de códigos.

A continuación se incluyen las Tablas 4.61 a 4.63 y las Figuras 4.41 a 4.43 correspondientes a la asignación de los códigos a través de las Fases 1, 2 y 3 de la implementación de UMTS.

Tabla 4.61 Asignación de Códigos en la Fase 1 de UMTS

	Celdas	Radio	CLUSTER		Code
			Fase	Agrup	
1	D2_1	500	A	1	4
2	D2_2	500			5
3	D2_3	500			6
4	E1_1	500	A	2	1
5	E1_2	500			2
6	E1_3	500			3
7	E3_1	500			7
8	E3_2	500			8
9	E3_3	500			9
10	H1_1	500	A	3	1
11	H1_2	500			2
12	H1_3	500			3
13	H2_1	500			4
14	H2_2	500			5
15	H2_3	500			6
16	H3_1	500			7
17	H3_2	500			8
18	H3_3	500			9

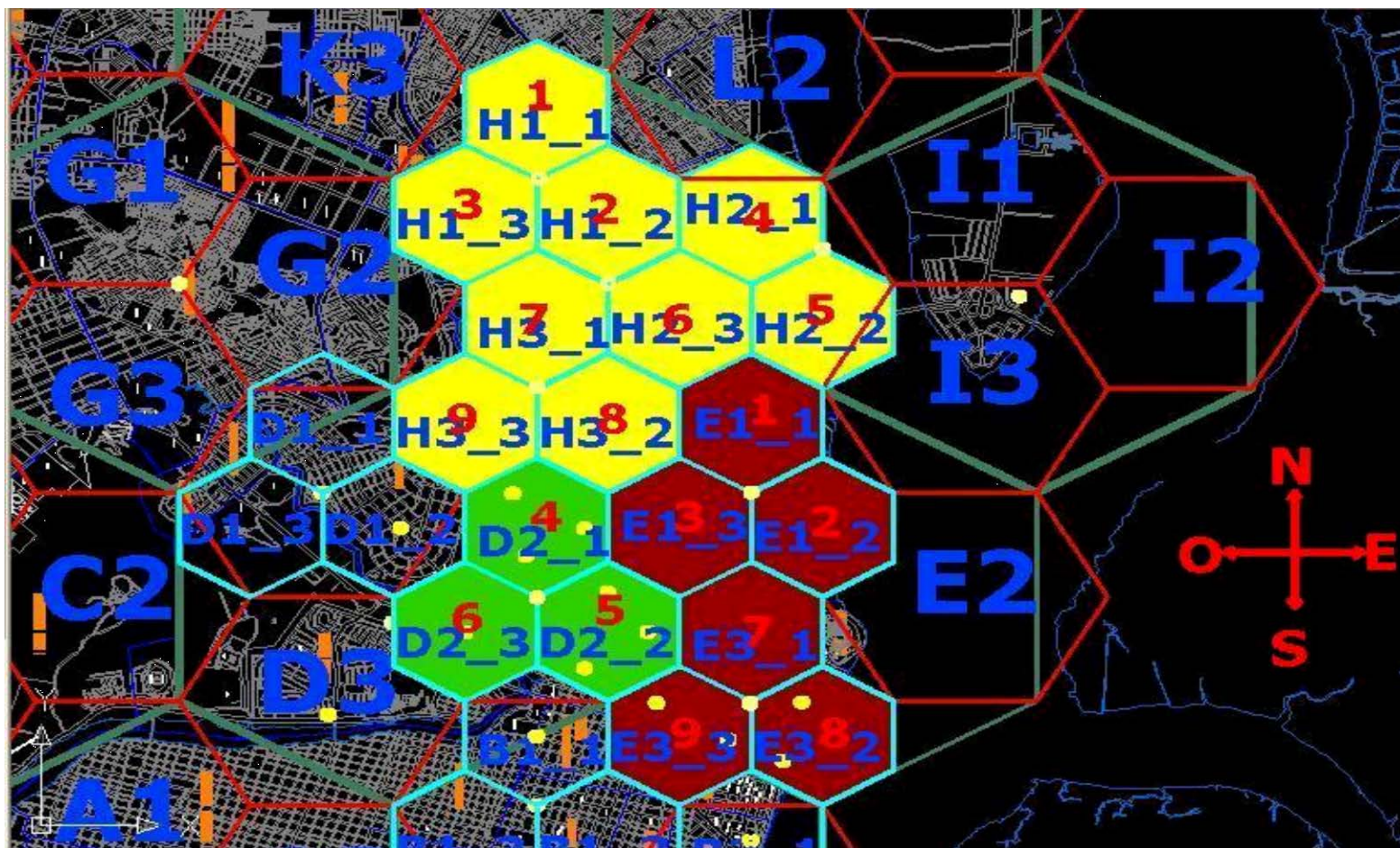


Figura 4.41 Asignación de códigos en la Fase 1 de UMTS

Tabla 4.62 Asignación de Códigos en la Fase 2 de UMTS

	Celdas	Radio	CLUSTER		Code
			Fase	Agrup	
1	B2_1_1	250	B	1	10
2	B2_1_2	250			11
3	B2_1_3	250			12
4	D1_1	500	A	1	1
5	D1_2	500			2
6	D1_3	500			3
7	D2_1_1	250	B	2	10
8	D2_1_2	250			11
9	D2_1_3	250			12
10	D2_2_1	250			13
11	D2_2_2	250			14
12	D2_2_3	250			15
13	D2_3	500	A	1	6
14	E1_1	500	A	2	1
15	E1_2	500			2
16	E1_3	500			3
17	E3_1_1	250	B	2	10
18	E3_1_2	250			11
19	E3_1_3	250			12
20	E3_2_1	250			13
21	E3_2_2	250			14
22	E3_2_3	250			15
23	E3_3_1	250			16
24	E3_3_2	250			17
25	E3_3_3	250			18
26	H1_1	500	A	3	1
27	H1_2	500			2
28	H1_3	500			3
29	H2_1_1	250	B	3	10
30	H2_1_2	250			11
31	H2_1_3	250			12
32	H2_2_1	250			13
33	H2_2_2	250			14
34	H2_2_3	250			15
35	H2_3_1	250			16
36	H2_3_2	250			17
37	H2_3_3	250			18
38	H3_1_1	250	B	4	10
39	H3_1_2	250			11
40	H3_1_3	250			12
41	H3_2_1	250			13
42	H3_2_2	250			14
43	H3_2_3	250			15
44	H3_3_1	250			16
45	H3_3_2	250			17
46	H3_3_3	250			18

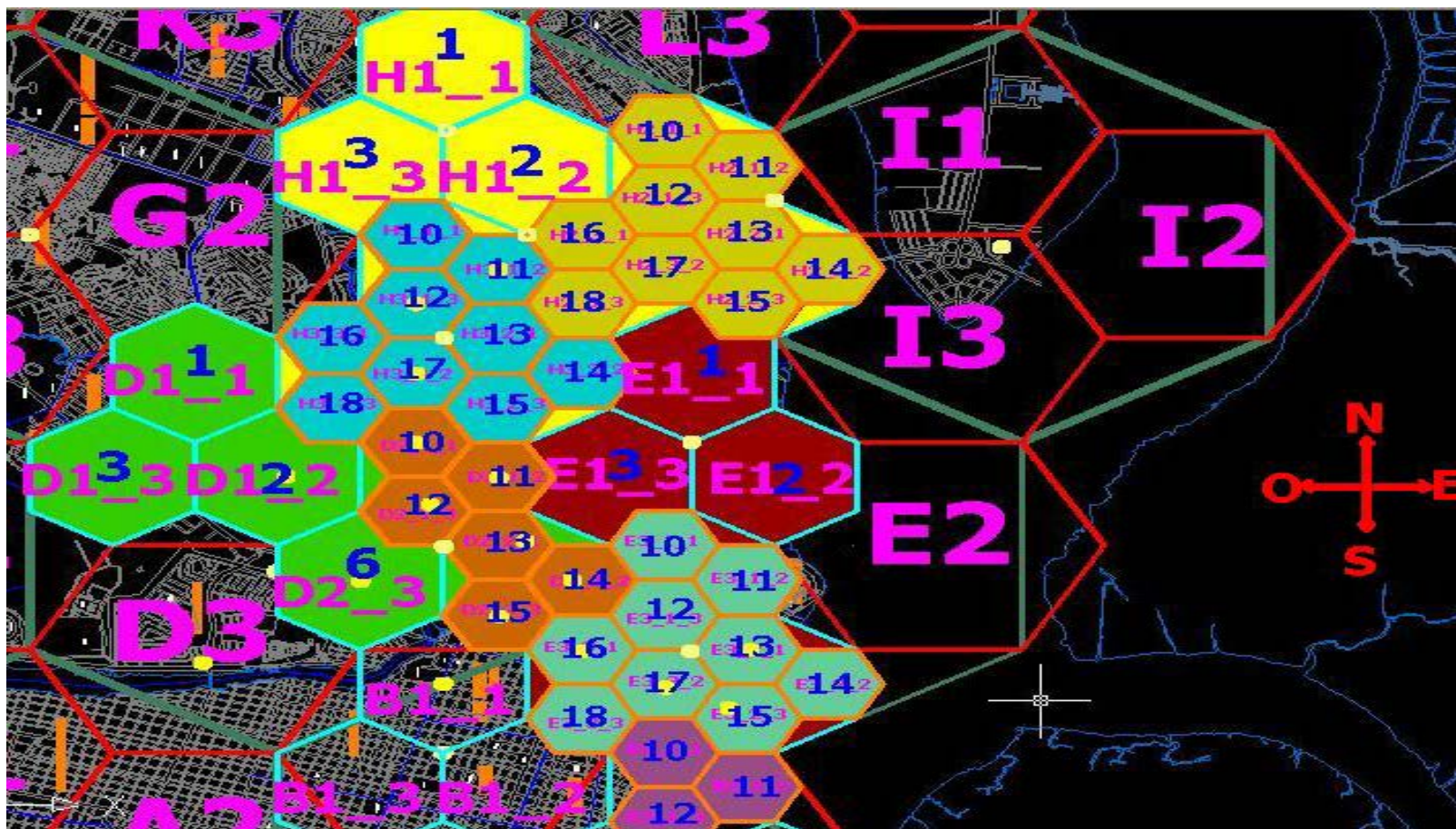


Figura 4.42 Asignación de códigos de aleatorización en la Fase 2 de UMTS

Tabla 4.63 Asignación de Códigos en la Fase 3 de UMTS

	CLUSTER						CLUSTER				
	Celdas	Radio	Fase	Agrup	Code		Celdas	Radio	Fase	Agrup	Code
1	B1_1_1	250	B	1	10	47	E3_2_2	250	B	5	14
2	B1_1_2	250			11	48	E3_2_3_1	125	C	3	25
3	B1_1_3	250			12	49	E3_2_3_2	125			26
4	B1_2	500	A	1	2	50	E3_2_3_3	125			27
5	B1_3	500			3	51	E3_3_1_1	125	19		
6	B2_1_1	250	B	2	10	52	E3_3_1_2	125	20		
7	B2_1_2	250			11	53	E3_3_1_3	125	21		
8	B2_1_3	250			12	54	E3_3_2_1	125	22		
9	B3_1	500	A	1	7	55	E3_3_2_2	125	23		
10	B3_2	500			8	56	E3_3_2_3	125	24		
11	B3_3	500			9	57	E3_3_3	250	B	5	18
12	D1_1	500	A	2	1	58	H1_1	500	A	4	1
13	D1_2_1	250	B	3	13	59	H1_2_1	250	B	6	13
14	D1_2_2	250			14	60	H1_2_2	250			14
15	D1_2_3	250			15	61	H1_2_3	250			15
16	D1_3	500	A	2	3	62	H1_3	500	A	4	3
17	D2_1_1_1	125	C	1	19	63	H2_1_1	250	B	7	10
18	D2_1_1_2	125			20	64	H2_1_2	250			11
19	D2_1_1_3	125			21	65	H2_1_3	250			12
20	D2_1_2_1	125			22	66	H2_2_1	250			13
21	D2_1_2_2	125			23	67	H2_2_2	250			14
22	D2_1_2_3	125			24	68	H2_2_3	250			15
23	D2_1_3_1	125			25	69	H2_3_1	250			16
24	D2_1_3_2	125	26	70	H2_3_2	250	17				
25	D2_1_3_3	125	27	71	H2_3_3	250	18				
26	D2_2_1_1	125	C	2	19	72	H3_1_1	250	B	8	10
27	D2_2_1_2	125			20	73	H3_1_2_1	125	C	5	22
28	D2_2_1_3	125			21	74	H3_1_2_2	125			23
29	D2_2_2_1	125			22	75	H3_1_2_3	125			24
30	D2_2_2_2	125			23	76	H3_1_3_1	125			25
31	D2_2_2_3	125			24	77	H3_1_3_2	125			26
32	D2_2_3_1	125			25	78	H3_1_3_3	125	27		
33	D2_2_3_2	125	26	79	H3_2_1	250	B	8	13		
34	D2_2_3_3	125	27	80	H3_2_2	250			14		
35	D2_3_1	250	B	4	16	81			H3_2_3	250	15
36	D2_3_2	250			17	82	H3_3_1	250	16		
37	D2_3_3	250			18	83	H3_3_2_1	125	22		
38	E1_1	500	A	3	1	84	H3_3_2_2	125	C	6	23
39	E1_2	500			2	85	H3_3_2_3	125	24		
40	E1_3	500			3	86	H3_3_3	250	B	8	18
41	E3_1_1	250	B	5	10	87	I1	1000	D	1	28
42	E3_1_2	250			11	88	I2	1000			29
43	E3_1_3	250			12	89	I3	100			30
44	E3_2_1_1	125	C	3	19	90	CC2_1	500	A	5	4
45	E3_2_1_2	125			20	91	CC2_2	500			5
46	E3_2_1_3	125			21	92	CC2_3	500			6

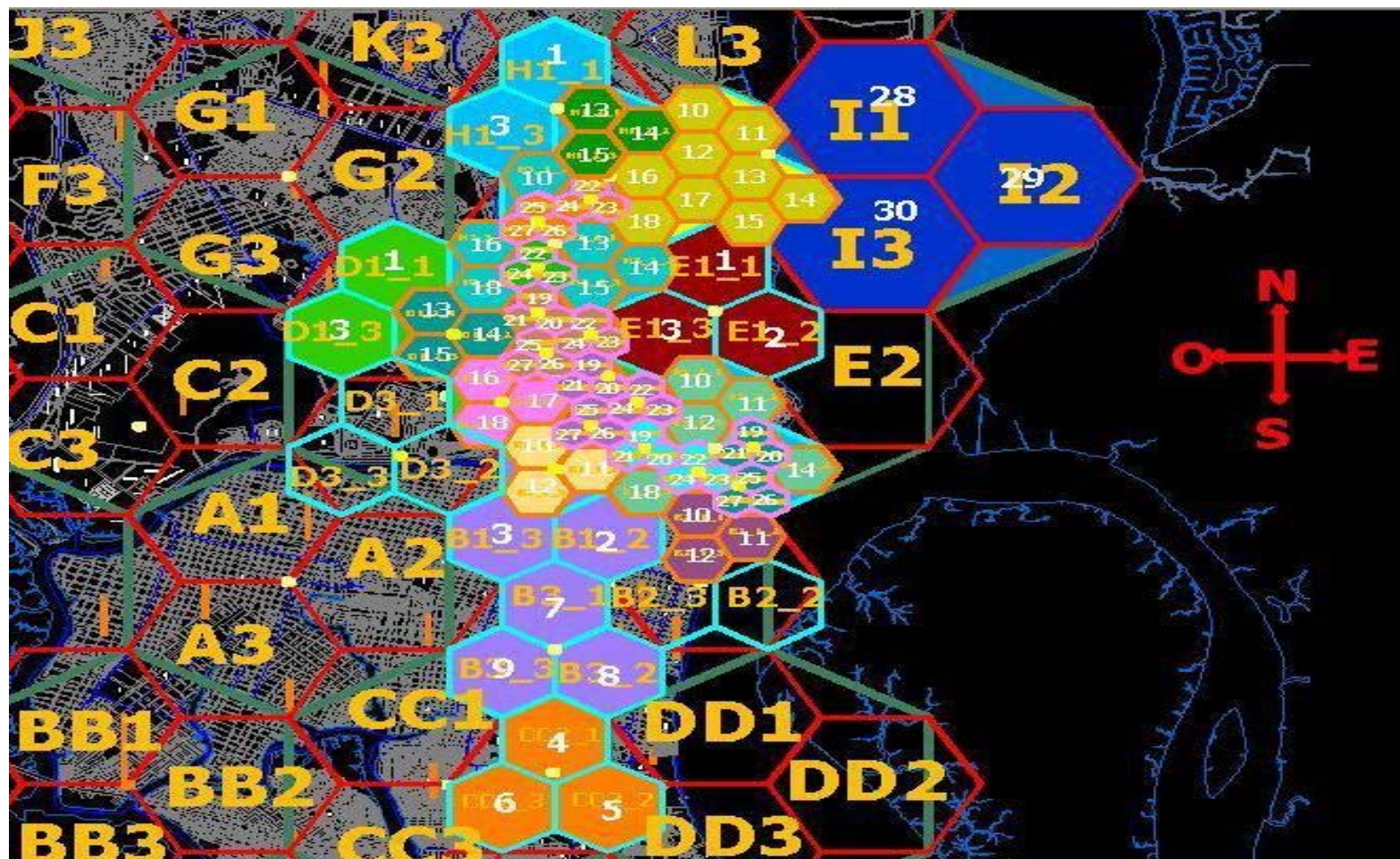


Figura 4.43 Asignación de Códigos de Aleatorización en la Fase 3 de UMTS

4.3.4 Redimensionamiento y modificaciones de la red

Las necesidades y requerimientos de los nuevos servicios de carácter multimedia provistos por UMTS obligan a adoptar el uso de una tecnología de transporte capaz de soportar el manejo de criterios de QoS, y de complementar el incremento de capacidad que la técnica de acceso WCDMA ha provisto a la red, es así que en una primera fase el estándar adopta como protocolo de capa de enlace a ATM (Asynchronous Transfer Mode) [42][43].

ATM tiene una velocidad de transmisión de datos superior a los 155 Mbps, es capaz de transferir voz, video y datos. Tiene una arquitectura basada en celdas, las cuales tienen siempre una longitud fija de 53 bytes.

Las celdas pequeñas de longitud fija son adecuadas para la transmisión de tráfico de voz y video porque este tráfico no tolera demoras, el tráfico de video y voz no tiene que esperar que se transmita un paquete de datos más grande.

El LA2 es la que deberá adoptar estos cambios de tecnología, aunque se ha previsto que el cambio no resulte tan complejo ya que actualmente las empresas que dan servicio de transporte de datos localmente utilizan esta tecnología en sus redes. Las modificaciones a las otras LA son más bien de carácter cuantitativo, ya que como es de esperarse el número de enlaces y su capacidad han aumentado. En las Tabla 4.64 y 4.65 se resume el despliegue de la red de transporte en las fases restantes de desarrollo, para

observar en detalle el diseño final de la red haga referencia a las Figuras 4.22 a 4.24

Tabla 4.64 Capacidad de los enlaces de la Fase 3

FASE3					
ENLACES	NODOS		DISTANCIA(m)	CANALES	E1
Enlace1	P	BSC1	3486,82	33	2
Enlace2	Q	BSC1	3546,1	33	2
Enlace3	M	BSC1	3767,47	33	2
Enlace4	O	BSC1	3509,1	33	2
Enlace5	J	BSC1	3464,1	87	3
Enlace6	K	BSC1	3441,82	38	2
Enlace7	F	J	3419,1	13	1
Enlace8	G	J	3486,82	39	2
Enlace9	L	MSC/BSC2	5147,05	33	2
Enlace10	H	MSC/BSC2	1274,12	993	34
Enlace11	I	MSC/BSC2	3848,88	44	2
Enlace12	D	MSC/BSC2	2898,94	514	18
Enlace13	B	MSC/BSC2	2907,88	250	9
Enlace14	EE	FF	4242,96	33	2
Enlace15	FF	C	2939,68	69	3
Enlace16	C	A	2788,06	112	4
Enlace17	A	BSC3	3486,81	153	6
Enlace18	BB	BSC3	3457,21	39	2
Enlace19	DD	BSC3	2308,67	36	2
Enlace20	AA	BSC3	4394,18	39	2
Enlace21	H1	H	1156,45	144	5
Enlace22	H2	H	1761,2	416	14
Enlace23	H3	H	1153,43	433	15
Enlace24	D1	D	1371,57	139	5
Enlace25	D2	D	1192,37	351	12
Enlace26	E1	E	1334,56	135	5
Enlace27	E3	E	688,12	431	15
Enlace28	B1	B	1137,42	47	2
Enlace29	B2	B	999,15	161	6
Enlace30	B3	B	1162,05	42	2
Enlace31	CC2	CC	1130,32	43	2
Enlace32	H2_1	H2	670,77	139	5
Enlace33	H2_2	H2	667,27	136	5
Enlace34	H2_3	H2	1334,32	141	5
Enlace35	H3_1	H3	664,67	144	5
Enlace36	H3_2	H3	665,4	144	5
Enlace37	H3_3	H3	672,25	145	5
Enlace38	D2_1	D2	674,83	151	6
Enlace39	D2_2	D2	662,62	151	6
Enlace40	E3_1	E3	688,12	135	5
Enlace41	E3_2	E3	631,77	143	5
Enlace42	E3_3	E3	652,5	153	6
Enlace43	B2_1	B2	684,14	134	5
Principal1	BSC1	MSC/BSC2	10399,15	344	12
Principal2	BSC3	MSC/BSC2	6339,8	554	19

Tabla 4.65 Capacidad de los enlaces de la Fase 4

FASE 4					
ENLACES	NODOS		DISTANCIA(m)	CANALES	E1
Enlace1	P	BSC1	3486,82	36	2
Enlace2	Q	BSC1	3546,1	36	2
Enlace3	M	BSC1	3767,47	36	2
Enlace4	O	BSC1	3509,1	36	2
Enlace5	J	BSC1	3464,1	102	4
Enlace6	K	BSC1	3441,82	42	2
Enlace7	F	J	3419,1	15	1
Enlace8	G	J	3486,82	49	2
Enlace9	L	MSC/BSC2	5147,05	36	2
Enlace10	H	MSC/BSC2	1274,12	1321	45
Enlace11	I	MSC/BSC2	3848,88	147	5
Enlace12	D	MSC/BSC2	2898,94	1109	37
Enlace13	B	MSC/BSC2	2907,88	541	19
Enlace14	EE	FF	4242,96	36	2
Enlace15	FF	C	2939,68	78	3
Enlace16	C	A	2788,06	128	5
Enlace17	A	BSC3	3486,81	175	6
Enlace18	BB	BSC3	3457,21	42	2
Enlace19	DD	BSC3	2308,67	39	2
Enlace20	AA	BSC3	4394,18	47	2
Enlace21	H1	H	1156,45	246	9
Enlace22	H2	H	1761,2	429	15
Enlace23	H3	H	1153,43	646	22
Enlace24	D1	D	1371,57	91	4
Enlace25	D2	D	1192,37	966	33
Enlace26	E1	E	1334,56	141	5
Enlace27	E3	E	688,12	777	26
Enlace28	B1	B	1137,42	229	8
Enlace29	B2	B	999,15	174	6
Enlace30	B3	B	1162,05	138	5
Enlace31	CC2	CC	1130,32	142	5
Enlace32	H2 1	H2	670,77	147	5
Enlace33	H2 2	H2	667,27	147	5
Enlace34	H2 3	H2	1334,32	135	5
Enlace35	H3 1	H3	664,67	321	11
Enlace36	H3 2	H3	665,4	132	5
Enlace37	H3 3	H3	672,25	193	7
Enlace38	D2 1	D2	674,83	415	14
Enlace39	D2 2	D2	662,62	415	14
Enlace40	E3 1	E3	688,12	141	5
Enlace41	E3 2	E3	631,77	291	10
Enlace42	E3 3	E3	652,5	345	12
Enlace43	B2 1	B2	684,14	140	5
Enlace44	H3 1 2	H3 1	385,86	135	5
Enlace45	H3 1 3	H3 1	385,86	137	5
Enlace46	H3 3 2	H3 3	386,11	135	5
Enlace47	D1 2	D1	710,5	141	5
Enlace48	D2 1 1	D2 1	377,46	139	5
Enlace49	D2 1 2	D2 1	389,1	141	5
Enlace50	D2 1 3	D2 1	284,45	135	5
Enlace51	D2 3	D2	595,83	136	5
Enlace52	D3	D	1020,71	52	2
Enlace53	D2 2 1	D2 2	374,7	141	5
Enlace54	D2 2 2	D2 2	320,64	139	5
Enlace55	D2 2 3	D2 2	397,54	135	5
Enlace56	E3 3 1	E3 3	365,72	149	5
Enlace57	E3 3 2	E3 3	398,2	147	5
Enlace58	E3 2 1	E3 2	352,8	127	5
Enlace59	E3 2 3	E3 2	286,67	147	5
Enlace60	B1 1	B1	666,34	138	5
Enlace61	H1 2	H1	583,2	147	5
Principal1	BSC1	MSC/BSC2	10399,15	391	14
Principal2	BSC3	MSC/BSC2	6339,8	725	25

El objetivo final de la red de transporte es constituir un CN que maneje en su totalidad IP como plataforma para los servicios, pero debido al poco manejo de políticas de QOS que actualmente ofrece IP para servicios como la voz en el marco de la calidad que requiere la telefonía móvil, ATM ofrece una solución válida aunque no comparable con los beneficios en la fiabilidad, facilidad y ahorro que trae consigo IP. Un paso intermedio hacia la consolidación de la red TODO IP es MPLS [44] como tecnología para el transporte.

MPLS (Multi-Protocol Label Switching), es una nueva tecnología de conmutación creada para proporcionar circuitos virtuales en las redes IP, intenta conseguir las ventajas de ATM pero soluciona su principal inconveniente al asignar a los datagramas de cada flujo de datos una etiqueta única que permite una conmutación rápida en los nodos intermedios, además de establecer manejos adecuados de QoS.

En el proceso evolutivo previsto para nuestra red MPLS puede resultar una alternativa válida frente al reto de lograr una convergencia total hacia IP, pero consideramos que dentro del periodo de análisis de este estudio las características de ATM cumplen con los requerimientos de la red.

4.3.5 Análisis de las problemáticas de la implementación UMTS

La red planteada por este estudio presenta un escenario de trabajo conjunto, lo cual trae consigo una serie de consideraciones a ser tomadas en cuenta para el diseño, despliegue y optimización de la misma, entre ellas podemos citar [48]:

- ❖ **Interferencias entre escenarios.** Se debe tener en cuenta la interferencia entre el sistema UMTS y GSM900 en los segundos armónicos de GSM
- ❖ **Reutilización de emplazamientos:** Esta opción permite básicamente la disminución de costos en el despliegue para el operador.
- ❖ **Correspondencia entre servicios y tecnología:** La estrategia inicial es cursar el tráfico de voz sobre la red GSM, los datos de baja velocidad serán atendidos mediante GPRS y los servicios que requieran mayores velocidades se cursarán a través de UMTS. Con esto se busca no saturar las distintas redes.
- ❖ **Balance de carga entre tecnologías:** En el caso de que una determinada tecnología sufra una demanda excesiva provocando así la escasez de los recursos asignados a esta, se impone la necesidad de balancear el sistema
- ❖ **Continuidad de la cobertura y capacidad:** Uno de los problemas asociado a la operación de redes multitecnológicas es determinar

cómo se garantiza la continuidad de los servicios al pasar de una red a otra. Para ello hay que tratar de analizar y optimizar dos aspectos fundamentales:

- La asignación de servicios portadores radio para las distintas aplicaciones y servicios previstos.
- Los criterios para realizar traspasos o reselecciones de célula entre redes garantizando.

CAPITULO V: COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN

Desde el punto de vista económico, la implementación de una red celular por parte de una nueva operadora que ingresa al mercado, representa una inversión extremadamente grande, no sólo en cuanto infraestructura se refiere, sino también en cuanto a la competencia con las otras operadoras ya existentes, la inversión publicitaria es primordial para llegar a un punto de equilibrio, es más difícil ingresar en un mercado que ya tiene todas las reglas del juego dadas que en un mercado completamente nuevo. El actual mercado celular se desenvuelve en un ambiente oligopólico, en el cual es muy complicado ingresar por las trabas que se presentan a menudo.

La intención de este capítulo es dar una vista general al aspecto económico de la implementación de las redes celulares, no se va a profundizar en aspectos como ganancia y pérdidas de éste negocio, se considerará principalmente el aspecto de la infraestructura, para determinar los costos y la inversión total para lograr la red celular.

Una de las ventajas de trabajar en bandas GSM 1900 es que se pueden conseguir teléfonos más baratos (economía a escalas) ya que en esas frecuencias se fabrican la mayoría de los teléfonos, además un número considerable de usuario móviles de las otras operadoras en Ecuador ya cuentan con teléfonos tri-banda o cuatri-banda, los mismos que podrían cambiarse a nuestra operadora.

Una posibilidad debido a la saturación de la banda PCS es la migración hacia las frecuencias 2100 en lo que respecta a UMTS, la figura 5.1 muestra la

atribución que en Ecuador ya se ha tomado en cuenta por parte de la CONATEL [45]

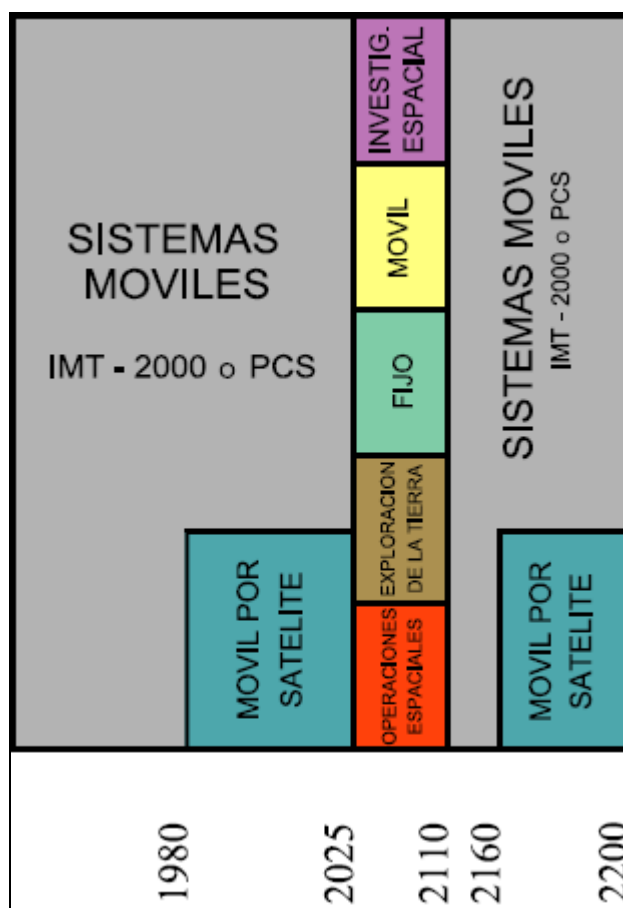


Figura 5.1 Atribución de las bandas PCS en Ecuador

5.1 Equipos Radiantes

Los equipos radiantes son todos los equipos utilizados para lograr la cobertura celular en un área específica, entre estos básicamente podemos mencionar a las antenas que brindarán el servicio celular, además se

considerará en la evaluación del presupuesto la estructura necesaria para su montaje, lo que incluye: torres, accesorios de soporte y fijación, aterrizaje, aislamiento y demás implementos físicos involucrados.

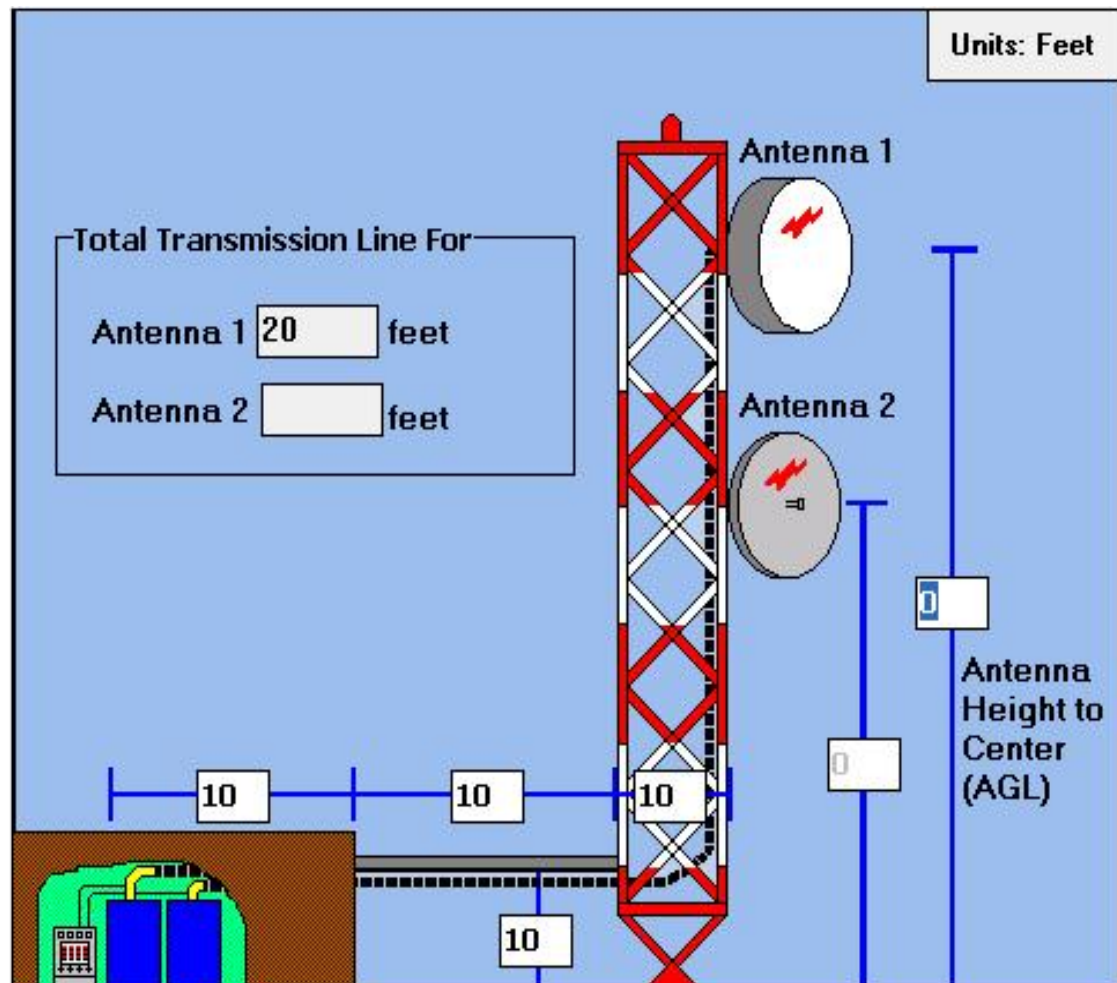


Figura 5.2 Equipos radiantes y accesorios de una BTS modelo

En la Figura 5.2 se puede observar los elementos principales que se han considerado en la implementación física de un emplazamiento típico de la red de acceso. En este caso el montaje es sobre una torre tipo base triangular,

pero esto variará según las condiciones topológicas y urbanísticas que el sector presente.

El principal elemento ha ser analizado en este apartado es la antena que radiará la señal común de acceso a los usuarios en el área de cobertura, las características y requerimientos tratados en la sección 4.1.4 nos orientan en la elección final en el mercado de las antenas que cumplan con dichos perfiles de funcionamiento. Es decir básicamente de tipo panel, con un ancho de haz a media potencia de 65° y una ganancia que oscile entre 16 y 18 dBi [Anexo E.1].

La obtención de estos costos se logró utilizando el software de aplicación gratuito Powertool de la empresa Andrew [46], el cual nos permitió realizar la adecuada selección de los implementos en función de sus características eléctricas y mecánicas; para finalmente proporcionarnos la cotización real de estos productos. En la Tabla 5.1 se muestra la cotización de las antenas, los materiales (jumpers, amplificadores, líneas de transmisión) y accesorios (conectores, aterrizaje, etc.) para su implementación, asumiendo un emplazamiento típico de altura 30m.

Aunque las características del montaje dependen de múltiples variables relacionadas al entorno del mismo, en promedio el costo aproximado de la

implementación de los equipos radiantes para el acceso móvil es de \$12000, donde la mayor variación entre los casos evaluados es la utilización del cable principal de transmisión (feeder), que lleva la señal del equipo radio a la antena propiamente dicha, y viceversa.

Además uno de los principales rubros en esta cotización es el uso de los MHA (Masthead Amplifiers ó Amplificadores de Mástiles) que son amplificadores que se utilizan para compensar la falta de potencia que se experimenta en el enlace ascendente, la cual normalmente es mucho menor que el enlace descendente.

Con esto se logra mejorar el rendimiento de cada emplazamiento al igualar las zonas de cobertura para ambos sentidos de la comunicación.

Tabla 5.1 Cotización los elementos radiantes y accesorios (h = 30m)

	Cantidad	Unidad	Descripción	\$ Unit	\$ Total
Antenas	3	EA	1850-1990 MHz, Polarización Vertical, Haz Principal 65 grados, Ganancia 17.30 dBd, Antena Panel	\$ 996,00	\$ 2.988,00
MHA	3	EA	Amplificador utilizado para mejorar la cobertura compensando las pérdidas en el enlace ascendente, Ganancia 12dB	\$ 2.421,00	\$ 7.263,00
Jumper Superior	2	M	Superflexible, Cable Coaxial, 1/2", 50 ohm , HELIAX (Bajo nivel VSWR de 1850-1990 MHz)	\$ 8,23	\$ 16,46
	2	EA	Conector, 7-16 DIN Macho para 1/2 HELIAX (Series FSJ4, HS4, y HST4)	\$ 24,66	\$ 49,32
	2	EA	Cargo por atar los conectores FSJ4P-50B-24	\$ 8,83	\$ 17,66
Línea Principal	27	M	Superflexible, Cable Coaxial, 1/2", 50 ohm, HELIAX (Bajo nivel VSWR de 1850-1990 MHz)	\$ 8,23	\$ 222,21
	1	EA	7-16 DIN Hembra para 1/2" FSJ4-50B	\$ 24,66	\$ 24,66
	1	EA	7-16 DIN Macho Ángulo Recto para 1/2" FSJ4-50B	\$34,96	\$ 34,96
	2	EA	Cargo por atar los conectores FSJ4P-50B-24	\$ 8,83	\$ 17,66
Jumper Inferior	2	M	Superflexible, Cable coaxial, 1/2", 50 ohm, HELIAX (Bajo VSWR de 1850-1990 MHz)	\$ 8,23	\$ 16,46
	2	EA	7-16 DIN Hembra para 1/2" FSJ4-50B	\$ 24,66	\$ 49,32
	2	EA	Cargo por atar los conectores FSJ4P-50B-24	\$ 8,83	\$ 17,66

	Cantidad	Unidad	Descripción	\$ Unit	\$ Total	
Accesorios	Componentes de Instalación	2	EA	Agarraderas SnapStack, Cantidad. 10, para 1/2" coaxial Heliax	\$ 21,84	\$ 43,68
		1	EA	Ángulos Adaptadores Universales desde 1/2" a 1-5/8" SnapStak snap-in hangers	\$ 44,00	\$ 44,00
	Soportes y Grapas	3	EA	Grapas para cables coaxiales de 1/2" y EW180y EW220 guías de onda elípticas	\$ 16,98	\$ 50,94
	Aterrizaje	9	EA	Juego de Aterrizaje, qty. 1, Cable de 1000m con 2 agujeros de fabrica en la varilla	\$ 21,82	\$ 196,38
	Aislam.	3	EA	Juego de Aislamiento para cables y conectores	\$ 19,70	\$ 59,10
	Entrada de Cable	1	EA	Plato de Entrada de Cable, 2 Agujeros de 5"	\$ 64,74	\$ 64,74
	Protección de Entrada	3	EA	Serie T 1850-1990 MHz	\$ 272,00	\$ 816,00
	Total					\$ 12.924,95

Cabe indicar que este valor promedio corresponde a un típico emplazamiento de GSM trisectorizado y con una portadora por sector, así en los emplazamientos donde se haya planificado desplegar la cobertura 3G se requerirá añadir un panel para cada sector UMTS, ya que a pesar de que existe la posibilidad de implementar paneles en funcionamiento dual, se

recomienda el trabajo separado de los sistemas radiantes de las distintas redes de acceso por cuestiones de escalabilidad y rendimiento; esto se traduce en una duplicación de los gastos estimados para este rubro.

Como se mencionó anteriormente, las características del montaje de los emplazamientos están dadas por las condiciones del entorno, así:

- En las celdas caracterizadas por un bajo nivel de consumo y un amplio radio celular, se necesitan torres de una altura considerable.
- Las celdas de una intensidad de tráfico mayores y ubicados en los grandes centros urbanos se caracterizan por torres ubicadas en las terrazas de los edificios ó en los ventanales y fachadas de los mismos.

En la Figura 5.3 se muestran los distintos tipos de estructuras de montaje de los emplazamientos:

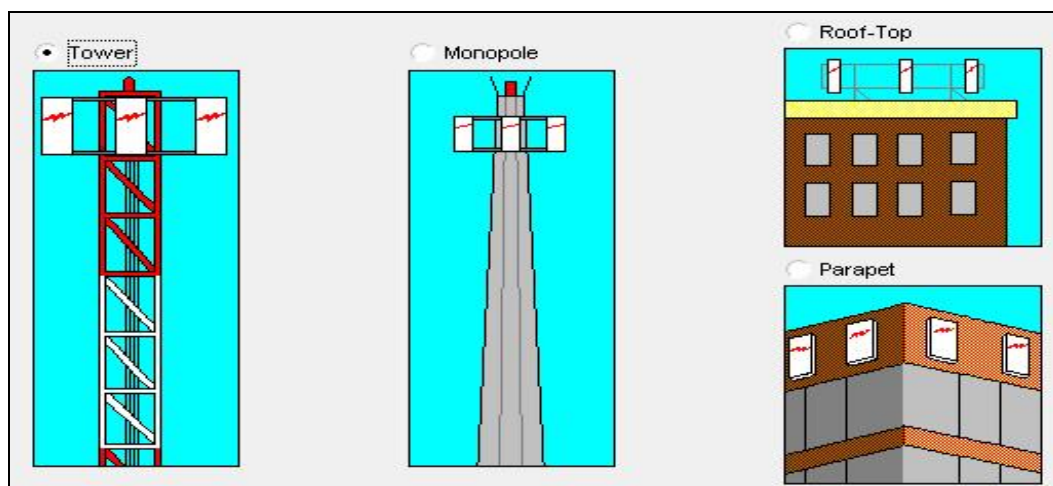


Figura 5.3 Estructuras de montaje para los emplazamientos

Por medio de una de las herramientas que constan en el software Powertool [36] se pudo obtener la cotización de una estructura tipo A (es decir de base triangular ó torre auto soportada) de 30m de altura, y los accesorios recomendados para la implementación, estos valores [46] se muestran en la Tabla 5.2

Tabla 5.2 Cotización de una torre base triangular de 30m de altura

Cotización de la Torre h=30m (Andrew)					
Cantidad	Unidad	Código	Descripción	\$ Unit	\$ Total
1	EA	M30-30	Torre de 30m	\$ 11.752,31	\$ 11.752,31
6	EA		GSM Brackets	\$ 439,91	\$ 2.639,46
1	EA		Microwave Brackets	\$ 458,76	\$ 458,76
1	EA		Luz de Navegación AC	\$ 820,15	\$ 820,15
1	EA		Conductores de Bajada	\$ 283,96	\$ 283,96
1	EA		Aterrizaje	\$ 620,98	\$ 620,98
					\$ 16.575,62

Este valor guarda relación con los datos obtenidos localmente por medio de las empresas que se encargan de brindar este tipo de servicio a los operadores celulares. En la Tabla 5.3 se resumen los precios para los distintos tipos de estructuras y alturas correspondientes [47]:

Tabla 5.3 Cotización nacional de las estructuras de montaje

Cotización de las estructuras de montaje en el mercado nacional								
Tipo	Altura (m)	Precio	Tipo	Altura (m)	Precio	Tipo	Altura (m)	Precio
Monopolo (Base redonda)	12	\$8.000,00	Torre (Base Triangular)	12	\$7.500,00	Ventadas (Parapet)	12	\$1.900,00
	30	\$18.500,00		24	\$13.500,00		18	\$3.000,00
	48	\$31.500,00		36	\$19.500,00		30	\$5.000,00

Debido a ciertos tipos de lineamientos urbanos guiados por la estética, últimamente se está optando por la mimetización de las estructuras o torres con su ambiente para de ésta manera disimular su existencia, pero en este análisis no hemos tomado en consideración los gastos adicionales que esto produciría.

Otros valores ha ser considerados en la implementación de los emplazamientos son el alquiler o adquisición del área donde se edificará la estructura, la construcción de la caseta que albergará la BTS y demás equipos radio, equipos de climatización, alimentación y respaldo eléctrico; y el servicio de seguridad con que debe contar el lugar. La Tabla 5.4 muestra una estimación acorde a un emplazamiento modelo de nuestra red, con valores típicos que se manejan en la ciudad de Guayaquil.

Tabla 5.4 Otros Gastos implícitos en el costo de un emplazamiento

Emplazamiento Modelo	
Gastos	Costo
Caseta de 8 m2	\$6.000,00
Costo de alquiler promedio mensual	\$200,00
Costo mensual por alquiler del terreno	\$200,00
Sueldo mensual por seguridad	\$180,00
TOTAL	\$6580,00

5.2 Unidades Funcionales de la Red

La parte fundamental de la red la conforman sus unidades funcionales, dentro de las cuales se pueden mencionar las siguientes: BTS, BSC, MSC, en lo que respecta a la red GSM; Nodo B, RNC, en lo que respecta a la red UMTS, entre otros elementos, que son los que soportan a la red como tal, los precios de este tipo de equipos representan un gran porcentaje de la inversión a realizar, ya que por tratarse de equipos tecnológicamente complejos y de gran capacidad poseen un valor que fácilmente supera varios miles de dólares.

En principio especifiquemos cuales son las unidades funcionales de la red GSM, para esto podemos observar la Arquitectura de la red GSM de la

figura 2.1 del capítulo 2. Como podemos observar en el gráfico de la estructura de la red GSM, esta se compone principalmente de los siguientes elementos:

- BTS (Base Station), este es el componente que se va a utilizar en mayor cantidad ya que será el punto neutral de cada emplazamiento, se determinó utilizar una BTS GSM (4+4+4), en la Tabla 5.5 se muestra su valor, cuyos datos técnicos se encuentran en el Anexo E.1

Tabla 5.5 Costo de una BTS GSM (4+4+4)

BTS	
BTS GSM (4+4+4)	21000

- BSC (Base Station Controller), como su nombre lo indica, es la encargada de controlar todas las estaciones bases, este equipo se dimensiona en función del número de TRX que maneje, en nuestro caso utilizaremos una BSC que manejará un total de 120 TRX, como lo muestra la Tabla 5.6:

Tabla 5.6 Costo de una BSC GSM de 120 TRX

BSC (Controladora GSM)	
Costo por TRX	\$1.400
Máximo número de TRX permitido	120
Total	\$168.000

Además para el diseño propuesto se utilizarán un total de 3 BSC, con lo que el valor total por el concepto de BSC asciende a USD 504000.

Anexo E.2

- MSC (Mobile switching center), es el núcleo de la red, de ahí que su costo sea mucho más elevado que los demás componentes de la misma, estas centrales, se dimensionan o se compran en función del número de suscriptores que soporten, para nuestro caso utilizaremos una MSC que soporta un total de 200000 suscriptores según las estimaciones realizadas en la Tabla 4.38, además posee los módulos correspondientes a las unidades funcionales como el Visitor location register (VLR). Anexo E.3

Tabla 5.7 Costo de una MSC GSM y de algunos de sus componentes

MSC	
MSC	
Características	Precio
MSC 200000 subs	\$ 2.172.389
Expansiones VLR 200-300K	\$ 59.284
Expansión señalizadores	\$ 42.509
Expansión MSC 300K-400K	\$ 373.845
Expansiones adicionales	\$ 165.334
Servicios	\$ 176.720
Total	\$ 2.990.081

- Además de estos elementos que son los principales, se requiere de otras unidades funcionales no menos importantes, pero en sí, representan módulos, que se anexan simplemente a la red, pudiendo ser tarjetas diseñadas, entre estos módulos se encuentran los siguientes:

Tabla 5.8 Costos de módulos que pertenecen a la Arquitectura GSM

Otras Unidades Funcionales	
Sistema de Soporte de Operación	
HLR, VLR, EIR, AUC (Centro de Autenticación)	\$ 500.000,00
Billing and Customer Management Center	\$ 500.000,00
OMC (Operations Management Center)	\$ 500.000,00
Short Message Service Centre (SMSC)	\$ 176.720,00
Total	\$ 1.676.720,00

En la siguiente etapa del diseño de la red se ha planificado una evolución hacia una red UMTS a partir de la red de GSM, esta red UMTS, como observamos en un capítulo anterior, se encuentra estructurada de la siguiente manera:

- Nodo B, el equivalente a las BTS de la red GSM, se encuentra ubicado uno en cada emplazamiento, para brindar la cobertura celular, el cual tiene un costo más elevado que las BTS, por ser un dispositivo de tercera generación:

Tabla 5.9 Costo de Una BTS 3G (UMTS)

BTS 3G (NODO B)	30000
------------------------	--------------

- RNC (Radio Network Controller), el equivalente a la BSC de la red GSM, este equipo de igual manera se dimensiona o se compra en función del número de TRX que maneja, para este caso se desea obtener y manejar un total de 120 TRX, por lo tanto:

Tabla 5.10 Costo de un RNC de 120 TRX

RNC (Controladora 3G)	
Costo por TRX	\$3.000
Máximo número de TRX permitido	120
Total	\$360.000

- En cuanto a la central móvil de conmutación (MSC 3G), se sobreentiende que la MSC anterior, ya permite la evolución hacia la red UMTS, de igual manera con sus correspondientes módulos adicionales, como el HLR, VLR, EIR, etc.

En la Tabla 5.11 se comparan los datos entre los valores teóricos de capacidad estimados para los elementos de la arquitectura de la red y las especificaciones de la solución real encontrada en el mercado.

La principal preocupación apunta a analizar los niveles máximos con el objeto de considerar la escalabilidad y crecimiento.

Tabla 1.11 Datos Teóricos vs. Capacidad real de los elementos

Comparación de datos teóricos requeridos con datos de los equipos seleccionados			
		Datos teóricos (Requeridos)	Datos solución Nokia
MSC	Suscriptores	103123	150000
	Erlangs	374	8600
BSC	BTSs Máx	63	248
BTS	TRXs Máx	8 Máx	12 Máx

5.3 Red de Transporte

En la red de transporte de nuestra red, hemos considerado dos alternativas para la interconexión de las unidades funcionales de la red, la primera el uso de enlaces inalámbricos propios en frecuencias licenciadas, y en segundo lugar la utilización de fibra óptica para las zonas más congestionadas de nuestra red, como lo veremos más adelante.

Primero consideremos el caso de los enlaces inalámbricos propios, los cuales se utilizarán principalmente para realizar las siguientes conexiones principalmente:

- BTS - BTS
- BTS - BSC

Para los enlaces inalámbricos utilizaremos microondas punto a punto, las cuales trabajaran en la banda de 15 GHZ, este tipo de enlaces tienen un costo por valor de concesión, el cual se obtiene de la siguiente fórmula [5]:

$$T(\text{US \$}) = K_a * \alpha_2 * \beta_2 * A * F_p$$

Ecuación 5.1

Donde:

Tabla 5.12 Significado de las variables de la ecuación 5.1

$T(\text{US\$})$	=	Tarifa mensual en dólares de los Estados Unidos de América, por frecuencia asignada.
K_a	=	Factor de ajuste por inflación.
α_2	=	Coefficiente de valoración del espectro para el Servicio Móvil en bandas sobre 30 MHz, no multiacceso.
β_2	=	Coefficiente de corrección para el Servicio Móvil en bandas sobre 30 MHz, no multiacceso.
A	=	Anchura de banda de la frecuencia asignada en kHz.
F_p	=	Factor de propagación.

Además, se debe considerar, que cada uno de estos enlaces, tiene un costo de 150 dólares anual, por uso de la banda, adicional al valor de la concesión.

A partir del gráfico y subdivisión de celdas del mapa de Guayaquil, considerando la división y nomenclatura respectiva, el total de enlaces y su costo respectivo, es el siguiente:

Tabla 5.13 Costos totales de la red de enlaces vía radio.

	Número enlaces inalámbricos	Costo
BSC1 (N)	6	19460,26
BSC3 (CC)	5	16648,55
J	3	11025,13
FF	2	8213,42
C	2	8213,42
A	2	8213,42
M	1	5401,71
P	1	5401,71
O	1	5401,71
Q	1	5401,71
K	1	5401,71
FF	1	5401,71
G	1	5401,71
EE	1	5401,71
BB	1	5401,71
DD	1	5401,71
AA	1	5401,71
Total	31	131193,01

En general, estos costos son obtenidos a partir de la estimación del costo un enlace conformado por los siguientes ítems, los cuales conforman toda la estructura de la conexión inalámbrica:

Tabla 5.13 Cotización para la implementación de un radio enlace.

Cotización : BTS1		
Cant.	Descripción	Total
1	1 ft.Antena ValuLine de 30 cm para 12.7-13.25 GHz con polarización simple, WR75	609.00
23	Guía de onda standard elíptica, EW127A, (Ancho de banda desde 11.7-13.25 GHz)	1253.50
3	Colgantes standard cantidad 10, para cable coaxial 5/8" guía de onda Heliax	68.55
3	Adaptador de ángulo compacto cantidad 10 para guía de ondas EW52 hasta EW240	97.20
3	kit de aterrizaje, cable de 24" con un hoyo para cable coaxial 7/8" guía de onda HELIAX	62.01
1	Abrazaderas para guía de onda elíptica EW85, EW90, EW127A, y EW132	22.85
2	Conector, ajustable, compatible con WR75 tapón o cubierta para EWP127	650.00
1	WR75 ventana de presurización	48.60
1	Dehydrator, 115 Vac 60 Hz,. Ajustado de fábrica a 5 psi.	2590.00
		\$5,401.71

Cabe considerar que cuando se trata de más de un enlace, el costo no es directamente proporcional, ya que ciertos elementos solo intervienen una vez independientemente del número de enlaces.

En lo que respecta a los enlaces vía fibra óptica, se decidió por su implementación, en las zonas de mayor concentración de usuarios, ya que el tráfico respectivo, así lo requiere, inicialmente se utilizará como red de transporte para este tráfico, la red tendida de fibra óptica en la ciudad de Guayaquil de la empresa Pacifictel S.A., ya que resulta más económico su arrendamiento que su implementación ya sea a corto o mediano plazo.

En general, el costo de arrendamiento de la red de fibra óptica, depende de la capacidad del enlace que se requiera, a partir de esta premisa tenemos los siguientes costos:

Tabla 5.14 Costos de alquiler de enlaces vía Fibra Óptica

Velocidad	Costo de instalación	Cuota de alquiler mensual
E1 (2Mbps)	\$250 por enlace	\$ 1.156
E3 (34Mbps 16E1)	\$250 por enlace	\$ 3.500
DS3 (21E1)	\$250 por enlace	\$ 4.500
STM1 (63E1)	\$ 3.500	\$15000

A partir de estos costos, se realizó el análisis económico, para determinar el tipo de servicio (E1, E3, DS3, ó STM1) que necesitamos alquilar, teniendo como base el número total de E1 que deberá soportar cada enlace, hemos calculado el costo respectivo para cada una de las 4 fases como la muestra la Tabla 5.15

Tabla 5.15 Costos totales de la red de enlaces vía Fibra Óptica

	Origen	Destino	Capacidad de Conexión	Costos Mensuales	
FASE 1	L	E	2 E1	2.312	
	H	E	1STM1	15.000	
	I	E	1 E3	3.500	
	D	E	1STM1	15.000	
	B	E	1DS3	4.500	
FASE 2	H1	H	1 E3	3.500	
	H2		1 E3	3.500	
	H3		1STM1	15.000	
	D1	D	1 E3	3.500	
	D2		1STM1	15.000	
	B1	B	1 E3	3.500	
	B2		1 E3	3.500	
	B3		1 E3	3.500	
	E1	E	1 E3	3.500	
	E3		1STM1	15.000	
FASE 3	H2_1	H2	1 E3	3.500	
	H2_2		1 E3	3.500	
	H2_3		1 E3	3.500	
	H3_1	H3	1 E3	3.500	
	H3_2		1 E3	3.500	
	H3_3		1 E3	3.500	
	D2_1	D2	1 E3	3.500	
	D2_2		1 E3	3.500	
	E3_1	E3	1 E3	3.500	
	E3_2		1 E3	3.500	
	E3_3		1 E3	3.500	
	B2_1	B2	1 E3	3.500	
	FASE 4	H1_2	H1	1 E3	3.500
		H3_1_2	H3_1	1 E3	3.500
		H3_1_3		1 E3	3.500
H3_3_2		H3_3	1 E3	3.500	
D1_2		D1	1 E3	3.500	
D2_1_1		D2_1	1 E3	3.500	
D2_1_2			1 E3	3.500	
D2_1_3			1 E3	3.500	
D2_2_1		D2_2	1 E3	3.500	
D2_2_2			1 E3	3.500	
D2_2_3			1 E3	3.500	
E3_3_1		E3_3	1 E3	3.500	
E3_3_2			1 E3	3.500	
E3_2_1		E3_2	1 E3	3.500	
E3_2_3			1 E3	3.500	
B1_1		B1	1 E3	3.500	
D3		D	2 E1	0	
D2_3	D2	1 E3	3.500		
TOTAL				213.624	

A partir de todo el desglose anterior podemos generar un bosquejo en cuanto al total necesario para la inversión para la implementación de una red de estas características detallada en la Tabla 5.16.

Tabla 5.16 Resumen general de costos (Inversión Inicial)

		Equipos/Accesorios/extras	Unds.	C. U.	Total
	Transporte	Enlaces a través de fibra óptica (puntos de conexión)	45	*	213624
		Microondas (Parabólica, feeder, equipo radio,etc)	31	**	131193,01
		Costo mensual por concesión de la banda para microondas	31	150	4650
GSM	BTS	Torre h=30 m (incluye antenas paneles y accesorios)	63	29500,57	1858535,91
		Caseta 8 m2	63	6000	378000
		BTS GSM (2+2+2)	63	15000	945000
	BSC	BSC GSM (max 120 TRX permitido)	3	168000	504000
	MSC	MSC (200000 suscriptores, incluye módulo VLR)	1	2990081	2990081
	Módulos	HLR, EIR, AUC, OMC, SMC (una unidad de cada uno)	1	1676720	1676720
UMTS	Nodo B	BTS 3G (Nodo B)	45	30000	1350000
	RNC	RNC (Controlador de 3G para 120 TRX)	1	360000	360000
Total					10411803,9

Donde:

* Costo depende de la capacidad del enlace

** Costo del enlace depende del total de microondas montadas en el mismo emplazamiento

Como podemos observar en la tabla anterior, la implementación de una red de tercera generación representa una gran inversión, además cabe considerar aún el costo por concesión de la banda en la cual va a funcionar el sistema, este es uno de los valores más grandes en comparación con el resto de gastos, y basándose en el artículo del Universo [24] podemos decir que el valor de la banda que necesitamos (15 MHz) oscila entre los 6 y 8 millones de dólares, también la importación de los equipos de tercera generación, los cuales por no ser tan difundidos en Latinoamérica, tienen un costo superior al de los equipos pertenecientes a la generación 2.5.

Fundamental importancia tiene la inversión en publicidad, ya que para ingresar en el mercado celular actual del Ecuador, primero se deberían realizar campañas agresivas dirigidas principalmente al grupo 19 – 30 años, rango de usuarios que representa nuestro nicho de mercado, para poder aspirar a mantenerse como una empresa estable los primeros años, y así dentro de un mediano plazo comenzar a recibir ingresos una vez que se recupero la inversión inicial.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Luego de haber finalizado este estudio se puede llegar a las siguientes conclusiones:

- ❖ Las características del mercado local hacen de GSM la tecnología celular dominante, la cual además prevé una evolución natural hacia los servicios de 3G mediante la implementación de UMTS.

- ❖ Mediante la implementación de GPRS junto con la técnica EDGE, las redes actuales pueden satisfacer las necesidades locales para servicios con tasas de transferencias moderadas.

- ❖ El despliegue de cada una de estas tecnologías conlleva un determinado proceso de planificación, principalmente si comparamos los procesos GSM y UMTS, esto se explica básicamente en la utilización de distintas técnicas de acceso en la interfase radio. Mientras que GSM emplea un híbrido entre TDMA y FDMA donde la frecuencia es el recurso crítico y por ende se requiere el empleo de metodologías adecuadas para su asignación eficaz, en UMTS la interfaz radio emplea WCDMA por lo cual el uso de la frecuencia ya no es una limitante sino más bien el factor de ortogonalidad esta dado por los códigos.

- ❖ La aceptación de una posible cuarta operadora en el mercado es bastante buena y aumenta considerablemente si esta ofrece servicios catalogados de 3G como son la videoconferencia, juegos en línea, TV móvil, etc. Además comercialmente produciría beneficios económicos para el usuario al teóricamente bajar las tarifas y mejorar la calidad por el efecto de la libre competencia.

- ❖ A pesar de que los índices de aceptación de una operadora que ofrezca tecnología 3G son altos, los niveles de las tasas de consumo de estos servicios no son lo bastante consistentes, por esto inicialmente una operadora que siga esta senda evolutiva debe contar con una estructura GSM/GPRS que le permita solventar las fases iniciales de funcionamiento.

- ❖ Es debido al marco económico y comercial del mercado local que una zonificación y un despliegue escalonado de la red UMTS se plantea como una estrategia de desarrollo razonable, además esta sustenta gracias a EDGE sobre la red GSM/GPRS, con lo cual el operador podrá brindar tasas de transferencia considerablemente buenas para las aplicaciones típicas de los usuarios de los sectores suburbanos.

- ❖ La plataforma que ofrece UMTS junto con una sólida estructura GSM/GPRS permitirá manejar al operador una política de tráfico que incremente sus beneficios y permita la administración eficaz de sus recursos. Así el funcionamiento final de la red modelada en el presente estudio obedece al siguiente esquema:
 - El servicio de voz será cursado bajo GSM
 - Las aplicaciones de transferencia de datos de media velocidad serán atendidas por GPRS/EDGE
 - UMTS atenderá las aplicaciones de banda ancha (en las zonas con cobertura UMTS)

- ❖ Además UMTS permitirá al operador llegar un nivel más cerca de la llamada convergencia IP, con lo cual el usuario final dispondrá de la llamada conectividad total, así no importa por cual red de acceso sea atendido, siempre estará conectado.

- ❖ La implementación de UMTS en el país no resultaría una inversión demasiado costosa para los operadores celulares GSM dada las siguientes consideraciones:
 - El costo de la banda de frecuencia es relativamente barato en comparación a otros países

- La mayor parte de los elementos de la arquitectura de red de los operadores GSM dispone de las características de actualización hacia UMTS
- Se aprovecharía casi la totalidad del CN

Además gracias a las experiencias y criterios logrados en este estudio podemos citar las siguientes recomendaciones con relación al tema:

- ❖ Aunque este proyecto parte de la premisa de la utilización de la banda de 1900MHz para el desarrollo de las redes tanto GSM como UMTS, la concesión por parte del Estado de la banda de 2100MHz para las aplicaciones 3G traería consigo ventajas económicas y técnicas para los operadores, además de abaratar el costo de los terminales para los usuarios finales.

- ❖ En el mismo ámbito de la administración del espectro radioeléctrico, de la información recabada para obtener el marco local de los sistemas celulares se encontró que los montos de adjudicación de las bandas a los operadores son demasiado bajos con respecto a las cifras que se manejan en otros mercados como el europeo, esto es un perjuicio para el Estado.

- ❖ Si las posibilidades económicas y regulatorias permiten a un operador poseer mas de una banda para el servicio UMTS, esta configuración permitiría un proceso de planificación, despliegue y rendimiento de la red mucho más eficiente.

Una estructura multicapas podría ser implementada de tal forma que permita atender por separados los requerimientos de las celdas macro, micro y pico.

- ❖ Un despliegue por separados de los TRX para las redes GSM y UMTS permitirán al operador administrar adecuadamente el rendimiento y evolución de ambas redes, especialmente para analizar y solucionar los aspectos de cobertura.

- ❖ El operador que en la práctica implemente UMTS en el medio local necesitará una fuerte campaña publicitaria con el objeto de captar un nicho comprendido básicamente entre las edades de 15 a 35 años, que representan más del 50% de la población del país. Estas campañas deben por sobre todo orientar y educar al usuario con respecto a los beneficios y aplicaciones que trae consigo un sistema 3G.

ANEXOS

Anexo A: Datos de la Población de Guayaquil según el Censo del 2001

	Parroquias	Viviendas con Población Presente					Viv. con Población Ausente		TOTAL	
		Viviendas	Población	Hombres	Mujeres	Pob/viv	Viviendas	Poblac	Vivienda	Población
1	AYACUCHO	3339	11879	5615	6264	3,56	209		3548	11879
2	BOLIVAR	2585	9517	4624	4893	3,68	151		2736	9517
3	PEDRO CARBO	3735	14005	2435	2813	3,75	248		3983	14005
4	FEBRES CORDERO	77026	344828	170578	174250	4,48	1322		78348	344828
5	GARCÍA MORENO	14128	55596	26725	28871	3,94	531		14659	55596
6	LETAMENDI	23884	102414	49879	52535	4,29	513		24397	102414
7	NUEVE DE OCTUBRE	2075	7530	3729	3801	3,63	159		2234	7530
8	OLMEDO	2757	9688	4808	4880	3,51	203		2960	9688
9	ROCA	2266	7343	3544	3799	3,24	136		2402	7343
10	ROCAFUERTE	2719	9091	4556	4535	3,34	278		2997	9091
11	SUCRE	4160	14907	7396	7511	3,58	207		4367	14907
12	TARQUI	207352	855008	394218	417816	4,12	6722		214074	855008
13	URDANETA	6684	25794	12647	13174	3,86	295		6979	25794
14	XIMENA	115985	517779	253533	264246	4,46	2082		118067	517779
15	CHONGON	2500	9856	5103	4758	3,94	200		2700	9856
16	PASCUALES	10000	41745	21157	20588	4,17	182		10182	41745
	TOTAL	481195	2036980	970547	1014734	4,23	13438		494633	2036980

Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas y Censo, VI Censo de Población y V de Vivienda.2001

Anexo B.1: Encuesta de Mercado

CIUDAD: GUAYAQUIL
 SEXO: MASCULINO FEMENINO
 EDAD: _____ PROFESION _____

1. ¿EN QUÉ OPERADORA CELULAR TIENE ACTUALMENTE SU LINEA?

PORTA MOVISTAR ALLEGRO

2. ¿PARA QUE UTILIZA MAS SU TELEFONO CELULAR?

VOZ SMS MMS
 INTERNET (WAP) JUEGOS OTROS

3. ¿CUÁNTAS LLAMADAS HACE DIARIAMENTE EN PROMEDIO? _____

4. ¿CUÁNTAS LLAMADAS RECIBE DIARIAMENTE EN PROMEDIO? _____

5. ¿LA DURACIÓN PROMEDIO DE LAS LLAMADAS QUE USTED HACE ES DE?

0 – 30 SEG 30 – 60 SEG 60 - 90 SEG
 MAS DE 90 SEG

6. ¿A QUÉ HORA UTILIZA MAS EL TELÉFONO?

8 – 11 11 – 14 14 – 17
 18 – 21 21 – 24 OTROS

7. EN EL CASO DE QUE FUNCIONE UNA CUARTA OPERADORA EN LA CIUDAD QUE DE UN MEJOR SERVICIO QUE LAS EXISTENTES EN LA ACTUALIDAD (SERVICIOS DE 3RA GENERACIÓN), USTED PENSARIA EN CAMBIARSE DE OPERADORA

SI NO INDIFERENTE

8. ¿ QUÉ TIPO DE SERVICIOS LE GUSTARÍA QUE LE OFREZCA UNA CUARTA OPERADORA EN EL PAÍS?

VOZ MENSAJES ESCRITOS
 MENSAJES MULTIMEDIA INTERNET WAP
 TVMOVIL INTERNET MOVIL
 VIDEO CONFERENCIA OTROS

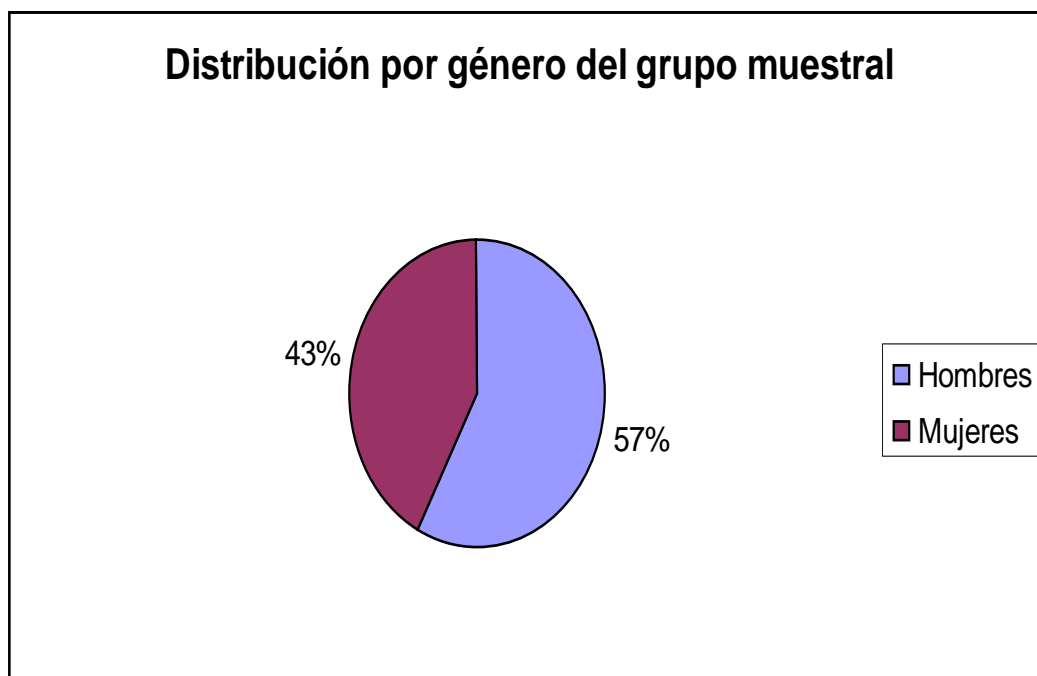
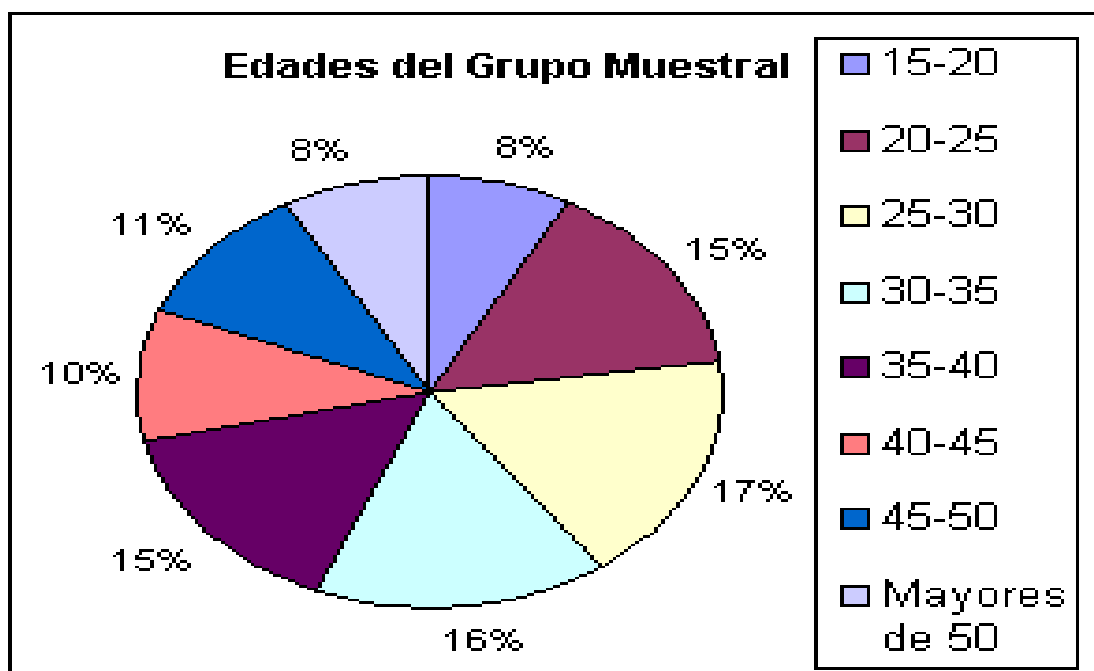
9. SI UNA CUARTA OPERADORA CELULAR LE OFRECIERA SOLAMENTE EL SERVICIO DE VOZ INICIALMENTE Y EN UN AÑO LE OFREZCA SERVICIOS DE TERCERA GENERACION COMO VOZ Y VIDEO SIMULTANEAMENTE USTED LA USARIA:

SI NO

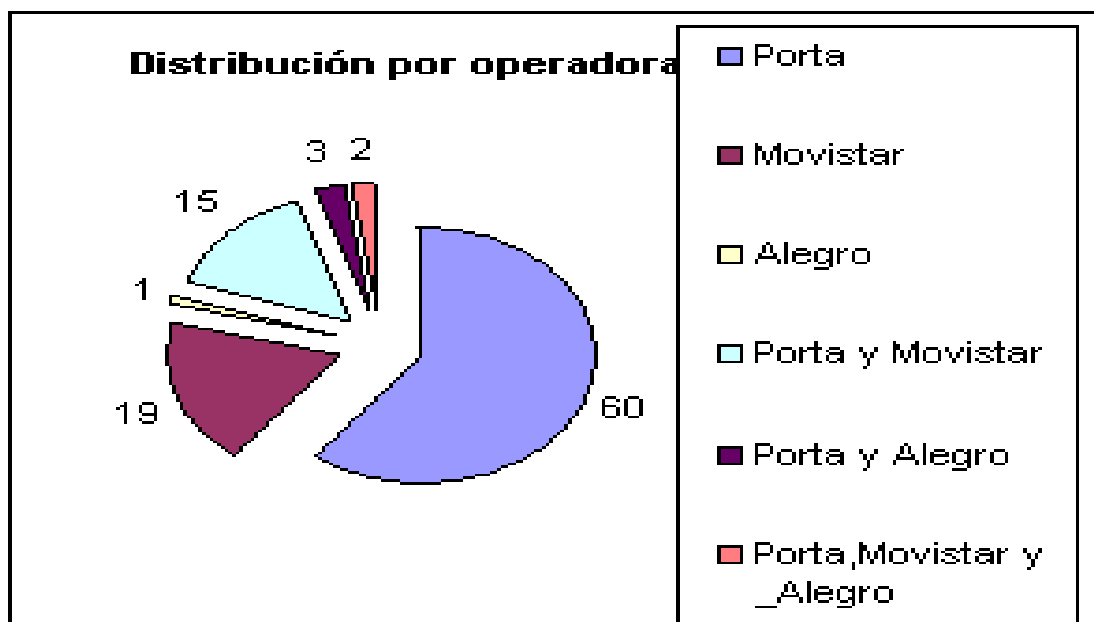
Anexo B.2: Resultados

CONSIDERACIONES GENERALES:

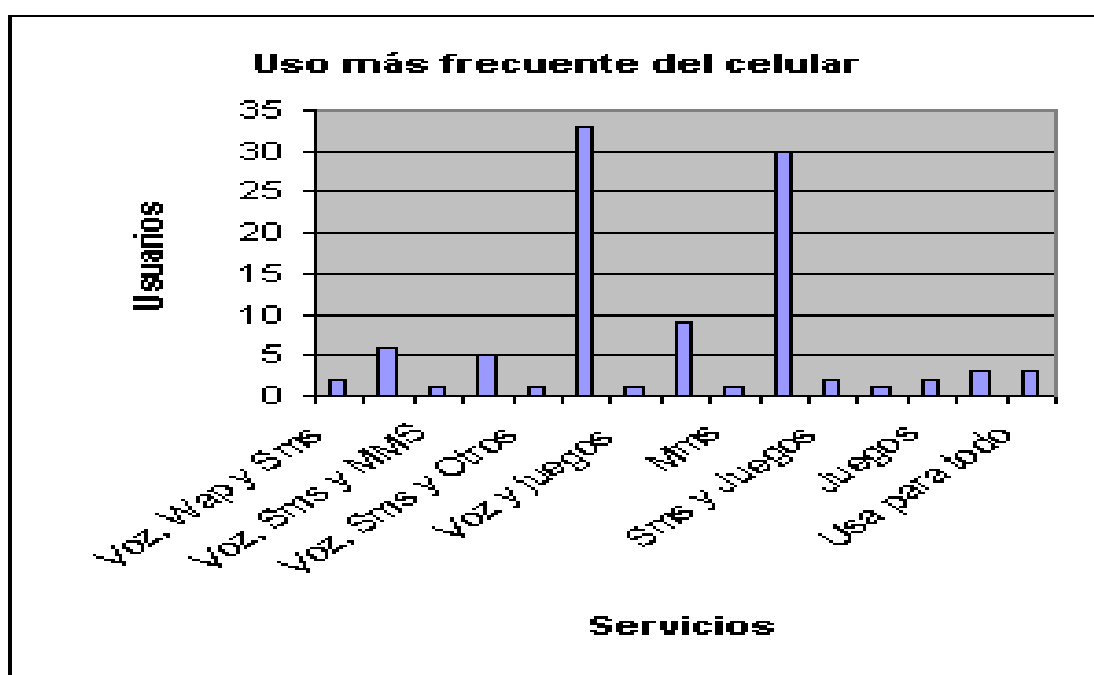
- Grupo muestral de 100 personas.
- Cada elemento del grupo posee al menos un equipo celular activo
- Se consultó a todo tipo de personas sin discriminar ningún tipo de característica específica.
- La encuesta se realizó en Agosto del año 2006.
- Las muestras fueron tomadas en: ESPOL (Campus Prosperina), U. Católica de Guayaquil, y la intersección entre 9 de Octubre y Boyacá.
- El objetivo de esta encuesta es analizar el impacto y grado de aceptación de una cuarta operadora en el mercado celular de Guayaquil.
- Además, verificar datos generales del mercado y recoger información para diseñar las estimaciones tanto de los perfiles y características del tráfico de los distintos servicios.

GRUPO MUESTRAL (GÉNERO)**GRUPO MUESTRAL (EDADES)**

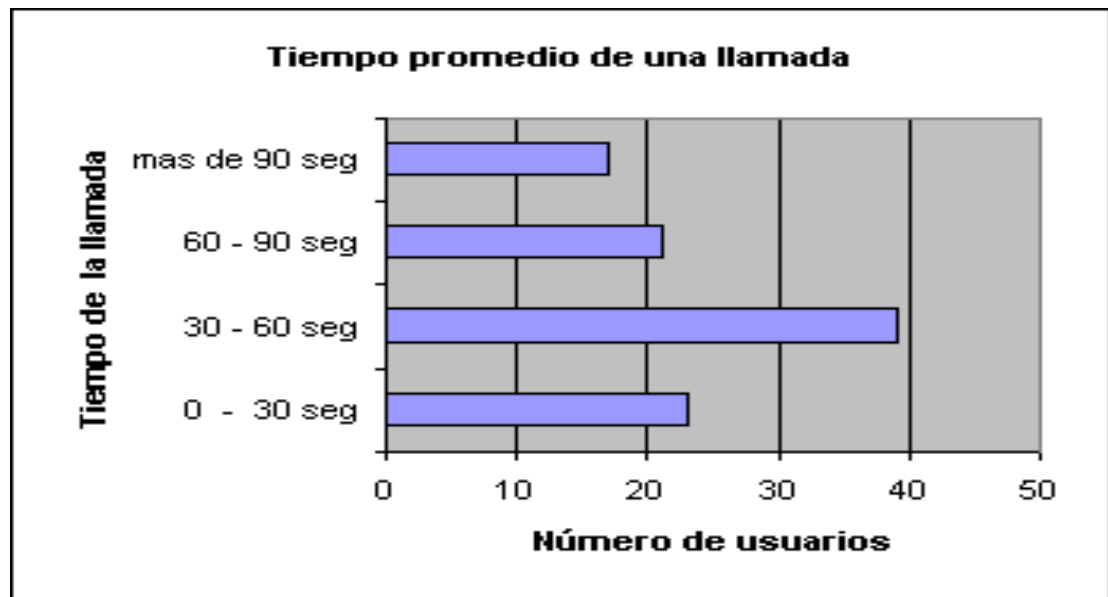
- OPERADORA A LA QUE PERTENECEN LOS USUARIOS



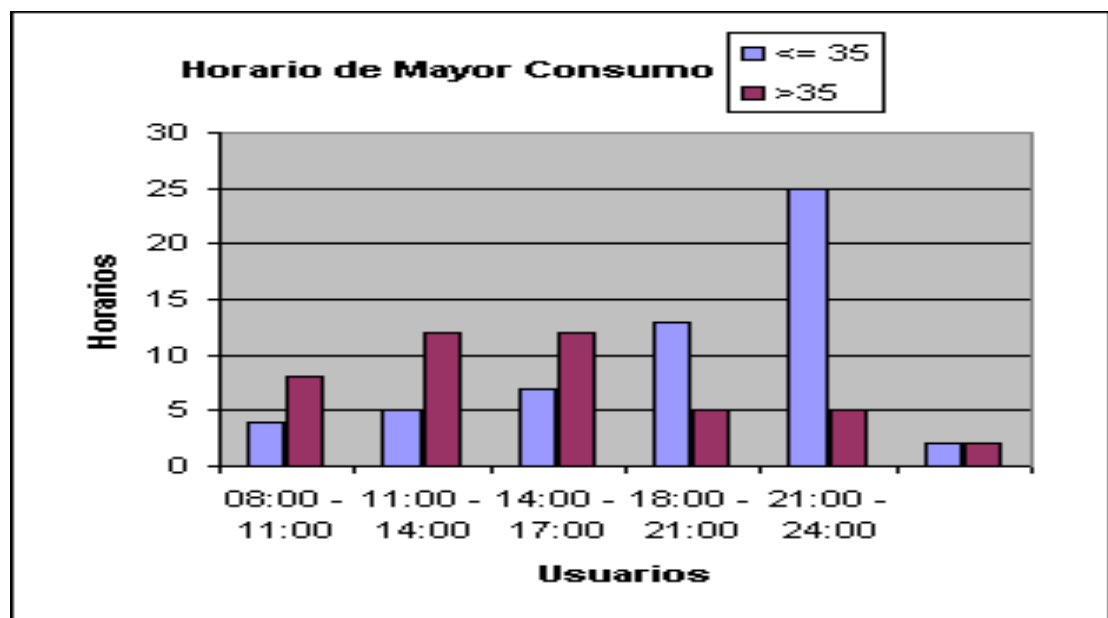
- ¿PARA QUE USAN EL TELEFONO CELULAR?



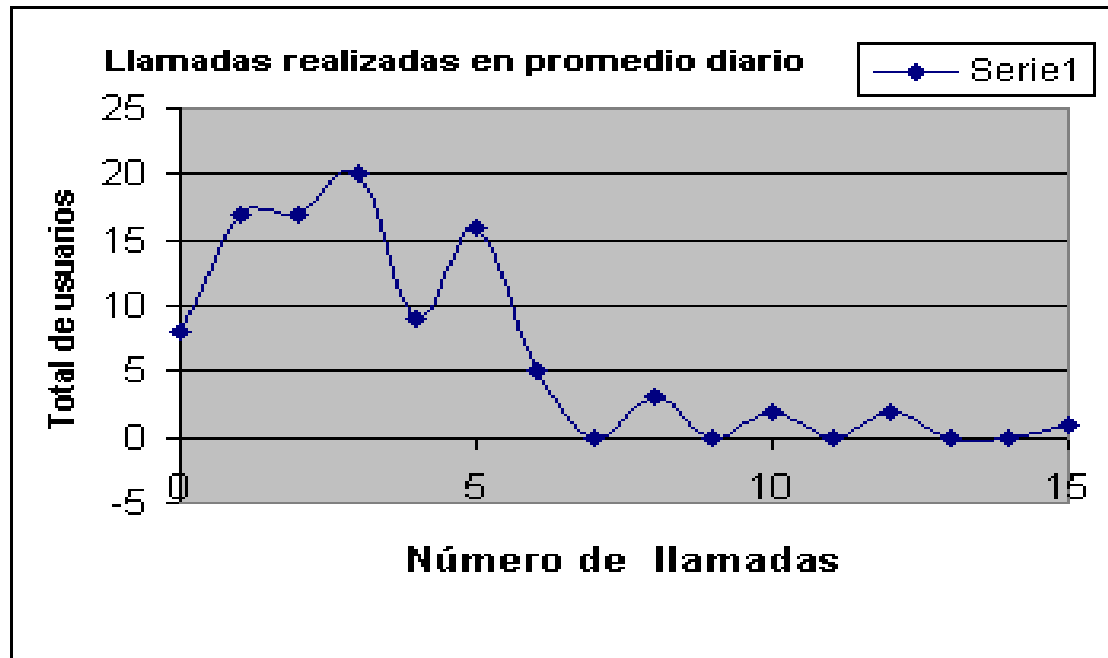
- DURACION PROMEDIO DE LAS LLAMADAS QUE REALIZAN



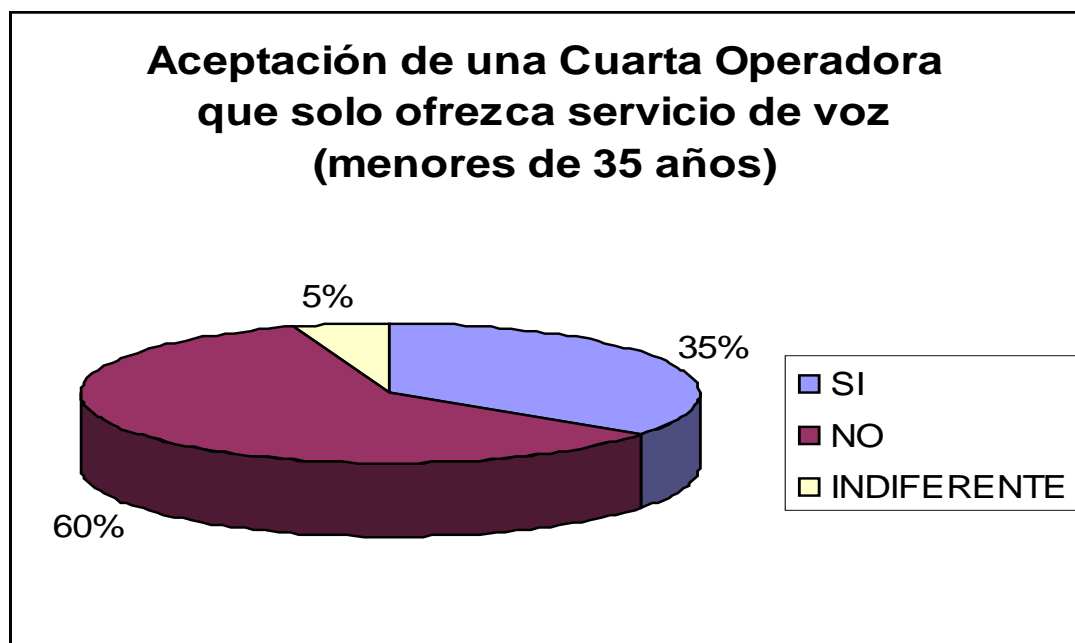
- HORA DE MAYOR TRAFICO (SEGÚN EDAD)



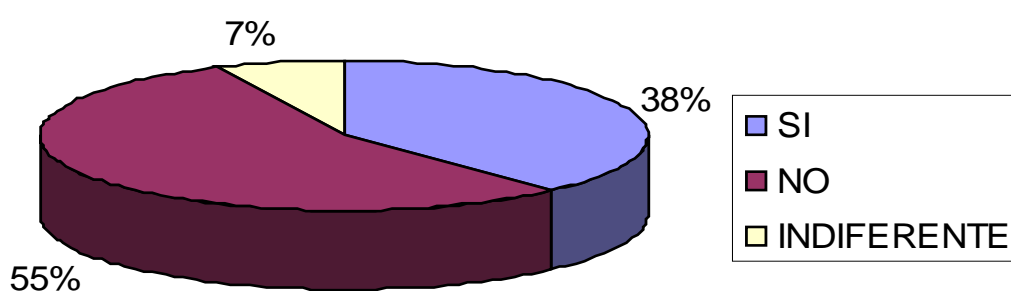
- **LLAMADAS REALIZADAS EN PROMERIO (DIARIAMENTE)**



- **POSIBLE ACEPTACIÓN DE UNA CUARTA OPERADORA EN EL MERCADO QUE BRINDE SOLO SERVICIO DE VOZ**

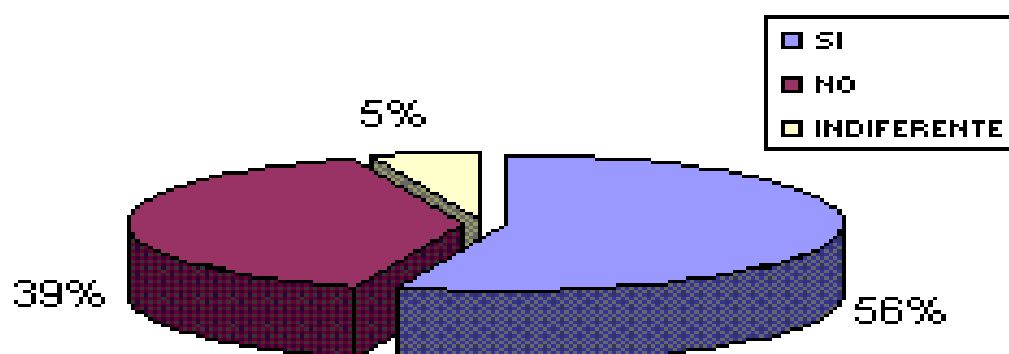


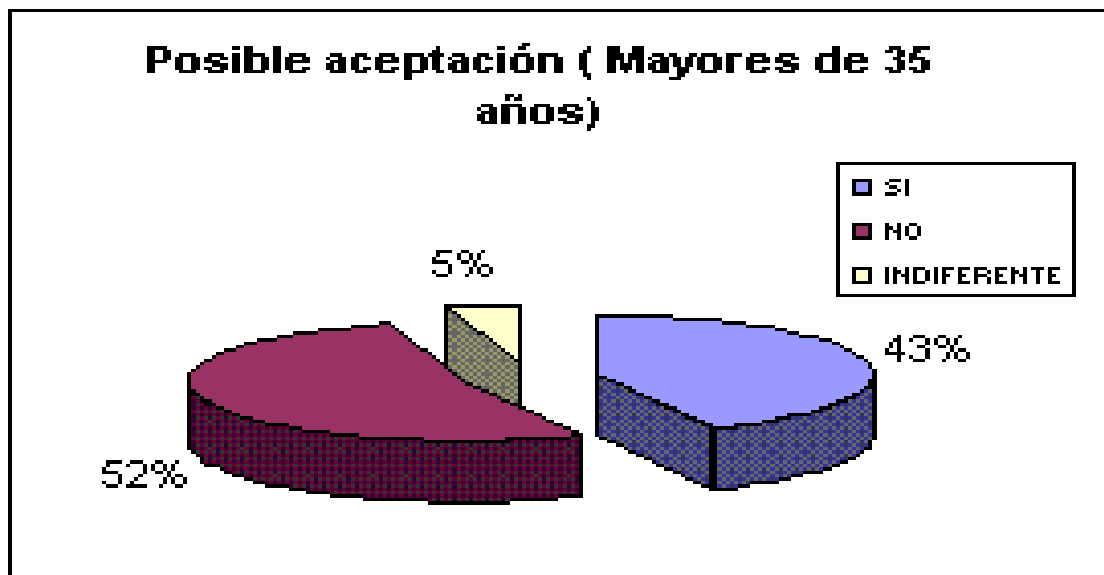
**Aceptación de una Cuarta Operadora
que solo ofrezca servicio de voz
(mayores de 35 años)**



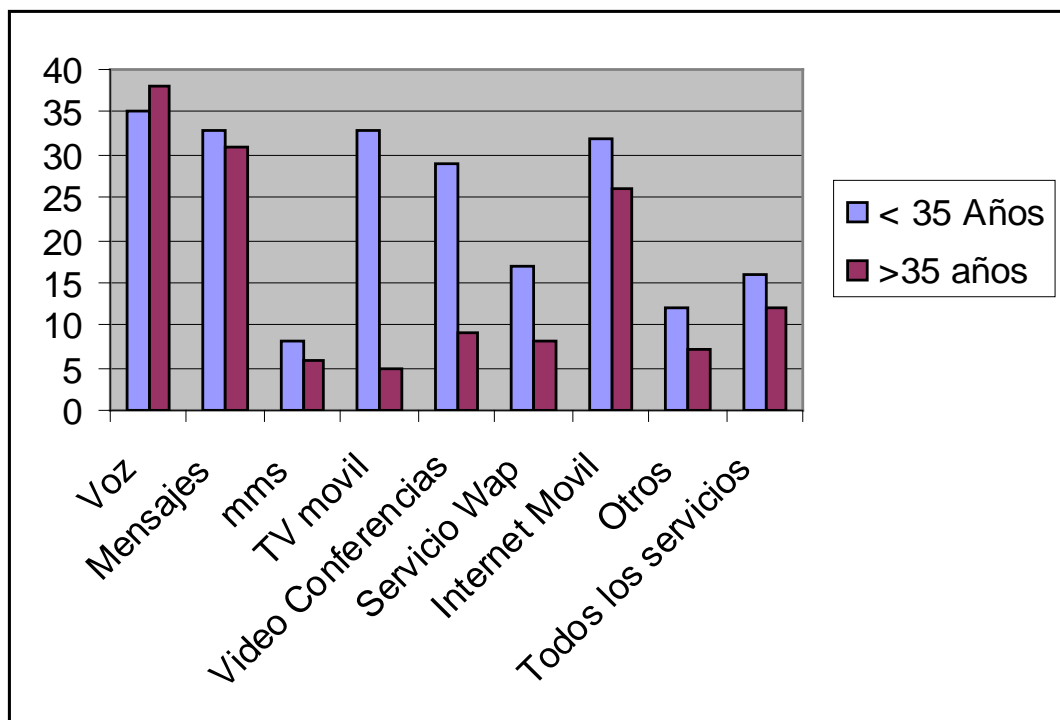
- **POSIBLE ACEPTACIÓN DE UNA CUARTA OPERADORA EN EL MERCADO QUE OFREZCA SERVICIOS DE 3RA GENERACIÓN**

Posible aceptación (Menores a 35 años)

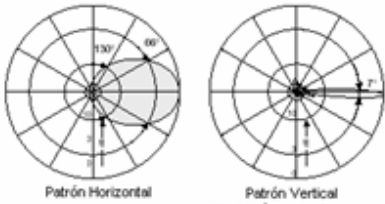
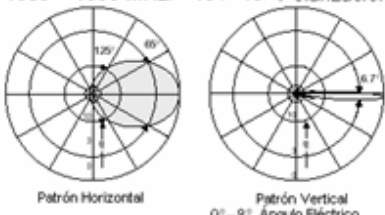
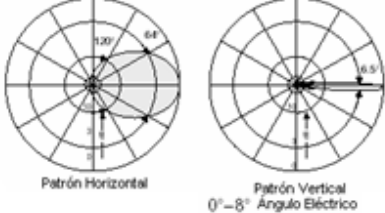


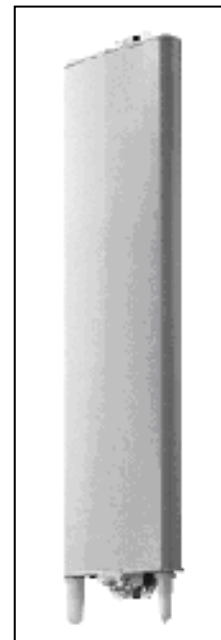


- **SERVICIOS REQUERIDOS POR EL USUARIO**



Anexo C.1: Especificaciones las antenas tipo panel

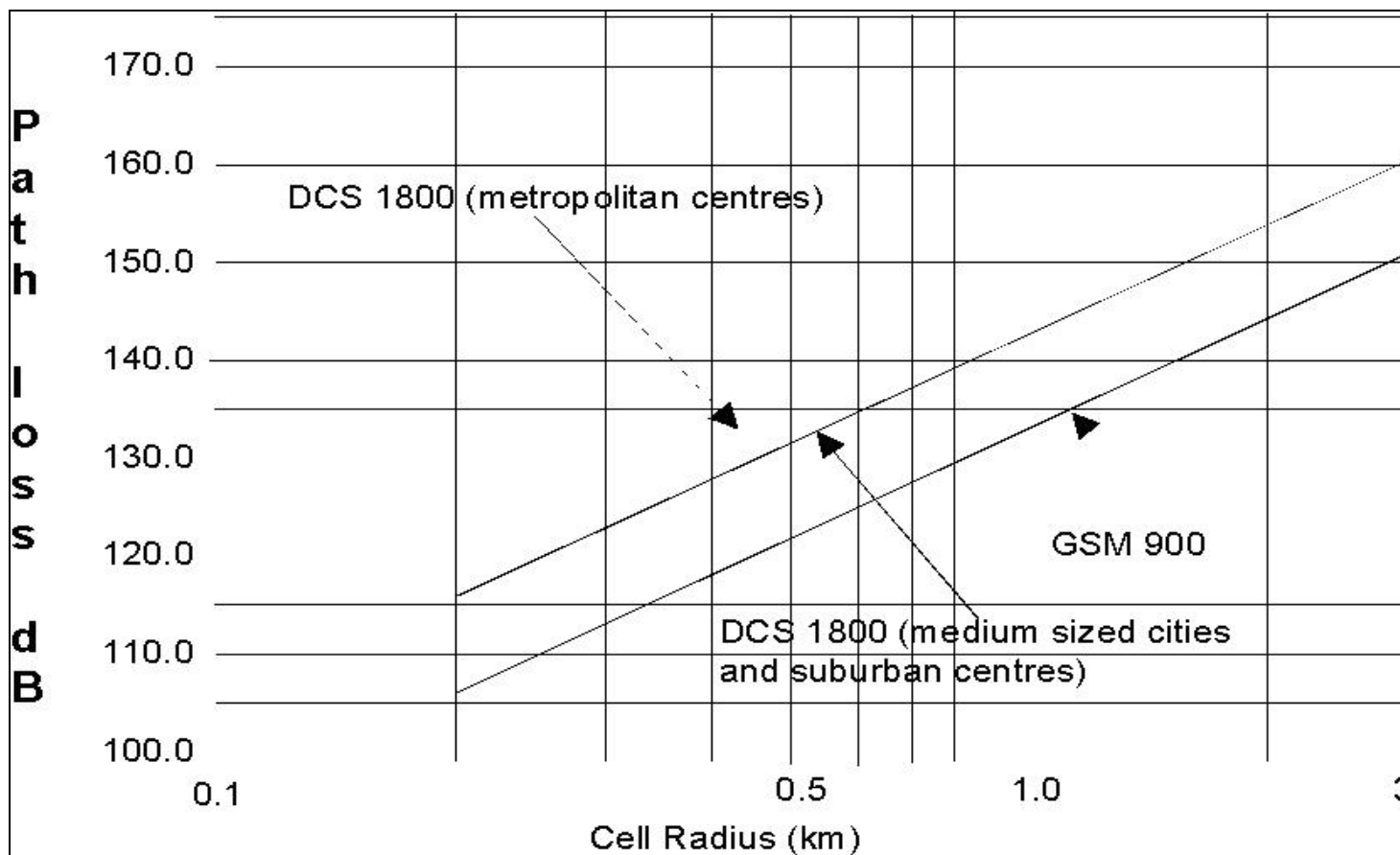
Antena tipo panel Multibanda		KATHREIN	
Doble polarización		Antennen - Electronic	
Ajustable manualmente o a control remoto			
Características		Modelo: 74234	
Rango de Frecuencias	1710 - 1880 MHz	1850 - 1990 MHz	1920 - 2170 MHz
Polarización	.+45°, -45°, +45°, -45°	.+45°, -45°, +45°, -45°	.+45°, -45°, +45°, -45°
Ganancia	4*17,5 dBi	4*17,7 dBi	4*17,8 dBi
Haz de potencia medio	Horizontal: 66° Vertical: 7°	Horizontal: 65° Vertical: 6,7°	Horizontal: 64° Vertical: 6,5°
Ajuste eléctrico del ángulo	0° - 8°	0° - 8°	0° - 8°
Patrón de radiación vertical	0°...2°...5°...8°T 17...17...15...15...dB	0°...2°...5°...8°T 20...20...18...18dB	0°...2°...5°...8°T 20...20...18...16dB
Relación frente-atrás	Copolar > 25dB Potencia Total >25dB	Copolar > 25dB Potencia Total >25dB	Copolar > 25dB Potencia Total >25dB
Aislamiento entre entradas	>30 dB	>30 dB	>30 dB
Impedancia	50 Ω	50 Ω	50 Ω
Relación de onda estacionaria de voltaje (VSWR)	<1,5	>1,5	<1,5
Intermodulación	< -150 dBc		
Máxima potencia por entrada	300 W (at 50°C temperatura ambiente)		
Especificaciones Mecánicas		<p>1710 – 1880 MHz: +45°/-45° Polarización</p>  <p>1850 – 1990 MHz: +45°/-45° Polarización</p>  <p>1920 – 2170 MHz: +45°/-45° Polarización</p> 	
Entrada	4 * 7 - 16 Hembra		
Posición del conector	Fondo		
Mecanismo de ajuste	2 x Posición al fondo continuamente ajustable		
Peso	15,5 Kg		
Carga de viento	Frontal: 570 N (a 150 Km/h) Lateral: 110N (a 150 Km/H)		
Máxima velocidad del viento	200 Km/H		
Tamaño de empaque	1589 x 322 x 108 mm		
Altura/ancho/profundidad	1304 / 299 / 69 mm		



Anexo D.1: Métodos semi-empíricos de Predicción Radioeléctrica

Modelo	Parámetros	Aplicación	Escenario
Hata	Frecuencia (f) 150-1000MHz	Empleado para macroceldas y celdas pequeñas. Aplicable cuando las antenas están por encima de los techos de las edificaciones	Urbano
	Altura de Base (Hb) 30-200m		Lu (dB) = 69.55 + 26.16*log(f) - 13.82*log(Hb) - a(Hm) + [44.9 - 6.55*log(Hb)]*log(d) Donde a(Hm)= Factor de corrección para antenas en vehículos Para ciudades medianas: a (Hm)= [1.1*log(f) - 0.7]*Hm - [1.56*log(f) - 0.8] Para grandes ciudades: a (Hm) = 8.29*[log(1.54*Hm)] ² - 1.1 Para f <= 200 MHz a (Hm) = 3.2*[log(11.75*Hm)] ² - 4.97 Para f >= 400 MHz
	Altura de móvil (Hm) 1 a 10m		Suburbano
			Lsu (dB) = Lu - 2*[log(f/28)]² - 5.4
			Rural (Quasi-abierto)
	Distancia (d) 1-20Km		Lr_{qo} (dB) = Lu - 4.78*[log(f)]² + 18.33*log(f) - 35.94
			Rural (Abierto)
	Lro (dB) = Lu - 4.78*[log(f)]² + 18.33*log(f) - 40.94		
Cost 231-Hata	Frecuencia (f) 1500-2000MHz	Empleado para macroceldas y celdas pequeñas. Aplicable cuando las antenas están por encima de los techos de las edificaciones	Urbano
	Hb 30-200m		Lu(dB)=46.3+33.9*log(f)-13.82*log(Hb)-a(Hm)+[44.9-6.55*log(Hb)]*log(d)+Cm
	Hm 1 a 10m		Con: a (Hm)= [1.1*log(f) - 0.7]*Hm - [1.56*log(f) - 0.8] Cm= 0 dB Para ciudades medianas y centros urbanos con vegetación moderada Cm= 3 dB Para centros metropolitanos
	d 1-20Km		

Modelo	Parámetros	Aplicación	Escenario
COST 231 Walfish-Ikegami	Frecuencia (f) 800-2000MHz	Aplicable cuando se evalúa el entorno del móvil. Se lo utiliza para evaluar celdas pequeñas y microceldas. Cuando las antenas transmisoras están por debajo de la altura de los edificios	Sin línea de vista entre emisor y receptor
	Altura de Base (Hb) 5-50m		$L_b = L_o + L_{rts} + L_{msd}$ (ó $L_b = L_o$ para $L_{rts} + L_{msd} \leq 0$) Donde: Pérdidas por propagación $L_o = 32.4 + 20 \cdot \log(d) + 20 \cdot \log(f)$
	Altura de móvil (Hm) 1-3 m		Pérdidas por scattering y difracción en los techos $L_{rts} = -16.9 - 10 \cdot \log(w) + 10 \log(f) + 20 \cdot \log(H_r - H_m) + L_{cri}$ Con $L_{cri} = -10 + 0.354 \cdot \Phi$ for $0 \leq \Phi < 35^\circ$ $L_{cri} = 2.5 + 0.075 \cdot (\Phi - 35)$ for $35 \leq \Phi < 55^\circ$ $L_{cri} = 4.0 - 0.114 \cdot (\Phi - 55)$ for $55 \leq \Phi < 90^\circ$
	Distancia (d) 0,02-5Km		Pérdidas por difracción multipantalla $L_{msd} = L_{bsh} + k_a + k_d \cdot \log(d) + k_f \cdot \log(f) - 9 \cdot \log(b)$ Con: $L_{bsh} = -18 \cdot \log(1 + H_b - H_{roof})$ Para $H_b > H_{roof}$ $= 0$ Para $H_b \leq H_{roof}$
	Altura de edif (Hroof) 3*pisos (m)		$k_a = 54$ Para $H_b > H_{roof}$ $= 54 - 0.8 \cdot (H_b - H_{roof})$ Para $d \geq 0.5$ y $H_b \leq H_{roof}$ $= 54 - 0.8 \cdot (H_b - H_{roof}) \cdot (d/0.5)$ Para $d < 0.5$ y $H_b \leq H_{roof}$
	Ancho de Calles (Wd) 10-25m		$k_d = 18$ Para $H_b > H_{roof}$ $= 18 - 15 \cdot (H_b - H_{roof}) / H_{roof}$ Para $H_b \leq H_{roof}$
	Sep. entre edif (b) 20-50m		$k_f = -4 + 0.7 \cdot (f/925 - 1)$ Para ciudades medianas $= -4 + 1.5 \cdot (f/925 - 1)$ Para centros metropolitanos
	Orientación de la calle con respecto al rayo (Phi) 0-90°		

Anexo D.2: Pérdidas por propagación vs. Radio Celular para sistemas DCS (1800MHz)

Fuente: 3GPP

Anexo E.1: Hoja de especificación de la BTS

BTS Nokia Ultrasite indoor

Especificaciones técnicas

- Cabinas de 1 a 12 TRXs (GSM/EDGE) ó 6TRXs (GSM/EDGE) y 6 portadoras WCDMA
- GSM 900/1800/1900
- Dimensiones 1800H x 600W x 570D mm 270Kg
- Método de acceso FDD
- Potencia Máxima TX 8W
- Soporta HSCSD, GPRS y EDGE
- 1940H x 770W x 750D mm 340kg (Outdoor)



Anexo E.2: Hoja de especificación de la BSC

DX 200 BSC

Especificaciones técnicas

- 256 Transceivers/248 BTSs



Contiene además la **MCMU (Marker and Cellular Management Unit)** la cual es la parte responsable de las celdas y de los radiocanales, y su sistema de señalización es la **BSCU (Base Station Controller Signalling Unit)** la misma que es encargada de la señalización SS7 entre BSC y MSC.

Anexo E.3: Hoja de especificación de la HLR

DX 200 HLR

Especificaciones técnicas

- 300000 Suscriptores y 256 TRX



Cuenta además con tres unidades de bases de datos que no existen en la MSC, ellas son:

- **HLRU (Home Location Register Unit)** es la responsable del manejo de los datos y movilidad de los suscriptores.
- **(ACU) Authentication Unit** responsable de la autenticación de los datos que se envían hacia la VLR y al EIRU
- **EIRU (Equipment Identification Register Unit)** controla la identidad y chequeo del equipo móvil

Anexo E.4: Hoja de especificación de la MSC/VLR

DX 200 MSC/VLR

Especificaciones técnicas

- 256 Transceivers/248 BTSs
- 150000 suscriptores 8600 Erlangs
- 150000 BHCA (Busy Tour Call Attempts)



Otras de las características son las siguientes:

- **CCSU (Common Channel Signalling Unit)**, la cual permite la señalización (SS7) hacia HLR, other MSCs
- **BSU (Base Station Signalling Unit)**, responsable de la señalización SS7 hacia la BSC y del control de llamadas originadas desde móviles.

- **CCMU (Common Channel Signalling Management Unit)** maneja las funciones centralizadas del sistema de señalización SS7
- **IWCU (Inter Working Control Unit)**, controla:
- **Compact Data Services Unit (CDSU)**,
- **Canceladora de ecos (EC)**

Base de datos y unidades estadísticas

- **VLRU (Visitor Location Register Unit)**. Esta es la implementación de Nokia de la VLR como unidad funcional de la MSC.
- **CMU (Cellular Management Unit)** controla y supervisa los handovers en la red celular

Interfase externa y unidades de datos

- **OMU (Operation and Maintenance Unit)** es el enlace entre usuario y MSC.
- **BDCU (Basic Data Communications Unit)** contiene todos los enlaces de comunicación a O&M
- **ECU (Echo Canceller Unit)** is needed in interworking with the PSTN. It cancels the echo generated in the 2 wire subscriber cable in the PSTN
- **ET (Exchange Terminal)** es la unidad que maneja los circuitos externos de 2 Mb PCM

Otras unidades

CM (Central Memory) Esta es la RAM de intercambio, el cual soporta el software del sistema.

CLSU (Clock and Synchronisation Unit) genera la señal de sincronización para las diferentes unidades tales como la BSC y la HLR

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Telefónica Móviles, **“Evolución de las comunicaciones hacia la movilidad”**, 2006, www.telefonica.es/sociedaddeinformacion/pdf/publicaciones/movilidad/capitulo_2
- [2] **“Estadísticas del mercado mundial”**, 3G Americas, www.3gamericas.org, 2006-9
- [3] Chas Alonso Pedro Luis, **“Evolución de UMTS”** –White Paper Telefónica Móviles, 2004
- [4] **Informe anual sobre la Calidad de los servicios, índices, control y sanciones del sector de telecomunicaciones en Ecuador**, Superintendencia de Telecomunicaciones; 2005-10
- [5] **“Telefonía móvil celular-Estadísticas: Información anual y mensual”**, Superintendencia de telecomunicaciones del Ecuador, www.supertel.gov.ec, 2007-1
- [6] Diario El Comercio, **“USD 1 009 millones movieron las celulares”**, 2006-5-31

- [7] Diario Expreso, “**En mensajes móviles el país gastó \$160 millones**”, 2005-6-4
- [8] Diario El Mercurio, “**Recurso de Revisión**”, 2005-10-10
- [9] Diario El Telégrafo, “**\$200 millones costará cambio de red de Alegro**”, 2006-7-27
- [10] ETSI, www.etsi.org, 2006-05
- [11] 3GPP, www.3gpp.org, 2006-05
- [12] Hernando Rábanos José María, “**Comunicaciones Móviles**”, Editorial Centro de Estudios Ramón Areces, Segunda Edición 2004, Capítulo 7
- [13] **ETSI TS 100 910 V8.20.0 (2005-11)**; Technical Specification; Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Radio Transmission and Reception (3GPP TS 05.05 version 8.20.0 Release 1999)
- [14] John Scourias, “**Overview of GSM: The Global System for Mobile Communications**”, University of Waterloo, 1996-3-13

- [15] **“Overview of GSM, GPRS, and UMTS”**, Cisco, <http://www.cisco.com/univercd>, 2006-06
- [16] Halonen Timo, Romero Javier, Melero Juan, **“GSM, GPRS AND EDGE PERFORMANCE: Evolution toward 3G/UMTS”**, Wiley, Segunda Edición 2002, Capítulo 5
- [17] Ferrer Carles, **“Overview and Capacity of the GPRS”** (General Packet Radio Service), UPC Barcelona, 2004.
- [18] **“3G Network Planning Basics”**, UMTS World, www.umtsworld.com, 2006-10
- [19] Holma Harri, Toskala Antti, **“WCDMA for UMTS: Radio Access for third generation mobile communications”**, Wiley, Tercera Edición 2005, Capítulos 1-5
- [20] Telefónica Móviles, **“Descripción de sistemas actuales”**, 2006, www.telefonica.es/sociedaddelainformacion/pdf/publicaciones/movilidad/capitulo_3.pdf

- [21] Hernando Rábanos José María, “**Comunicaciones Móviles**”, Editorial Centro de Estudios Ramón Areces, Segunda Edición 2004, Capítulo12
- [22] Murillo, “**Teoría de WCDMA**”, Universidad de Sevilla, www.personal.us.es/murillo/docente/commoviles/4-WCDMA.pdf, 2006-09.
- [23] García A. B., “**Diseño de redes de acceso en sistemas móviles UMTS con soporte de calidad de servicio**”, Dept. Ingeniería de Sistemas Telemáticos Universidad Politécnica de Madrid, 2004
- [24] Diario El Universo, “**Porta y Movistar negocian la ‘limpieza’ de sus frecuencias**”, 2007-3-4
- [25] “**VI Censo de Población y V de vivienda (Guayas-Guayaquil)**”, Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, <http://www.inec.gov.ec>, 2006-04
- [26] “**Radio Mobile Freeware by VE2DBE**”, Communications plus, www.cplus.org/rmw/english1.html, 2006-10

- [27] **“Estadísticas del Censo de Población”**, Instituto de Ciencias Matemáticas de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, www.icm.espol.edu.ec/, 2006-03
- [28] **“2005/2006 Radio Waves Product Catalog”**, Radio Waves TM, www.radiowavesinc.com, 2006
- [29] 3GPP, **“Radio network planning aspects”**, 3GPP TR 03.30 V8.4.0, 2005-06
- [30] Hernando Rábanos José María, **“Comunicaciones Móviles”**, Editorial Centro de Estudios Ramón Areces, Segunda Edición 2004, Capítulo 3
- [31] Jáuregui Suárez Rodrigo Augusto, **“Planificación de una red telefónica móvil pública GSM”**, Universidad Francisco Marroquín FUSUCC, 2002
- [32] Halonen Timo, Romero Javier, Melero Juan, **“GSM, GPRS AND EDGE PERFORMANCE: Evolution toward 3G/UMTS”**, Wiley, Segunda Edición 2002, Capítulo 11-12

- [33] **“Sistemas y Soluciones para Operadores”**, Nokia, www.nokia.com, 2006-08
- [34] **“Overview: Design of WAN”**, Cisco, <http://www.cisco.com/univercd>, 2006-11
- [35] Ni Shaoji, **“GPRS Network Planning on the Existing GSM System”** (IEEE)
- [36] Rysavy Peter, **“Capacidad de Datos para la Evolución GSM a UMTS”**, 3G Americas, 2002
- [37] Dahmouni Hamza, **“Impact of data traffic composition on GPRS performance”**, France Telecom Research and Development y ENST-Bretagne, 2004
- [38] 3GPP, **“Overall description of the GPRS radio interface”**, 3GPP TS 43.064 V7.4.0, 2007-02
- [39] **“Overview: Frame Relay”**, Cisco, www.cisco.com/univercd, 2007-1

- [40] Holma Harri, Toskala Antti, **“WCDMA for UMTS Radio Access for third generation mobile communications”**, Wiley, Tercera Edición 2005, Capítulo 8
- [41] Jung Young-Ho, Lee Young H, **“Scrambling Code Planning for 3GPP W-CDMA Systems”**, Korea Advanced Institute of Technology Department of EECS, 2003.
- [42] ECI Telecom, **“Integrating SDH and ATM in UMTS (3G) Access Networks”**, 2003-2.
- [43] García A. B., **“Dimensionado Eficiente de la Red de Acceso UMTS en Presencia de Múltiples Clases de Tráfico”**, Universidad Politécnica de Madrid, 2005
- [44] Barberá José, **“MPLS: Una arquitectura de backbone para la Internet del siglo XXI”**, Red Iris - Boletín 53, 2000-9
- [45] **“Asignación del Espectro Radioeléctrico de Ecuador”**, Consejo Nacional de Telecomunicaciones, www.conatel.gov.ec, 2007-3

- [46] **“Products- Antennas, Towers, Transmission Lines”**, Andrew Corporation, www.andrew.com, 2006-07
- [47] Empresa de Fiscalización de Estructuras y Construcciones para PORTA.
- [48] Novillo F., **“Planificación de una red GSM/GPRS/UMTS en la ciudad de Guayaquil”**, GICOM, 2do Congreso Nacional de Investigación Tecnológica e Innovación, 2006-09-2006