



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA  
DEL LITORAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD  
Y COMPUTACIÓN**

**TESIS DE GRADO**

**“ANALISIS Y COMPARACION DE  
RENDIMIENTO DE SISTEMAS CELULARES  
GSM RELEASE 4 Y GSM DE SEGUNDA  
GENERACION EN EL ECUADOR”**

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRONICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

REALIZADO POR:

**FRANKLIN EDUARDO ERAZO AVILES  
JOFRE JAVIER HARO BULGARIN**

**GUAYAQUIL – ECUADOR  
2008**

## **DEDICATORIA**

La dedicación de mi trabajo  
a mis padres por su  
confianza y apoyo en todo  
momento. A mi esposa y a  
mi amada hija Angie.

**Franklin Erazo Avilés.**

La dedicación de mi trabajo  
a mi abuela Etelvina.

**Jofre Haro Bulgarin.**

## AGRADECIMIENTO

A Dios por darme fuerza para seguir adelante, a mis padres y esposa por toda su ayuda, comprensión y por ser mi ejemplo.

**Franklin Erazo Avilés.**

A Dios y a mi abuela Etelvina.

**Jofre Haro Bulgarin.**

## TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



---

**ING. HOLGER CEVALLOS**  
**SUBDECANO DE LA FIEC**



---

**ING. PEDRO VARGAS**  
**DIRECTOR DE TESIS**



---

**ING. REBECA ESTRADA**  
**VOCAL**



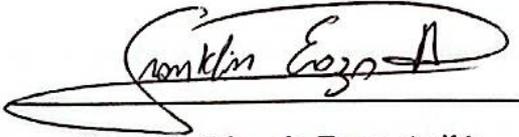
---

**ING. CESAR YEPEZ**  
**VOCAL**

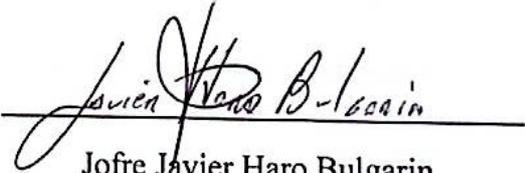
## DECLARACIÓN EXPRESA

**“La responsabilidad del contenido de esta tesis de grado, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”**

(Reglamento de graduación de la ESPOL)



Franklin Eduardo Erazo Avilés



Jofre Javier Haro Bulgarin

# RESUMEN

En el actual proyecto de tesis se mostrará como se produce la migración de una red GSM de segunda generación a una red GSM Release 4 y cuales son los beneficios de esta migración que es necesaria para poder ir a una red GSM de tercera generación. Además se realizará una comparación de ambas redes con datos reales de tráfico de voz de las 2 redes.

Durante el contenido de la investigación, se comenzará con una breve reseña del mercado telefónico celular en el Ecuador, se presentará la evolución de la telefonía celular en el Ecuador y su impacto en la población desde sus inicios hasta la actualidad, así como también las diferentes tecnologías y aplicaciones celulares implementadas en el país.

En el segundo capítulo, se describirá el funcionamiento completo y arquitectura de una red GSM de segunda generación como también los cambios que se deben realizar para poder llegar a una red GSM Release 4.

En el tercer capítulo, se mostrará la evolución de un sistema GSM 2G hacia la tercera generación pasando antes por Release 4 con la integración de nuevos dispositivos con sus interfaces y protocolos que deben usarse para lograr esta actualización. Al finalizar este capítulo se presentaran las diferencias, ventajas y desventajas de

implementar una red GSM Release 4 por parte de una operadora celular que tenga tecnología celular GSM, y ventajas de los usuarios en una red GSM Release 4.

En el último capítulo, se realizará un análisis y comparación de datos reales de tráfico de voz obtenidos de ambas redes en la interfase A para presentar una optimización de los medios de transmisión de voz al pasar de una red GSM de segunda generación a una red GSM Release 4..

Para finalizar se presentan las conclusiones y recomendaciones que surgieron a lo largo de la investigación de este trabajo de tesis.

# INDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
RESUMEN	VI
INDICE GENERAL	VIII
INDICE DE FIGURAS	XV
INDICE DE TABLAS	XIX
INTRODUCCION	XXI

## CAPITULO I

<b>Mercado Telefónico Celular en el Ecuador.....</b>	<b>1</b>
1.1 Evolución del mercado telefónico celular en el Ecuador.....	1
1.1.1 Inicio de la telefonía celular en el Ecuador.....	1
1.1.2 Tecnologías celulares de 2da generación implementadas en Ecuador.....	4
1.1.3 Ingreso de Telefónica Móviles al mercado celular en el Ecuador.....	8
1.1.4 Nueva operadora de telefonía celular, Alegro PCS.....	10
1.1.5 Crecimiento del mercado telefónico celular en el Ecuador.....	13
1.2 Impacto económico en la población ecuatoriana de la telefonía celular.....	22
1.2.1 Tarifa de plan prepago de Porta.....	26
1.2.2 Tarifa de plan prepago de Movistar.....	27
1.2.3 Tarifa de plan prepago de Alegro PCS.....	28
1.2.4 Análisis prepago versus postpago en el Ecuador.....	29

1.3	Diferentes tecnologías de telefonía celular implementadas en Ecuador.....	34
1.3.1	Acceso Múltiple por División de Frecuencia, FDMA.....	35
1.3.2	Acceso Múltiple por División de Tiempo, TDMA.....	37
1.3.3	Acceso Múltiple por División de Tiempo Mejorado, ETDMA.....	40
1.3.4	Sistema Global para Comunicaciones Móviles, GSM.....	42
1.3.5	Acceso Múltiple por división de códigos, CDMA.....	46
1.3.6	Diferencias entre las tecnologías de telefonía celular.....	49
1.3.7	Abonados de telefonía celular en Ecuador según tecnología celular.....	52
1.4	Aplicaciones celulares en el Ecuador.....	56
1.4.1	General Packet Radio Service, GPRS.....	56
1.4.2	Enhanced Data Rates for GSM Evolution, EDGE.....	62
1.4.3	Protocolo de Aplicación Inalámbrico, WAP.....	64
1.4.4	Bluetooth.....	68
1.4.5	Blackberry.....	72
1.4.6	Evolution Data optimizad, EV-DO.....	74

## **CAPITULO II**

	<b>Descripción de una red GSM de segunda generación.....</b>	<b>78</b>
2.1	Descripción GSM.....	78
2.1.1	Comienzo de GSM y estandarización.....	80
2.1.2	Servicios que proporciona GSM.....	85

2.2	Arquitectura general de una red GSM.....	88
2.2.1	Estación Móvil, MS.....	90
2.2.2	Subsistema de Estación Base, BSS.....	93
2.2.3	Sistema de Antenas.....	103
2.2.4	Subsistema de Conmutación de Red, NSS.....	110
2.2.5	Sistema de Red GPRS.....	116
2.3	Aspectos de enlace de radio de un sistema GSM.....	124
2.3.1	Esquema de acceso múltiple.....	128
2.3.2	Sincronización entre móvil y estación base.....	131
2.3.3	Canales físicos y lógicos.....	133
2.3.4	Codificación de voz.....	144
2.3.5	Codificación de canal y entrelazado.....	150
2.3.6	Modulación GMSK.....	154
2.3.7	Encriptado en un sistema GSM.....	156
2.3.8	Multiruta y Ecuilización.....	158
2.3.9	Salto de frecuencia.....	161
2.3.10	Transmisión y recepción discontinua.....	166
2.4	Administración de recursos de radio en red GSM.....	168
2.4.1	Trasposos, Handovers.....	168
2.4.2	Control de potencia.....	173

2.4.3	Métodos para minimizar interferencia.....	178
2.4.3.1	Diversidad espacial.....	178
2.4.3.2	Diversidad por polarización.....	179
2.4.3.3	Diversidad en frecuencia.....	179
2.5	Manejo de llamadas celulares en GSM.....	180
2.5.1	Actualización de ubicación.....	180
2.5.2	Autenticación y seguridad.....	182
2.5.3	Originación y enrutamiento de llamadas.....	183

### **CAPITULO III**

<b>Sistema GSM Release 4.....</b>	<b>188</b>	
3.1	Evolución de tecnología celular GSM hacia la tercera generación.....	188
3.2	Descripción de una red celular GSM Release 4.....	196
3.2.1	Arquitectura de una red GSM Release 4.....	197
3.2.2	Interfaces utilizadas en la red GSM Release 4.....	199
3.2.3	Tipos de protocolos usados en red GSM Release 4.....	200
3.3	Integración de Multimedia Gateway.....	203
3.3.1	Arquitectura del Multimedia Gateway.....	205
3.3.2	Interfaces del Multimedia Gateway.....	210

3.3.3	Tipos de protocolos usados en el Multimedia Gateway.....	212
3.4	Integración de Mobile Switching Center Server.....	215
3.4.1	Arquitectura de MSC Server.....	216
3.4.2	Interfaces del MSC Server.....	219
3.4.3	Tipos de protocolos usados en el MSC Server.....	221
3.5	Diferencias y ventajas de una red GSM Release 4 sobre una red GSM de segunda generación.....	222
3.5.1	Diferencias entre una red GSM Release 4 y una red GSM de segunda generación.....	223
3.5.2	Ventajas y desventajas de implementar una red GSM Release 4 por parte de una operadora de telefonía celular.....	227
3.5.3	Ventajas de usuarios en la red GSM Release 4.....	228

## **CAPITULO IV**

	<b>Análisis comparativo de tráfico de voz de red GSM Release 4 y GSM de segunda generación en el ecuador.....</b>	<b>230</b>
4.1	Ingeniería de tráfico celular.....	230
4.1.1	Descripción de tráfico celular y probabilidad de bloqueo.....	230
4.1.2	Unidades de medición de tráfico celular.....	233
4.1.3	Estrategias de cola y tipos de carga de tráfico.....	235

4.1.4	Eficiencia de troncales y variaciones de tráfico.....	238
4.2	Datos reales de tráfico de voz entre la BSC y la MSC de la interfaz A de una red GSM de segunda generación.....	240
4.2.1	Escenario y topología para la obtención de datos reales de tráfico de voz en red GSM de segunda generación.....	241
4.2.2	Datos reales de tráfico de voz obtenidos entre la MSC y dos BSC de red GSM de segunda generación.....	242
4.2.3	Capacidad de usuarios de red en función de datos de tráfico de voz....	245
4.3	Datos reales de tráfico de voz entre la BSC y MGW de la interfaz A de una red GSM Release 4.....	246
4.3.1	Escenario y topología para la obtención de datos reales de tráfico de voz en red GSM Release 4.....	246
4.3.2	Datos reales de tráfico de voz obtenidos entre dos MGW y dos BSC conectados a cada MGW de una red GSM Release 4.....	247
4.3.3	Capacidad de usuarios de red GSM Release 4 en función de datos de tráfico de voz.....	252
4.4	Análisis y comparación de datos reales de tráfico de voz de redes GSM Release 4 y GSM de segunda generación.....	253
4.4.1	Comparación y diferenciación en función de volumen de tráfico.....	254

4.4.2 Optimización y mejoras de los medios de transmisión de voz.....257

**Conclusiones y recomendaciones.....258**

**Glosario.....261**

**Anexos.....264**

**Bibliografía.....282**

# INDICE DE FIGURAS

Pág.

## CAPITULO 1

Figura 1.1: Número de usuarios por mes y por tecnología de telefonía celular desde enero de 2003 hasta agosto del 2005.....	6
Figura 1.2: Abonados de telefonía celular en el Ecuador por operadora hasta el 2008.....	18
Figura 1.3: Distribución del mercado telefónico celular en el Ecuador por operadora con datos de Agosto del 2008.....	19
Figura 1.4: Penetración celular en el Ecuador desde 1994 hasta 2008.....	22
Figura 1.5: Tecnologías de telefonía celular de primera y segunda generación.....	35
Figura 1.6: Espectro FDMA.....	36
Figura 1.7: Espectro TDMA.....	38
Figura 1.8: Dinámica E-TDMA.....	41
Figura 1.9: Espectro CDMA.....	46
Figura 1.10: Evolución de las tecnologías celulares hacia 3G.....	52
Figura 1.11: Usuarios celulares por operadora y por tecnología celular desde el 2000.....	53
Figura 1.12: Comparación de usuarios TDMA, GSM y CDMA en el Ecuador hasta Agosto del 2008.....	55
Figura 1.13: Acceso WAP a una página WML.....	65

Figura 1.14: Auricular para teléfono celular por bluetooth.....	69
Figura 1.15: Teléfonos celulares Blackberry.....	73

## **CAPITULO 2**

Figura 2.1: Arquitectura general de una red GSM.....	90
Figura 2.2: Estación móvil GSM con tarjeta SIM card.....	92
Figura 2.3: Subsistema de estación base GSM.....	93
Figura 2.4: Ejemplo de una estación base.....	95
Figura 2.5: Diferentes ubicaciones del TRAU en una red GSM.....	100
Figura 2.6: Interfaces del subsistema de estación base GSM.....	102
Figura 2.7: Radiación y ganancia de antenas isotropica y dipolo.....	105
Figura 2.8: Puntos de media potencia y relación frente atrás.....	106
Figura 2.9: Sistema de antena en una estación base GSM.....	108
Figura 2.10: Tipos y ubicación de de antenas.....	109
Figura 2.11: Subsistema de conmutación de red GSM.....	110
Figura 2.12: Sistema GPRS en una red GSM.....	119
Figura 2.13: Espectro de una señal GSM.....	129
Figura 2.14: Tipos de canales lógicos GSM.....	134
Figura 2.15: Proceso de cifrado.....	157
Figura 2.16: Algoritmo de control de potencia.....	177
Figura 2.17: Procedimiento de actualización de ubicación.....	181

### **CAPITULO 3.**

Figura 3.1: Evolución de GSM con tasa de datos máxima en transmisión y recepción.....	191
Figura 3.2: Tasas promedios de tecnologías evolutivas de GSM.....	194
Figura 3.3: Arquitectura de tecnología GSM Release 4.....	197
Figura 3.4: Arquitectura de la tecnología GSM 2G versus GSM Release 4.....	198
Figura 3.5: Interfases de la red GSM Release 4.....	200
Figura 3.6: Funciones principales de un Multimedia Gateway.....	204
Figura 3.7: Arquitectura de un Multimedia Gateway.....	208
Figura 3.8: Interfases del Multimedia Gateway.....	210
Figura 3.9: Arquitectura de Core en GSM.....	217
Figura 3.10: Arquitectura de Core en GSM Release 4.....	218
Figura 3.11: Interfases del MSC Server.....	219
Figura 3.12: Capas de protocolo H.248.....	220
Figura 3.13: Capas de protocolo MAP.....	220
Figura 3.14: Capas de protocolo BICC.....	221
Figura 3.15: Esquema 1 GSM 2G.....	224
Figura 3.16: Esquema 1 GSM Release 4.....	225
Figura 3.17: Esquema 2 GSM 2G.....	226
Figura 3.18: Esquema 2 GSM Release 4.....	227

## **CAPITULO 4.**

Figura 4.1: Conversión entre unidades de medición de tráfico.....	234
Figura 4.2: Comportamiento de tráfico celular de una BTS de 2 días de la semana.....	240
Figura 4.3: Red GSM de segunda generación.....	241
Figura 4.4: Esquema para la toma de medidas en 2G GSM.....	242
Figura 4.5: Esquema para la toma de medidas en GSM Release 4.....	247
Figura 4.6: Comparación de BSC1 en GSM 2 G versus GSM Release 4.....	254
Figura 4.7: Comparación de BSC2 en GSM 2 G versus GSM Release 4.....	255
Figura 4.8: Comparación de BSC1 en GSM 2G versus BSC1+BSC3 GSM Release 4.....	256
Figura 4.9: Comparación de BSC2 en GSM 2G versus BSC2+BSC4 GSM Release 4.....	256

# INDICE DE TABLAS

**Pág.**

## **CAPITULO 1.**

Tabla 1.1: Abonados de telefonía celular por año y por operadora desde 1994 hasta el 2002.....	2
Tabla 1.2: Servicios que ofrece la telefonía celular.....	4
Tabla 1.3: Número de abonados por mes y por tecnología de telefonía celular desde Enero del 2003 hasta Agosto del 2005.....	7
Tabla 1.4: Abonados de telefonía móvil versus telefonía fija.....	15
Tabla 1.5: Penetración celular por año en el Ecuador.....	21
Tabla 1.6: Abonados de telefonía celular por plan tarifario en los últimos años.....	24
Tabla 1.7: Tarifa de plan prepago cobrado por Porta por minuto.....	26
Tabla 1.8: Tarifa de plan prepago cobrado por Movistar por minuto.....	27
Tabla 1.9: Tarifa de plan prepago cobrado por Alegro por minuto.....	28
Tabla 1.10: Vigencia de días de tarjetas prepago por operadora.....	30
Tabla 1.11: Diferencias técnicas entre tecnologías celulares.....	50

## **CAPITULO 2.**

Tabla 2.1: Características generales de GSM.....	79
Tabla 2.2: Desarrollo del estándar GSM.....	81
Tabla 2.3: Medida de calidad RXQUAL y medida de nivel de señal RXLEV.....	171

## **CAPITULO 4.**

Tabla 4.1: Erlang B con Probabilidad de bloqueo del 2%.....	236
Tabla 4.2: Eficiencia de troncal con un GOS del 2%.....	238
Tabla 4.3: Datos reales de tráfico de voz entre MSC y BSC – 1 de red GSM 2G.....	243
Tabla 4.4: Datos reales de tráfico de voz entre MSC y BSC – 2 de red GSM 2G.....	244
Tabla 4.5: Datos reales de tráfico de voz entre MGW y BSC – 1 de red GSM Release 4.....	248
Tabla 4.6: Datos reales de tráfico de voz entre MGW y BSC – 2 de red GSM Release 4.....	249
Tabla 4.7: Datos reales de tráfico de voz entre MGW y BSC – 3 de red GSM Release 4.....	250
Tabla 4.8: Datos reales de tráfico de voz entre MGW y BSC – 4 de red GSM Release 4.....	251

# INTRODUCCIÓN

La tecnología de las telecomunicaciones va avanzando y cada vez las necesidades del hombre son mucho más exigentes pues ya no solo el poder hacer o recibir una llamada telefónica en cualquier lugar o inclusive estando en movimiento es lo imperioso, si no que también lo es poder realizar una sesión de Internet y tener acceso a muchas de sus aplicaciones sin necesidad de una conexión física y poder tener la opción de estar en movimiento es algo que cada día urge más. Obviamente la única opción aquí para usar un medio o canal de comunicación para poder cumplir estos requerimientos es el aire. Pero también se debe tener en cuenta que el aire es el canal de comunicación más hostil y que por lo tanto deberían de existir muchas técnicas para poder solucionar este problema.

Las comunicaciones de segunda generación se han diseñado básicamente para dar servicios de transmisión de voz en sistemas macro-celulares. Para entender las diferencias con los sistemas de avanzada generación, debemos describir en primer lugar los requerimientos que se le exigen a estas nuevas comunicaciones como por ejemplo velocidades de transmisión de hasta 2 Mbps, velocidades de transmisión variables en función de las necesidades de las aplicaciones y los usuarios, multiplexación de diferentes servicios con tasas y calidades diferentes en una misma conexión, compatibilidad con los sistemas de segunda generación para poder coexistir con ellos, capacidad de gestión eficiente de tráfico asimétrico entre los enlaces

ascendente y descendente, alta eficiencia espectral y coexistencia de los modos de operación FDD y TDD. Por otro lado, la naturaleza de la información transmitida por las redes de comunicaciones ha sufrido una evolución incesante. La cantidad de información transmitida en modo paquete, asimétrica y racheada, es cada vez más importante. Incluso el tráfico de voz está empezando a encaminarse por redes basadas en el protocolo IP, voz sobre IP y convirtiéndose también en un flujo discontinuo de datos.

Por estas razones, es necesario e importante realizar la migración del sistema GSM 2G a un más avanzado, GSM Release 4, para que se puedan cumplir y satisfacer todas las demandas de servicios de voz como datos que los usuarios requieren actualmente. Con la migración hacia un sistema GSM Release 4, se tiene una mejora sustancial en el rendimiento a nivel de optimización de los medios de transmisión a nivel del subsistema de estación base, BSS, y el subsistema de conmutación NSS, debido que se agrega entre ellos un nuevo componente llamado Multimedia Gateway, MGW, el cual separa las la funciones de tráfico de voz señalización, de esta manera el centro de conmutación, MSC, deja de tener centralizada todas las funciones.

Con la migración de un sistema GSM 2.0 a un sistema GSM Release 4 se tendrá ventajas como optimización de ancho de banda, mayor acceso a los servicios por los usuarios, mayor capacidad de tráfico de voz y de usuarios, optimización de los medios de transmisión y reutilización del canal de transmisión, voz sobre IP.

# **CAPITULO 1**

## **MERCADO TELEFONICO CELULAR EN EL ECUADOR**

### **1.1 Evolución del mercado telefónico celular en el Ecuador.**

#### **1.1.1 Inicio de la telefonía celular en el Ecuador**

En 1994 empezó el servicio de telefonía móvil en el Ecuador con el funcionamiento de dos operadoras internacionales: Porta y Bellsouth en ese año brindando servicio de telefonía celular con tecnología TDMA, Acceso múltiple por división de tiempo, en aquel año Porta empezó con 13.200 abonados y Bellsouth con 5.300 abonados. El servicio se concentraba en las ciudades principales del país: Quito, Guayaquil y Cuenca. Luego se amplió a Manabí, Tungurahua y el resto de provincias.

Al inicio, los teléfonos celulares eran análogos, para luego pasar a digital que es mucho más eficiente, rápida y que permite brindar un mejor servicio al cliente. En ambas operadoras se utilizaba tecnología TDMA que permitía realizar solo llamadas

telefónicas y mensajes cortos de texto entre usuarios de la misma operadora. A finales de 1996, después de 2 años de que se haya iniciado la telefonía celular en el Ecuador ya existían alrededor de 60 mil abonados lo que representaba un incremento de 216%, en 1999 ya existían 384 mil abonados y al finalizar el 2002 en el Ecuador se registraba un número de abonados cerca de 1'560.000 lo que significaba un incremento acelerado de abonados de telefonía celular y esto se debió a que las dos operadoras internacionales estaban dispuestas a captar la mayor cantidad de usuarios en el Ecuador debido a que a finales del 2002 solo existía una penetración celular del 13% habiendo una mayor cantidad de habitantes a los cuales había que ofrecer servicio de telefonía celular, por estas razones tanto Porta y Bellsouth realizaron una alta inversión económica para poder incrementar sus redes y tener mayor cobertura de servicio a nivel nacional.

<b>AÑO</b>	<b>PORTA</b>	<b>BELLSOUTH</b>	<b>TOTAL</b>	<b>CRECIMIENTO</b>
Dic-1994	13.620	5.300	18.920	
Dic-1995	30.548	23.800	54.348	187,25%
Dic-1996	36.484	23.295	59.779	9,99%
Dic-1997	64.160	62.345	126.505	111,62%
Dic-1998	127.658	115.154	242.812	91,94%
Dic-1999	196.632	186.553	383.185	57,81%
Dic-2000	248.480	233.733	482.213	25,84%
Dic-2001	483.982	375.170	859.152	78,17%
Dic-2002	920.878	639.983	1.560.861	81,67%

**TABLA No 1.1: Abonados de telefonía celular por año y por operadora desde 1994 hasta 2002**

En contexto de expansión, las comunicaciones vía telefonía celular han ido sustituyendo rápidamente a las tradicionales de voz fija en el Ecuador debido a la demanda de servicios de datos multimedia, soluciones bancarias, Internet y demás servicios y al mismo tiempo debido a que en el país no ha existido inversión económica para que exista un correcto desarrollo y crecimiento de la telefonía fija en el Ecuador que esta representada por las empresas estatales Pacifictel y Andinatel. A su vez, los fabricantes de terminales incorporan a los celulares nueva tecnología con funcionalidad para la transmisión de datos lo cual posibilita a los operadores prestar nuevos servicios basados en datos móviles.

Debido a la demanda de servicios de datos, incremento tanto de usuarios como de tráfico de voz TDMA, desarrollo de nuevas plataformas JAVA y BREW para los teléfonos celulares por los fabricantes, y lo más importante para las operadoras, millones de usuarios por captar las dos operadoras internacionales de telefonía celular que están en el Ecuador se vieron obligadas a utilizar nuevas tecnologías de telefonía celular debido a que la tecnología que estaban usando únicamente en sus redes era TDMA, la cual por sus características es limitada en capacidad y no da para proveer servicios de datos entre los cuales están el intercambio de mensajes multimedia, correo electrónico, noticias del día, reproducción de video y música, y demás servicios de valor agregado como roaming internacional, Porta y Bellsouth tuvieron la necesidad de implementar en sus redes tecnologías de segunda generación que le permitan ofrecer nuevos y mejores servicios.

LINEA	SERVICIOS
Llamadas celulares.	Entre usuarios de la misma o diferente red
	Internacionales
	Roaming Internacional
	Traspaso de llamadas
	Consulta de saldos
Mensajería persona a persona.	Entre usuarios de la red
	Interoperabilidad
	Internacionales
	Paquetes de mensajes
	Planes basados en SMS
	Roaming SMS
	Messenger
	Mensajes Web
Contenido	Mensajes por operadoras
	Ring Tones
	Juego
	Imágenes
	Información
Otros Servicios	Juegos
	Internet
	Consulta de saldos – Notificaciones bancarias
	Blackberry
Bluetooth	

**TABLA No 1.2: Servicios que ofrece la Telefonía celular**

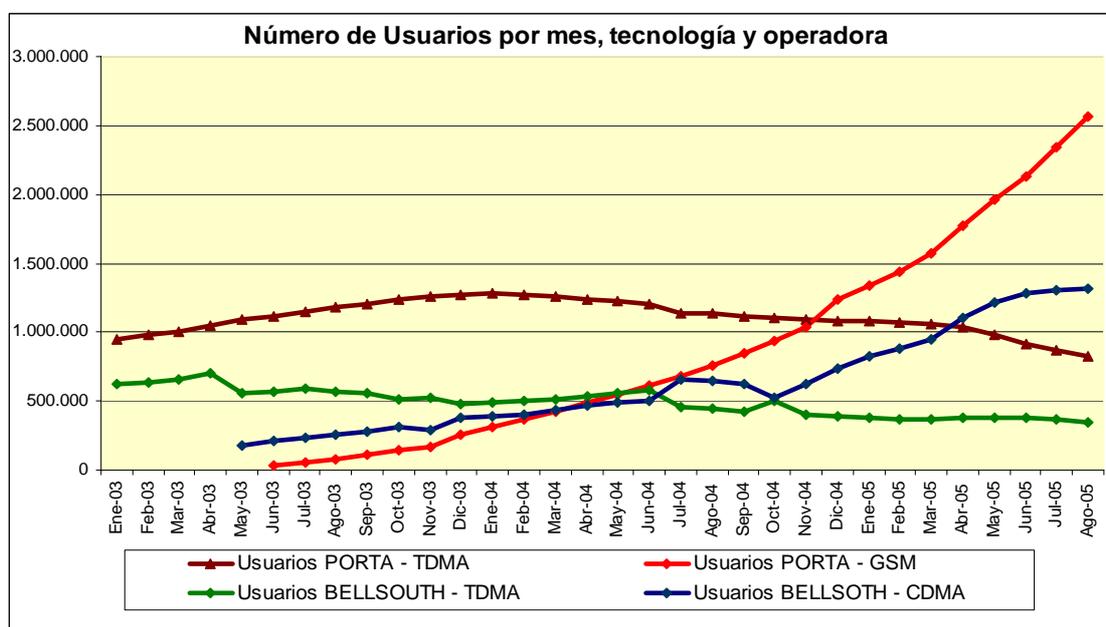
### **1.1.2 Tecnologías celulares de 2da generación implementadas en el Ecuador.**

A mediados del año 2003, Bellsouth implementa en su red en el mes de mayo una nueva tecnología llamada CDMA2000, Acceso Múltiple por división de código, para ofrecer nuevos y mejores servicios de telefonía celular en el país manteniendo su red TDMA pero con el propósito que gradualmente sus usuarios migren de red

TDMA a CDMA, para el mes de diciembre del 2003 después de casi 7 meses que Bellsouth implemente CDMA ya contaba con 381 mil usuarios CDMA lo que representaba un 46% del total de usuarios y 480 mil usuarios TDMA que equivalía al 54% restante, la implementación de la red CDMA trajo como consecuencia que la red TDMA no creciera más, tanto así que los usuarios TDMA comenzaron a disminuir paulatinamente mes a mes con lo cual se veía a un futuro breve un buen crecimiento de la red CDMA tanto como la captación de nuevos usuarios ofreciendo nuevos servicios y variedades de teléfonos celulares CDMA con nuevas propiedades como pantallas a color, sistema multimedia, etc.

Un mes después de que se haya implementado CDMA en Bellsouth, Porta tenía mas de un millón de usuarios TDMA lo que implicaba una mayor demanda de tráfico y de servicios de telefonía celular gracias a una mayor inversión económica lo cual permitía una mayor cobertura a nivel nacional pero al mismo tiempo conllevaba a tener un alto grado de ocupación de su red TDMA, debido a esto en Junio del 2003 Porta además de tener su red celular TDMA agrega una red con tecnología GSM, Sistema Global para Comunicaciones Móviles, Porta empieza con 36 mil abonados GSM lo cual se fue incrementando rápidamente, al mes del diciembre del 2003 Porta ya contaba con 260 mil abonados GSM y al mismo tiempo que había mas usuarios GSM también se incrementaba los de TDMA hasta enero del 2004 donde llegó al número máximo de usuarios TDMA en el país que fue de 1'285.000 pero a partir de enero del 2004, Porta realizó una campaña agresiva para captar una mayor cantidad

de usuarios GSM y al mismo tiempo migrar usuarios TDMA a GSM, esto dio resultados y a partir del mes de febrero del 2004 y mes a mes hubo una disminución de usuarios TDMA en Porta y un aumento acelerado de usuarios GSM, en este año las 2 operadoras tenían una gran cantidad del mercado por captar, existía una penetración celular del 25% que significaba que de cada 100 ecuatorianos 25 tenían celular. Con la implementación de las tecnologías CDMA y GSM en la operadoras Bellsouth y Porta respectivamente, la telefonía celular en el Ecuador tuvo un gran crecimiento en el 2004. Por un lado, en Bellsouth creció rápidamente los usuarios CDMA sobrepasando la cantidad máxima de usuarios TDMA a mediados del 2004, en el mes de diciembre esta operadora registraba aproximadamente 1'200000 abonados del los cuales el 66% eran usuarios CDMA lo cual significaba que era la red predominante en Bellsouth.



**FIGURA No 1.1: Número de usuarios por mes y por tecnología de telefonía celular desde Enero de 2003 hasta Agosto del 2005.**

Mes	PORTA		BELLSOUTH	
	Usuarios	Usuarios	Usuarios	Usuarios
	TDMA	GSM	TDMA	CDMA
Ene-2003	952.715		619.427	
Feb-2003	984.304		631.137	
Mar-2003	1.008.938		662.095	
Abr-2003	1.044.905		698.730	
May-2003	1.090.099		559.570	180.238
Jun-2003	1.117.086	35.966	567.690	208.958
Jul-2003	1.144.823	56.193	589.661	231.311
Ago-2003	1.180.693	81.000	571.599	258.470
Sep-2003	1.207.025	110.564	560.697	277.567
Oct-2003	1.234.246	144.261	514.839	309.501
Nov-2003	1.262.184	169.184	524.889	290.664
Dic-2003	1.276.156	256.859	480.152	381.190
Ene-2004	1.285.302	309.589	489.008	391.759
Feb-2004	1.275.711	369.320	503.587	404.100
Mar-2004	1.256.929	428.031	510.241	438.282
Abr-2004	1.239.849	489.449	532.427	466.500
May-2004	1.226.893	550.643	554.643	485.948
Jun-2004	1.202.035	615.511	577.864	497.950
Jul-2004	1.136.146	684.882	451.731	660.946
Ago-2004	1.132.377	761.559	447.603	648.261
Sep-2004	1.116.875	844.159	424.823	626.351
Oct-2004	1.099.261	937.356	502.962	524.107
Nov-2004	1.089.914	1.031.806	398.761	625.509
Dic-2004	1.084.402	1.232.659	388.077	731.680
Ene-2005	1.081.341	1.335.722	376.597	829.589
Feb-2005	1.070.801	1.439.911	371.982	884.345
Mar-2005	1.056.275	1.570.766	372.320	945.933
Abr-2005	1.032.650	1.775.999	379.043	1.100.019
May-2005	979.912	1.965.075	382.715	1.220.294
Jun-2005	918.408	2.135.097	380.143	1.277.473
Jul-2005	874.536	2.341.666	366.787	1.305.808
Ago-2005	826.019	2.560.474	342.850	1.314.038

**TABLA No 1.3: Número de abonados por mes y por tecnología de telefonía celular desde Enero del 2003 hasta Agosto del 2005.**

Por otro lado, a Porta le fue mejor con la implementación de la red GSM ya que captó una mayor captación de usuarios a esta red gracias a la mejor cobertura y a la variedad de teléfonos GSM que llaman mas la atención a los ciudadanos por tener mayor diversidad de colores, tamaños y demás propiedades además de ser mas económicos que los teléfonos CDMA. En el 2004, Porta marco mayor diferencias de abonados a nivel nacional con respecto a su mayor rival Bellsouth, la operadora mexicana en Ecuador a finales de ese año registró mas de 2'317.000 abonados así duplicando el número de abonados de su competidora Bellsouth consolidándose en el mercado de telefonía celular. En diciembre del 2004 hubo una penetración celular del 28%.

### **1.1.3 Ingreso de Telefónica Móviles al mercado celular en el Ecuador.**

Habiendo millones de ecuatorianos que no tenían servicio celular en el país, la gigante de las telecomunicaciones de España, Telefónica Móviles, en el 2004 realizó una inversión de \$833 millones para comprar el 100% de las acciones de Otecel (Bellsouth) así mismo realizar una inversión de \$70 millones anuales en los siguientes cuatro años. El objetivo de la multinacional era tumbar a su principal competidora en el mercado nacional, Conecel (Porta Celular), que en el 2004 poseía más del doble de clientes que BellSouth, ahora de propiedad de Telefónica. Teniendo en cuenta que el mercado de telefonía celular era muy importante y en crecimiento, por ello, anunció una inversión de \$300 millones y garantizó calidad en el servicio y

competitividad en los costos. Nadie puede negar que Telefónica sea capaz de invertir eso y mucho más, pues, en el año 2003, tuvo ingresos por \$11.366 millones que arrojaron sus 68 millones de clientes a nivel mundial. Su meta era subir de 1 millón en el 2004 a 3 millones de usuarios en el mediano plazo y para alcanzar ese objetivo tendría que luchar, palmo a palmo, con Conecel (Porta), la empresa de telefonía móvil más grande del Ecuador.

Para alcanzar ese objetivo, Telefónica tenía que mejorar su cobertura a nivel nacional y lograr esa cobertura no era difícil, más aun si Telefónica Móviles logró conectar a los emigrantes de España con sus familiares en el Ecuador, mediante promociones y tasas atractivas. No olvidemos que, en 2001, la telefonía móvil en el Ecuador apenas tenía 800 mil usuarios, y solo tres años después se ha cuadruplicado. Esto da la pauta de que había y hasta la actualidad hay un crecimiento sostenido del sector, pues el teléfono celular se ha convertido en una herramienta eficiente para hacer negocios, trabajar, estudiar, investigar, informarse y hasta para divertirse. A esto se suma el hecho de que las provincias de Bolívar, Zamora Chinchipe, Morona Santiago y la mayoría de sectores rurales aún no tenían servicio de telefonía móvil. Así que el mercado era más amplio que en la actualidad para que las dos compañías concentren todas las ventas del servicio de telecomunicación móvil en el país teniendo que tomar en cuenta el ingreso de una nueva operadora de telefonía celular llamada Alegro PCS afines del 2003, la cual su ingreso estuvo demorado por las empresas Andinatel y Pacifictel..

#### **1.1.4 Nueva operadora de telefonía celular: Alegro PCS.**

Alegro PCS se estrenó a fines del año 2003 con un despliegue de publicidad tal que compraron el nombre de las fiestas de Quito. A pesar de esto, de hecho, comenzó a ser parte del mercado a inicios del 2004. La publicidad inicial fue un medio que Swedtel utilizó para evitar una multa del Estado si demoraba la introducción de la empresa. Por falta de mal manejo y poca inversión, Pacifictel se echó para atrás en el control de la operadora Telecsa: a mediados de aquel año anunció que reduce su participación del 50% al 17%. Ahora Andinatel tiene el control mayoritario en Telecsa. El servicio de telefonía celular que brindaba Alegro PCS llegó principalmente a Guayaquil y Quito y luego a Manta y Santo Domingo, y se alió con la municipal Etapa Telecom para llegar a Cuenca y el austro con una marca particular: Etapa Móvil.

Alegro PCS ingresó al mercado móvil de Ecuador en 2003, cuando obtuvo una licencia que le permitió prestar servicios a escala nacional. Por ser el último operador en ingresar al mercado de telefonía móvil, Alegro PCS debió realizar una gran y rápida inversión en despliegue de infraestructura al punto que a fin de 2004 ya podía ofrecer servicios sobre el 65% del territorio nacional. Sin embargo, la ampliación de su oferta de servicios de datos móviles se ha visto demorada debido a que existen discrepancias en materia de inversión entre sus dos accionistas: las compañías estatales de telefonía fija Pacifictel y Andinatel. Mientras se resuelve esa

situación, Alegro PCS pondera diferentes escenarios para la incorporación de una plataforma para distribuir contenidos y aplicaciones que logren captar a los usuarios.

De cara al consumidor, el intercambio de SMS entre operadoras fue el avance del año 2004. Alegro PCS necesitó la presión del regulador estatal Senatel para conseguir que sus competidoras le abrieran espacio en sus pantallas. Además de lograr el intercambio de mensajes escritos entre operadoras, Alegro quiere convertirse en una de las empresas líderes en el mercado de la Internet impulsando en el 2005 una campaña enfocada a terminar con el uso del cable para las conexiones, con el eslogan “para tener Internet en tu casa ya no necesitas cable”, Telecsa se jugó la entrada al mercado ecuatoriano donde existen ya empresas que ofrecen el servicio. La empresa introdujo al mercado el sistema denominado NIU el 15 de junio del 2005, NIU permite a las personas conectarse a la Internet sin necesitar un cable, lo que llevó a que la compañía tenga cerca de 33.000 clientes, en un año y medio que tiene en el mercado. En los primeros tres meses fueron 6.000 clientes y al final del año, 25.000. Durante los últimos meses, 2.000 clientes y todo a un costo de 39 dólares aproximadamente, el éxito se basó en poder llegar a las personas que no tenían acceso a la Internet y querían navegar desde los domicilios.

Alegro PCS comenzó con tecnología CDMA, lanzando servicios de mensajería corta y WAP, analizando diferentes escenarios para incorporar una red GSM con plataformas JAVA que le permitan ofrecer aplicaciones y contenidos. En

concreto, sus tareas estaban concentradas en la ponderación de las fortalezas y debilidades tanto de plataforma Brew usada por CDMA como de Java, considerando una combinación de Brew y Java que ofrece mayores beneficios que la elección de una única plataforma. Por operar una red CDMA, Alegro PCS tiene a su disposición terminales tanto en Brew como en Java, lo cual le permitiría llegar con una oferta de equipos variada a toda su cartera de usuarios. Sin embargo, si la decisión de un operador CDMA de adoptar Java está basada en contar con la misma diversidad de terminales y aplicaciones que ofrece Porta que usa GSM puede correr un serio riesgo de fracasar debido a que la variedad de dispositivos y aplicaciones no lo es todo, por el contrario, se debe considerar que si bien Java dispone de una mayor oferta de terminales, cada fabricante ha creado una versión propia de la plataforma; por lo que existe una alta fragmentación que vuelve más complejo y costoso el servicio de soporte técnico al cliente.

Debido a que Alegro no ha captado una mayor cantidad de usuarios a nivel nacional correspondiente a 200.000 usuarios hasta fines del 2005, ha decidido implementar una red GSM en el 2006 que le permita desarrollarse en el mercado celular y así competir con las dos operadoras que llevan una gran cantidad de abonados de telefonía celular, y para lograr el objetivo Alegro intentará ofrecer diversos planes empresariales sobre conexión de Internet, además le dará valor agregado a los mensajes, presentando multimedia y GSM.

### **1.1.5 Crecimiento del mercado telefónico celular en Ecuador.**

En el Ecuador las operadoras tanto nacionales e internacionales que tienen derecho a prestar servicios de telefonía celular son: Andinatel, Pacifictel, Etapa, Linkotel, Ecuatel, Setel, Etapa Telecom, Movistar, Porta y Alegre. La competencia entre las operadoras ha permitido al crecimiento del mercado telefónico celular en el Ecuador rápidamente en los últimos años.

Desde que Movistar y Porta implementaron en sus redes tecnología CDMA y GSM respectivamente a mediados del 2003, el crecimiento de telefonía celular a partir de esta fecha ha sido muy acelerado dejando atrás a la tecnología TDMA que no permite brindar en la actualidad los diferentes servicios que hoy en día los usuarios de telefonía celular requieren como la transmisión abundante de datos y de voz.

Porta y Movistar consiguieron que la mayor cantidad de personas que no tenían servicio tanto de telefonía fija como de telefonía celular en los últimos en el Ecuador se decidieran por adquirir un teléfono celular debido a que la telefonía fija manejado por las empresas estatales Pacifictel y Andinatel no han podido ofrecer servicio de telefonía a amplios sectores que permanecieron incomunicados con el resto del país y del mundo tanto así que en la última evaluación de las prácticas comerciales del Ecuador en el 2005, la Organización Mundial del Comercio, OMC,

recomendó abrir a la inversión privada a las empresas de telefonía fija que han crecido tímidamente debido a la poca inversión que realizan y mal manejos de las mismas.

Los usuarios de la telefonía celular han crecido significativamente desde 1994, cuando comenzaron sus operaciones en el Ecuador, Porta que pertenece a la internacional mexicana América Móvil, y Bellsouth que ahora es propiedad de Movistar perteneciente a la multi internacional Telefónica de España, ambas empresas en 1994 registraron en total 18.920 usuarios, cinco años después en 1999 ya tenían 383.000 abonados, y cinco años más tarde en 2004 más de 3'500.000 usuarios según datos de la Superintendencia de Telecomunicaciones, tomando en cuenta que en diciembre de 2003 entra al mercado un tercer operador, Alegro, cuyos accionistas principales son las telefónicas estatales fijas Andinatel y Pacifictel.

La que se lleva la mayor parte del mercado celular en la actualidad es Porta, a Agosto del 2008 con 7'528.413 usuarios correspondiente al 67.55%; le sigue Movistar, con 2'952.754 usuarios que representan el 26.50% y Alegro con 663.114 abonados que es solo el 5.95% del mercado nacional, esto es un gran contraste respecto a la telefonía fija, donde predomina el monopolio estatal, ha crecido a un promedio anual de 9.02%. En 1996, las operadoras estatales Andinatel, Pacifictel y Etapa registraron 800,763 usuarios y en Agosto del 2008 ya tenían más 1.86 millones de abonados.

CLASE	1996	2008	CRECIMIENTO
TELEFONIA MOVIL	59.779	11.144.281	18.642.47%
TELEFONIA FIJA	800.763	1.865.130	232.92 %

**TABLA No 1.4: Abonados de telefonía móvil versus telefonía fija.**

Porta ha logrado un crecimiento de abonados más significativo teniendo la mayor cantidad de abonados a nivel nacional creando una alta diferencia con sus rivales en el mercado Movistar y Alegro PCS, esto se debe a que Porta implementó tecnología GSM y esto fue la clave para la captación de millones de usuarios, además de que implementar una red GSM es mas barata que una red CDMA, la tecnología GSM tiene mayor variedad de teléfonos celulares que llaman la atención a los clientes y al mismo tiempo son relativamente mas económicos comparados con los teléfonos CDMA, sin embargo Porta decidió seguir creciendo, captar mas usuarios, crear altas diferencias con las otras compañías, y a inicios del 2005 firmó un contrato con Nokia para realizar un aumento de su red GSM.

Por estas razones desde que llegó al Ecuador, Telefónica Móviles de España con Movistar a fines del 2004, con el fin de competir en el mercado realizó un plan que contempló inversiones, diversificación de servicios y hasta premios, pero lo más destacado fue que decidió implementar una red GSM para poder competir con Porta, esto se dio partir de Septiembre del 2005 donde Movistar comenzó a ofrecer terminales GSM, ya para el mes de Septiembre del 2006, un año después que

implemente GSM, Movistar registró un poco más de un millón de abonados GSM casi la misma cantidad de abonados CDMA lo cual indica que fue una decisión acertada implementar GSM y así prever un crecimiento de abonados a su red en un futuro cercano.

Por otro lado, la tercera operadora de telefonía celular en el País, Alegro PCS no se quedó atrás, unió esfuerzos con Andinatel, empresa de telefonía fija, para mejorar su participación en el mercado nacional. Alegro PCS comenzó a construir la arquitectura de la red GSM poco a poco desde octubre del 2006, siendo Diciembre del 2007 cuando ya contaba con abonados GSM, estas dos empresas establecieron una alianza estratégica para impulsar ciertos servicios, como la posibilidad de acceder a determinados servicios de Andinatel, a través de los teléfonos móviles de Alegro PCS. Entre ellos constan el de hacer consultas desde un móvil al 104 de Andinatel, y el envío de mensajes de texto.

Otro proyecto que ya está en marcha es la utilización de la plataforma de Alegro PCS para que Andinatel y Pacifictel ofrezca el servicio de telefonía fija inalámbrica. También piensan ofrecer un empaquetamiento de productos y servicios en el área de telecomunicaciones, esto significa vender combos en los cuales se incluiría Internet, transmisión de datos y líneas fijas y celulares.

El crecimiento del mercado celular en el Ecuador dejó a las tres compañías

que operan el servicio una facturación de \$ 1.009 millones en 2005. Durante 2006 y 2007 creció bastante el mercado móvil y se prevé para diciembre del 2008 que el mercado móvil ecuatoriano crezca en un 18 por ciento comparado al del 2007. Porta Celular, propiedad de América Móvil, que al término de 2005 abarcaba el 65 por ciento del mercado local, registró ventas por 618 millones de dólares y 63 millones en utilidades. El caso de Movistar es similar. Según voceros de Otecel, Movistar, la telefónica vendió 349,9 millones de dólares durante el 2005. Es decir vendieron 42 millones más que en el año 2004 pero sus utilidades disminuyeron en casi 13 millones de dólares, según los portavoces de Telefónica, este crecimiento en ventas es el resultado de una mayor oferta de servicios porque se instaló una nueva red GSM, complementaria a la CDMA1 que ya tenían. Por su parte, 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, la empresa registró una pérdida de 58 millones. Esto implica que el 2005 fue el tercer año que la empresa registró pérdidas con un tan solo 4% del mercado telefónico.

Con la migración de CDMA a GSM en Movistar que empezó en el 2005 y Alegro en el 2006, las tres operadoras de telefonía celular en el Ecuador ofrecerán el mismo tipo de servicio GSM tratando que los usuarios en el caso de Movistar y Alegro cambien un móvil CDMA por uno GSM, trayendo así cambios en el mercado de telefonía celular, aunque aún Porta lleva una considerable distancia, ahora el consumidor tiene menos ataduras para elegir el servicio de una de las tres operadoras

y esto dependerá de los diferentes planes de minutos, costos, servicios de valor agregado que ofrecen las operadoras y de los servicios que requiera el usuario final.

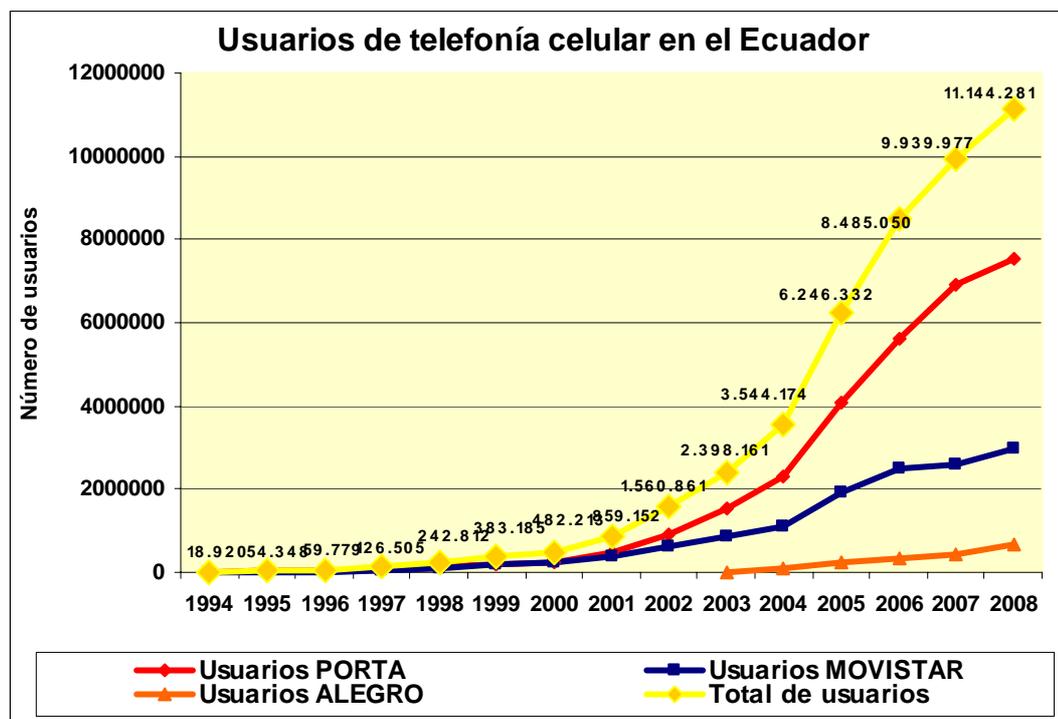
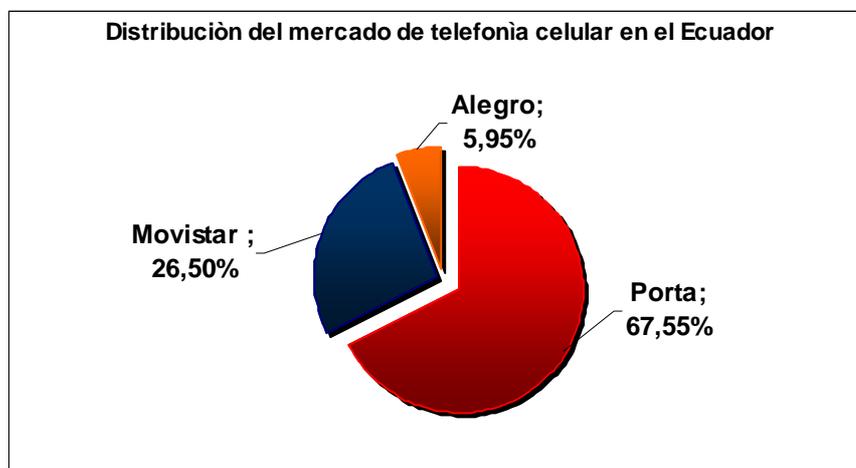


FIGURA No 1.2: Abonados de telefonía celular en el Ecuador por operadora hasta el 2008.

Con la migración de CDMA a GSM en Movistar que empezó en el 2005 y Alegro en el 2006, las tres operadoras de telefonía celular en el Ecuador ofrecerán el mismo tipo de servicio GSM tratando que los usuarios en el caso de Movistar y Alegro cambien un móvil CDMA por uno GSM, trayendo así cambios en el mercado de telefonía celular, aunque aún Porta lleva una considerable distancia, ahora el consumidor tiene menos ataduras para elegir el servicio de una de las tres operadoras y esto dependerá de los diferentes planes de minutos, costos, servicios de valor

agregado que ofrecen las operadoras y de los servicios que requiera el usuario final.



**FIGURA No 1.3: Distribución del mercado telefónico celular en el Ecuador por operadora con datos de Agosto del 2008.**

Tanto la gran inversión que han realizado las operadoras como la migración de varias tecnologías a una solo GSM teniendo gran variedad de servicios que la sociedad actual requiere ha hecho que se produzca un crecimiento acelerado en el mercado de la telefonía celular en los últimos tres años, en diciembre del 2007 se registró un poco mas de 9.93 millones de abonados y se prevé que el mercado de la telefonía móvil crezca aproximadamente un dieciocho por ciento más durante el 2008 llegando a casi 12 millones de usuarios en el ecuador que se sirvan de los servicios de telefonía celular.

En el Ecuador el mercado de la telefonía ha crecido gracias a la inversión económica y desarrollo tecnológico, la novedad que los teléfonos celulares ya pueden recibir mensajes escritos y multimedia entre operadoras, recibir correos electrónicos,

noticias del día, conectarse a Internet, reproducción de mp3, radio, juegos y otros entretenimientos ha llevado a que los ecuatorianos decidan obtener un teléfono celular en vez de un servicio de telefonía fija y más aún en sitios del país donde no puede llegar el servicio de telefonía fija.

Mes a mes, hay más usuarios de telefonía celular en el país, la tasa de penetración celular ha aumentado rápidamente en los últimos años en el Ecuador. La tasa de penetración celular se la define de la siguiente manera:

$$\text{Penetración Celular} = \frac{\sum \text{de usuarios por operadora celular}}{\text{Numero de habitantes del país}} \times 100$$

La tasa de penetración celular indica el porcentaje de servicio de telefonía celular que tiene un país, dicho en otras palabras que tan saturado se encuentra el mercado telefónico celular, donde se puede obtener el porcentaje de habitantes que no tienen un teléfono celular y por ende por parte de la operadora tratar de captarlo.

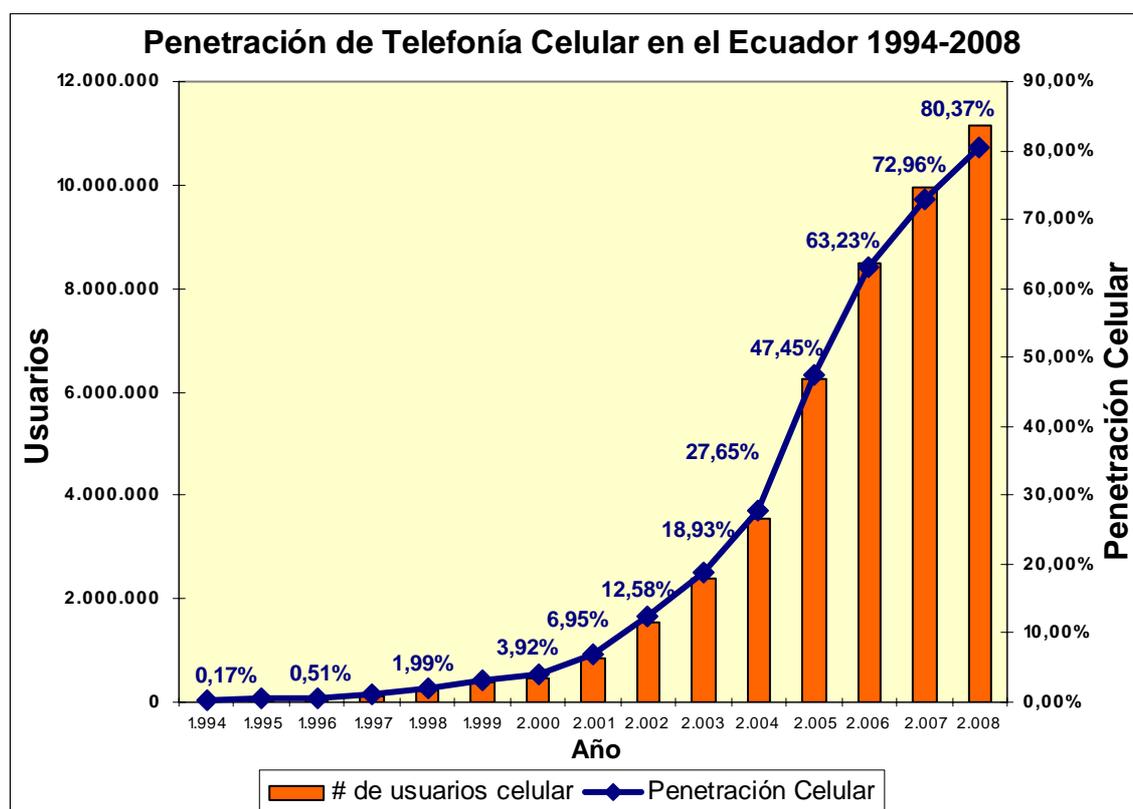
En Agosto del 2008 en el Ecuador existió una tasa de penetración celular del 80%, lo que quiere decir que de cada 10 ecuatorianos, 8 gozaban de servicio de telefonía celular y 2 ecuatorianos no lo tenían, siendo Porta la empresa con más usuarios de telefonía celular, inclusive más usuarios que una operadora de telefonía fija, teniendo aproximadamente el 68% de usuarios de telefonía móvil en el País en agosto del 2008.

<b>Año</b>	<b>Total de Abonados a nivel Nacional</b>	<b>Total de habitantes</b>	<b>Penetración</b>
Dic - 1994	18.920	11'221.070	<b>0.17 %</b>
Dic - 1995	54.348	11'460.117	<b>0.47 %</b>
Dic - 1996	59.779	11'698.496	<b>0.51 %</b>
Dic - 1997	126.505	11'936.858	<b>1.06 %</b>
Dic - 1998	242.812	12'174.628	<b>1.99 %</b>
Dic - 1999	383.185	12'211.232	<b>3.14 %</b>
Dic - 2000	482.213	12'296.095	<b>3.92 %</b>
Dic - 2001	859.152	12'356.608	<b>6.95 %</b>
Dic - 2002	1'560.861	12'408.059	<b>12.58 %</b>
Dic - 2003	2'394.357	12'651.359	<b>18.93%</b>
Dic - 2004	3'544.174	12'820.092	<b>27.65 %</b>
Dic - 2005	6'246.332	13'163.593	<b>47.45 %</b>
Dic - 2006	8'485.050	13'420.234	<b>63.23 %</b>
Dic - 2007	9'939.997	13'624.689	<b>72.96 %</b>
Ago - 2008	11'144.281	13'865.894	<b>80.37 %</b>

**TABLA No 1.5: Penetración celular por año en el Ecuador.**

Cada operadora de telefonía celular en el país tiene cada vez mas usuarios lo que hace que cada una haga un planeamiento e incremente su red para poder prestar un correcto servicio a sus usuarios, por otro lado, quedan menos ecuatorianos que no tengan servicio celular y por lo tanto menos usuarios para captarlos a sus respectivas empresas haciendo que cuando la penetración celular en el país llegue a su techo las operadoras tendrán que realizar una gran competencia entre ellas, lo que implica mayor publicidad, bajar costos, mejores planes tarifarios, mejores servicios, para

retener a sus usuarios y estos no se decidan irse a otra empresa, el beneficiado es definitivamente el cliente ya que contará con tres empresas que brindan los mismos servicios y misma tecnología para poder hacer una buena elección de cual empresa le de servicio de telefonía celular.



**FIGURA No 1.4: Penetración celular en el Ecuador desde 1994 hasta 2008**

## 1.2 Impacto económico en la población ecuatoriana de la telefonía celular.

El crecimiento de la telefonía celular en el Ecuador ha sido muy acentuado en los últimos años debido a varias razones, primero, la gran inversión que han realizado

las operadoras internacionales para poder dar servicio de telefonía celular en todas las regiones del Ecuador y así captar la mayor cantidad de usuarios por su cobertura, también la implementación de tecnologías como CDMA y GSM en el 2003 para ofrecer los servicios que los usuarios y el desarrollo de la tecnología demandan hoy en día, el ingreso de Telefónica Móviles de España al mercado ecuatoriano como también Alegro PCS, que no ha permitido que exista una empresa con monopolio en el mercado celular, sino todo lo contrario, hay una sana competencia entre las operadoras y aún más cuando Movistar implementó GSM en su red en el 2005 y actualmente Alegro también lo están haciendo, permitiendo al usuario decidirse sin ataduras que operadora elegir para que le brinden los servicios con una sola tecnología GSM, definitivamente además de la diversidad de teléfonos GSM lo que va a predominar para que un usuario en el Ecuador escoja una operadora o se cambie a otra son los diferentes planes tarifarios que las empresas brinden debido al nivel socio Económico de los ecuatorianos.

A través de los años la telefonía celular en el Ecuador diversificó el servicio, puso en práctica el uso de tarjetas de prepago que van desde \$3 hasta \$30, a lo que se ha sumado la cantidad de diversos teléfonos modernos que atraen la atención del cliente, la creatividad ha sido la clave para el éxito de la telefonía móvil en el Ecuador. Esta variedad de costos de tarjetas prepago y la situación económica del país ha hecho que cerca del 90% de abonados de telefonía celular sean clientes prepago.

Año	PORTA		MOVISTAR	
	PREPAGO	POSTPAGO	PREPAGO	POSTPAGO
2003	1'427.390 (93.11%)	105.625	655.998 (76.16%)	205.334
2004	2'112.681 (91.18%)	204.380	891.195 (79.58%)	228.562
2005	3'698.981 (90.48%)	389.369	1'565.544 (81.05%)	366.086
2006	5'028.405 (89.21%)	607.990	2'134.222 (85.71%)	355.780
2007	6'142.565 (88.92%)	765.346	2'178.658 (84.36%)	403.778
2008	6'653.458 (88.34%)	874.955	2'490.579 (84.34%)	462.175

**TABLA No 1.6: Abonados de telefonía celular por plan tarifario en los últimos años.**

Más del 87% de los 11'144.281 clientes de telefonía móvil registrados hasta Agosto del 2008 en la Superintendencia de Telecomunicaciones, Suptel, utilizan tarjetas prepago para comunicarse. Porta y Movistar manejan juntas, unos 9'144.037 usuarios prepago, las condiciones económicas del país explican la tendencia. Los usuarios prepago destinan entre \$ 3 y \$ 4 al mes para este servicio, la mayoría de estos son receptores de llamadas. Al menos ocho de cada diez usuarios que tienen servicio de telefonía celular en el país han optado por adquirir tarjetas prepago para acceder al servicio y han evitado, así, mantener un compromiso fijo con alguna de las tres compañías, Movistar, Porta y Alegro que operan en el país.

La decisión para que un usuario de telefonía celular opte por adquirir una tarjeta prepago se basa fundamentalmente en su nivel de ingresos, no asume el compromiso de consumir un determinado volumen de minutos al mes, como lo hace

el usuario postpago que ha contratado un plan. El consumidor prepago se caracteriza por hacer muy pocas llamadas al mes y básicamente es un receptor de ellas, por ello, y mientras no corra el riesgo de perder la línea telefónica asignada, prefiere no adquirir una nueva tarjeta y limitarse a recibir llamadas. Así el cliente prepago puede atender sus necesidades laborales, las personas que demandan su trabajo lo ubican en el celular aunque no pueda efectuar llamadas. Este tipo de usuario, realiza una cantidad muy baja de llamadas al mes y consume, en su mayoría, entre \$ 3 y \$ 4 mensuales en promedio, y el resto del saldo casi en su totalidad, los usuarios prefieren por adquirir un plan de mensajes escritos que es máxima prioridad a realizar llamadas a otros celulares.

Con estos ingresos, por usuario, las operadoras deben cubrir sus costos fijos; es decir, el pago de las licencias de los programas, del costo de la fabricación de la tarjeta y del margen de utilidad de quienes las venden, Porta y Alegro coinciden, además, en que el cliente que compra tarjetas por la naturaleza del contrato, vigente de 4 a 90 días, tiende a ser más nómada entre el teléfono celular y el fijo debido a que puede o no dejar de usar el servicio, y es precisamente el perfil del cliente prepago la razón que argumentan las operadoras, para que las tarifas que se les cobra, no solo en el Ecuador sino que en cualquier país, para que sean mayores los impuestos para los clientes prepago que para los clientes postpago. Actualmente, los más de 9 millones de usuarios prepago cancelan hasta 35 centavos de dólar por minuto de llamada, mientras que los postpago en algunos casos, hasta la mitad o menos

### 1.2.1 Tarifa de plan prepago de Porta.

	De Porta a Porta		A otras operadoras
Tarjetas	Con 10 usuarios Porta	Fijos y Resto Porta	Fijas y Celulares
Valor	Tarifa + Impuestos	Tarifa + Impuestos	Tarifa + Impuestos
\$3	$0.05 + 12\% = \mathbf{\$0.056}$	$0.15 + 12\% = \mathbf{\$0.168}$	$0.25 + 12\% = \mathbf{\$0.28}$
\$6	$0.05 + 12\% = \mathbf{\$0.056}$	$0.15 + 12\% = \mathbf{\$0.168}$	$0.25 + 12\% = \mathbf{\$0.28}$
\$10	$0.05 + 12\% = \mathbf{\$0.056}$	$0.15 + 12\% = \mathbf{\$0.168}$	$0.25 + 12\% = \mathbf{\$0.28}$
\$20	$0.05 + 12\% = \mathbf{\$0.056}$	$0.15 + 12\% = \mathbf{\$0.168}$	$0.25 + 12\% = \mathbf{\$0.28}$
\$30	$0.05 + 12\% = \mathbf{\$0.056}$	$0.15 + 12\% = \mathbf{\$0.168}$	$0.25 + 12\% = \mathbf{\$0.28}$

**TABLA No 1.7: Tarifa de plan prepago cobrado por Porta por minuto.**

Porta ofrece a sus clientes prepago una tarifa especial de 5 centavos mas impuestos por minuto para llamadas a solo diez números de la misma empresa que el abonado debe ingresar al sistema, por otro lado, si llama a usuarios Porta que no sean los 10 números registrados, se les cobra 15 centavos mas impuestos por minuto si el usuario adquiere una tarjeta de ya sea de 3, 6, 10, 20 o 30 dólares, con el objetivo de que los usuarios adquieren tarjetas con valor mínimo de 10 dólares. Finalmente cuando se realizan llamadas a las otras operadoras: Movistar, Alegro, Pacifictel, Andinatel y Etapa, etc., el costo por minuto es de 25 centavos más impuestos. Porta a inicios del 2006 con el fin de incentivar a sus usuarios a consumir mas minutos de su plan ofreció un bono adicional de 2, 3, 10 y 15 dólares en sus tarjetas de 6, 10, 20 y 30 respectivamente, con esto logró captar mayor cantidad de usuarios a su red.

### 1.2.2 Tarifa de plan prepago de Movistar.

	De Movistar a Movistar		A otras operadoras
Tarjetas	Tarifa Especial	Tarifa Multicolor	Tarifa Movistar
Destino	Usuarios Movistar	Fijos y otros Móviles	Fijos y otros Móviles
\$3	$0.08 + 12\% = \mathbf{\$0.09}$	$0.15 + 12\% = \mathbf{\$0.168}$	$0.25 + 12\% = \mathbf{\$0.28}$
\$6	$0.08 + 12\% = \mathbf{\$0.09}$	$0.15 + 12\% = \mathbf{\$0.168}$	$0.25 + 12\% = \mathbf{\$0.28}$
\$10	$0.08 + 12\% = \mathbf{\$0.09}$	$0.15 + 12\% = \mathbf{\$0.168}$	$0.25 + 12\% = \mathbf{\$0.28}$
\$15	$0.08 + 12\% = \mathbf{\$0.09}$	$0.15 + 12\% = \mathbf{\$0.168}$	$0.25 + 12\% = \mathbf{\$0.28}$
\$30	$0.08 + 12\% = \mathbf{\$0.09}$	$0.15 + 12\% = \mathbf{\$0.168}$	$0.25 + 12\% = \mathbf{\$0.28}$

**TABLA No 1.8: Tarifa de plan prepago cobrado por Movistar por minuto.**

Movistar ofrece a sus clientes prepago una tarifa especial de 8 centavos y una tarifa multicolor de 15 centavos mas impuestos por minuto tras descontarle mensualmente \$ 2,00 mas impuestos con el beneficio que pueden hablar con todos los usuarios Movistar, este modo de tarifar las llamadas celulares fue la primera en el país y la implementó a mediados del 2006, si los usuarios no utilizan esta tarifa especial el costo por minuto es de 28 centavos para llamar a usuarios de telefonía fija y las otras operadoras dependiendo también si el usuario eligió un horario preferencial para pagar menos centavos el minuto, y estos costos rigen si el usuario adquiere una tarjeta con valor mínimo de 10 dólares caso contrario el costo es mayor, el valor por minuto cuando se realizan llamadas tanto a celulares de otras operadoras que no sean de Movistar como a teléfonos fijos tiene un costo de 28 centavos.

### 1.2.3 Tarifa de plan prepago de Alegro PCS.

Tarjetas	Tarifa Única		Tarifa Socio Fundador		Tarifa Personal	
	Alegro	Otros	Alegro	Otros	Alegro	Otros
\$3, \$5, \$10, \$15	\$0.146	\$0.39	\$0.10	\$0.25	\$0.25	\$0.44
	Tarifa Noches y fines de semana				Tarifa Naranja	
Tarjetas	Horario Pico		Horario No Pico		Alegro y Fijos	
\$3, \$5, \$10, \$15	\$0.39		\$0.44		\$0.25	

**TABLA No 1.9: Tarifa de plan prepago cobrado por Alegro por minuto.**

Finalmente con un gran beneficio para el usuario Alegro, esta operadora celular brinda una tarifa muy especial llamada tarifa naranja, la cual con tan solo 13 centavos por minuto se puede hablar con mas de 2 millones de personas que pertenezcan a la red de Alegro y a la telefonía fija Pacifictel y Andinatel, esto representa la tarifa mas baja para llamada de teléfono celular a fijo y el usuario Alegro no necesita comprar tarjetas para cabinas públicas o alquilar teléfono sino que realiza llamadas desde su celular, para obtener este servicio la operadora le descontará de su saldo \$2,99 si no es cliente socio fundador, si lo es activa el servicio con \$1,49 al mes incluidos impuestos, si el usuario no opta por este servicio las llamadas tienen un valor de 39 centavos mas impuestos a otras operadoras teniendo en cuenta que el costo puede variar si la llamada se la hace en horario pico o en horario no pico, además esta operadora da un bono de 2 y de 5 dólares cuando el usuario adquiera una tarjeta de 10 y 15 dólares respectivamente.

#### **1.2.4 Análisis prepago versus postpago en el Ecuador.**

En el Ecuador, Porta cobra 28 centavos, Movistar cobra 28 centavos y Alegro hasta 44 centavos, cuando sus clientes prepago no han optado por las tarifas especiales, quienes han contratado un plan postpago, en cambio, cancelan entre 14 y 39 centavos cuando no se ajustan a las tarifas especiales. La diferencia llega hasta el 200% y todos son valores que se aplican cuando el abonado habla de una operadora a otra distinta. Mientras que cuando se realizan llamadas dentro de una misma red la gama de precios por minuto es la siguiente: 13 centavos de dólar en Alegro; 5 centavos en Porta; 8 centavos en Movistar. Todas son tarifas que se aplican si el cliente prepago no opta por tarifas u ofertas especiales y ninguna considera tarjetas inferiores a \$ 10. Para los clientes postpago, el monto es uno solo 8 centavos que sumados a impuestos alcanza los 10 centavos. Las tres operadoras han trabajado, sin embargo, en opciones para incentivar el consumo de minutos por cliente, incluido el prepago mediante una gran publicidad, planes y bonos al activar tarjetas celulares prepago por mes que tienen una vigencia de días dependiendo del costo de la misma.

Estos precios que se cobran para el consumidor final prepago son muy altos comparados con lo que se cobra a los clientes postpago pero las operadoras sostienen que el número de usuarios de este tipo de servicio que es la mayoría, no influye en el concepto de reducción de tarifas. En Alegro, sus funcionarios creen que la inversión en tecnología está relacionada con la fijación de la tarifa, al igual que los gastos de

operación, los de mantenimiento, los comerciales, la venta de terminales y el pago a canales de distribución, sin embargo no se comparte estos criterios. Es seguro de que la brecha obedece a una política amparada en el contrato que para Porta y Movistar terminará en el 2008 y que establece una tarifa máxima elevada de 50 centavos por minuto; desde ese año el panorama podría variar pues el Consejo Nacional de Telecomunicaciones debería fijar una nueva tarifa máxima

<b>TARJETA</b>	<b>PORTA</b>	<b>MOVISTAR</b>	<b>ALEGRO</b>
\$ 3	7 días	5 días	7 días
\$ 5	---	---	30 días
\$ 6	30 días	30 días	---
\$ 10	45 días	45 días	60 días
\$ 15	---	45 días	90 días
\$ 20	45 días	45 días	---
\$30	45 días	45 días	---

**TABLA No 1.10: Vigencia de días de tarjetas prepago por operadora.**

Tomando en cuenta tanto que en los últimos años ha existido un alto crecimiento de los usuarios prepago a nivel nacional y que la diferencia de precio que pagan los clientes postpago y prepago, por una llamada celular, llega en muchas ocasiones hasta el 500% debido a que el costo cobrado en la mayoría de la veces es solamente medio centavo menos que la tarifa máxima permitida, el Consejo Nacional de Telecomunicaciones motivó la resolución de bajar de 50 a 30 centavos de dólar el valor máximo por minuto en los nuevos contratos. La tarifa máxima por minuto que

podrán cobrar Porta y Movistar, desde agosto y noviembre del 2008 respectivamente, se reducirá de 50 a 30 centavos de dólar, según la resolución adoptada por el Consejo Nacional de Telecomunicaciones que se hizo pública en el mes de Octubre del 2006, la decisión beneficiará sobre todo a los clientes prepago que representan al 87% del mercado y que pagan actualmente las tarifas más altas. Lo que supone una reducción del 40% en relación con la tarifa máxima vigente que es de 50 centavos de dólar, la nueva tarifa máxima no regirá inmediatamente porque los actuales contratos con ambas operadoras vencen recién en los mencionados meses del 2008 pero depende también de los convenios que Porta y Movistar realice con el Estado y su renovación dependerá del gobierno.

Según lo resuelto, si las empresas exceden el cobro de los \$ 0,30 por minuto, quedarán sujetas a las sanciones que también se revisarán en los próximos contratos. La revisión de la tarifa máxima pretende reducir la actual brecha entre el costo de las llamadas postpago y las prepago, el abonado que contrata un plan postpago paga un promedio de 8 centavos de dólar por cada minuto, mientras que el usuario que compra una tarjeta prepago hasta 49 centavos de dólar, esto es como un castigo para los usuarios prepago en el país donde la mayoría de estos usuarios son personas de menor capacidad adquisitiva e ingresos pero la reducción de la tarifa máxima que podrán cobrar las operadoras celulares Porta y Movistar por cada minuto además de que reducirá la brecha de costos entre prepago y postpago beneficiará a los usuarios prepago, y luego de poco tiempo en el 2008, cuando empiece a regir el nuevo techo

tarifario la cifra de usuarios prepago crecerá aún mas a la actual.

Así los usuarios podrán decidirse dependiendo de los planes tarifarios en cual operadora mantenerse o cambiarse a otra creando una gran competencia en el campo de las telecomunicaciones móviles. Lo importante es que el desarrollo de la telefonía celular dinamizará también la economía, habrá mayores fuentes de trabajo y un desarrollo proporcional del país en todos los niveles, el mercado de la telefonía móvil será cada vez más atractivo y seguro en un país que da pasos gigantescos hacia el Tratado de Libre Comercio y se abre a la competencia internacional.

En la mayoría de países de América Latina, los usuarios prepago representan entre el 80% y 90% del mercado. En las naciones con alta estabilidad económica se revierten esos porcentajes; el consumo prepago oscila entre el 10% y 20%, esto se debe a que los clientes postpago pueden acceder a mejores tarifas porque tienden a ser más fieles a la empresa, desde el punto de vista de que firman un contrato al cambio que un típico cliente prepago no goza de un seguro de equipo porque cualquier dinero adicional prefiere gastarlo en servicios de valor agregado o llamadas.

En los últimos cinco años, según un informe de la Asociación GSM América Latina, los mercados de la telefonía celular en países como Ecuador, Argentina y Guatemala han estado sujetos a la inestabilidad política, la aplicación de impuestos, tarifas de interconexión, altos costos de licencias y del espectro. Por otro lado en

América Latina, el consumo de minutos en telefonía móvil es muy bajo en comparación con Europa Oriental y Estados Unidos con 31 versus 76 minutos.

En el Ecuador cada 9 de 10 usuarios de telefonía celular es cliente prepago, el cual dependiendo de sus ingresos y gastos, prioridades y necesidades tanto personales como laborales de uso del teléfono celular, puede ingresar cada mes una tarjeta prepago que oscila entre los 3 y 30 dólares sin riesgos a perder primero el servicio de llamadas y posteriormente la línea, esta facilidad para controlar cuánto y cuándo invertir en el servicio es lo que lleva a cientos de usuarios a preferir el prepago antes que un plan fijo mensual postpago aunque este tenga un cobro por minuto mucho más barato que el de prepago. En prepago el usuario sabe que no está comprometido con la operadora, la operadora no está atrás del usuario si es que se atrasa con los pagos como sucede en el plan postpago pero lo más importante para el usuario prepago es que controla más sus gastos en el servicio telefónico porque procura utilizar lo mínimo y necesario durante un mes.

Finalmente, los usuarios en el Ecuador prefieren usar la telefonía celular para conectarse con sus familiares en el extranjero ya sea por medio de sus propios teléfonos celulares o usando las cabinas y locutorios de las operadoras celulares donde Movistar diversificó las tarifas para incentivar a sus usuarios a usar este servicio tanto por precios y por el gran número de emigrantes en España, debido a esto un usuario prefiere el servicio de telefonía celular sobre el de telefonía fija.

### **1.3 Diferentes tecnologías de telefonía celular implementadas en Ecuador.**

En el año de 1994, el mercado de la telefonía celular comenzó en el Ecuador con las operaciones de las empresas Porta y Bellsouth, estas operadoras internacionales brindaban servicio celular con tecnología FDMA y TDMA, la primera en zonas rurales con teléfonos celulares análogos y la segunda en zonas urbanas siendo esta la tecnología predominante, posteriormente, en el año 2001 por el crecimiento de usuarios por año, aumento de tráfico y para entregar mejores servicios a sus abonados yendo de la mano con el desarrollo de la tecnología, debido a que la tecnología TDMA es limitada y no puede dar mas capacidad y brindar los servicios avanzados y de valor agregado, Porta y Bellsouth decidieron implementar tecnologías que podrían entregar un adecuado servicio celular, y así a mediados del 2003 Porta implementó una red GSM y Bellsouth una red CDMA. Posteriormente, en septiembre del 2005, Telefónica Móviles que compró a Bellsouth apostó también por tecnología GSM, igualmente Alegro PCS en septiembre del 2006 se decidió con migración de su red a GSM para poder hacer una buena competencia a Movistar y Porta en un futuro breve.

El método tradicional para los sistemas celulares analógicos conocidos como primera generación fue el FDMA, acceso múltiple por división de frecuencia, fue creado en 1983 con el propósito de resolver el problema de la movilidad de la telefonía, posteriormente con la aparición y evolución de los circuitos integrados y

con ellos los microprocesadores, capaces de realizar un enorme número de operaciones entre las cuales esta la modulación, corrección de errores, compresión de datos, adaptabilidad, etc., en periodos muy cortos; se establecieron las pautas a una segunda generación en 1987 para resolver el problema de la capacidad y roaming que generaba la primera generación, esta generación resultó práctica y económica para la construcción de sistemas de multicanalización tales como el TDMA, Acceso múltiple por división de tiempo, y una nueva tecnología celular llamada GSM, Sistema global para comunicaciones móviles que apareció en 1990 y por último en esta segunda generación se desarrolló CDMA, Acceso múltiple por división de código en 1993 con el propósito de tener mayor capacidad y cobertura.

### 1.3.1 Acceso Múltiple por División de Frecuencia, FDMA.

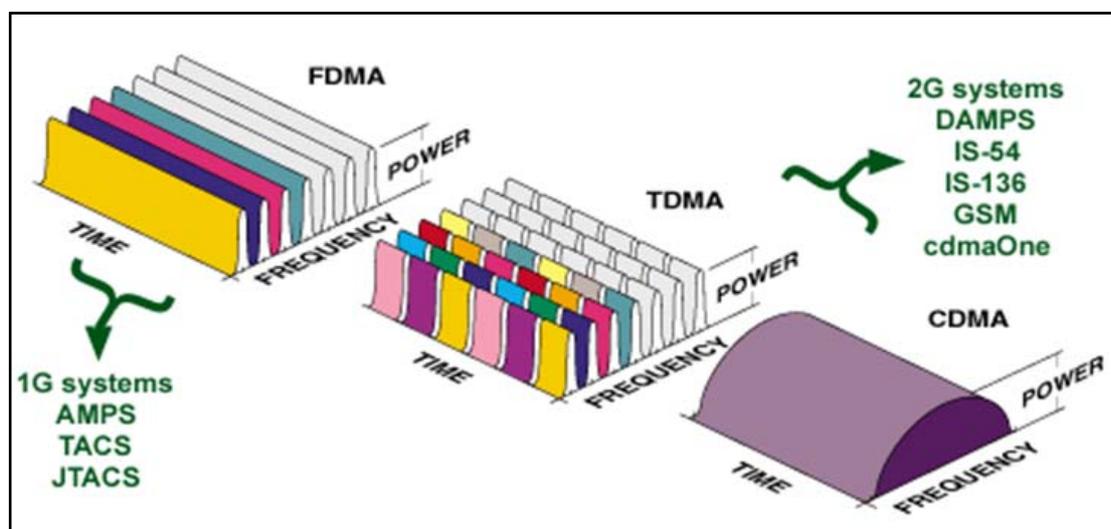
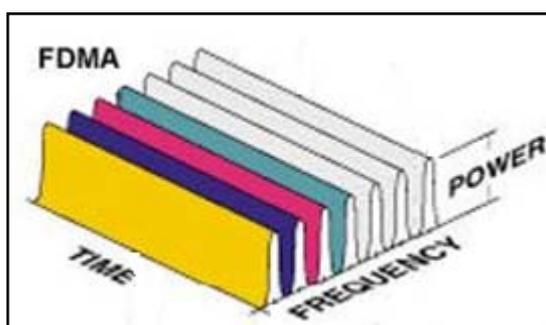


FIGURA No 1.5: Tecnologías de telefonía celular de primera y segunda generación

La estructura de canalización FDMA divide la porción del espectro disponible en canales que son separados por sus diferentes frecuencias, estos canales no son completamente independientes y que existe la posibilidad de una cierta interferencia co-canal. Esta interferencia puede disminuirse si se incrementa la magnitud de las bandas de guarda o bien mediante la utilización de filtros de corte abrupto para lograr un filtrado de alto orden, es decir que mejora las condiciones de interferencia desde y hacia otros usuarios y mantiene, al mismo tiempo la eficacia espectral, en este sistema se requiere un mayor costo tanto para usuarios como para el operador del sistema celular.



**FIGURA No 1.6: Espectro FDMA**

### **Características de FDMA.**

La tasa de consumo del espectro en sistemas de división de frecuencia es mucho más alta que en otros sin embargo el mérito de FDMA es su compatibilidad con el uso de técnicas estabilizadoras del espectro; sin embargo el equipo necesario de FDMA hace de los sistemas portables más costosos y más complejos para

administrar.

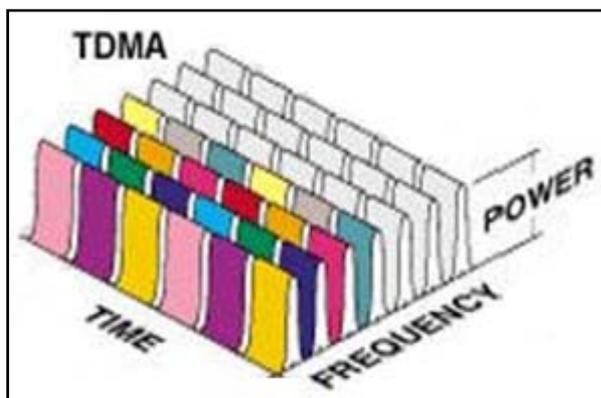
El sistema FDMA divide el ancho de banda en canales fijos, una llamada ocupa el canal completo y se divide en espacios de tiempo llamados time slots para transmitir o recibir. Por lo tanto esta tecnología no tiene tampoco aptitud para aprovechar y utilizar los silencios en las comunicaciones de voz, con el FDMA solamente un subscriptor en el tiempo es asignado a un canal. Otra conversación no puede acceder a ese canal hasta que el abonado finalice su llamada o que la llamada original sea transferida a un canal diferente por el sistema.

Los sistemas que utilizan FDMA son los celulares analógicos de primera generación basados principalmente en el AMPS, Servicio avanzado de telefonía móvil, creado en Norte América teniendo su versión europea llamado sistema de comunicaciones de acceso total, TACS, y su versión en Japón, JTACS.

### **1.3.2 Acceso Múltiple por División de Tiempo, TDMA.**

La estructura temporal del TDMA separa las señales utilizando intervalos, ranuras o ventanas de tiempo llamados time slots para cada señal. A cada usuario se le asigna un time slot por el que puede enviar su información ya sea señales de voz codificada o de cualquier tipo. El usuario tiene entonces, un tiempo preciso dentro de la red temporal para transmitir sus señales, información o datos, de forma que llegue

al receptor dentro de la ventana de tiempo asignada. TDMA se creó en Estados Unidos y su nombre inicialmente fue DAMPS, Servicio avanzado de telefonía móvil digital que tiene un ancho de banda de radio canales de 30 KHz.



**FIGURA No 1.7: Espectro TDMA**

### **Características de TDMA.**

En este sistema, debe existir interferencia co-canal dado que las señales adyacentes en el tiempo pueden entrar simultáneamente en el receptor, si aparece un retardo inesperado que no se pueda neutralizar. No obstante la interferencia de usuario es potencialmente pequeña dado que puede enviarse un gran paquete de datos dentro de cada ventana de tiempo así la interferencia entre usuarios ocurrirá solamente durante los finales o inicios, es decir en los bordes de la ventana de tiempo, por lo tanto, el tamaño requerido para los tiempos de guarda entre ranuras o ventanas TDMA, ha sido determinado como una medida de seguridad para la red temporal. Si el sistema estuviera compuesto solamente por estaciones fijas, de ubicación conocida;

la red de tiempos puede mantenerse ajustada con precisión y los tiempos de llegada mantenerse dentro de límites estrechos. Esto decrementa el requerimiento de tiempos de guarda y maximizar el pasaje. En un medio donde los elementos más numerosos son móviles, es muy difícil mantener el ajuste de tiempo del sistema, retardos de transmisión, del sistema, dado que la posición de los transceptores debe ser de alguna forma constantemente medida, y los times slots de cada transceptor móvil debe ser ajustada a fin de mantener constante las ventanas de tiempo de arribo de su señal a la estación base.

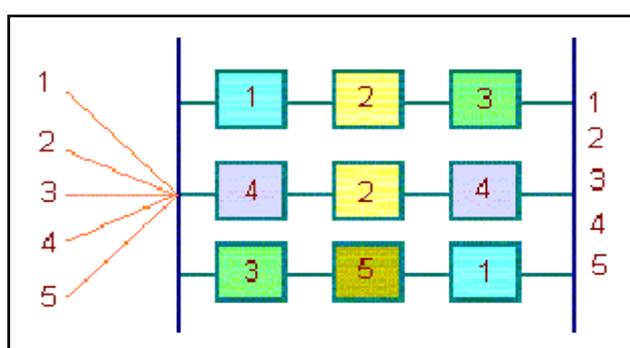
Se puede decir entonces, la capacidad del sistema TDMA decrece en forma directa con el incremento de los tiempos necesarios de guarda, por lo que el sistema debe emplear relojes de gran seguridad y precisión para la medida de los tiempos, asignación de ranuras o ventanas de tiempo con márgenes muy estrechos, sistemas de acceso a la red especializados, a fin de incrementar la eficiencia en el uso de la banda espectral asignada. Es decir que el TDMA en un medio con móviles deberá implementar una medida y ajuste preciso de los tiempos o bien sacrificar capacidad asignando mayores tiempo de guarda, porque TDMA ofrece mínima interferencia entre usuarios a expensas de una red de acceso compleja y altamente sincronizada. Este método de múltiple acceso es comúnmente empleado en los nuevos sistemas digitales cuyos estándares incluyen el D-AMPS, GSM, Global System for Mobile Communications, y PDC, Personal Digital Celular.

Las ventanas de tiempo, time slots, llevarán conversaciones desde la estación base al dispositivo terminal, mientras que otras lo realizarán en el sentido contrario. El sistema TDMA divide el ancho de banda en canales y luego divide a cada canal en time slots. La llamada usa solamente dos time slots alternando entre transmisor y receptor. Un beneficio importante del servicio TDMA es que al menos la tercera parte de la información puede ser liberada al terminal durante una conversación. Esto significa que mientras el usuario dialoga, otra parte puede estar recibiendo mensajes de retorno para el usuario. Un correo electrónico (e-mail) o mensajes de búsqueda pueden ser liberados para acceder más tarde mientras una conversación esta en ejecución.

### **1.3.3 Acceso Múltiple por División de Tiempo Mejorado, E-TDMA.**

Acceso Múltiple por División de Tiempo Mejorado, busca mejorar la técnica TDMA que hasta entonces es usada para robustecer la localización del ancho de banda de acceso para mayor número de usuarios. Las expectativas son aumentar el número de usuarios sobre un mismo canal. En E-TDMA un simple canal permite a múltiples usuarios compartir una frecuencia a través de un time slots intercambiable DSI, Digital Slot Interchange. Recordar que las aplicaciones de voz son una alternativa de conversación, en la cual hay dos modos transmisión y recepción; que el diálogo humano se caracteriza por las frecuentes pausas debido al hablante porque respira, piensa o reflexiona una respuesta. Con E-TDMA todos estos silencios del

camino pueden ser comprimidos y usados para una conversación diferente en una frecuencia de división de tiempo. Esta secuencia será bastante rápida para acomodar en tiempo real la necesidad interactiva de transferir información. Además el DSI podrá rápidamente mover piezas de información dentro de los diferentes time slots en cuanto sea necesario.



**FIGURA No 1.8: Dinámica E-TDMA**

En la figura se observa que los slots son establecidos para 5 diferentes usuarios sobre el circuito, el arreglo toma cuidado de la dinámica de las llamadas, permitiendo el sistema proveer operación dúplex o que parezca serlo para los 5 usuarios. El sistema entregará los slots intercambiables como sean necesarios para una transmisión continua.

Esta técnica requiere pruebas para: claridad de transmisión, conformidad al circuito, necesidad del usuario y habilidad de control en las transferencias cuando las secuencias de time slot estén en movimiento; soportes muy fuertes sobre la habilidad

de E-TDMA que sirve como herramienta para los PCS/PCN, Personal Communications System/ Personal Communications Network.

#### **1.3.4 Sistema Global para Comunicaciones Móviles, GSM.**

En 1982, un consorcio de países europeos creó el Group Spéciale Mobile para desarrollar una tecnología celular que proveyera roaming internacional imperceptible al usuario y soporte para servicios avanzados no disponibles en las redes analógicas, el Instituto Europeo de Normas para Telecomunicaciones, ETSI, se hizo cargo del proyecto en 1989 y la primera red GSM fue lanzada en 1991. GSM es un sistema digital de comunicación que transmite voz y data y es considerado de la segunda Generación, y a diferencia de la primera generación de celulares, utiliza tecnología digital y la división de acceso de transmisión múltiple. GSM digitaliza y comprime la información y luego divide cada canal de 200Mhz en ocho espacios de tiempo de 25Mhz. Este sistema opera en las bandas 900MHZ y 1800MHZ en Europa, África y Asia y en las bandas 850MHZ y 1900MHZ en Estados Unidos. La banda 850MHZ también se utiliza para GSM y 3GSM en Canadá, Australia y en varios países de Latinoamérica. Dos de las grandes ventajas del GSM es que permite la transmisión de datos a velocidades de hasta de 9.6 kbt/s facilitando el servicio de mensajes cortos, SMS. Otra de sus grandes ventajas es el roaming internacional por la que fue creado, que permite el uso de un celular en cualquier país del mundo donde exista la tecnología GSM.

### **Características y ventajas de GSM.**

Ya que el espectro de radio es un recurso limitado compartido por todos los usuarios, se necesita un método para dividir el ancho de banda entre tantos usuarios como sea posible. El método escogido por GSM es una combinación de acceso múltiple por división de tiempo y frecuencia. TDMA permite la situación en la que varios móviles puedan utilizar la misma frecuencia física para tráfico y señalización. La Unión de Telecomunicaciones Internacional, ITU, la cual maneja la asignación internacional del espectro asignó las bandas de 890-915 Mhz para el enlace ascendente, estación móvil a estación base, y 935-960 Mhz para el enlace descendente, estación base a estación móvil. Ya que este rango fue usado en la década de los 80's por los sistemas analógicos del día, el CEPT tuvo la previsión de reservar los últimos 10 MHz de cada banda para las redes GSM que estaban siendo desarrolladas. Eventualmente, GSM estará alojada en el ancho de banda de 2\*25 MHz. El sistema TDMA divide la frecuencia física en canales de señalización y tráfico. La información de tráfico y señalización se incluye como ráfagas en los intervalos de tiempo. Estas ráfagas son razonablemente más cortas que el intervalo de tiempo. Debido a los requisitos de señalización de GSM, el intervalo físico de tiempo que lleva la señalización tiene distinta información como contenido en distintos momentos de tiempo. Dado que un canal físico de señalización tiene que hacer muchas tareas, se le ha dividido en canales lógicos. En la práctica, canal lógico es el nombre del intervalo de tiempo en un determinado momento cuando se realiza un

determinado tipo de función de señalización/control. La parte FDMA envuelve la división de frecuencia del ancho total de 25 MHz en 124 frecuencias portadoras de ancho de banda de 200 KHz. Una o más frecuencias portadoras están entonces asignadas a cada estación base. Cada una de estas frecuencias portadoras es entonces dividida en el tiempo, usando un esquema TDMA, en ocho canales de tiempo. Un slot de tiempo es usado para transmitir por el móvil y uno para recibir. Ellas están separados en el tiempo ya que el móvil no recibe y transmite al mismo tiempo, un hecho que simplifica la electrónica. Así GSM permite que varios usuarios compartan un mismo canal de radio merced a una técnica llamada multiplexado por división de tiempo, TDM, mediante la cual un canal se divide en ocho ranuras de tiempo. Para la transmisión, a cada llamada se le asigna una ranura de tiempo específica, lo que permite que múltiples llamadas compartan un mismo canal simultáneamente sin interferir con las demás. Este diseño garantiza un uso efectivo del espectro y provee siete veces mayor capacidad que la tecnología analógica, GSM también utiliza una técnica llamada salto de frecuencias, frequency hopping, que minimiza la interferencia de las fuentes externas y hace que las escuchas no autorizadas sean virtualmente imposibles. Entre las principales ventajas de GSM están:

- Flexibilidad, gracias a una prestación singular e innovadora llamada tarjeta de modulo de identidad del abonado, SIM, los clientes pueden cambiar de dispositivo GSM fácilmente sin la molestia de tener que configurar el nuevo dispositivo ni la pérdida de servicios de suscripción personalizados tales como mensajería. Además, la tarjeta

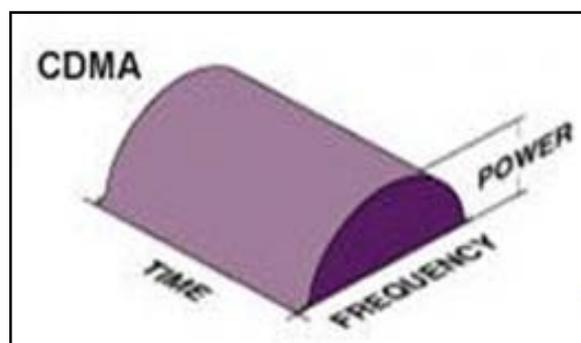
SIM hace que sea sencillo para el usuario cambiar de operador GSM y mantener el mismo teléfono.

- Calidad de voz, GSM provee claridad de voz en las llamadas. Si bien los datos constituyen una aplicación inalámbrica cada vez más popular, los servicios de voz continuarán siendo el principal motivo por el cual la gente utilice tecnología inalámbrica
- Servicios innovadores: GSM fue la tecnología pionera para muchos de los servicios más populares del mundo como es el servicio de mensajes cortos, SMS, que soporta mensajes de texto y contenidos tales como ringtones. Resulta igualmente importante que la capacidad de roaming de GSM permite que los usuarios accedan a sus servicios predilectos mientras se encuentran de viaje.
- Tecnología con mayor cobertura a nivel mundial y amplia cantidad de dispositivos móviles.
- Eficiencia, GSM utiliza el espectro de manera eficiente y provee siete veces mayor capacidad que la tecnología análoga, junto con EDGE, GPRS y optimizaciones tales como el Codec Adaptativo a Múltiples Velocidades, AMR, proveen un incremento adicional de casi tres veces más llamadas de voz simultáneas que la tecnología GSM básica.
- Capacidad de actualizarse: GSM es el primer paso de una migración fluida, flexible y costo-efectiva a 3G. Cada paso subsiguiente aprovecha el paso anterior y provee compatibilidad en sentido

regresivo, lo que preserva tanto las inversiones como los clientes a lo largo de la migración. Las normas que rigen la capacidad de actualización y la interoperabilidad de GSM están coordinadas y respaldadas por organizaciones internacionales clave tales como el Proyecto de asociación para la tercera generación, 3GPP y 3G Americas.

### 1.3.5 Acceso Múltiple por División de Código, CDMA.

CDMA usa un esquema de modulación y acceso múltiple basado en comunicaciones en espectro ensanchado donde múltiples usuarios comparten una misma banda de frecuencias al mismo tiempo al ensanchar el espectro de sus respectivas señales de tal forma que cada señal del usuario sea pseudo ortogonal con respecto al resto de usuarios. CDMA fue la última tecnología de acceso múltiple de segunda generación y actualmente se está distribuyendo en forma activa tanto en las bandas celulares convencionales como en bandas de PCS a 1800/1900 Mhz.



**FIGURA No 1.9: Espectro CDMA**

### **Características y Ventajas de CDMA.**

El Acceso Múltiple por División de Código asigna un código a cada transmisor que desee utilizar un canal. Este código mágico puede combinarse con todos los demás códigos de usuario en el canal sin provocar interferencia, tal como un receptor especial puede decodificar la transmisión deseada al mismo tiempo que trata a los demás dentro del canal como ruido. Dicho sistema es muy eficiente.

CDMA maneja portadoras transmitidas con ancho de banda amplio que contienen una gran forma de onda digital y compleja, con una velocidad de bits de cien veces más rápida que la velocidad de bits de un usuario individual. La señal de cada usuario a su velocidad de bits más baja tiene una influencia en la señal de transmisión compuesta a través de una compleja función matemática, un código que es único de ese usuario. El código de cada usuario es ortogonal a los códigos de otros usuarios. El extremo receptor del enlace CDMA conoce el código del usuario deseado, involucra el código y la señal de transmisión de banda ancha y se origina la información original del usuario con baja velocidad de bits. Cuando se distribuye CDMA en las bandas celulares, obviamente la portadora de CDMA ancha de 1.25 Mhz no puede seguir el mismo esquema de canalización de 30 khz. En tal caso, varios canales celulares se eliminan y la portadora CDMA se centra en la mitad del espectro. CDMA que se especifica en IS-95 mejora la calidad de la voz respecto a los sistemas celulares anteriores. Utiliza tecnología de handoff automático para lograr movilidad; múltiples estaciones base pueden escuchar a la misma unidad móvil y

lograr el handoff sólo después de que la unidad móvil está claramente dentro del rango de la nueva estación base. El CDMA tiene capacidad automática, ya que el número total de unidades móviles que soportan un solo canal puede variar dependiendo de las situaciones de interferencia y la calidad de voz deseada. El IS 95 es un estándar de interferencia aérea digital que tiene una capacidad de ocho a veinte veces el de un sistema analógico. Emplea adaptación comercial de tecnología de Espectro Expandido militar.

En CDMA, cada tiempo de bit se subdivide en  $m$  intervalos cortos llamados chips comúnmente hay 64 o 128 chips por bit. A cada estación se le asigna un código único de  $m$  bits, o secuencia de chips. Para transmitir un bit 1, una estación envía su secuencia de chips; para transmitir un bit 0, envía el complemento de 1 de su secuencia de chips. No se permiten otros patrones. El aumento en la cantidad de información a ser enviada de  $b$  bits/seg a  $mb$  chips/seg, sólo puede lograrse si el ancho de banda disponible se incrementa por un factor  $m$ , haciendo de CDMA una forma de comunicación de espectro amplio. Si tenemos una banda de 1 Mhz disponible para 100 estaciones, en CDMA, cada estación usa la totalidad del 1 Mhz, por lo que la razón de chips es de 1 megachips por segundo. Cuando dos o más estaciones transmiten simultáneamente, sus señales bipolares se suman linealmente. Por último CDMA tiene ventajas sobre las otras tecnologías, va evolucionando muy rápidamente, la primera versión fue CDMAone y luego CDMA 2000, y es un puente

directo para la tecnología WCDMA de tercera generación. Entre las ventajas principales que ofrece CDMA tenemos:

- Aprovecha la naturaleza de las conversaciones humanas para proporcionar mayor capacidad
- Tiene un uso eficiente del canal manejando una baja tasa de relación potencia ruido. Reducción de la interferencia con otros sistemas.
- Mejor control de potencia en el enlace ascendente y descendente que el resto de tecnologías lo que permite bajo consumo de energía lo cual ofrece mas tiempo de conversación y permitirá baterías mas pequeñas y livianas.
- Al sectorizar se obtiene un incremento de capacidad, se reduce el número e lugares necesarios para soportar cualquier nivel de tráfico telefónico.
- Mejora la calidad de transmisión de voz y eliminación de los efectos audibles provocados por el multitrayecto.
- Factor de reuso de frecuencias igual a uno.

### **1.3.6 Diferencias entre las tecnologías de telefonía celular.**

Existen, tres características primarias de todo sistema:

- Cobertura
- Calidad, grado de servicio, grado de interferencia, y

- Capacidad de usuarios.

DESCRIPCION	FDMA	TDMA	GSM	CDMA
Ancho de banda celular	12.5 Mhz	12.5 Mhz	12.5 Mhz	12.5 Mhz
Ancho de banda de radiocanales	30 Khz	30 Khz	200 Khz	1.25 Mhz
Llamadas por canal - Usuarios	1	3	8	20
Llamadas por sector de celda	19	57	152	380
Número de canales duplex	416	416	125	20
Relación señal - ruido	17 db	10 db	6.5-9 db	6 db
Típico Reuso de Frecuencia	7	7	4	1
Necesidad de sincronismo	SI	NO	NO	NO
Aprovecha silencio	NO	SI	SI	SI
Velocidad máxima de datos	-	9.6 Kbits	271 Kbits	1.23 Mbits
Comportamiento frente a ruido	Vulnerable	Vulnerable	Soportable	Inmune

**TABLA No 1.11: Diferencias técnicas entre tecnologías celulares.**

Estas características y diferencias deben ser balanceadas de acuerdo al nivel deseado de sistema, puesto que por ejemplo en CDMA su alta capacidad será alcanzada a través de algunos grados de degradación en la cobertura y/o calidad del sonido o como en el caso de GSM que es mas vulnerable a la interferencia por lo cual debe hacer una sectorización de sus celdas para poder controlarla pero tiene que pagar en menor capacidad aunque podría no perder capacidad con el simple hecho de aumentar canales por sector.

Por ello cuando se implementa un sistema de telefonía celular, se toman en cuenta todas las características que al comparar con los ofrecidos en la actualidad

permite mayores beneficios tanto a los operadores de telefonía celular como a sus subscriptores que tienen que tener una buena calidad de servicio, y estar de la mano con la evolución de la tecnología hacia la tercera generación.

En la parte técnica, CDMA tiene una ventaja tecnológica indiscutible sobre GSM en el manejo de capacidad de usuarios, calidad de voz, es inmune a la interferencia, requiere menos radio bases para cubrir una cierta área, mejor control de potencia que ayuda mucho a la duración de la batería del celular, sin embargo GSM se ha desarrollado pensando en el usuario y ha ido evolucionando según las necesidades del mercado mundial, a nivel mundial hasta septiembre del 2006, hubo más de 2 mil millones de usuarios GSM en más de 210 países y 321 millones de usuarios CDMA.

Y esto también se ve reflejado en el Ecuador con la operadora Porta con más usuarios en el país lo que hizo que Movistar y Alegro se decidieran por implementar GSM, GSM es la tecnología preferida por los usuarios porque está pensada en darle facilidades de uso con el SIM card, roaming internacional y variedad de modelos de teléfonos celulares, y aunque GSM tenga una desventaja tecnológica, GSM con un buen diseño, usando GPRS, EDGE y demás optimizaciones puede dar la misma capacidad y calidad que CDMA. GSM tiene la ventaja en lo referente a la penetración mundial del mercado celular y economías a escala a nivel mundial y las operadoras celulares basan sus estrategias tecnológicas y económicas en ello, debido también a

que el gran mercado endurece la competencia y baja los precios tanto para inversiones como para uso.

En el cambio hacia la 3G hay dos tendencias tecnológicas CDMA y GSM. En esta última su próximo paso es ir al estándar GPRS, General Packet Radio Services, que vendría siendo lo que se llama generación 2.5 para finalmente llegar a 3G con WCDMA que alcanza mayor espectro radioeléctrico. CDMA ofrece muchas ventajas de eficiencia de espectro, es más rápida en velocidad y en transmisión de datos sobre GSM actual, el paso siguiente de CDMAone es ir a CDMA2000 o 1X para finalmente llegar a CDMA2000EV-DO, la cual permitirá velocidades hasta 2Mbps.

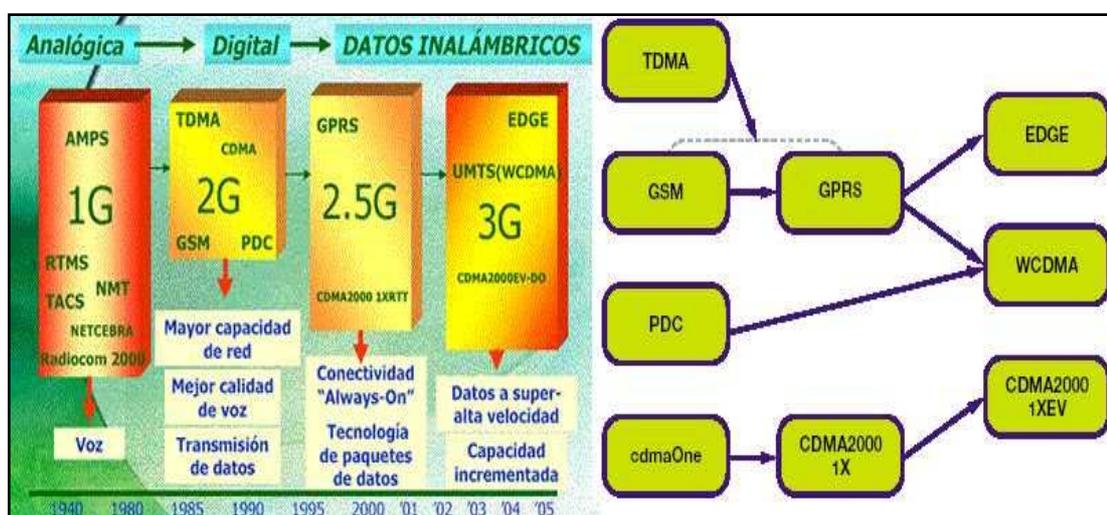


FIGURA No 1.10: Evolución de las tecnologías celulares hacia 3G

### 1.3.7 Abonados de telefonía celular en Ecuador según tecnología celular.

Cuando empezó el mercado telefónico en el Ecuador en 1994, Porta y

Bellsouth prestaban servicios de telefonía celular con tecnología TDMA, luego por incremento de usuarios, capacidad, tráfico y para brindar mejor servicios, a mediados del 2003 Porta implementó GSM y Bellsouth CDMA, aunque técnicamente CDMA tiene ventajas sobre GSM como mayor capacidad, menor interferencia, mejor control de potencia, mejor calidad de voz, Porta comenzó a captar rápidamente usuarios a su red GSM y marcó una ventaja muy considerada mes a mes de usuarios debido a no tan solo en el Ecuador sino que a nivel mundial, GSM tiene muchas ventajas en lo referente a la penetración en el mercado y economías a escala a nivel mundial y los operadores basan sus estrategias especialmente en ello.

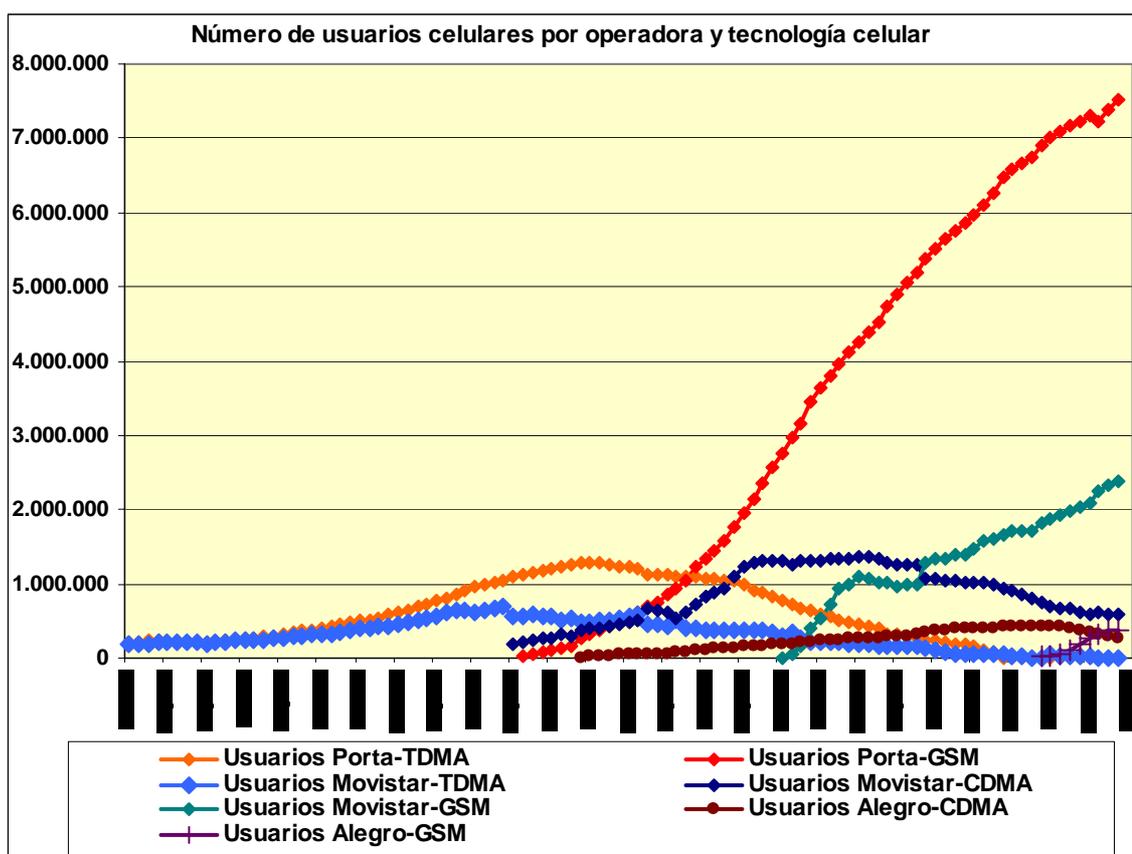


FIGURA No 1.11: Usuarios celulares por operadora y tecnología celular desde el 2000

Porta se llevó la gran parte del mercado celular en el Ecuador, logrando que sus usuarios migren de TDMA a GSM, gracias a la revolución en el Ecuador del uso de la SIM card que tiene grandes facilidades para el usuario, por los servicios brindados como mensajes escritos y multimedia y la gran variedad de teléfonos GSM que al usuario llamaba la atención, luego, con el ingreso de Movistar s fines del 2004 decidió realizar una gran inversión económica y decidió implementar una red GSM complementaria a su red CDMA que lo hizo realidad en septiembre del 2005 y al cabo de solo un año tenía mas de 1 millón de usuarios GSM igualando casi al número de usuarios CDMA, con lo que espera que a un futuro muy breve logre captar más usuarios a su red GSM y migar los usuarios TDMA y CDMA a esta red. La tercera operadora en el mercado celular, Alegro, también comenzó a dar servicios con tecnología CDMA en el 2004, teniendo poca participación en el mercado con casi 300.000 abonados al mes de septiembre del 2006 por lo que decidió también implementar una red GSM.

A finales del mes de agosto del 2008, la tecnología predominante en el Ecuador fue GSM con un número de usuarios de 10'279.957 correspondiente al 92.24%, le sigue CDMA con un número de abonados de 860.756 que representan el 7.72% y finalmente la tecnología TDMA que poco a poco va disminuyendo rápidamente en el mercado local con 3.568 usuarios que equivalen 0.03% de los usuarios a nivel nacional. Después de muy poco tiempo las 3 operadoras en el país van operar en su mayoría de sus redes con tecnología GSM creando una gran

competencia entre ellas esperando que el único beneficiado sea el usuario de telefonía celular en el Ecuador teniendo mejores servicios y menores costos comparados con los actuales y así realizar una buena decisión para escoger una de las tres operadoras.

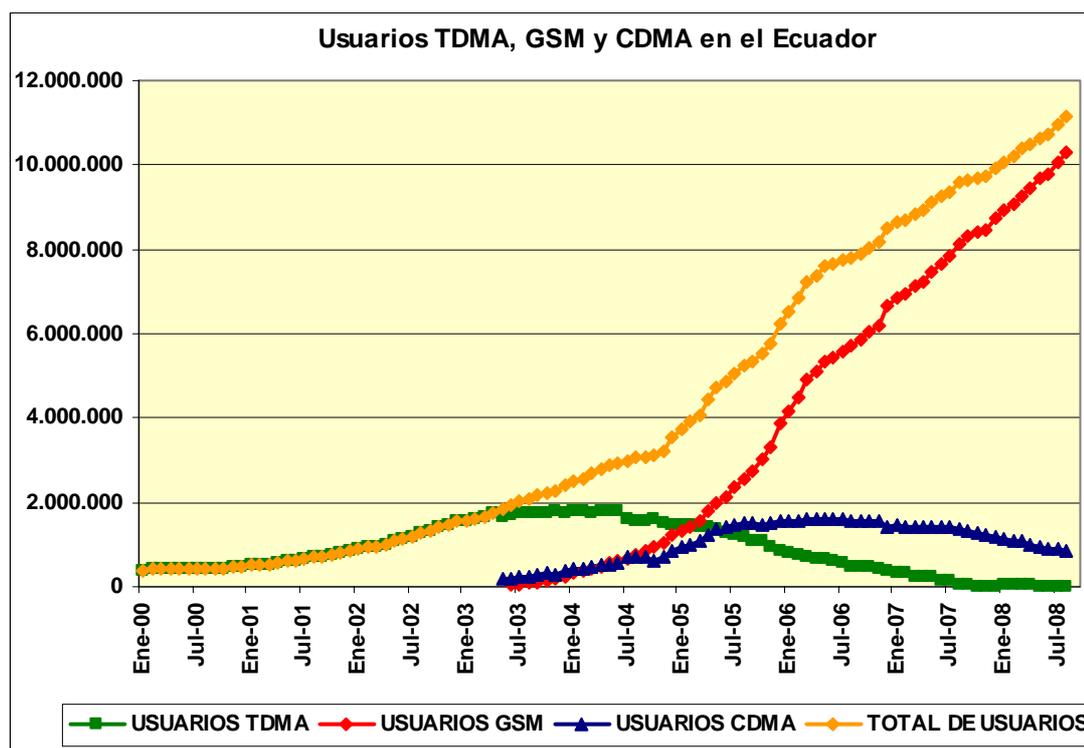


FIGURA No 1.12: Comparación de usuarios TDMA, GSM y CDMA en el Ecuador hasta Ago/08

Por último, GSM es la tecnología celular más ampliamente utilizada en el Ecuador y en el mundo, este mercado mayoritario GSM requiere grandes volúmenes de terminales e infraestructura, lo que atrae a los proveedores y desarrolladores de aplicaciones al tiempo que reduce los costos. Con costos generales inferiores, los operadores GSM a su vez pueden fijar precios más competitivos para sus servicios.

## **1.4 Aplicaciones celulares en el Ecuador.**

### **1.4.1 General Packet Radio Service, GPRS**

Es considerada la generación 2.5, entre la segunda generación, GSM y la tercera, UMTS. Proporciona altas velocidades de transferencia de datos especialmente útil para conectar a Internet y se utiliza en las redes GSM. GPRS es sólo una modificación de la forma de transmitir datos en una red GSM, pasando de la conmutación de circuitos en GSM donde el circuito está permanentemente reservado mientras dure la comunicación aunque no se envíe información en un momento dado, a la conmutación de paquetes. Desde el punto de vista del operador de telefonía móvil es una forma sencilla de migrar la red desde GSM a una red UMTS puesto que las antenas que son la parte más cara de una red de telecomunicaciones móviles, sufren sólo ligeros cambios y los elementos nuevos de red necesarios para GPRS serán compartidos en el futuro con la red UMTS.

GPRS es básicamente una comunicación basada en paquetes de datos. Los intervalos de tiempo se asignan en GSM generalmente mediante una conexión conmutada, pero en GPRS los intervalos de tiempo se asignan a la conexión de paquetes, mediante un sistema basado en la necesidad. Esto significa que si no se envía ningún dato por el usuario, las frecuencias quedan libres para ser utilizadas por otros usuarios. Que la conmutación sea por paquetes permite fundamentalmente la

compartición de los recursos de radio. Un usuario GPRS sólo usará la red cuando envíe o reciba un paquete de información, todo el tiempo que esté inactivo podrá ser utilizado por otros usuarios para enviar y recibir información. Esto permite a los operadores dotar de más de un canal de comunicación sin miedo a saturar la red, de forma que mientras que en GSM sólo se ocupa un canal de recepción de datos del terminal a la red y otro canal de transmisión de datos desde la red al terminal, en GPRS es posible tener terminales que gestionen cuatro canales simultáneos de recepción y dos de transmisión, pasando de velocidades de 9,6 kbps en GSM a 40 kbps en recepción en GRPS y 20 kbps de transmisión.

Otra ventaja de la conmutación de paquetes es que, al ocuparse los recursos sólo cuando se transmite o recibe información, la tarificación por parte del operador de telefonía móvil sólo se produce por la información transitada, no por el tiempo de conexión. Esto hace posible aplicaciones en la que un dispositivo móvil se conecta a la red y permanece conectado durante un periodo prolongado de tiempo sin que ello afecte en gran medida a la cantidad facturada por el operador. Los teléfonos GPRS pueden llevar un puerto bluetooth, infrarrojo o conexión por cable para transferir datos al ordenador, cámaras digitales, móviles u otros dispositivos.

La red GSM prevé unos servicios de transmisión de datos desde la fase inicial, sin embargo, se trata de servicios con modalidad de transferencia por conmutación del circuito, es decir, donde la red, una vez establecida la conexión física entre dos

usuarios, dedica los recursos propios hasta que no es solicitado expresamente el establecimiento de la conexión, independientemente del hecho de que los dos usuarios se intercambien datos durante todo el tiempo de conexión. Esta modalidad de transferencia es óptima sólo en el caso en que los dos usuarios tengan que intercambiarse una cantidad significativa de datos, resulta ineficiente en cuanto los datos a intercambiarse son de pequeña cantidad o bien, en el caso más frecuente, el tráfico de datos es de tipo interactivo o transitorio, es decir, el tiempo de uso efectivo de los recursos de la red supone sólo una parte con respecto al tiempo total de conexión como, por ejemplo, la navegación en Internet a través de la WWW.

Es decir, se crea el mismo problema para el GSM que para la PSTN, Public Switched Telephone Network, hace unos años: prever una modalidad de transferencia por paquetes de datos, en la que los datos de los usuarios, contenidos en entidades de protocolo autosuficientes con indicación del remitente y del destinatario, pueden ser transportados por la propia red sin necesidad de una estrecha asociación con un circuito físico. Ya se ha dado un paso intermedio en esa dirección con el GSM de fase 2, previendo servicios con acceso a las puertas pertinentes de la red PSPDN, Public Switched Packet Data Network, sin embargo, siempre es necesario establecer una conexión física por conmutación del circuito en la red de radio, incluso cuando se accede a un canal virtual de la red de paquetes. El resultado de ello es que el recurso de radio es igualmente infrautilizado y el usuario ocupa un canal de tráfico por cuyo uso tendrá que pagar presumiblemente por el tiempo empleado, para conectarse a otra

red en la cual, sin embargo, la información no viaja a un rendimiento fijo y el transporte relativo se suele pagar en base al volumen de datos transportados.

Con el sistema GPRS introducido por la ETSI, European Telecommunication Standard Institute, para la fase 2 del sistema GSM, el acceso a la red de paquetes se lleva al nivel del usuario del móvil a través de protocolos como los TCP/IP, X.25, y CLNP, Connectionless Network Protocol, sin ninguna otra necesidad de utilizar conexiones intermedias por conmutación del circuito. Al contrario que el servicio de transferencia de datos con modalidad de conmutación de circuito, en el que cada conexión establecida se dedica sólo al usuario que la ha solicitado, el servicio GPRS permite la transmisión de paquetes en modalidad link by link, es decir, los paquetes de información se encaminan en fases separadas a través de los diversos nodos de soporte del servicio, denominados GSN, Gateway Support Node, por ejemplo, una vez que un paquete ha sido transmitido por el interfaz de radio, Um, se vuelven a liberar los recursos Um, que así pueden ser utilizados por algún otro usuario y el paquete se vuelve a enviar sucesivamente de nodo a nodo hacia su destino. En los servicios GSM los recursos son gestionados según la modalidad resource reservation, o sea, se emplean hasta el mismo momento en que la petición de servicio no se ha llevado a término. En el GPRS, sin embargo, se adopta la técnica del context reservation, es decir, se tiende a preservar las informaciones necesarias para soportar ya sea las peticiones de servicio de forma activa o las que se encuentran momentáneamente en espera. Por tanto, los recursos de radio se ocupan, en efecto,

sólo cuando hay necesidad de enviar o recibir datos. Los mismos recursos de radio de una celda se dividen así entre todas las estaciones móviles, aumentando notablemente la eficacia del sistema. El servicio GPRS, por tanto, está dirigido a aplicaciones que tienen las siguientes características:

- Transmisión poco frecuente de pequeñas o grandes cantidades de datos como por ejemplo, aplicaciones interactivas.
- Transmisión intermitente de tráfico de datos bursty como por ejemplo aplicaciones en las que el tiempo medio entre dos transacciones consecutivas es de duración superior a la duración media de una única transacción como RTI (Road Traffic Informatics), Telemetría, Tele alarma, acceso a Internet usando la WWW.

Esta tecnología permite desdoblarse la transmisión de voz y datos en diferentes canales que transmiten de forma paralela, permitiendo mantener conversaciones sin cortar la transmisión de datos. Cuando se trata de datos se establece una comunicación permanente mientras el terminal está conectado, lo que permite la transmisión continua de la información a mayor velocidad. La información viaja por paquetes en lugar de circuitos conmutados como sucede en GSM, donde la voz se envía por un canal siempre abierto. En GPRS se puede elegir entre varios canales, de forma similar a como se realiza en Internet. El aumento de la velocidad se produce porque los datos se comprimen y se envían a intervalos regulares, llamado conmutación por paquetes,

lo que aprovecha mejor la banda de frecuencia.

La mayor ventaja de GPRS no es la tecnología en si misma sino los servicios que facilita. Los terminales de este nuevo sistema permiten personalizar funciones, desarrollar juegos interactivos, e incorporan aplicaciones para el intercambio de mensajes y correos electrónicos, a los cuales se podrá acceder directamente sin la necesidad de conectarse a Internet. Las pantallas, que serán de un tamaño mayor, serán táctiles, de alta resolución, con zoom e iconos que se activen de manera intuitiva pulsando sobre ellos con un puntero. Incorporan además una ranura para introducir la tarjeta de crédito con chip que facilitará las transacciones electrónicas más seguras. Con la tecnología GPRS se da un paso hacia la localización geográfica, en función de donde se encuentre el usuario, la operadora le puede ofrecer mayor información de la zona. Los terminales serán de cinco tipos a corto plazo, en función del uso que le vaya a dar el usuario. Móviles similares a los actuales, con visor y resolución cada vez mayor, permitirán el uso de información escrita o gráfica de forma resumida. Terminales tipo agenda electrónica, con funciones mixtas de voz y datos, y pantallas de mayor tamaño y capacidad gráfica. Terminales tipo ordenador personal de mano (PDA) con pantalla plana de mayor formato y gran capacidad gráfica. Ordenadores portátiles que utilicen para la conexión inalámbrica un teléfono móvil GPRS. Y por último, dispositivos diversos con comunicación móvil y funciones especiales como sistemas de navegación para coches y tarjetas de comunicación inalámbrica en máquinas autoservicio.

### **1.4.2 Enhanced Data Rates for GSM Evolution, EDGE**

Tasas de datos realizadas para la evolución de GSM, EDGE, también conocida como EGPRS, es una tecnología de la telefonía móvil celular que fue implementada en redes GSM en norte América en el 2003 y que actúa como puente entre las redes 2G y 3G. EDGE se considera una evolución del GPRS que funciona con redes TDMA y su mejora, GSM. Aunque EDGE funciona con cualquier GSM que tenga implementado GPRS, el operador debe implementar las actualizaciones necesarias, además no todos los teléfonos móviles soportan esta tecnología. EDGE, o EGPRS, puede ser usado en cualquier transferencia de datos basada en conmutación por paquetes, packet switched, como lo es la conexión a Internet. Los beneficios de EDGE sobre GPRS se pueden ver en las aplicaciones que requieren una velocidad de transferencia de datos, o ancho de banda alta, como video y otros servicios multimedia.

Además de usar GMSK, Gaussian Minimum-Shift Keying, EDGE usa 8PSK, 8 Phase Shift Keying, para los cinco niveles superiores de nueve esquemas totales de modulación y codificación. En los cuatro primeros niveles se utiliza GPRS propiamente dicho. La utilización de 8PSK produce una palabra de 3 bits por cada cambio en la fase de la portadora. Con esto se triplica el ancho de banda disponible que brinda GSM. El nivel del esquema que se utilice para transmitir depende de la relación portadora/interferencia, el cual será más alto cuanto más grande sea el valor

de C/I. Al igual que GPRS, EDGE usa un algoritmo de adaptación de tasas, que adapta el esquema de modulación y codificación, MCS, usado para la calidad del canal de radio, la tasa de bit y la robustez de la transmisión de datos. EDGE agrega una nueva tecnología que no se encuentra en GPRS, la redundancia incremental, la cual, en vez de re-transmitir los paquetes de información alterados, envía más información redundante que se combina en el receptor, lo cual incrementa la probabilidad de decodificación correcta.

EDGE puede alcanzar una velocidad de transmisión de 384 Kbps en modo de paquetes y una velocidad promedio para el usuario de 130 Kbps con lo cual cumple los requisitos de la ITU para una red 3G, también ha sido aceptado por la ITU como parte de IMT-2000, de la familia de estándares 3G. También mejora el modo de circuitos de datos llamado HSCSD, aumentando el ancho de banda para el servicio. Aunque la tecnología UMTS es de mayor capacidad de transferencia, y cronológicamente más reciente, sus altos costos de implementación, y poco apoyo, hacen que una buena cantidad de operadores de telefonía móvil celular tengan implementada la tecnología EDGE, dominando el mercado global de las comunicaciones GSM/GPRS. Para la implementación de EDGE por parte de un operador, la red principal, o core network, no necesita ser modificada, sin embargo, las estaciones bases, BTS, sí deben serlo. Se deben instalar transceptores compatibles con EDGE, además de nuevas terminales y un software que pueda decodificar/codificar los nuevos esquemas de modulación. La definición de EDGE, si

es de 2 o 3G, depende de su implementación. Mientras la Clase 3 e inferiores, claramente no son 3G, la Clase 4 y superiores, presentan un ancho de banda superior a otras tecnologías consideradas 3G como 1xRTT. En Clase 10, con un ancho de banda superior a 230 Kbps, EDGE logra trascender las definiciones comunes de 2G y 3G.

### **1.4.3 Protocolo de Aplicación Inalámbrico, WAP**

WAP es un estándar abierto internacional para aplicaciones que utilizan las comunicaciones inalámbricas, por ejemplo, acceso a servicios de Internet desde un teléfono móvil. Se trata de la especificación de un entorno de aplicación y de un conjunto de protocolos de comunicaciones para normalizar el modo en que los dispositivos inalámbricos, se pueden utilizar para acceder a correo electrónico, grupo de noticias y otros. El organismo que se encarga de desarrollar el estándar WAP fue originalmente el WAP Forum, fundado por cuatro empresas del sector de las comunicaciones móviles, Sony-Ericsson, Nokia, Motorola y Openwave. Desde 2002 el WAP Forum es parte de la Open Mobile Alliance, OMA, consorcio que se ocupa de la definición de diversas normas relacionadas con las comunicaciones móviles, entre ellas las normas WAP.

Los terminales móviles son más potentes y livianos cada vez, permitiendo que nuestra comunicación sea cada vez más eficaz. Su gran número y sus capacidades

hacen muy interesante para los proveedores de servicios y contenidos el disponer de un entorno normalizado que permita ofrecer sus servicios a los usuarios de las redes móviles. WAP define un entorno de aplicación y una pila de protocolos para aplicaciones y servicios accesibles a través de terminales móviles.



**FIGURA No 1.13: Acceso WAP a una página WML**

La tecnología WAP permite que los usuarios de estos dispositivos puedan acceder a servicios disponibles en Internet. Sin embargo, existen algunas consideraciones a tener en cuenta al diseñar estos servicios para usuarios móviles, fundamentalmente debidas a las características de los terminales: pantalla significativamente más pequeña que la de un ordenador personal, teclados más limitados que los de un ordenador, limitaciones en la memoria disponible, tanto memoria RAM como memoria para almacenamiento persistente, y limitaciones en la capacidad del procesador, en comparación con la memoria y procesador de un ordenador personal típico. Las redes de telefonía móvil ofrecen también unas prestaciones por lo general menores que los accesos a Internet, si bien con las redes

de tercera generación como UMTS las prestaciones mejoran de manera importante.

En la versión 1 de WAP, definida en 1999, el lenguaje de presentación de contenidos es el WML, Wireless Markup Language. La pila de protocolos de WAP 1 no es compatible directamente con la de Internet: WSP (Wireless Session Protocol), WTP (Wireless Transaction Protocol), WTLS (Wireless Transport Layer Security), y WDP (Wireless Datagram Protocol). WDP corresponde a la capa de transporte, con funcionalidad equivalente al protocolo UDP de Internet, y se apoya en los servicios de la portadora WAP, que depende de la red móvil que esté usando el terminal. WAP 1 además define la interfaz de acceso de las aplicaciones a las funciones de telefonía del terminal con WTAI (Wireless Telephony Application Interface), y también un sencillo lenguaje de scripting, WMLScript, basado en ECMAScript/JavaScript. La incompatibilidad de la pila de protocolos WAP 1 con la de Internet exige la presencia de un nodo pasarela para hacer de intermediario en la comunicación entre un terminal WAP y un servidor de contenidos WAP residente en Internet. WAP 1 ha sido objeto de fuertes críticas por diversos motivos, que incluyen la pobreza del soporte gráfico (gráficos monocromos WBMP, Wireless Bitmap), las diferencias en las implantaciones de WAP en los terminales de distintos fabricantes, y un potencial problema de seguridad debido a que WTLS no es muy robusto y además, por no ser compatible con las capas de seguridad usadas en Internet, en la pasarela WAP los contenidos deben estar en claro.

La nueva versión de WAP, WAP 2.0, está presente en los teléfonos móviles de nueva generación a partir de 2004. Esta versión es una reingeniería de WAP que utiliza XHTML-MP, Mobile Profile, como lenguaje de presentación de contenidos, y mejora el soporte de los gráficos (incluye color). En cuanto a los protocolos usados, en la capa de transporte se usa TCP y en la de aplicación, HTTP. Así pues, WAP 2.0 ha adoptado los protocolos de Internet. WAP 2.0 además especifica opciones tanto en TCP como en HTTP para mejorar las prestaciones de dichos protocolos sobre redes de comunicaciones móviles. Los mecanismos de seguridad usados ya son compatibles con los de Internet por lo que los problemas de seguridad de WAP 1 se resuelven. La pasarela WAP no es estrictamente necesaria en WAP 2.0, pero su presencia puede tener funciones útiles, como caché Web y para dar soporte a las opciones de TCP y HTTP antes mencionadas.

WAP está orientada fundamentalmente a la presentación de contenidos multimedia en el terminal, las aplicaciones se ejecutan en el servidor, y en el terminal se presenta la información y se introducen datos por parte del usuario, dado el caso. A esto se la denominó tecnología WAP Push que permite acceder mediante uno o varios SMS desde el móvil a la descarga de contenido alojado en un servidor WAP como son: aplicaciones JAVA, imágenes, melodías polifónicas, videos, juegos, fotografías, etc.

#### 1.4.4 Bluetooth

Bluetooth es la norma que define un estándar global de comunicación inalámbrica que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes equipos mediante un enlace por radiofrecuencia. Los principales objetivos que se pretende conseguir con esta norma son:

- Facilitar las comunicaciones entre equipos móviles y fijos.
- Eliminar cables y conectores entre éstos.
- Ofrecer la posibilidad de crear pequeñas redes inalámbricas y facilitar la sincronización de datos entre nuestros equipos personales.

La tecnología Bluetooth comprende hardware, software y requerimientos de interoperabilidad, por lo que para su desarrollo ha sido necesaria la participación de los principales fabricantes de los sectores de las telecomunicaciones y la informática, tales como: Ericsson, Nokia, Motorola, Toshiba, IBM e Intel, entre otros. Posteriormente se han ido incorporando muchas más compañías y empresas de sectores variados con lo que en poco tiempo se nos presentará un panorama de total conectividad de nuestros aparatos tanto en casa como en el trabajo. Bluetooth proporciona una vía de interconexión inalámbrica entre diversos aparatos que tengan dentro de sí esta tecnología, como móviles, consolas de juegos, dispositivos PDA, cámaras digitales, computadoras portátiles, o simplemente cualquier dispositivo que un fabricante considere oportuno, usando siempre una conexión segura de radio de

muy corto alcance. El alcance que logran tener estos dispositivos es de 10 metros para ahorrar energía ya que generalmente estos dispositivos utilizan mayoritariamente baterías. Sin embargo, se puede llegar a un alcance de hasta 100 metros pero aumentando el consumo energético considerablemente.



**FIGURA No 1.14: Auricular para teléfono celular por bluetooth**

El primer objetivo para los productos Bluetooth de primera generación eran los entornos de la gente de negocios que viaja frecuentemente. Esto originaba una serie de cuestiones previas que deberían solucionarse tales como: el sistema debería operar en todo el mundo, el emisor de radio deberá consumir poca energía, ya que debe integrarse en equipos alimentados por baterías, la conexión deberá soportar voz y datos, y por lo tanto aplicaciones multimedia y la tecnología debería tener un bajo costo.

La especificación de Bluetooth define un canal de comunicación de máximo 720 kb/s, 1 Mbps de capacidad bruta, con rango óptimo de 10 metros o opcionalmente 100 m con repetidores. La frecuencia de radio con la que trabaja está

en el rango de 2,4 a 2,48 GHz con amplio espectro y saltos de frecuencia con posibilidad de transmitir en Full Duplex con un máximo de 1600 saltos/s. Los saltos de frecuencia se dan entre un total de 79 frecuencias con intervalos de 1Mhz; esto permite dar seguridad y robustez. La potencia de salida para transmitir a una distancia máxima de 10 metros es de 0 dBm (1 mW), mientras que la versión de largo alcance transmite entre 20 y 30 dBm (entre 100 mW y 1 W). Para lograr alcanzar el objetivo de bajo consumo y bajo costo, se ideó una solución que se puede implementar en un solo chip utilizando circuitos CMOS. De esta manera, se logró crear una solución de 9x9 mm y que consume aproximadamente 97% menos energía que un teléfono celular común. El protocolo de banda base (canales simples por línea) combina conmutación de circuitos y paquetes. Para asegurar que los paquetes no lleguen fuera de orden, los slots pueden ser reservados por paquetes síncronos, un salto diferente de señal es usado para cada paquete. Por otro lado, la conmutación de circuitos puede ser asíncrona o síncrona. Tres canales de datos síncronos (voz), o un canal de datos síncrono y uno asíncrono, pueden ser soportados en un solo canal. Cada canal de voz puede soportar una tasa de transferencia de 64 kb/s en cada sentido, la cual es suficientemente adecuada para la transmisión de voz. Un canal asíncrono puede transmitir como mucho 721 kb/s en una dirección y 56 kb/s en la dirección opuesta, sin embargo, para una conexión asíncrona es posible soportar 432,6 kb/s en ambas direcciones si el enlace es simétrico.

La versión 1.2, a diferencia de la 1.1, provee una solución inalámbrica

complementaria para co-existir bluetooth y Wi-Fi en el espectro de los 2.4 GHz, sin interferencia entre ellos. La versión 1.2 usa la técnica "Adaptive Frequency Hopping (AFH)", que ejecuta una transmisión más eficiente y una encriptación más segura. Para mejorar las experiencias de los usuarios, la V1.2 ofrece una calidad de voz (Voice Quality - Enhanced Voice Processing) con menor ruido ambiental, y provee una más rápida configuración de la comunicación con los otros dispositivos bluetooth dentro del rango del alcance, como pueden ser PDAs, HIDs (Human Interface Devices), ordenadores portátiles, ordenadores de sobremesa, Headsets, impresoras y celulares. La versión 2.0, creada para ser una especificación separada, principalmente incorpora la técnica "Enhanced Data Rate" (EDR) que le permite mejorar las velocidades de transmisión en hasta 3Mbps a la vez que intenta solucionar algunos errores de la especificación 1.2 como por ejemplo:

- Conexión sin cables entre los celulares y kit para autos.
- Red inalámbrica en espacios reducidos donde no sea tan importante un gran ancho de banda.
- Comunicación sin cables entre la PC y dispositivos de entrada y salida. Mayormente impresora, teclado y mouse.
- Transferencia de ficheros entre dispositivos vía OBEX.
- Reemplazo de la tradicional comunicación por cable entre equipos GPS y equipamiento médico.
- Controles remotos (tradicionalmente dominado por el infrarrojo)
- Enviar pequeñas publicidades entre anunciantes y dispositivos con

bluetooth. Un negocio podría enviar publicidad a celulares móviles con bluetooth activado al pasar cerca.

La tecnología de Bluetooth te permite conectar todos los periféricos de la oficina vía inalámbrica. Conectar tu PC o notebook con las impresoras, los scanners y los faxes sin preocuparse por los cables. Puedes aumentar tu libertad conectando tu ratón o el teclado vía inalámbrica con tu computadora. Si tus cámaras fotográficas digitales poseen Bluetooth, puedes enviar imágenes de video de cualquier localización a cualquier localización sin la molestia de conectar tu cámara fotográfica con el teléfono móvil. Bluetooth permite que tengamos teléfonos de tres vías. Cuando estás en movimiento, funciona como un teléfono móvil celular. Y cuando tu teléfono entra en el rango de otro teléfono móvil con Bluetooth funciona como una radio, hablar entre celulares sin usar la red de telefonía móvil.

#### **1.4.5 Blackberry**

BlackBerry es un dispositivo handheld inalámbrico introducido en 1999 que soporta correo push, telefonía móvil, SMS, navegación web y otros servicios de información inalámbricos. Fue desarrollado por una compañía Canadiense, Research In Motion, RIM y transporta su información a través de las redes de datos inalámbricas de empresas de telefonía móvil. BlackBerry ganó mercado en primer lugar centrándose en el correo electrónico. Actualmente RIM ofrece servicios de

correo electrónico BlackBerry a dispositivos no BlackBerry, como la Palm Treo, a través del software BlackBerry Connect.



**FIGURA No 1.15: Teléfonos celulares Blackberry**

Blackberry fue diseñado exclusivamente para los usuarios de telefonía celular permitiéndoles tener una solución tipo oficina en el celular llamado oficina móvil donde se presentan las siguientes ventajas:

- Tecnología Push: envía y recibe correo electrónico en tiempo real con sincronización inalámbrica.
- Teclado completo: Escritura sencilla y rápida gracias al teclado incorporado igual que al de un computador.
- Archivos adjuntos: Permite abrir y visualizar documentos y gráficos.
- Navegación HTML: Navegación por Internet de una forma dinámica y rápida.
- Duración de batería: Hasta 4 horas en conversación y hasta 16 en espera.
- Acceso a la información en cualquier lugar. Agenda, calendario, libreta de direcciones y lista de tareas.
- Visualización de contenido de Internet con colores vivos en una pantalla de alta luminosa de alta resolución.

#### **1.4.6 Evolution Data Optimizad, EV-DO**

Evolution Data Optimized, EVDO, es un protocolo de banda ancha para la transferencia inalámbrica de datos, perteneciente al estándar CDMA2000, desarrollado por la empresa norteamericana Qualcomm, dueña de la patente CDMA. EVDO permite alcanzar tasas de transmisión de hasta 2.4 Mbits por segundo, lo que la convierte en una de las tecnologías de mayor importancia en el futuro inmediato de las telecomunicaciones en el que los servicios de valor agregado ganan cada día más importancia. Acceso a Internet de banda ancha móvil, visualización de video y descargas de archivos MP3 y juegos java en tres dimensiones son algunos de los servicios que permite disfrutar de manera fácil gracias a las altas velocidades de transferencia de datos que puede registrar; hasta cuarenta veces más que las alcanzadas por las redes de segunda generación. Este estándar de interfaz 3G ha sido denominada IS-856.

La tecnología EV-DO es una evolución de las redes CDMA2000 1X con una alta velocidad de datos High Data Rate, HDR, donde el forward link es multiplexado mediante división de tiempo, para la oferta de servicios de datos móviles avanzados, ya sea a través de teléfonos, PDA o laptops. Las siglas EV-DO provienen de Evolución a Optimización de Datos, a diferencia del segundo paso evolutivo a CDMA2000 1xRTT, donde los operadores además de poder ofrecer datos a mayores tasas de velocidad veían duplicada su capacidad de espectro para los servicios de voz

siempre y cuando reemplazaran los dispositivos de su base de usuarios cdmaOne a 1x, EV-DO no representa una mejora sustancial en ese aspecto en general, aunque sí implica una mejora en el espectro para la oferta de servicios de datos.

Las capacidades adicionales de EVDO van encaminadas a mejorar las tasas de velocidad medidas en Kbps, así como a pavimentar la evolución a redes “todo IP”; tanto en la parte central como en el de la interfase aérea. La propia tecnología EV-DO cuenta con una evolución propia que mejora las capacidades de transmisión de datos e implementa mejoras para la oferta de nuevos servicios como voz sobre IP y videoconferencia, entre otros. Actualmente algunos operadores están desplegando lo que se conoce como EV-DO Revisión 0 (Rev. 0), aunque la migración de EV-DO pasa por la Rev. A, Rev. B, e incluso la Rev. C, todavía por ser ratificada.

**EV-DO Rev. 0:** El primer servicio comercial con esta tecnología fue lanzado por los operadores coreanos SK Telecom y KTF en Corea con motivo de la Copa del Mundo de Fútbol, celebrada en conjunto entre ese país y Japón en 2002. Durante estos últimos cuatro años la tecnología ha sido lanzada por varios operadores en el mundo. En el continente americano el desarrollo de EV-DO Rev. 0 ha sido bastante acelerado con Verizon Wireless seguido de Sprint Nextel, después llegó a ser desplegada por operadores en Latinoamérica como Vivo en Brasil, Movilnet y Movistar en Venezuela, e Iusacell en México. La Revisión 0 permite alcanzar velocidades de transmisión de 2,4 Mbps en el downlink y 144 Kbps en el uplink,

según datos del CDMA Development Group, CDG, a mayo de 2006 había 35 operadores alrededor en el mundo con la tecnología desplegada y en fase comercial. La tecnología cuenta con 24 millones de usuarios y añade cuatro millones de nuevos clientes por trimestre, la mayoría en Japón y Corea, ya que los operadores de estos mercados están viendo un rápido reemplazo de terminales por parte de sus usuarios, a quienes les gusta estar siempre a la vanguardia en cuanto a telefonía móvil se refiere, además de contar con los recursos económicos para permitírselo.

**EV-DO Rev. A:** es el siguiente paso evolutivo de EV-DO Rev. 0. Las mejoras incluyen un aumento significativo de las velocidades de transmisión en el uplink, para la oferta de servicios, así como la introducción de calidad de servicio, QoS, para la oferta de servicios VOIP. En el downlink, la velocidad pico aumenta a 3,1 Mbps mientras que en el uplink sufre un aumento considerable hasta los 1,8 Mbps, ambas velocidades se obtienen en la misma porción de espectro, es decir 1,25 MHz. Como en anteriores evoluciones de la tecnología la Rev. A es compatible con la Rev. 0, lo que significa que los usuarios que cuentan con dispositivos aptos para la revisión anterior pueden seguir accediendo a sus servicios con las mismas prestaciones. Además del incremento de las velocidades, la introducción de IP inalámbrico móvil es uno de los atributos principales de esta nueva actualización, especialmente relevante debido a la concordancia de que las telecomunicaciones van a un ambiente dominado por IP, tanto en la parte central de las redes como en la parte inalámbrica. La oferta de voz sobre IP inalámbrica permitirá la prestación de servicios más

avanzados, como juegos multijugador, donde los participantes podrán comunicarse entre ellos mientras juegan mediante servicios de mensajería instantánea con texto, voz y/o video. En los EEUU, Verizon Wireless ya otorgó contrato para la migración de su red EV-DO Rev. 0 a la Rev. A.

**EV-DO Rev. B:** Se espera que esta revisión se encuentre comercialmente disponible a finales de 2007, por lo que algunos operadores podrían lanzar esta solución durante 2008. La característica principal de esta revisión es la combinación de hasta tres canales de 1,25 MHz para la oferta de datos. Además, la velocidad del downlink aumenta a 4,9 Mbps en un canal de 1,25 MHz, lo que permite ofrecer hasta 14,7 Mbps si se combinan los tres canales. Algunos dispositivos avanzados serían capaces de alcanzar velocidades de hasta 75,3 Mbps mediante la combinación de 20 MHz, o 15 canales, para el downlink, mientras que para el uplink se podrían alcanzar los 27 Mbps. Aún así, esta opción es más teórica que práctica, pues pocos operadores pueden dedicar esa cantidad de espectro para una sola conexión.

## **CAPITULO 2**

### **DESCRIPCION DE UNA RED GSM DE SEGUNDA GENERACION**

#### **2.1 Descripción GSM**

Sistema Global para comunicaciones móviles, es una tecnología celular digital de segunda generación usada para transmisión de servicios de voz y datos que difiere de los sistemas celulares de primera generación en la utilización de tecnología digital y de métodos de transmisión como el acceso múltiple por división de tiempo. GSM es un sistema conmutado por circuitos que divide cada 200 KHz del ancho de banda del canal en 8 times slots de 25 KHz. Soporta una velocidad de transferencia de datos de interfaz área de 9.6 a 13 Kbps, permitiendo el servicio básico de transmisión de datos como el SMS, servicio de mensaje corto, pero el mayor beneficio es el servicio de roaming internacional que permite a los usuarios acceder a los mismos servicios cuando estén de viaje dentro o fuera del país. Otra propiedad de GSM es que brinda a los usuarios la utilización de la tarjeta SIM, Modulo de identificación del subscriptor, que puede ser transferida entre distintos móviles y es una gran ayuda a los usuarios,

estas propiedades han hecho de que GSM sea la tecnología celular mas usada a nivel mundial brindando servicio en mas de 250 países y cada vez más utilizada por las operadoras celulares debido a su gran capacidad de actualización de su red para poder brindar hoy en día servicios de tercera generación.

<b>CARACTERÍSTICAS GSM</b>	
Ancho de banda celular	25 Mhz
Rango de Frecuencia – Up Link	890-915 Mhz
Rango de Frecuencia – Down Link	935-960 Mhz
Distancia Duplex	45 Mhz
Velocidad de Interfaz de Radio	6.5 – 13 Kbps
Método de Acceso Múltiple	TDMA/FDMA
Método Duplex	FDD
Ancho de banda de canal	200 KHz
Número de canales	124
Número de usuarios por canal	8
Modulación	0.3 GMSK
Velocidad de modulación	271 Kbps
Relación señal – ruido	6.5-9 db
Típico Reuso de Frecuencia	4
Potencia del Móvil	0.8 – 2 – 5 W
Control de Potencia	SI
Salto de Frecuencias	SI
Transmisión y Recepción Discontinua	SI
Traspaso de llamadas (handovers)	SI

**TABLA No 2.1: Características generales de GSM.**

### **2.1.1 Comienzo de GSM y estandarización**

Desde el principio de los 80, después de que el NMT, Sistema de telefonía móvil analógico de cobertura escandinava, funcionara con éxito, fue obvio para varios países europeos que los sistemas analógicos existentes, tenían limitaciones. Primero, la potencial demanda de servicios móviles fue mayor de la capacidad esperada de las existentes redes analógicas. Segundo, las diferentes formas de operación no ofrecían compatibilidad para los usuarios de móviles: un terminal TACS, Servicio de telefonía móvil analógico puesto en funcionamiento en el Reino Unido en 1985, no podía acceder dentro de una red NMT, y viceversa. Además, el diseño de un nuevo sistema de telefonía celular requiere tal cantidad de investigación que ningún país europeo podía afrontarlo de forma individual. Todas estas circunstancias apuntaron hacia el diseño de un nuevo sistema, hecho en común entre varios países. El principal requisito previo para un sistema de radio común, es el ancho de banda de radio. Esta condición había sido ya prevista unos pocos años antes, en 1978, cuando se decidió reservar la banda de frecuencia de  $900 \pm 25$  Mhz para comunicaciones móviles en Europa. Este problema fue el mayor obstáculo solucionado. Quedaba organizar el trabajo. El mundo de la telecomunicación en Europa, siempre había estado regido por la estandarización. El CEPT, Conference Européene des Postes et Telecommunications, es una organización para la estandarización presente en más de 20 países europeos. Todos estos factores, llevaron a la creación en 1982 de un nuevo cuerpo de estandarización dentro del CEPT, cuya

tarea era especificar un único sistema de radiocomunicaciones para Europa a 900 Mhz. Se creó en el CEPT un grupo de trabajo denominado Groupe Spéciale Mobile, GSM, que tuvo su primer encuentro en Diciembre de 1982 en Estocolmo con representantes de once países de Europa. Luego en 1990, por requerimiento del Reino Unido, se añadió al grupo de estandarización la especificación de una versión de GSM a la banda de frecuencia de  $1800 \pm 75$  Mhz. A esta variante se le llamó DCS1800, Digital Cellular System 1800. El significado actual de las siglas GSM se ha cambiado y en la actualidad se hacen corresponder con Global System for Mobile Communications. La elaboración del estándar GSM llevó casi una década y se muestran en la siguiente tabla:

<b>AÑO</b>	<b>DESARROLLO DEL ESTANDAR GSM</b>
1982	Creación del Grupo Especial Móvil en el CEPT
1986	Se creó un núcleo permanente GSM, evaluación de las primeras propuestas de tecnologías de acceso y reservación de bloques de frecuencias en banda de 900 Mhz para GSM
1987	Se escoge la principal técnica de transmisión de radio y del método de múltiple acceso TDMA.
1989	El grupo GSM se convierte en un comité técnico del ETSI.
1990	Fase 1 de las especificaciones del GSM900 finalizada. Se comienza con el estándar DCS1800.
1991-1992	Primeras pruebas públicas, la mayoría de los operadores europeos de GSM900 comienzan las operaciones comerciales.
1994	Desarrollo de numerosas redes GSM, liberación de las telecomunicaciones
1996	Desarrollo de la fase GSM-2 con nuevos servicios y facilidades
1997	Conclusión de especificaciones de GSM fase 2+

**TABLA No 2.2: Desarrollo del estándar GSM.**

Algunos de los propósitos del sistema estaban claros desde el principio: uno de ellos era que el sistema debía permitir la libre circulación de los abonados en Europa, roaming, esto significa que un abonado de una determinada red nacional pueda acceder a todos los servicios cuando viaja entre varios países. La propia estación móvil GSM debe permitir al usuario el llamar o ser llamado donde quiera que se encuentre dentro del área internacional de cobertura. Estaba claro también que la capacidad ofrecida por el sistema debería ser mejor que las existentes redes analógicas. Entre los principales objetivos previstos para el estándar GSM se destacan los siguientes:

**Servicios:**

- El sistema será diseñado de forma que las estaciones móviles se puedan usar en todos los países participantes.
- El sistema debe permitir una máxima flexibilidad para otros tipos de servicios, como los servicios relacionados con RDSI, Red Digital de Servicios Integrados.
- Los servicios ofrecidos en las redes PSTN, Public Switching Telephone Network, e ISDN, Integrated Services Digital Network, así como otras redes públicas deben ser posibles, en la medida de las posibilidades, en el sistema móvil.
- Debe ser posible la utilización de las estaciones móviles pertenecientes al sistema a bordo de barcos, como extensión del servicio móvil terrestre. Se debe prohibir el uso aeronáutico de las estaciones móviles.

- En lo referente a las estaciones, a parte de las montadas en vehículos, el sistema debe ser capaz de suministrar estaciones de mano así como otras categorías de estaciones móviles.

**Calidad de los servicios y seguridad:**

- Desde el punto de vista del abonado, la calidad de voz telefónica en el sistema GSM debe ser al menos tan buena como la que tenía la primera generación de sistemas analógicos a 900 Mhz.
- El sistema debe ser capaz de ofrecer encriptación de la información del usuario pero debe permitir la posibilidad de que esto no influya en el costo de aquellos abonados que no requieran este servicio.

**Utilización de la radio frecuencia:**

- El sistema permitirá un gran nivel de eficiencia espectral así como la posibilidad de servicios para el abonado a un costo razonable, teniendo en cuenta tanto las áreas urbanas como rurales y el desarrollo de nuevos servicios.
- El sistema permitirá la operación en el rango de frecuencias comprendido entre los 890-915 Mhz y entre los 935-960 Mhz.
- El nuevo sistema de 900 Mhz para comunicaciones móviles del CEPT, debe coexistir con los anteriores sistemas en la misma banda de frecuencias.

**Aspectos de Red:**

- El plan de identificación debe estar basado en la recomendación

correspondiente del CCITT, Comité Consultivo Internacional de Telecomunicaciones.

- La numeración del plan estará basada en la recomendación correspondiente del CCITT.
- El diseño del sistema debe permitir diferentes estructuras de carga y velocidades para su utilización en diferentes redes.
- Para la interconexión de los centros de conmutación y los registros de localización, se usará un sistema de señalización internacionalmente estandarizado.
- No se debe requerir ninguna modificación significativa de las redes públicas fijas.
- El sistema GSM debe habilitar la implementación de la cobertura común de las redes públicas móviles terrestres, Public Land Mobile Network ó PLMN.
- La protección de la información y el control de la información de la red debe ser proporcionada por el sistema.

**Aspectos de costos:**

- La implementación del sistema GSM deberá ser económicamente atractiva en cuanto a las inversiones en infraestructura, costos de equipos móviles y gastos de explotación. Los parámetros del sistema deben ser escogidos teniendo en cuenta un costo límite del sistema completo, principalmente el de las unidades móviles.

### **2.1.2 Servicios que proporciona GSM.**

GSM es una red de telecomunicaciones capaz de proporcionar múltiples servicios que forman un subconjunto de servicios ofrecidos por la ISDN general. Por un lado los servicios básicos que poseen entidad propia y por lo tanto pueden ser prestados por sí solos, estos servicios ofrecidos son los de telefonía y datos, que comprenden transmisiones de textos, imágenes, fax, ficheros y mensajes multimedia. Existe también una gama de servicios suplementarios que no pueden prestarse por sí solos ya que siempre tienen que estar asociados a uno o más servicios básicos, modificándolos o complementándolos

El servicio básico de telefonía es similar al que prestan las redes clásicas fijas. El usuario puede realizar y recibir llamadas hacia o desde cualquier red telefónica. Este servicio tiene asociado el de mensajería vocal que permite el almacenamiento de los mensajes para su posterior recuperación.

Los servicios de datos utilizan la red GSM principalmente como red de acceso. Es posible entablar comunicación con diferentes redes destino a velocidades comprendidas entre 300 y 9600 bits por segundo en modo asíncrono o sincrónico. Los servicios de datos en modo circuito pueden ser de tipo transparente o no transparente con detección de errores y retransmisión. En el modo transparente la red usa el protocolo RLP, Protocolo de enlace de radio con un sistema de control de errores que

realiza la detección de errores y la retransmisión consiguiente. El tipo de de conexión y las características de los servicios de datos dependen de la red destinataria. Para la PSTN que es de naturaleza analógica, se requiere el uso de un módem en el punto de interconexión GSM – PSTN o en el caso de la ISDN hace falta poner un adaptador de velocidad de 9,6 Kbps en GSM a 64 Kbps en ISDN.

El servicio de mensajes cortos, SMS, permite el intercambio de mensajes breves de hasta 160 caracteres, que pueden leerse en la pantalla del equipo portátil o en la de un PC dotado de programas para la gestión del servicio. Los mensajes del servicio SMS llegan a sus destinatarios aunque éstos no estén disponibles (terminal apagado) o su línea esté ocupada. Una vez que el terminal se encuentra en el estado activo desocupado, la red genera una llamada indicando al usuario que tiene uno o más mensajes depositados en su buzón. Este servicio es similar al de radio búsqueda (paging) pero más completo ya que permite el intercambio bidireccional, el almacenamiento y envío y el acuse de recibo de los mensajes entregados.

Otro servicio interesante es el de difusión celular, SMC-CB llamado Cell Broadcasting, mediante el cual pueden difundirse mensajes a grupos de usuarios situados en determinadas células, otros tipos de servicios básicos son los de buzón de voz donde es posible almacenar un mensaje de voz en un centro de mensajes para que posteriormente el subscriptor lo pueda oír mediante un código de seguridad previo, el buzón de fax es otro servicio básico.

Los servicios suplementarios enriquecen las prestaciones de los teleservicios básicos. Brindan al usuario la posibilidad de elección del tratamiento de las llamadas entrantes o salientes como dar prohibiciones o desvíos a estas llamadas, le facilitan informaciones sobre la llamada como aviso de tasación, identificación de línea llamante, indicación de llamada en espera o le permiten ejercer ciertas funciones como retención, multiconferencia, transferencia de llamadas, etc.

USSD es un servicio concebido para permitir una gestión sencilla de servicios suplementarios que no son estándar GSM o que no son soportados por el equipo móvil, es decir, cuya funcionalidad no está implementada en el móvil sino en un nodo externo. Este servicio ofrece la posibilidad de interactuar con los usuarios de servicios móviles de un nodo mucho más sencillo e intuitivo para el usuario. Desde el punto de vista del usuario, el único requisito del terminal es que tenga la capacidad de introducir los símbolos “\*” y “#”.

Otro tipo de servicio suplementario es CAMEL, que es un procedimiento por el que las redes GSM garantizan la movilidad de los servicios suscritos por un usuario en su red de origen a otras redes en las que realiza itinerancia, roaming, mas que un servicio suplementario debe considerarse como una característica de red que proporciona los mecanismos para soportar servicios independientemente de la red que atiende al usuario dentro del sistema de telecomunicaciones celular digital, gracias a esta herramienta el cliente puede disponer de los servicios que le ofrece su operador

incluso fuera de su red origen siendo necesario que la red del país donde se encuentra el usuario soporte este tipo de servicios.

## **2.2 Arquitectura general de una red GSM**

La demanda por parte de los usuarios de comunicaciones móviles que les permitan a éstos moverse a través de edificios, ciudades o países, ha llevado al desarrollo de nuevas redes de comunicaciones móviles. El sistema de telefonía celular es el responsable de proporcionar cobertura a través de un territorio particular, llamado región de cobertura o mercado. La interconexión de muchos de estos sistemas define una red inalámbrica capaz de proporcionar servicios a los usuarios móviles a través de un país o continente. Para proporcionar comunicaciones inalámbricas dentro de una región particular geográfica por ejemplo una ciudad, se debe emplear una red integrada de estaciones base, MS, para proporcionar la suficiente cobertura de radio a todos los usuarios móviles. Las estaciones base, a su vez, deben estar conectadas a una controladora de estaciones bases, BSC, y también a un eje central llamado centro de conmutación móvil, MSC. El MSC proporciona conectividad entre la red telefónica de conmutación pública, PSTN y las numerosas estaciones base, y por último, entre todos los abonados móviles de un sistema. La PSTN forma la red de telecomunicaciones global que interconecta los centros de conmutación de telefonía convencional (terrestres), llamados oficinas centrales, con los MSC de todo el mundo. Para conectar a los abonados con las estaciones base, se

establecen enlaces de radio usando un protocolo de comunicaciones cuidadosamente definido, llamado la interfaz de radio que será objeto de un estudio a lo largo de este trabajo. La interfaz de radio debe asegurar una gran fiabilidad en el canal para asegurar que los datos se envían y se reciben correctamente entre el móvil y la estación base, y es por ello por lo que se realizan una codificación de la voz de la fuente y una codificación del canal. En la estación base, los datos de señalización y sincronización se descartan, y el resto de información de voz o datos, se pasan a través del MSC hasta las redes fijas. Mientras que cada estación base puede gestionar del orden de unas 50 llamadas simultáneas, una MSC típica es responsable de conectar hasta 100 estaciones base a la PSTN, hasta 5000 llamadas a la vez, y es por eso que la interfaz entre el MSC y la PSTN requiere una gran capacidad en cualquier instante de tiempo. Está claro que las estrategias de red y los estándares pueden variar mucho dependiendo si se está sirviendo a un circuito simple de voz, o a una población metropolitana completa.

Dentro de una breve descripción de la organización interna de GSM, podríamos identificar los siguientes subsistemas: la estación móvil, MS, el subsistema de la estación base, BSS, el subsistema de conmutación de red, NSS que debe gestionar las comunicaciones y conectar las estaciones móviles a otro tipo de redes como la PSTN o a otras estaciones móviles. Además tendríamos el Centro de Operaciones y Mantenimiento, OMC que no está muy detallado en las especificaciones de GSM. Las MS, BSS y la NSS forman la parte operacional del

sistema, mientras que el OSS proporciona los medios para que el operador los controle.

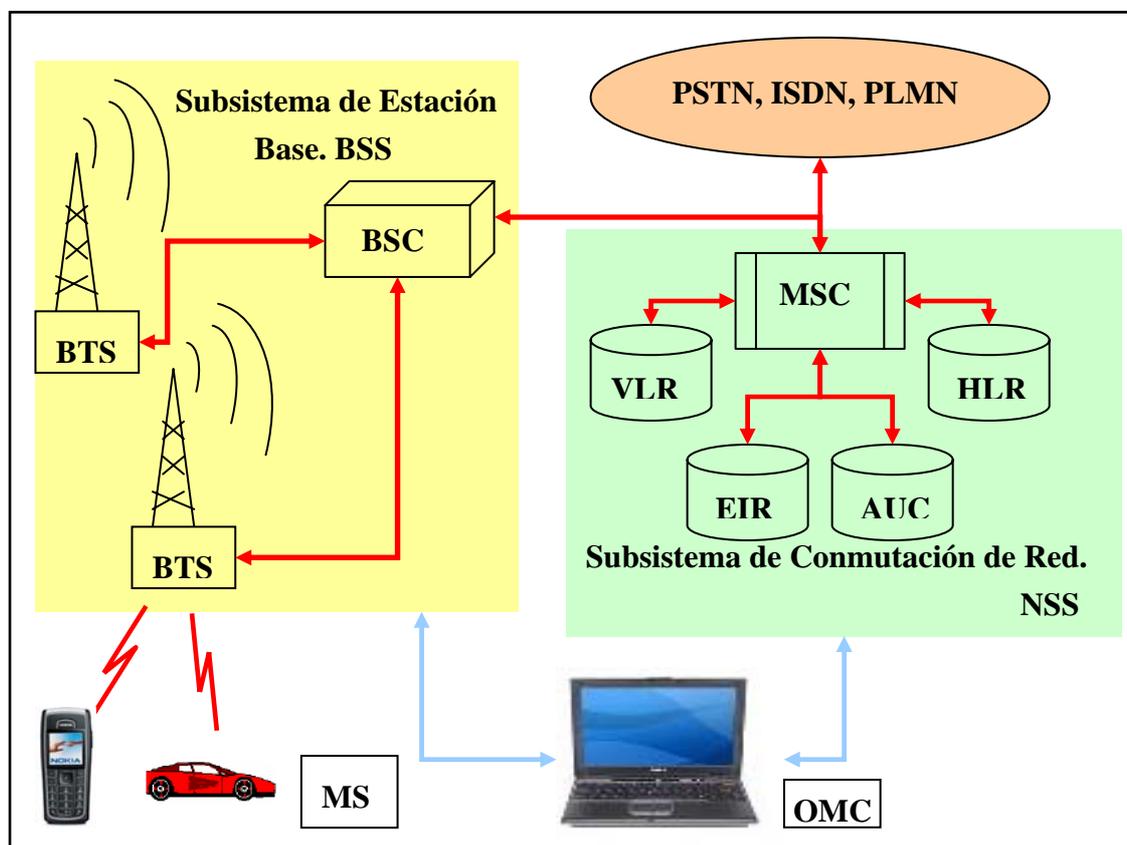


FIGURA No 2.1: Arquitectura general de una red GSM.

### 2.2.1 Estación Móvil. MS

La estación móvil representa normalmente la única parte del sistema completo que el usuario ve. Existen estaciones móviles de muchos tipos como las montadas en coche, y los equipos portátiles, pero quizás las más desarrolladas sean los terminales de mano. Una estación móvil además de permitir el acceso a la red a través de la interfaz de radio GSM con funciones de procesamiento de señales y de radio frecuencia,

debe ofrecer también una interfaz al usuario humano como un micrófono, altavoz, display y tarjeta, para la gestión de las llamadas de voz y una interfaz para otro tipo de equipos como un ordenador personal o máquina facsímil o fax. Otra parte dentro de la estación móvil es el Módulo de Identificación del Abonado o SIM card, que es un nombre muy restrictivo para las diversas funciones que este permite. El SIM es básicamente una tarjeta, que sigue las normas ISO que contiene toda la información relacionada con el abonado almacenada en la parte del usuario de la interfaz de radio. Sus funciones, además de la capacidad de almacenar información, están relacionadas con el área de la confidencialidad.

Con respecto a los terminales, hay para todos los gustos, lo que los diferencia entre unos y otros radica fundamentalmente en la potencia que tienen que va desde los 20 watios generalmente instalados en vehículos hasta los 2 watios de nuestros terminales. Por otro lado, el SIM es una pequeña tarjeta inteligente que sirve para identificar las características de nuestro terminal que permite al usuario acceder a todos los servicios que haya disponibles por el operador celular, sin la tarjeta SIM el terminal no sirve de nada por que no podemos hacer uso de la red pero esta tarjeta esta protegida por un número de cuatro dígitos que recibe el nombre de PIN o número de identificación personal. La mayor ventaja de las tarjetas SIM es que proporcionan movilidad al usuario ya que puede cambiar de terminal y llevarse consigo el SIM cuando se viaja a otro país aunque en la práctica en muchas ocasiones no resulta tan sencillo. Una vez que se introduce el PIN en el terminal, el terminal va a ponerse a

buscar redes GSM que estén disponibles y va a tratar de validarse en ellas, una vez que la red, generalmente la que se ha contratado, ha validado nuestro terminal el teléfono queda registrado en la célula que lo ha validado.



**FIGURA No 2.2: Estación móvil GSM con SIM card.**

Las funciones principales de la estación móvil son:

- Proporcionar una interfaz de comunicaciones entre los usuarios y la red vía radio.
- Realizar la transmisión y recepción de las informaciones de los usuarios y de señalización a través de esa interfaz radio.
- Efectuar la inicialización de la conexión con la red.
- Realizar la sintonización de frecuencias y seguimiento automático de las estaciones bases en cuya zona de cobertura se encuentre.
- Efectuar funciones de procesamiento de la voz, conversión analógica-digital y viceversa.
- Realizar la adaptación de interfaces y velocidades para las señales de datos.

### 2.2.2 Subsistema de estación base, BSS

El subsistema de estación base, BSS, sirve para conectar a las estaciones móviles con el subsistema de conmutación de red, NSS, además de ser los encargados de la transmisión y recepción. Como las estaciones móviles, MS, también constan de dos elementos diferenciados, la Base Transceiver Station o estación base, BTS, y la controladora de estación base, BSC.

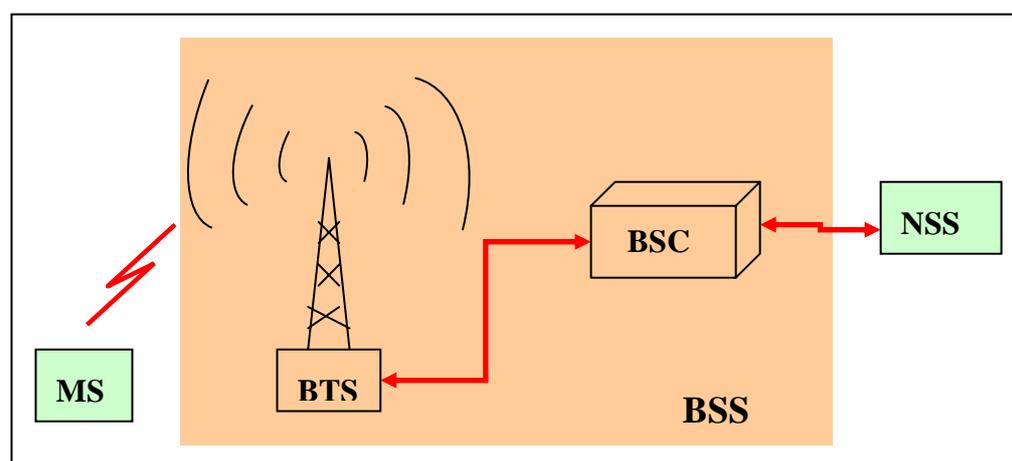


FIGURA No 2.3: Subsistema de estación base GSM

El BSS agrupa la maquinaria de infraestructura específica a los aspectos celulares de GSM. El BSS está en contacto directo con las estaciones móviles a través de la interfaz de radio. Por lo tanto, incluye las máquinas encargadas de la transmisión y recepción de radio, y de su gestión. Por otro lado, el BSS está en contacto con los conmutadores del NSS. La misión del BSS se puede resumir en conectar la estación móvil y el NSS, y por lo tanto, conecta al usuario del móvil con

otros usuarios. El BSS tiene que ser controlado, y por tanto debe estar en contacto con el OSS. De acuerdo con la estructura canónica de GSM, el BSS incluye dos tipos de máquinas, la BTS o transceptor de la estación base, en contacto con las estaciones móviles a través de la interfaz de radio y la BSC o controlador de la estación base, en contacto con los conmutadores del NSS. Otro componente del BSS, que está considerado en la arquitectura canónica de GSM pero que funcionalmente es secundario, aunque en algunas arquitecturas de GSM se lo ubica en el NSS, es el TRAU, Unidad Transcoder y Adaptadora de Velocidad. La TRAU es el equipo en el cual se lleva a cabo la codificación y decodificación de la voz de la fuente, así como la adaptación de velocidades en el caso de los datos.

El subsistema de estación base, BSS, desempeña las siguientes funciones:

- Transmisión y recepción radioeléctrica a través de la interfaz Um
- Localización de las estaciones móviles para su registro inicial o actualización
- Establecimiento, supervisión y conclusión de las llamadas
- Traspaso de llamadas entre BTS controladas por la mismo BSS
- Procesado de voz y adaptación de velocidad
- Control de equipos y funciones de reconfiguración
- Control de mantenimiento rutinario

A continuación se describe profundamente cada uno de los componentes del subsistema de estación base.

- **Estación Base, BTS.**

La BTS consta de equipos transmisores y receptores de radio llamados transceivers o transeptores, los elementos de conexión al sistema radiante como combinadotes, multiacopladores, cables coaxiales, otros elementos como torres, pararrayos, tomas de tierra y principalmente las antenas usadas en cada célula de la red y que suelen estar situadas en el centro de la célula, generalmente su potencia de transmisión determinan el tamaño de la célula.



**FIGURA No 2.4: Ejemplo de una estación base**

Debido al elevado número de BTS de una red y a que éstas funcionan en lugares donde no se les puede dar mantenimiento constantemente, los equipos de BTS son sencillos, fiables, duraderos y de costo moderado, por ello la mayoría de las funciones de control se las realiza en el BSC. Un BTS lleva los dispositivos de transmisión y recepción por radio, incluyendo las antenas, y también todo el

procesado de señales específico a la interfaz de radio. Los BTS se pueden considerar como complejos modems de radio, con otras pequeñas funciones. Un BTS típico de la primera generación consistía en unos pequeños armarios de 2 m de alto y 80 cm de ancho conteniendo todos los dispositivos electrónicos para las funciones de transmisión y recepción. Las antenas tienen generalmente unas pocas decenas de metros, y los armarios se conectan a ellas por unos cables de conexión. Un BTS de este tipo era capaz de mantener simultáneamente 3 ó 5 portadoras de radio, permitiendo entre 20 y 40 comunicaciones simultáneas. Actualmente el volumen de los BTS se ha reducido a BTS de 1 metro de alto y 60 cm de ancho, esperándose un gran avance en este campo dentro de GSM. Las BTS pueden soportar de 1 a 12 transceivers, TRX, esto va a depender del tipo de BTS que se utilice y del tráfico manejado por la misma BTS.

- **Controladora de Estación Base, BSC.**

Los BSC se utilizan como controladores de los BTS y tienen como funciones principales las de estar al cargo de los recursos de radio como asignación, utilización y liberación de las frecuencias de radio, trasposos, funcionamiento con saltos de frecuencia, etc. También puede realizar ciertas funciones de conmutación. Principalmente el BSC se encarga de las funciones de gestión de recursos de radio, gestión de la movilidad y de la conexión de los enlaces de cara a establecer una adecuada comunicación, sus principales objetivos son:

- Control de la red de radio, por ejemplo cada vez que se integran estaciones nuevas hay que adaptar la red para que todo siga funcionando correctamente. El BSC dispone de numerosos contadores para obtener estadísticas sobre el tráfico en esta interfaz, estas estadísticas son las que le permiten al operador conocer el estado de la parte radio de su red y obrar en consecuencia.
- Control de las BTS, la función es controlar todas las funciones principales de las BTS y éstas no decidan nada de forma autónoma así por ejemplo la BSC establece la configuración del transceptor, TRX y frecuencias de las celdas conectadas a él.
- Conexión con los móviles controlando en todos los aspectos como el establecimiento y liberación e los canales, asignación de los recursos de radio necesarios, etc. Dispone de algoritmos de control de potencia que permiten ajustar la misma de forma óptima.
- Dentro de los recursos de radio está el manejo de los trasposos siempre que se realice entre celdas de una misma BSC. Existe un tipo especial de trasposo llamado intracelda que es el que se realiza dentro de una misma celda pero a otro canal y reproduce cuando la BSC detecta que la calidad de la comunicación es baja pero no peor que las celdas vecinas, en este caso trata de cambiar a un intervalo de tiempo TS de otra frecuencia con objeto de mejorar dicha calidad.
- Permite el paso de determinados mensajes entre el móvil y el MSC, VLR o HLR de forma transparente, es decir, sin ninguna intervención en los mismos,

por tanto dispone de las funciones necesarias para poder discriminar los mensajes que deben ser transparentes de los que no. Como por ejemplo es el cambio en los servicios suplementarios que puede realizar el móvil directamente como cambiar el desvío de su teléfono.

- Control de los circuitos hacia las BTS. EL BSC supervisa y asigna todos los circuitos hacia las BTS así como el conmutador remoto que permite un uso eficiente de los canales y que las BTS puedan conectarse en cascada.
- El BSC es quien distribuye los mensajes de aviso del MSC, paging. Este tipo de mensajes los transmite la red hacia el móvil por ejemplo cuando tiene una llamada para el.
- Es el núcleo donde residen todas las funciones de operación y mantenimiento del subsistema de estación base, BSS.
- Es la interfaz funcional del Subsistema BSS con el MSC.
- **Transcoder y adaptador de velocidades, TRAU.**

TRAU es el equipo en el cual se lleva a cabo la codificación y decodificación de la voz de la fuente, así como la adaptación de velocidades en el caso de los datos. Si se consideran las dos interfaces del subsistema BSS se observa que la velocidad de las mismas es diferente:

- En la interfaz radio cada canal de voz no llega a los 16 Kbps. En los canales full rate la velocidad de canal codificado es de 13 Kbps en

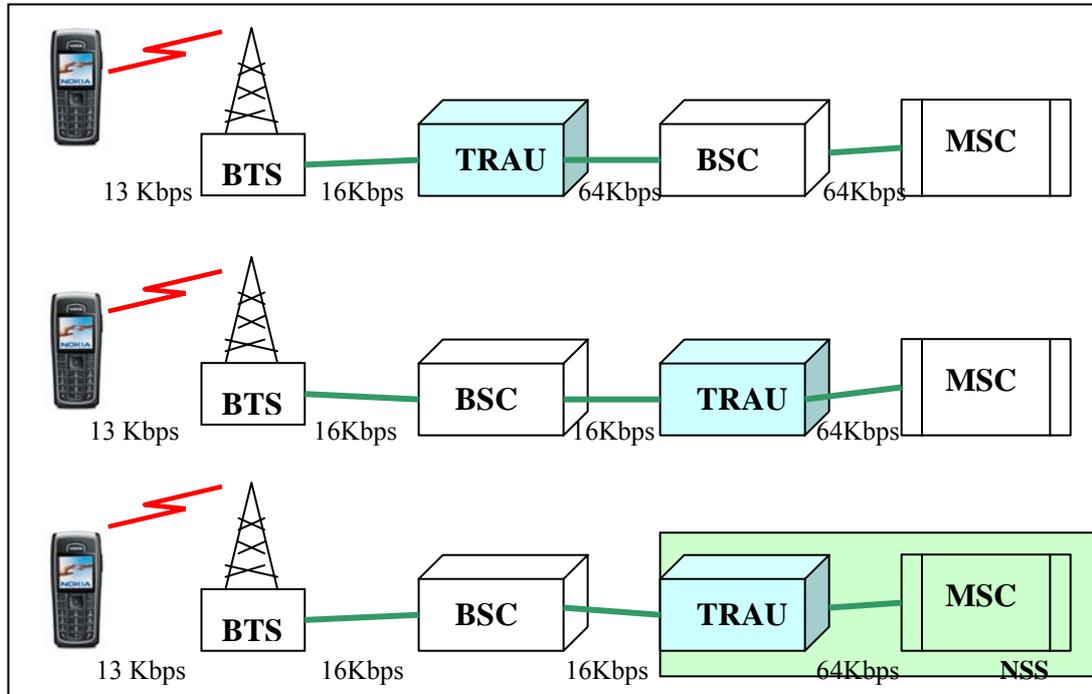
tanto que en los canales half rate es de 6,5 Kbps, la limitación de velocidad en la interfaz radio se debe al interés existente en utilizar la menor anchura de banda posible.

- En la interfaz A que es la que conecta la BSC con el MSC, la velocidad de los canales esta estandarizada a 64 Kbps que es el nivel al que se produce la conmutación en los MSC, por tanto, incluso en las llamadas móvil a móvil será necesaria una doble transcodificación de 13 a 64 Kbps y viceversa para poder conmutar la llamada. La razón de que la conmutación se realice a 64 Kbps se debe a que los MSC actuales son una adaptación de las centrales ISDN a GSM.

La entidad encargada de esta conversión es la TRAU y deberá realizar la transcodificación a efectos de poder adaptar las velocidades entre ambas interfaces. La TRAU no se considera una entidad independiente, sino que aparece como integrada funcionalmente en el subsistema de estación base, BSS, que será quien la controle directamente. En algunos casos dependiendo de la configuración de la red de que se trate, resulta conveniente económicamente que el transcodificador se emplace junto al MSC, incluso en este caso seguirá considerándose parte del subsistema de estación base, BSS.

Existen tres alternativas para situar al TRAU, la primera es ubicándola entre la BTS y la BSC, otra ubicación puede ser entre la BSC y el MSC o por ultimo como parte integrada del MSC pero todo depende del tipo de sistema fabricado e integrado

de las partes que conforman la red GSM.



**FIGURA No 2.5: Diferentes ubicaciones del TRAU en una red GSM**

### Interfaces de BSS

Los componentes de una red GSM se comunican entre sí por medio de interfaces, el subsistema de estación base tiene tres interfaces y son las siguientes:

#### Interfaz Um

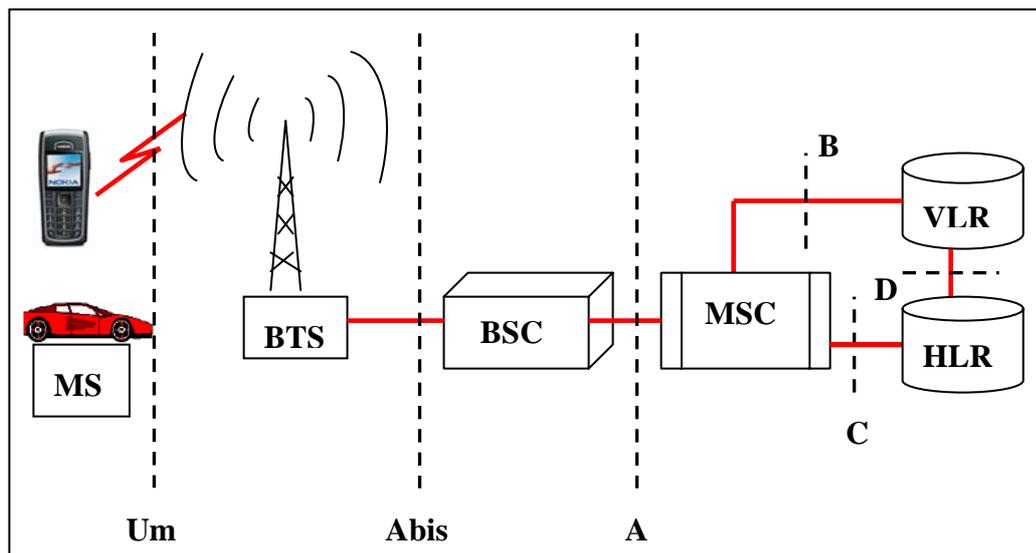
Es la interfaz de radio o también llamada interfaz de aire que permite la comunicación entre la estación móvil, MS, y la estación base, BTS. En esta interfaz cada canal de voz transmite a 13 Kbps en full rate y 6,5 Kbps en half rate. Los objetivos básicos de esta interfaz es de proporcionar un acceso estándar para los

diferentes tipos de estaciones móviles y permitir la evolución libre de estos, posibilitar que las llamadas se realicen a un número único con independencia de la ubicación del terminal, asegurar una elevada calidad de fidelidad de las señales de voz y datos, y por último, flexibilidad de operación, que permita al usuario la elección por cada llamada o globalmente, de parámetros de la comunicación tales como velocidad de información, tipo de conmutación: circuito o paquete.

### **Interfaz Abis**

Es la interfaz entre la estación base, BTS, y la controladora de estación base, BSC, que permite el control del equipo radio. Las recomendaciones GSM proporcionan las directrices adecuadas para conseguir una conexión estándar entre los TRX/BTS y la BSC aún siendo de suministradores diferentes, sin embargo, proporcionan la libertad de que los fabricantes puedan elegir esta conexión básica o introducir soluciones propietarias en las que la división funcional entre BSC y BTS sea diferente. El nivel físico de esta interfaz está constituido por enlaces de 2 Mbps según la recomendación G.703 del CCITT. Cada enlace de 2 Mbps está formado por 32 canales de 64 Kbps. Además las especificaciones GSM suponen que los sistemas de transmisión utilizados son digitales, bien a 2048 o 64 Kbps pero en algunos casos se pueden soportar velocidades inferiores de 16 y 8 Kbps. En la interfaz Abis existen dos tipos de canales de comunicación, los canales de tráfico que pueden tener velocidades de 8, 16 o 64 Kbps que llevan la voz o datos a un canal de radiocanal de tráfico, y los canales de señalización que transportan la información de señalización

tanto entre móvil y BSC como entre BTS y BSC a velocidades de 16, 32 o 64 Kbps.



**FIGURA No 2.6: Interfaces del subsistema de estación base GSM**

### **Interfaz A**

Es la interfaz entre la controladora de estación base, BSC, y el centro de conmutación móvil, MSC. En GSM se ha especificado esta interfaz de forma que se pueda configurar de formas muy distintas por ejemplo, la localización física del transcodificador – adaptador de velocidades, TRAU, que puede estar integrado en el BSC o muy próxima al MSC. El sistema de transmisión de esta interfaz está constituida por enlaces digitales de 2048 Kbps realizados mediante sistemas PCM que constan de 32 canales de 64 Kbps de los cuales 31 pueden ser utilizados para voz o señalización y el restante reservado para alineación de trama. En esta interfaz existen una serie de funciones que en ocasiones pueden hacer tanto el BSC como el MSC entre las principales tenemos: gestión de canales terrestres, gestión de canales

de radio, codificación y decodificación de canal, transcodificación, adaptador de velocidad, gestión de la movilidad, trasposos, control de llamada y seguridad.

### **2.2.3 Sistema de antenas**

Las antenas son puntos de transición en la cadena de comunicación celular, donde la señal cambia de una señal que viaja por un cable a una señal radio onda de propagación y viceversa. La señal recibida en la antena es la señal mejor disponible mejor en términos relación señal - ruido. Más allá, la cadena del procesamiento de la señal sólo puede adulterarse cada vez más por distorsión, adiciones de ruido, etc. Por consiguiente se hará un mayor esfuerzo para hacer tener una excelente señal disponible en la antena.

Una antena es un conductor pasivo que transporta corriente de radiofrecuencia, la energía de RF causa una corriente que fluye en la antena, este flujo de corriente irradia campos electromagnéticos y estos campos electromagnéticos causan corriente en las antenas receptoras. El efecto total de la antena es la suma de cada pequeño elemento. La radiación emitida por cada elemento es proporcional a la longitud del mismo multiplicado por la magnitud de la corriente que pasa a través de él. Cada elemento de la antena produce una cantidad definida de radiación a un ángulo de fase específico en La fuerza de señal recibida dependiendo de la dirección de salida de la antena de transmisión.

### **Características de las antenas.**

Un mejor conocimiento y comprensión del funcionamiento de las antenas y características de propagación de RF ayudan a los diseñadores del sistema GSM en la apropiada selección que ayudará a mejorar la cobertura, mejorar el performance del sistema y reducir costos. Las principales características de las antenas son:

- Ganancia
- Directividad
- Potencia radiada isotrópica efectiva
- Patrones de radiación
- Puntos de media potencia
- Ancho de banda
- Polarización
- Impedancia y VSWR

### **Ganancia de antena**

Las antenas son elementos pasivos que no requieren de fuentes de voltaje ni amplifican la energía de RF ni procesan señales de RF, no irradian más potencia más allá de la que le ingresa, los patrones de radiación son omnidireccional y direccionales. Cuando se define el nivel de ganancia de una antena, se usa típicamente una antena isotrópica como referencia que es una antena ideal que irradia energía en todas las direcciones, su directividad es 0 dB ya que su energía está igualmente distribuida, la idea de la directividad de una antena es expresar el nivel de

decibeles de intensidad de radiación en la dirección de máxima radiación relativo a la antena isotrópica. La ganancia referenciada a un radiador isotrópico es en dBi, y la ganancia referenciada a un dipolo es en dBd, el dipolo de media onda tiene una ganancia isotrópica de 2.15 dBi, el dipolo en su punto de máxima radiación es 2.15 dB más intenso que un radiador isotrópico.

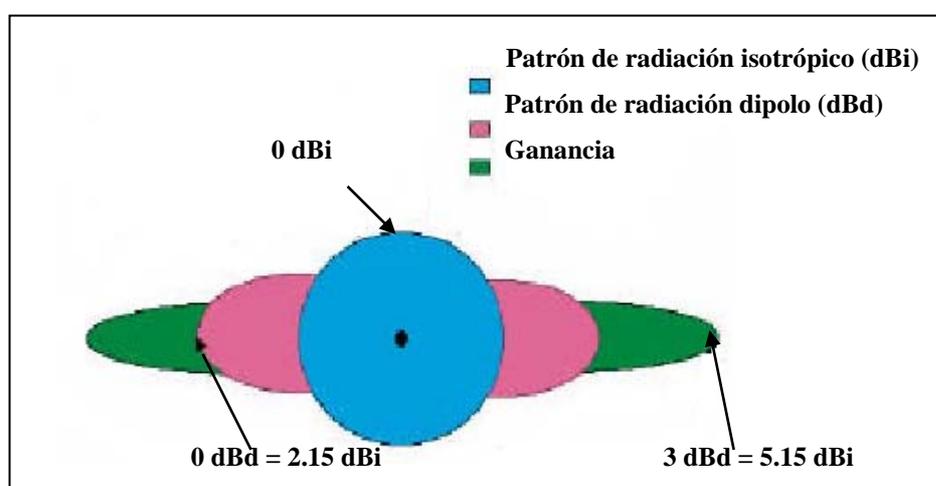


FIGURA No 2.7: Radiación y ganancia de antenas isotrópica y dipolo

### Potencia radiada efectiva

Se denomina potencia aparente en una particular dirección y es igual a la ganancia de la antena por la potencia de entrada, se expresa en relación a dipolo (ERP) o isotrópico (EIRP). La antena isotrópica es difícil de construir pero fácil de describir matemáticamente y es popular referencia en sistemas PCS y microondas al cambio que los dipolos son fácil de construir, son populares en sistemas que están por debajo de 1 Ghz como sistemas celulares, TV, FM.

### Puntos de media potencia y relación frente atrás

Es el ángulo donde la potencia radiada de la antena cae 3 dB de su máximo. La relación frente atrás y los lóbulos laterales son mediciones de cuanta energía se irradia fuera del lóbulo principal de la antena contenido en sus puntos de media potencia. En las antenas TX estos lóbulos causan interferencia a sitios cercanos y en RX, sitios que transmiten alrededor la pueden generar interferencia.

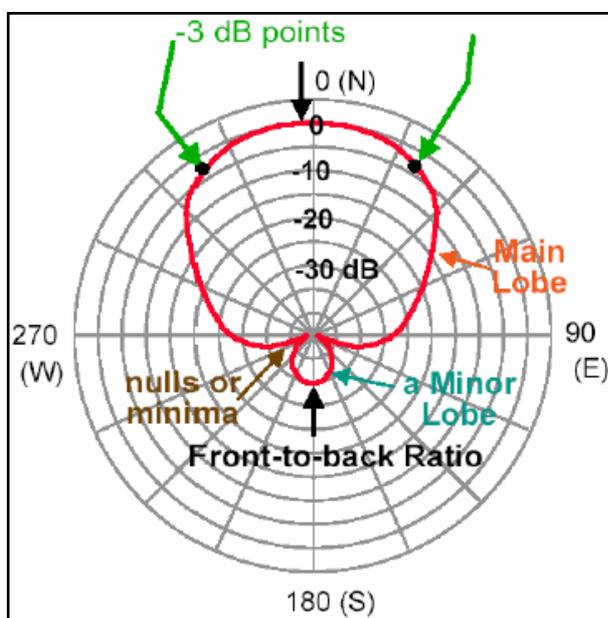


FIGURA No 2.8: Puntos de media potencia y relación frente atrás

### Polarización y arreglos de antenas

La polarización describe la orientación del vector campo eléctrico. La corriente de RF en un conductor causa campos EM que buscan inducir un flujo de corriente en la misma dirección de otros conductores, para interceptar energía significativa una antena de recepción debe ser orientada paralelamente a la de TX. En

ambientes urbanos la polarización no es crítica pues se despolariza, la polarización vertical es la mayormente usada. Hay 2 tipos de arreglos de antenas, los verticales colineales que son esencialmente omnidireccionales en plano vertical y tiene una ganancia igual al número de elementos que tengan, los nulls existen en el patrón vertical. Al cambio que los arreglos en plano horizontal son direccional en plano horizontal con sectorización como son las antenas Yagi con conexión a un elemento y el resto son parásitos o las antenas Log periódica donde todos los elementos son alimentados.

Hay 2 tipos de antenas, las omnidireccionales y las sectorizadas, en la familia de antenas omni, el número de elementos determina el tamaño de la misma y por lo tanto la ganancia, el ancho de banda, ángulo del primer null. Estos modelos de antenas con algunos elementos tienen muy poca apertura angular, requieren un montaje estable y alineación cuidadosa sobre los nulls para que no caigan en áreas cobertura importantes. Al cambio que las antenas sectorizadas son combinaciones de dipolos, yagis o elementos de log periódico con reflectores. El plano vertical depende del número de elementos separados verticalmente y en el plano horizontal depende de elementos espaciados horizontalmente y la forma de reflectores por eso es que se deben tener en cuenta recomendaciones generales antes de escoger las antenas, éstas son: Observar el patrón en todas las bandas, buscar los de menores problemas con lóbulos posteriores, cuidado con los nulls en áreas pobladas, escoger la apertura horizontal y vertical requerida de acuerdo a los objetivos de cobertura, tener en cuenta

las dimensiones de la antena, preferiblemente antenas de tilt eléctrico variable y por último utilizar ganancia requerida de acuerdo a presupuesto de enlace.

### Antenas como parte de la estación base en una red GSM

En la estación base además de las antenas se encuentran otros dispositivos como línea de TX, amplificadores de bajo ruido, cables, conectores de cables, acopladores, filtro pasa banda, duplexores y combinadores.

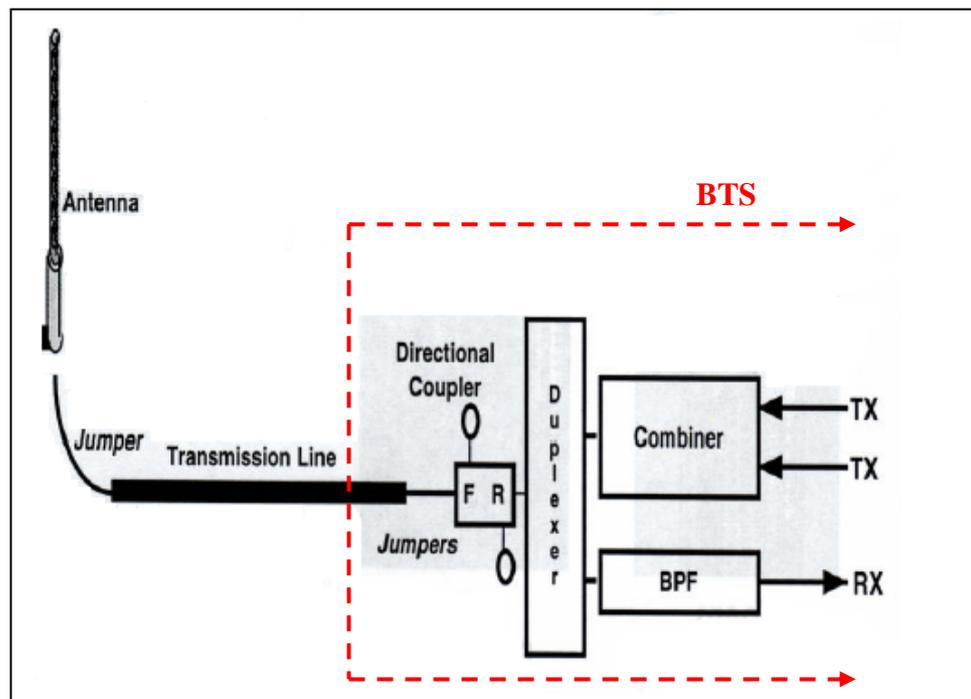


FIGURA No 2.9: Sistema de antena en una estación base GSM

Los combinadores permiten que múltiples TX alimenten a una sola antena, ofreciendo una pérdida de potencia mínima desde el TX a la antena y máximo

aislamiento entre TXS, hay 2 tipos de combinadores, los sintonizados e híbridos. Los sintonizados tienen entre 1-3 dB de pérdidas y requieren frecuencias separadas significativamente en tanto que los híbridos tienen una pérdida de 3 dB por etapa, no hay restricción en frecuencias de TX. Por otro lado los duplexores permiten que las rutas de los TX y RX compartan la misma antena, están compuestos de filtros de pasa banda individuales para aislar TX de RX mientras permite el acceso de ambos a la antena. El diseño de filtros determina el aislamiento real entre TX y RX, y la pérdida de la inserción TX y RX a la antena. Con respecto a los cables las pérdidas de estos no son importantes si están en zonas urbanas debido a que la antena está a una altura baja y se usa poca potencia al cambio que en zonas rurales las antenas están a alturas elevadas transmitiendo a máxima potencia habiendo más pérdidas por cantidad de cable, el valor típico es de 0.0706 dB/m.



**FIGURA No 2.10: Tipos y ubicación de de antenas.**

### 2.2.4 Subsistema de conmutación de red, NSS

El subsistema de comunicación de red, NSS, incluye las principales funciones de conmutación en la red GSM, así como las bases de datos necesarias para los datos de los abonados y para la gestión de la movilidad. La función principal del NSS es gestionar las comunicaciones entre los usuarios GSM y los usuarios de otras redes de telecomunicaciones. Este subsistema está constituido por el centro de conmutación móvil, MSC, el registro de abonados locales, HLR, el registro de abonados visitantes, VLR, el centro de autenticación de la red GSM, AUC, el registro de identificación de equipos, EIR y por último la puerta de enlace del centro de conmutación móvil, GMSC.

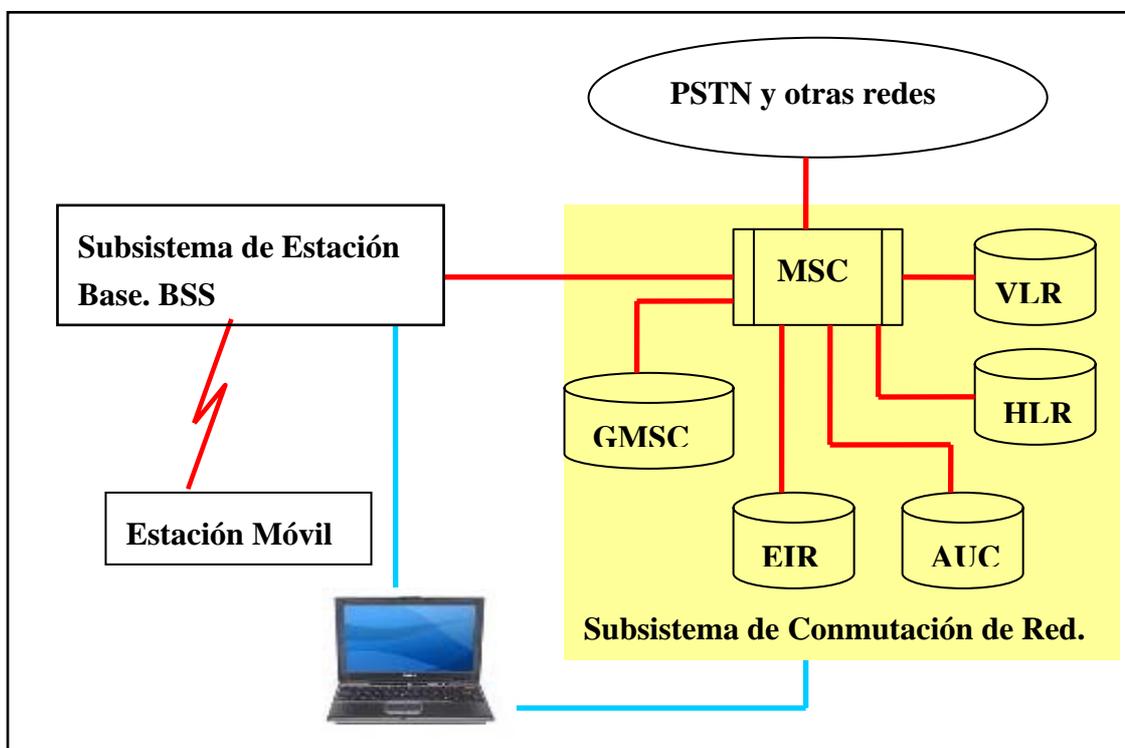


FIGURA No 2.11: Subsistema de conmutación de red GSM

### **Centro de conmutación móvil, MSC**

Es el componente central del NSS y se encarga de realizar las labores de conmutación dentro de la red, así como de proporcionar conexión con otras redes, la función principal es coordinar el establecimiento de llamadas hacia y desde los usuarios GSM, además proporciona las funciones adicionales necesarias para sustentar la movilidad y organizar la asignación de los recursos radioeléctricos. El MSC tiene la interfaz A con el BSS por un lado a través del cual está en contacto con los usuarios GSM y con redes externas por el otro. El NSS también necesita conectarse a las redes externas para hacer uso de su capacidad de transportar datos o señalización entre entidades GSM. En particular el NSS hace uso de un tipo de señalización parcialmente externo a GSM, que sigue el sistema de señalización del CCITT n° 7 que usualmente se conoce como la red SS7; esta red de señalización habilita el trabajo interactivo entre máquinas del NSS dentro de una o varias redes GSM. Como parte del equipo, un MSC controla unos cuantos BSC y es normalmente bastante grande incluyendo cerca de media docena de armarios de conmutación. Entre las funciones principales de la MSC se destaca las siguientes:

- Procedimientos para la localización y registro de abonados y su actualización.
- Gestión de llamadas y aviso a las estaciones móviles entrantes.
- Procedimientos para el traspaso de las llamadas.
- Establecimiento de circuitos con conexión entre la estación móvil y la

red pública PSTN u otras redes.

- Gestión de los protocolos de señalización con el BSC e intercambio de información de señalización con el protocolo MAP del SS7.
- Funciones de pasarela con el GMSC, para el interfuncionamiento con la red PSTN. Esta función la pueden incorporar todos los MSC.
- Tratamiento de las funciones de interfuncionamiento.
- Recopilación de datos de tráfico y la facturación de las llamadas.

### **Registro de abonados locales, HLR**

El HLR es una base de datos que contiene información sobre todos los usuarios del operador celular conectados a un determinado MSC. Entre la información que almacena el HLR tenemos fundamentalmente la localización del usuario y los servicios a los que tiene acceso. El HLR funciona en unión con el VLR que vemos a continuación. El HLR incluye la base de datos con la información del abonado relativa al suministro de los servicios de telecomunicación independientemente de la posición actual del abonado. Como una máquina física, un HLR es típicamente una computadora independiente, sin capacidades de conmutación, y capaz de manejar a 500 mil abonados aproximadamente. En GSM se ha establecido que todas las llamadas entrantes converjan en el HLR, de este modo se simplifica el acceso, desde el HLR y según la información contenida en el mismo se encamina la llamada hacia el MSC donde está registrada la estación móvil.

### **Registro de abonados visitantes, VLR**

Este registro de abonados es una base de datos que contiene toda la información necesaria sobre un usuario visitante para que dicho usuario acceda a los servicios de red, esta encargado del almacenamiento temporal y de forma dinámica de los datos para aquellos abonados situados en el área de servicio del correspondiente MSC, así como de mantener los datos de su posición de una forma más precisa que el MSC. Cuando un terminal móvil entra en una zona de MSC, este centro notifica esa situación a su VLR asociado, la estación móvil ejecuta un proceso de inscripción o registro y recibe una dirección de visitante que se traduce en un número de ruta llamado MSRN que sirve para encaminar las llamadas destinadas a esa estación móvil. El sistema GSM funciona según el principio de que todo abonado es itinerante es un área de central por lo que estará inscrito en cada momento en algún VLR, el número típico de abonados que puede gestionar es de unos 150 mil, el VLR puede realizarse como una unidad independiente pero prácticamente todos los fabricantes de equipos de conmutación construyen el VLR asociado al MSC y esta proximidad física acelera el intercambio de información necesaria durante las operaciones de registro de abonados y de establecimiento de las llamadas.

### **Centro de autenticación, AUC**

El AUC es una base de datos donde se guardan las identidades de todos los abonados IMSI, identidad permanente del abonado, junto con la clave secreta de

identificación de cada usuario, el cual tiene almacenada en la tarjeta SIM del teléfono móvil, además proporciona todos los parámetros necesarios para la autenticación de usuarios dentro de la red GSM; también se encarga de soportar funciones de encriptación. El AUC es una subdivisión funcional del HLR cuya función se limita a la gestión de la seguridad de los datos de los abonados y proporciona la información necesaria para la validación de los usuarios por parte de la red, para ello tiene almacenado dos algoritmos denominados A3 y A8, el primero se lo utiliza para la autenticación y el A8 para la generación de la clave de cifrado de la información.

### **Registro de identificación de equipos móviles, EIR**

También se utiliza para proporcionar seguridad en las redes GSM pero a nivel de equipos válidos. La EIR contiene una base de datos con todos los terminales que son válidos para ser usados en la red. Esta base de datos contiene la identidad del equipo móvil internacional IMEI, que identifican los equipos por sus códigos de fabricación y homologación de cada terminal de manera que si un determinado móvil trata de hacer uso de la red y su IMEI no se encuentra localizado en la base de datos del EIR no puede hacer uso de la red. En el EIR hay tres listas de terminales móviles, la lista blanca donde figuran las identidades de los terminales autorizados para el acceso, la lista negra que contiene las identidades de equipos que tienen prohibido el acceso ya sea porque se los ha denunciado como robados, y por último, la lista gris donde están las identidades de terminales en observación, por ejemplo porque se ha

detectado en ellos algún tipo de fallo.

### **Puerta de enlace del centro de conmutación móvil, GMSC**

Es un dispositivo traductor que puede ser software o hardware que se encarga de interconectar dos redes haciendo que los protocolos de comunicaciones que existen en ambas redes se entiendan. La misión del GMSC es esta misma, servir de mediador entre las redes de telefonía fijas y la red GSM. Para establecer una llamada hacia un usuario GSM, la llamada es primero encaminada a un conmutador-gateway llamado GMSC, sin ningún conocimiento de dónde está el abonado. Los GMSC están encargados de buscar la información sobre la posición y encaminar la llamada hacia el MSC a través del cual el usuario obtiene servicio en ese instante. Cuando a la red GSM llega una llamada ya desde el exterior o generada en la propia red hacia un móvil cuya localización no se conoce, dicha llamada se encamina hacia un GMSC que será encargado de interrogar al HLR para obtener de él la información de encaminamiento necesaria y luego enviar la llamada hacia el MSC correcto.

### **Centro de operación y mantenimiento, OMC**

Se lo considera dentro de un subsistema de soporte y Operación, OSS, y se conectan a diferentes NSS y BSC para realizar funciones de control y monitoreo de carácter técnico y administrativo de toda la red GSM que son necesarias debido a

variaciones en las condiciones externas. La tendencia actual en estos sistemas es que, dado que el número de BSS se está incrementando se pretende delegar funciones que actualmente se encarga de hacerlas el subsistema OSS en las BTS de modo que se reduzcan los costos de mantenimiento del sistema. Como se mencionó anteriormente, el OSS tiene varias tareas que realizar. Todas estas tareas requieren interacciones entre algunas o todas máquinas de la infraestructura que se encuentra en el BSS ó en el NSS y los miembros de los equipos de servicio de las distintas compañías comerciales.

#### **2.2.5 Sistema de red GPRS**

Es considerada la generación 2.5, entre la segunda generación, GSM y la tercera, UMTS. Proporciona altas velocidades de transferencia de datos especialmente útil para conectar a Internet y demás funciones multimedia que se utiliza en las redes GSM. GPRS es sólo una modificación de la forma de transmitir datos en una red GSM, pasando de la conmutación de circuitos en GSM donde el circuito está permanentemente reservado mientras dure la comunicación aunque no se envíe información en un momento dado, a la conmutación de paquetes. Desde el punto de vista del operador de telefonía móvil es una forma sencilla de migrar la red desde GSM a una red UMTS puesto que las antenas que son la parte más cara de una red de telecomunicaciones móviles, sufren sólo ligeros cambios y los elementos nuevos de red necesarios para GPRS serán compartidos en el futuro con la red

UMTS. La red GSM prevé unos servicios de transmisión de datos desde la fase inicial, fase 1. Sin embargo, se trata de servicios con modalidad de transferencia por conmutación del circuito, es decir, donde la red, una vez establecida la conexión física de cabo a rabo entre dos usuarios, dedica los recursos propios hasta que no es solicitado expresamente el establecimiento de la conexión, independientemente del hecho de que los dos usuarios se intercambien datos durante todo el tiempo de conexión. Esta modalidad de transferencia es óptima sólo en el caso en que los dos usuarios tengan que intercambiarse una cantidad significativa de datos, resulta ineficiente en cuanto los datos a intercambiarse son de pequeña entidad o bien, en el caso más frecuente, el tráfico de datos es de tipo interactivo o transitorio, es decir, el tiempo de uso efectivo de los recursos de la red supone sólo una parte con respecto al tiempo total de conexión como, por ejemplo, la navegación en Internet, es decir, se crea el mismo problema para el GSM que para la PSTN hace unos años: prever una modalidad de transferencia por paquetes de datos, en la que los datos de los usuarios, contenidos en entidades de protocolo autosuficientes con indicación del remitente y del destinatario, pueden ser transportados por la propia red sin necesidad de una estrecha asociación con un circuito físico. Ya se ha dado un paso intermedio en esa dirección con el GSM de fase 2, previendo servicios con acceso a las puertas pertinentes de la red pública de datos, sin embargo, siempre es necesario establecer una conexión física en la red de radio, incluso cuando se accede a un canal virtual de la red de paquetes. El resultado de ello es que el recurso de radio es igualmente infrautilizado y el usuario ocupa un canal de tráfico para conectarse a otra red en la

cual, sin embargo, la información no viaja a un rendimiento fijo y el transporte relativo se suele pagar en base al volumen de datos transportados). Con el sistema GPRS introducido por el ETSI para la fase 2+ del sistema GSM, el acceso a la red de paquetes se lleva al nivel del usuario del móvil a través de protocolos como los TCP/IP, X.25, y CLNP, sin ninguna otra necesidad de utilizar conexiones intermedias por conmutación del circuito. Al contrario que el servicio de transferencia de datos con modalidad de conmutación de circuito, en el que cada conexión establecida se dedica sólo al usuario que la ha solicitado, el servicio GPRS permite la transmisión de paquetes en modalidad link by link, es decir, los paquetes de información se encaminan en fases separadas a través de los diversos nodos de soporte del servicio denominados GSN, GPRS Support Node. Por ejemplo, una vez que un paquete ha sido transmitido por el interfaz de radio Um, se vuelven a liberar los recursos Um, que así pueden ser utilizados por algún otro usuario y el paquete se vuelve a enviar sucesivamente de nodo a nodo hacia su destino. Un GSN es un nodo de soporte de la red que apoya el uso de GPRS en la red GSM, estos GSN deben tener una interfase Gn y debe apoyar la señalización y tráfico de datos de a través de la red GPRS. Hay dos variantes importantes del GSN; la puerta de enlace del nodo de soporte de la red, GGSN, y el servicio del nodo de soporte de red, SGSN.

El GGSN es el nodo que lleva a cabo el papel en GPRS equivalente al agente local en la movilidad IP. Es un router el cual encamina los datos del y realiza una sintonización en GPRS y manda datos normales de los usuarios en paquetes de IP. El

SGSN es el nodo que en algún sentido lleva a cabo la misma función como el agente extranjero en la movilidad IP. Sin embargo, un SGSN es realmente considerablemente más complejo desde que también realiza un papel completo de interoperabilidad con la red radio conectada. Esto significa que las funciones llevadas a cabo por el SGSN varían bastante considerablemente entre GSM y las redes de evolución y de tercera generación como el UMTS. El GGSN proporciona la conectividad a la red de internet IP y el SGSN, también es responsable de la asignación de direcciones IP y es el router predefinido para las estaciones conectadas. La función del SGSN es transportar información a 60 Kbps por suscriptor en una red GSM, 150 Kbps para EDGE y de 300 Kbps aproximadamente para redes UMTS.

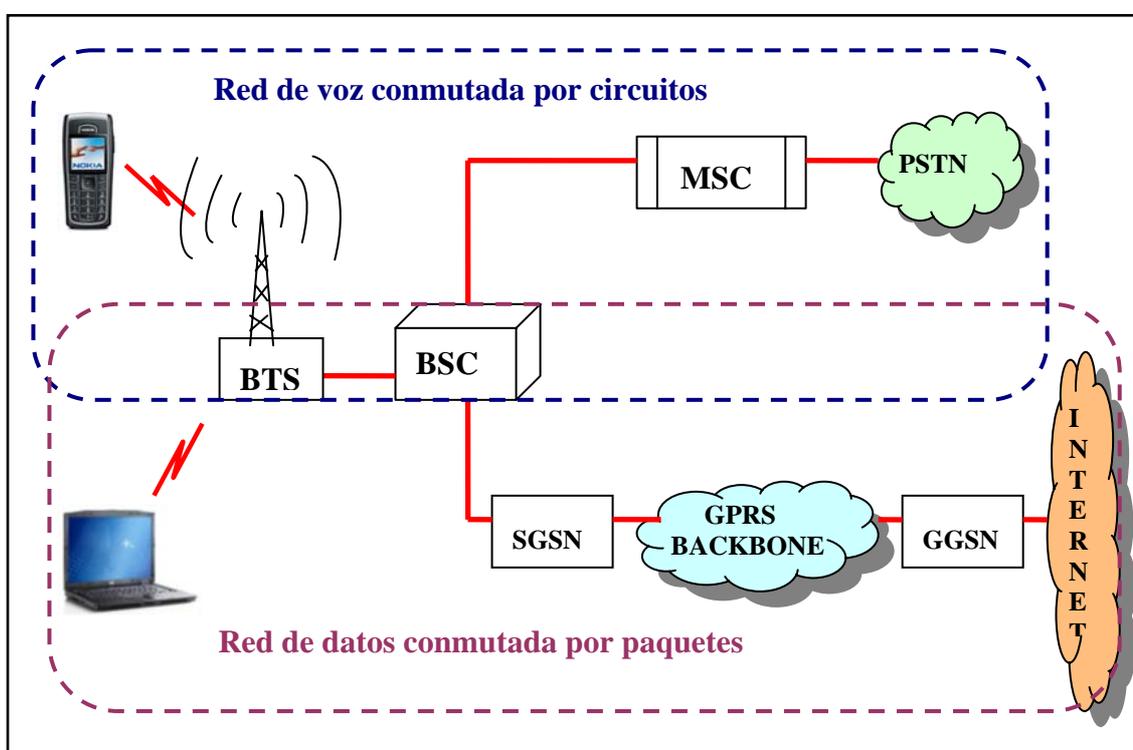


FIGURA No 2.12: Sistema GPRS en una red GSM

En los servicios GSM los recursos son gestionados según la modalidad resource reservation, o sea, se emplean hasta el mismo momento en que la petición de servicio no se ha llevado a término. En el GPRS, sin embargo, se adopta la técnica del context reservation, es decir, se tiende a preservar las informaciones necesarias para soportar ya sea las peticiones de servicio de forma activa o las que se encuentran momentáneamente en espera. Por tanto, los recursos de radio se ocupan, en efecto, sólo cuando hay necesidad de enviar o recibir datos. Los mismos recursos de radio de una celda se dividen así entre todas las estaciones móviles, aumentando notablemente la eficacia del sistema. El servicio GPRS, por tanto, está dirigido a aplicaciones que tienen las siguientes características:

- Transmisión poco frecuente de pequeñas o grandes cantidades de datos, por ejemplo, aplicaciones interactivas.
- Transmisión intermitente de tráfico de datos bursty, por ejemplo, aplicaciones en las que el tiempo medio entre dos transacciones consecutivas es de duración superior a la duración media de una única transacción.

Los servicios más conocidos y usados de GPRS son:

- Acceso a Internet
- Servicio de mensajes multimedia
- Diferentes aplicaciones de Internet para dispositivos inteligentes usando el protocolo WAP

- Servicio Push to talk
- Transmisión de mensajes cortos como información de servicios como por ejemplo de información de entretenimiento y demás que brindan el operador GSM.

Los datos conmutados por paquetes bajo GPRS son logrados asignando ancho de banda de la célula que no es usado para transmitir datos. La mayoría de canales son dedicados a voz y lo que queda disponible es para datos, a consecuencia de esto es que la velocidad de datos tiene una pobre tasa de bits en celdas ocupadas por voz. El límite teórico para datos conmutados por paquetes es de 171.2 kbps usando 8 ranuras de tiempo y para codificación CS-4. Una tasa de bit mas realista es entre 30 a 80 kbps, porque es posible usar un máximo de cuatro ranuras 4 hendeduras de tiempo para el downlink o enlace descendente. Un cambio a la parte de radio de GPRS se lo denomino EDGE o datos reforzados para la evolución de GSM y a veces se lo llama EGPRS que permite tasas de bit más altas de entre 160 y 380 kbps, y esta máxima tasa de datos solo son alcanzadas por la asignación de más de un time slot en el frame TDMA, aunque más alto sea la tasa de datos será más bajo la capacidad de corrección de errores. Generalmente, la velocidad de conexión cae logarítmicamente con la distancia de la estación base. Este no es un problema en áreas densamente pobladas con densidad alta de celdas, pero puede volverse un problema en áreas rurales.

La capacidad de servicios en una red GPRS se ha dividido por clases:

- Clase A: Puede conectar un servicio GPRS y un servicio GSM, usando los dos al mismo tiempo con los dispositivos móviles que se usan y están disponibles hoy en día.
- Clase B: Puede conectar un servicio GPRS y un servicio GSM pero usando solo uno o el otro en un momento dado. Durante el servicio GSM el servicio de GPRS se suspende, y se activa automáticamente después de que el servicio GSM ha concluido. La mayoría de los dispositivos móviles GPRS son Clase B.
- Clase C: Se conecta a un servicio GPRS o a un servicio GSM pero conmutarse del uno al otro de forma manual.

Un verdadero dispositivo clase A puede ser requerido para transmitir al mismo tiempo en dos frecuencias diferentes, y así necesitará dos radios. Para llegar a este requisito caro, un GPRS móvil puede implementar la transferencia de modo dual, DTM. Un móvil con capacidad DTM puede usar simultáneamente voz y paquete de datos con la red coordinada para asegurar que no se requiera transmitir al mismo tiempo en dos frecuencias diferentes. Se considera a estos móviles pseudo clase A. Se espera en el presente año 2007 que algunas redes soporten en la mayoría de sus móviles DTM. La función del número de times slots TDMA asignados, la cual puede ser menor de lo que la celda soporta o de la capacidad máximo del dispositivo móvil, se denomina como GPRS Clase Multislot que dependiendo de los times slots asignados la velocidad de transferencia de datos será mayor o menor.

En conclusión un sistema GPRS añadido como parte de un sistema GSM es imprescindible debido a que permite desdoblarse la transmisión de voz y datos en diferentes canales que transmiten de forma paralela, permitiendo mantener conversaciones sin cortar la transmisión de datos. Cuando se trata de datos se establece una comunicación permanente mientras el terminal está conectado, lo que permite la transmisión continua de la información a mayor velocidad. La información viaja por paquetes en lugar de circuitos conmutados como sucede en GSM, donde la voz se envía por un canal siempre abierto. En GPRS se puede elegir entre varios canales, de forma similar a como se realiza en Internet. El aumento de la velocidad se produce porque los datos se comprimen y se envían a intervalos regulares, llamado conmutación por paquetes, lo que aprovecha mejor la banda de frecuencia.

La mayor ventaja de GPRS no es la tecnología en sí misma sino los servicios que facilita. Los terminales de este nuevo sistema permiten personalizar funciones, desarrollar juegos interactivos, e incorporan aplicaciones para el intercambio de mensajes y correos electrónicos, a los cuales se podrá acceder directamente sin la necesidad de conectarse a Internet. Las pantallas, que serán de un tamaño mayor, serán táctiles, de alta resolución, con zoom e iconos que se activen de manera intuitiva pulsando sobre ellos con un puntero. Incorporan además una ranura para introducir la tarjeta de crédito con chip que facilitará las transacciones electrónicas más seguras. Con la tecnología GPRS se da un paso hacia la localización geográfica, en función de donde se encuentre el usuario, la operadora le puede ofrecer mayor

información de la zona. Los terminales serán de cinco tipos a corto plazo, en función del uso que le vaya a dar el usuario. Móviles similares a los actuales, con visor y resolución cada vez mayor, permitirán el uso de información escrita o gráfica de forma resumida. Terminales tipo agenda electrónica, con funciones mixtas de voz y datos, y pantallas de mayor tamaño y capacidad gráfica. Terminales tipo ordenador personal de mano (PDA) con pantalla plana de mayor formato y gran capacidad gráfica. Ordenadores portátiles que utilicen para la conexión inalámbrica un teléfono móvil GPRS.

### **2.3 Aspectos de enlace de radio de un sistema GSM**

Hasta ahora, se ha presentado como es la infraestructura de la red GSM, pero no hemos dicho nada sobre otro elemento que forma parte de la red y que no podemos olvidar, ya que resulta fundamental para el funcionamiento del sistema que son los radio enlaces y a través del interfaz de radio, se produce la unión entre los dispositivos móviles y las infraestructuras fijas que hay en las celdas.

En radio telefonía móvil los enlaces de radio son dúplex y en general emplean dos frecuencias portadoras distintas, una para el enlace móvil – base o enlace ascendente y otra para el enlace estación móvil – móvil o enlace descendente, esta pareja de frecuencias suele llamarse radiocanal. A esta modalidad de explotación se la denomina duplex por división de frecuencia, FDD. Los radiocanales se asignan a

partir de una banda de frecuencias, constituida por dos sub-bandas con una separación determinada en GSM de 45 Mhz. Los parámetros de la banda son los límites de las sub-bandas ( $f_1$  y  $f_2$ ) y ( $f_1'$  y  $f_2'$ ), ancho de banda  $BW$ , separación entre frecuencias homólogas  $B$  y el paso de canalización  $\Delta f$ .

Siendo el ancho de banda igual a 25 Mhz asignado en GSM en los 900 Mhz de operación y un ancho de banda por canal de 200 Khz, tenemos que el número de radio canales  $N$  de dos frecuencias disponibles es igual a:

$$N = BW / \Delta f \qquad N = 25 \text{ Mhz} / 200 \text{ Khz} \qquad \mathbf{N = 125}$$

Por lo general se deja un margen sin utilizar en los bordes de la banda para reducir interferencias con otros servicios radioeléctricos que operan en bandas adyacentes, con lo cual el número útil de radiocanales pasa a ser  $N - 1$  ó sea 124 radiocanales disponibles y estos se los numeran de forma correlativa y se los representa por un número entero  $n$ . Las frecuencias  $f$  de la mitad inferior de la banda son funciones de  $n$ :

$$f_n = f_1 + \Delta f \cdot n$$

Y sus homólogas de la mitad superior se obtienen sumando la separación  $B$ :

$$f_n' = f_1' + B$$

En GSM se han especificado dos bandas de frecuencia para poder ser usadas y con dos fines distintos:

- Banda inferior, opera en la banda de los 890 - 915 Mhz, que se utiliza para transmitir desde la estación móvil a la estación base, enlace ascendente o uplink.
- Banda superior, opera en la banda de los 935 - 960 Mhz, para transmitir en el sentido contrario, es decir, desde la estación base a la estación móvil, enlace descendente o downlink.

A esta banda se la denomina banda GSM primaria y hay que señalar que de estas dos bandas de frecuencias que tienen 25Mhz en cada banda de frecuencias, no se pueden usar todas, ya que algunas se encuentran no disponibles por motivos militares y por compatibilidad con algunos sistemas analógicos anteriores al GSM.

En general en enlace ascendente o uplink es la parte más débil del sistema debido a la limitación de potencia máxima que tienen los móviles, la mayoría de los terminales móviles existentes en el mercado son de clase 4 con 2 W de potencia máxima de transmisión frente a los de 100 a 1000 W de potencia máxima que podría transmitir una estación base, por esto es especialmente conveniente el haber reservado la parte más baja del espectro para el uplink dado que de esta forma se favorece al móvil con unas menores pérdidas de propagación. Para facilitar la compartición de

frecuencias con servicios de radiocomunicaciones que utilicen bandas de frecuencias adyacentes se han previsto dos bandas de guarda entre los extremos de las sub-bandas anteriores y estas son la primera y última portadora. Esto es, en la sub-banda inferior la primera y última portadora asignable son 890,2 Mhz y 914,8 Mhz respectivamente y esto resulta que existen 124 radiocanales disponibles con una anchura de banda de 200 Khz y no 125. Cada radiocanal se designa mediante un número entero denominado número absoluto de canal RF, ARFCN. La diferencia entre una frecuencia y su homóloga es igual a 45 Mhz para facilitar la generación de ambas en los transceptores, por consiguiente, la expresión de las frecuencias centrales de los radiocanales en función del ARFCN en la banda GSM 900 es:

$$F_i(n) = 890 + 0.2 \cdot n \quad 1 \leq n \leq 124$$

$$F_u(n) = F_i(n) + 45$$

En estas bandas de frecuencias están divididas en intervalos de frecuencia siguiendo la filosofía FDMA, y son utilizadas para mantener diferentes comunicaciones simultáneas; hay dos mecanismos fundamentalmente utilizados para poder proporcionar acceso múltiple a un medio limitado, como son las frecuencias. Estos dos mecanismos se denominan FDMA, Acceso Múltiple por división de Frecuencia, y TDMA, Acceso Múltiple por División de Tiempo. En el caso de FDMA a cada usuario se le asigna una frecuencia de manera que el máximo número de usuarios que pueden usar el sistema viene determinado por el máximo número de

frecuencias disponibles. Mediante TDMA lo que se hace es que diferentes usuarios pueden utilizar el mismo canal; para ello, a cada usuario se le asigna un determinado tiempo en el cual puede hacer uso del canal. Realmente, esto es un poco más complicado y se lo explicará detalladamente en el siguiente punto.

### **2.3.1 Esquema de acceso múltiple**

La interfaz de radio GSM utiliza un método de acceso múltiple que combina por un lado el acceso por división de frecuencia FDMA/FDD canalizando para ello la banda tal como se ha descrito anteriormente con el acceso por división de tiempo TDMA.

FDMA es la manera más común de acceso truncado. Con FDMA, se asigna a los usuarios un canal de un conjunto limitado de canales ordenados en el dominio de la frecuencia. Los canales de frecuencia son muy preciados, y son asignados a los sistemas por los cuerpos reguladores de los gobiernos de acuerdo con las necesidades comunes de la sociedad. Cuando hay más usuarios que el suministro de canales de frecuencia puede soportar, se bloquea el acceso de los usuarios al sistema. Cuantas más frecuencias se disponen, hay más usuarios, y esto significa que tiene que pasar más señalización a través del canal de control. Los sistemas muy grandes FDMA frecuentemente tienen más de un canal de control para manejar todas las tareas de control de acceso. Una característica importante de los sistemas FDMA es que una

vez que se asigna una frecuencia a un usuario, ésta es usada exclusivamente por ese usuario hasta que éste no necesite el recurso.

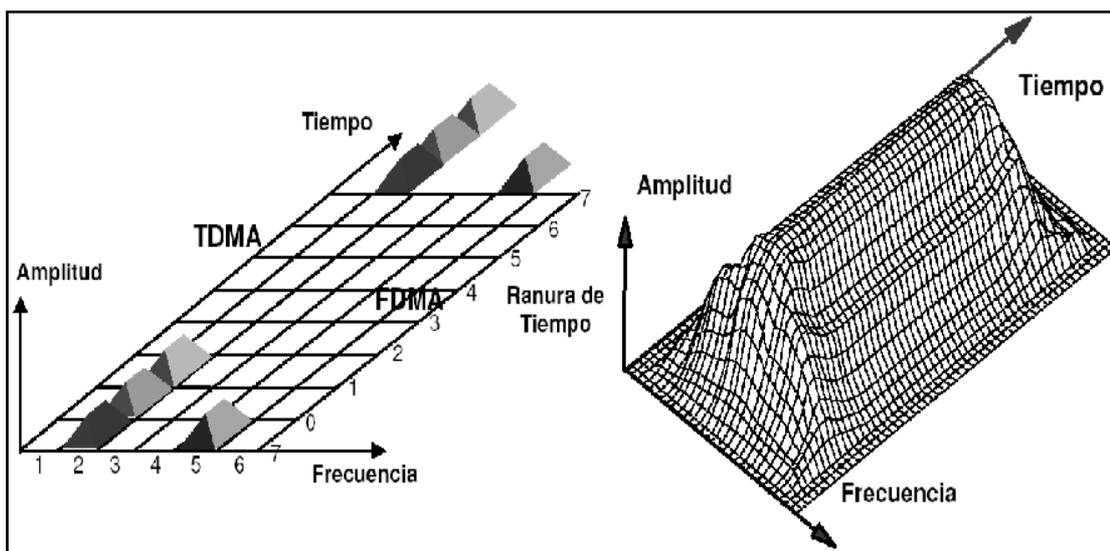


FIGURA No 2.13: Espectro de una señal GSM

TDMA, es común en los sistemas de telefonía fija y móvil. Los usuarios acceden a un canal de acuerdo con un esquema temporal e implica el uso de técnicas de compresión de voz digitales, que permite a múltiples usuarios compartir un canal común utilizando un orden temporal donde los usuarios pueden compartir el mismo canal durante los periodos en que éste no se utiliza. Los usuarios comparten un canal físico en un sistema TDMA, donde están asignados unos slots de tiempo. A todos los usuarios que comparten la misma frecuencia se les asigna un slot de tiempo, que se repite dentro de un grupo de slots que se llama trama.

TDMA se usa en los sistemas GSM sobre la estructura de FDMA, de la

manera siguiente, de los 25 Mhz de banda de frecuencias se divide en 124 radiocanales, los cuales se encuentran separadas unas de otras por una frecuencia de 200 KHz; cada radio canal se divide siguiendo el esquema de TDMA en 8 time slots de aproximadamente de 0,577 ms, que son asignados a un usuario en particular que tiene uso del canal mediante su slot cada  $8 \times 0.577$  ms equivalente a 4.615 ms, ya que en GSM tenemos 8 slots de tiempo que representan una trama temporal TDMA. Cada time slot tiene una duración de 156,25 períodos de bit, los time slots se numeran de 0 a 7 y las tramas TDMA se numeran mediante un número de trama cíclico y con un rango desde 0 a  $FN\_MAX = 26 \times 51 \times 2048 = 2'715.647$  tal y como se define en la recomendación GSM 05.10, y este número se incrementa al final de cada trama TDMA. Se han establecido las siguientes estructuras jerárquicas superiores a la trama:

- Multitrama, constituida por 26 o 51 tramas, 120 ms
- Supertrama, formada por 26 x 51 tramas igual a 1326, 6,12 ms
- Hipertrama que comprende 2048 supertramas

Cada hipertrama abarca un ciclo completo de tramas TDMA. Las estructuras de multitramas y supertramas se utilizan para la constitución de los diferentes canales físicos utilizados en GSM como se verá en el siguiente punto. En una BTS las tramas TDMA de todos los canales de radiofrecuencia en el downlink deben estar perfectamente alineadas igual que en el enlace uplink, por otra parte, en una BTS el comienzo de una trama en el uplink se retrasa 3 time slots respecto al principio de la

trama TDMA en el downlink, en el móvil este desplazamiento es variable para permitir así ajustarse al retardo debido a la propagación de la señal de tal forma que la transmisión del comienzo de la trama uplink llegue a la estación base exactamente 3 time slots después del comienzo de la trama. El retardar el uplink respecto al downlink responde a la conveniencia de utilizar simultáneamente el mismo número de time slots en el UL y DL evitando que el móvil tenga que transmitir y recibir a la vez, de este modo se evita tener que utilizar un duplexor en el móvil y por consiguiente aumento del tamaño, este periodo incluye el tiempo suficiente para que el móvil pueda realizar la alineación temporal adaptativa, la sintonización del transceptor y la conmutación entre recepción y transmisión.

### **2.3.2 Sincronización entre móvil y estación base**

Para que el sistema de acceso múltiple TDMA funcione correctamente es preciso establecer procedimientos de sincronización entre móviles y estaciones base, el hecho de que los terminales sean móviles añade una complicación ya que se desconoce de la ubicación relativa con respecto a la estación base aunque sea esta quien evalúa la distancia a que se encuentra el móvil y le indica al mismo el retardo con que debe transmitir para evitar que se produzcan solapamientos entre emisiones procedentes de diferentes móviles que son las colisiones debido al efecto cerca- lejos. Pueden distinguirse distintos aspectos en el proceso de sincronización:

### **1) Sincronización del reloj de la estación móvil con el de la estación base**

Todas las estaciones base de la red deben utilizar el mismo reloj de forma que un móvil enganchado a una estación base sea capaz de escuchar los mensajes necesarios de las estaciones circundantes que les permitirán efectuar una reelección de celda si esta desocupada o un traspaso a otra celda.

### **2) Alineación temporal del móvil con la estación base**

Una vez sincronizado el reloj del móvil con el de la estación base es necesario que el móvil conozca con total exactitud el momento en que se encuentre dentro de la estructura de time slot, trama, multitrama de canales de tráfico o de control y para esto la BTS le envía señales correctoras.

### **3) Compensación de la distancia entre el móvil y la estación base**

Como en el enlace ascendente el multiacceso es TDMA, para evitar colisiones entre las ráfagas de bits que llegan a la BTS procedentes de diferentes móviles es necesario que éstas hagan sus emisiones de forma sincronizada además dado que los móviles pueden estar a diferentes distancias de la BTS, los tiempos de propagación de las ráfagas son también distintos, una estación móvil alejada debe transmitir sus ráfagas un poco antes del instante teórico para compensar el mayor retardo de propagación. Esta antelación se denomina avance o alineación temporal. Durante las llamadas en BSC mide el tiempo de propagación desde la estación móvil y evalúa la alineación temporal

enviándolo a la estación móvil para que avance sus transmisiones subsiguientes.

### **2.3.3 Canales físicos y lógicos**

GSM usa FDD y una combinación de TDMA y FDMA para proporcionar a las estaciones base y a los usuarios un acceso múltiple. Las bandas de frecuencias superiores e inferiores se dividen en canales de 200 KHz llamado número absoluto de canal de radiofrecuencia. El ARFCN denota un par de canales uplink y downlink separados por 45 Mhz y cada canal es compartido en el tiempo por hasta 8 usuarios usando TDMA. Cada uno de los 8 usuarios usan el mismo ARFCN y ocupan un único slot de tiempo por trama. El número de total de canales disponibles dentro de los 25 Mhz de banda es de 124 y dado que cada canal de radio está formado por 8 slots de tiempo, hacen un total de 992 canales de tráfico en GSM. La combinación de un número de time slot y un ARFCN constituyen un canal físico tanto para el uplink como para el downlink. Cada canal físico en un sistema GSM se puede proyectar en diferentes canales lógicos en diferentes tiempos. Es decir, cada slot de tiempo específico o trama debe estar dedicado a manipular el tráfico de datos o a señalar datos. Las especificaciones GSM definen una gran variedad de canales lógicos que pueden ser usados para enlazar la capa física con la capa de datos dentro de las capas de la red GSM. Estos canales lógicos transmiten eficientemente los datos de usuario, a parte de proporcionar el control de la red en cada ARFCN. Los canales lógicos se

clasifican en canales comunes y canales dedicados.

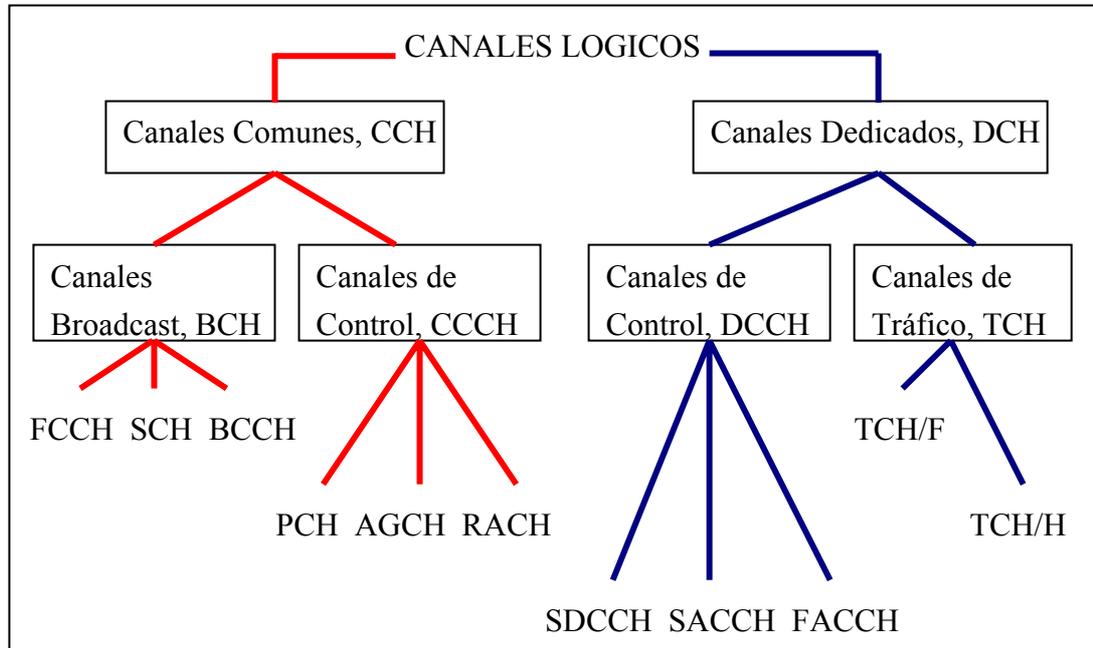


FIGURA No 2.14: Tipos de canales lógicos GSM

### Canales comunes, CCH

Los canales comunes son aquellos que transmiten información de señalización común a todos los móviles, son canales de tipo punto – multipunto. Se definen 2 categorías de canales comunes, los canales de difusión o broadcast, BCH y los canales comunes de control CCCH. Cada canal de control consiste en varios canales lógicos distribuidos en el tiempo para proporcionar las funciones de control necesarias en GSM. Los canales comunes BCCH, FCCH, SCH, PCH, AGCH son canales descendentes o downlink y el RACH es canal ascendente o uplink. Los canales comunes downlink BCH y CCCH se implementan sólo en ciertos canales ARFCN y

se localizan en slots de tiempo de una forma específica. Concretamente, estos canales se localizan solo en el time slot S 0 y se emiten sólo durante ciertas tramas dentro de una secuencia repetitiva de 51 tramas o llamada multitrama de control del canal sobre aquellos ARFCN que se diseñan como canales broadcast. Desde TS1 hasta TS7 se lleva canales de tráfico regulares. En GSM se definen 34 ARFCN como canales broadcast estándar. Para cada canal broadcast, la trama 51 no contiene ningún canal downlink BCH o CCCH y se considera como una trama idle. Sin embargo, el canal uplink CCH puede recibir transmisiones durante el TS 0 de cualquier trama. Por otra parte, los datos DCCH se pueden enviar durante cualquier slot de tiempo y en cualquier trama, y hay tramas completas dedicadas específicamente para algunas transmisiones DCCH.

### **Canales comunes broadcast, BCH**

El BCH opera en el downlink de un ARFCN específico dentro de cada celda, y transmite datos sólo en el primer slot TS 0 de algunas tramas GSM. Al contrario que los TCH que son dúplex, los BCH solo usan el downlink. El BCH sirve como un canal guía para cualquier móvil cercano que lo identifique y se enganche a él. El BCH proporciona sincronización para todos los móviles dentro de la celda y se monitoriza ocasionalmente por los móviles de celdas vecinas para recibir datos de potencia y poder realizar las decisiones de handover. Aunque los datos BCH se transmiten en TS0, los otros siete slots de una trama GSM del mismo ARFCN están disponibles

para datos TCH, DCCH ó están fijados por ráfagas vacías o dummy. Dentro de los canales BCH se definen tres tipos de canales separados que tienen acceso al TS0 durante varias tramas de la multitrama de control formada por 51 tramas. Vamos a describir los tres tipos de canales BCH.

**Canal de control de Broadcast.** El BCCH es un canal downlink unidireccional que se usa para enviar información específica de identificación de celda y de la red, así como características operativas de la celda como frecuencias usadas, celdas vecinas, secuencia del salto de frecuencia, estructura actual de canales de control, disponibilidad de canales, y congestión. El BCCH también envía una lista de canales que están en uso en una celda. Desde la trama 2 a la 5 de una multitrama de control están contenidos los datos BCCH. El time slot número 0 contiene datos BCCH durante tramas específicas, y contiene otro tipo de canales BCH, canales de control comunes CCCH o tramas idle, en otras tramas hasta completar las 51 tramas que forman la multitrama de control. El BCCH es siempre transmitido en máxima potencia, el salto de frecuencia y control de potencia nunca ocurre en este canal.

**Canal corrector de frecuencia.** El FCCH es una ráfaga de datos que ocupa el TS0 para la primera trama dentro de la multitrama de control, y que se repite cada diez tramas. El FCCH actúa como una bandera para los móviles porque permite a cada estación móvil adquirir una frecuencia y sincronizar su frecuencia interna de oscilación a la frecuencia exacta de la estación base.

**Canal de Sincronización.** El SCH se envía en el TS0 de la trama inmediatamente después del FCCH y se usa para identificar a la estación base servidora mientras que permite a cada móvil la sincronización de las tramas con la estación base. En el SCH se transmiten los parámetros a partir de los que se pueden calcularse los números BN, QN, TN, y FN que permiten identificar la posición dentro de la trama temporal y el BSIC, código de identificación de BTS asignado a esta celda. El número de trama FN, que oscila entre 0 hasta  $2^{21} \cdot 15.647$ , se envía con el BSIC durante la ráfaga SCH. El BSIC es asignado individualmente a cada BTS en un sistema GSM. Dado que un móvil puede estar hasta a 30 km de la BTS, es necesario frecuentemente ajustar la temporización de un usuario móvil particular de forma que la señal recibida en la estación base se sincroniza con el reloj de la estación base.

### **Canales comunes de control, CCCH**

En aquellos ARFCN reservados para BCH, los canales de control comunes ocupan el TS0 de cada trama que no esté ocupada por los BCH o por tramas idle. Un CCCH puede estar formado por tres tipos diferentes de canales: el canal de búsqueda PCH downlink, el canal de acceso aleatorio RACH uplink, y el canal de acceso concedido AGCH downlink. Los CCCH son para establecer conexión punto a punto y son los más comunes dentro de los canales de control y se usan para buscar a los abonados, asignar canales de señalización a los usuarios, y recibir contestaciones de los móviles para el servicio.

**Canal de búsqueda o paging.** El PCH es un canal de tipo downlink que proporciona señales de búsqueda a todos los móviles de una celda, y avisa a los móviles si se ha producido alguna llamada procedente de la PTSN. El PCH transmite el IMSI, Identificación de Abonado Móvil Internacional, del abonado destino, junto con la petición de reconocimiento de la unidad móvil a través de un RACH y también localiza móviles que tienen llamadas entrantes. Alternativamente, el PCH se puede usar para proporcionar envíos de mensajes tipo ASCII en las celdas, como parte del servicio SMS de GSM.

**Canal de acceso aleatorio.** El RACH es un canal uplink usado por el móvil para confirmar una búsqueda procedente de un PCH, y también se usa para originar una llamada. El RACH usa un esquema de acceso slotted ALOHA. Todos los móviles deben de pedir acceso o responder ante una petición por parte de un PCH dentro del TS0 de una trama GSM. En el BTS, cada trama incluso la trama idle aceptará transmisiones RACH de los móviles durante TS0. Para establecer el servicio, la estación base debe responder a la transmisión RACH dándole un canal de tráfico y asignando un canal de control dedicado SDCCH para la señalización durante la llamada. Esta conexión se confirma por la estación base a través de un AGCH.

**Canal de Acceso Concedido.** El AGCH se usa por la estación base para proporcionar un enlace de comunicaciones con el móvil, y lleva datos que ordenan al móvil operar en un canal físico en particular en un determinado time slot y en un

ARFCN con un canal de control dedicado. El ACCH es el último mensaje de control enviado por la estación base antes de que el abonado es eliminado del control del canal de control. El ACCH se usa por la estación base para responder a un RACH enviado por una estación móvil en la trama CCCH previa.

### **Canales dedicados, DCH**

Los canales dedicados son de tipo punto – punto, es decir transmiten información de una manera bidireccional y dedicada correspondiente a una conexión establecida entre una estación móvil concreto y la red, estos canales se clasifican en función del tipo de información que se trasmite que puede ser voz o datos y señalización asociada a la conexión. Los canales dedicados que manejan la señalización son llamados canales de control y los que manejan voz o datos se denominan canales de tráfico.

### **Canales dedicados de control, DCCH**

Hay tres tipos de canales de control dedicados en GSM, y, como los canales de tráfico, son bidireccionales y tienen el mismo formato y función en el uplink y en el downlink. Como los TCH, los DCCH pueden existir en cualquier slot de cualquier ARFCN excepto en el TS0 de los ARFCN de los BCH. Los Canales de Control Dedicados SDCCH se usan para proporcionar servicios de señalización requeridos

por los usuarios. Los Canales de Control Asociados Lentos y Rápidos SACCH y FACCH se usan para supervisar las transmisiones de datos entre la estación móvil y la estación base durante una llamada.

**Canales de Control Dedicados Stand Alone.** El SDCCH lleva datos de señalización siguiendo la conexión del móvil con la estación base, y justo antes de la conexión lo crea la estación base. El SDCCH se asegura que la estación móvil MS y la estación base permanecen conectados mientras que la estación base y el MSC verifica la unidad de abonado y localiza los recursos para el móvil. El SDCCH se puede pensar como un canal intermedio y temporal que acepta una nueva llamada procedente de un BCH y mantiene el tráfico mientras que está esperando que la estación base asigne un TCH. El SDCCH se usa para enviar mensajes de autenticación y de alerta pero no de voz. A los SDCCH se les puede asignar su propio canal físico o pueden ocupar el TS0 del BCH si la demanda de BCH o CCCH es baja.

**Canal de Control Asociado Lento.** El SACCH está siempre asociado a un canal de tráfico o a un SDCCH y se asigna dentro del mismo canal físico. Por tanto, cada ARFCN sistemáticamente lleva datos SACCH para todos sus usuarios actuales. El SACCH lleva información general entre la MS y el BTS. En el downlink, el SACCH se usa para enviar información lenta pero regular sobre los cambios de control al móvil, tales como instrucciones sobre la potencia a transmitir e instrucciones específicas de temporización para cada usuario del ARFCN. En el

uplink, lleva información acerca de la potencia de la señal recibida y de la calidad del TCH, así como las medidas BCH de las celdas vecinas. El SACCH se transmite durante la decimotercera trama y la vigesimosexta si se usa velocidad media de cada multitrama de control y dentro de esta trama, los 8 slots se usan para proporcionar datos SACCH a cada uno de los 8 usuarios del ARFCN.

**Canal de Control Asociado Rápidos.** El FACCH lleva mensajes urgentes, y contienen esencialmente el mismo tipo de información que los SDCCH. Un FACCH se asigna cuando un SDCCH no se ha dedicado para un usuario particular y hay un mensaje urgente como una respuesta de handover. El FACCH gana tiempo de acceso a un slot robando tramas del canal de tráfico al que está asignado. Esto se hace activando dos bits especiales, llamados bits de robo o stealing bits, de una ráfaga TCH. Si se activan los stealing bits, el slot sabe que contiene datos FACCH y no un canal de tráfico, para esa trama.

### **Canales de tráfico, TCH**

Los TCH llevan voz codificada digitalmente o datos y tienen funciones idénticas y formatos tanto para el downlink como para el uplink, pueden ocupar cualquier time slot salvo el time slot cero de la portadora BCCH que es para señalización. Los canales de tráfico en GSM pueden ser de velocidad completa o full rate o de velocidad media o half rate, y pueden llevar voz digitalizada o datos de

usuario. Cuando transmitimos a velocidad completa, los datos están contenidos en un time slot por trama. Cuando transmitimos a velocidad media, los datos de usuario se transportan en el mismo slot de tiempo, pero se envían en tramas alternativas. En GSM, los datos TCH no se pueden enviar en el time slot 0 sobre ciertos ARFCN ya que este está reservado para los canales de control en la mayoría de las tramas. Además, cada trece tramas TCH se envía un canal de control asociado lento SACCH o tramas idle. A cada grupo de 26 tramas consecutivas TDMA se le llama multitrama. De cada 26 tramas, la decimotercera y la vigesimosexta se corresponden con datos SACCH, o tramas idle. La trama número 26 contiene bits idle para el caso cuando se usan TCH a velocidad completa, y contiene datos SACCH cuando se usa TCH a velocidad media. Los TCH se usan para llevar voz codificada o datos de usuario. Para transportar voz codificada se van a utilizar dos tipos de canales:

- **Canal de tráfico a velocidad completa para voz, TCH/F.** Este canal transporta voz digitalizada a 13 kbps y después de la codificación del canal la velocidad es de 22.8 kbps.
- **Canal de tráfico a velocidad media para voz, TCH/H.** Ha sido diseñado para llevar voz digitalizada que ha sido muestreada a la mitad que la de un canal a velocidad completa. En este aspecto GSM se ha anticipado a la disponibilidad de codificadores normalizados de voz a velocidades de unos 6.5 kbps. Después de la codificación del canal, la velocidad es de 11.4 kbps.

Para llevar datos de usuario se definen los siguientes tipos de canales de tráfico:

- **Canal de tráfico a velocidad completa para datos a 9.6 kbps, TCH/F9.6.** Lleva datos de usuario enviados a 9600 bps. Con la codificación de corrección de errores aplicada según el estándar GSM, los datos se envían a 22.8 bps.
- **Canal de tráfico a velocidad completa para datos a 4.8 kbps, TCH/F4.8.** Lleva datos de usuario enviados a 4800 bps. Con la codificación de corrección de errores aplicada según el estándar GSM, los datos se envían a 22.8 bps.
- **Canal de tráfico a velocidad completa para datos a 2.4 kbps, TCH/F2.4.** Lleva datos de usuario enviados a 2400 bps. Con la codificación de corrección de errores aplicada según el estándar GSM, los datos se envían a 22.8 bps.
- **Canal de tráfico a velocidad media para datos a 4.8 kbps, TCH/H4.8.** Lleva datos de usuario enviados a 4800 bps. Con la codificación de corrección de errores aplicada según el estándar GSM, los datos se envían a 11.4 bps.
- **Canal de tráfico a velocidad media para datos a 2.4 kbps, TCH/H2.4.** Lleva datos de usuario enviados a 2400 bps. Con la codificación de corrección de errores aplicada según el estándar GSM, los datos se envían a 11.4 bps.

### 2.3.4 Codificación de voz

Una vez descrito los canales a través del que va a transmitirse la señal GSM así como el tipo de acceso a emplearse, se va a indicar cual es el proceso al que se ve sometida la señal vocal desde su digitalización hasta la generación del tren de bits entregados finalmente al modulador. El estándar GSM contempla dos posibilidades de codificación para la transmisión de voz, de velocidad total o Full rate donde la voz es codificada a una tasa binaria de 13 Kbps y la de velocidad media donde la voz es codificada a una tasa de 6,5 Kbps. El segundo caso permite duplicar la capacidad del sistema a costa de una degradación de la calidad subjetiva de la voz recontraída, y existe una tercera posibilidad de codificación que supone una mejora de Full rate llamada velocidad total mejorada o enhanced full rate, EFR, El sistema más comúnmente utilizado en la actualidad es el Full rate.

El objetivo de la codificación de fuente es eliminar la redundancia inherente a la información vocal y minimizar de esta forma la cantidad de información a transmitir, para ello en el sistema GSM se ha optado por utilizar un codificador predictivo lineal excitado por pulsos regulares con un predictor a largo plazo llamado RELP – LPT. En el terminal móvil la voz se recoge a través de un micrófono, se pasa por un filtro pasa bajo o anti – aliasing, se muestrea a 8000 HZ con 13 bits por muestra y cuantificación uniforme. La tasa binaria resultante es de 104 Kbps. El codificador RELP – LPT reduce esta tasa binaria inicial de 104 Kbps a los 13 Kbps

que posteriormente se entregan al codificador del canal con factor de compresión 8. En el receptor el proceso es el inverso, en la estación base tras la decodificación vocal se procede a la transformación a 8 bits, ley A, y en el móvil tras esa decodificación se efectúa la conversión digital analógica, se realiza el filtrado para la reconstrucción y se aplica esta señal al altavoz. El codificador funciona sobre la base del análisis de la voz extrayendo los parámetros fundamentales que se transmiten de forma codificada como sigue en las siguientes etapas.

### **Análisis a corto plazo**

La señal vocal puede simularse mediante un filtro que representa el comportamiento del tracto vocal aplicando a su entrada una mezcla de onda global y ruido sordo, los coeficientes de este filtro pueden calcularse a partir de muestras de la señal vocal, de forma que el filtro modela la envolvente espectral a corto plazo de la señal de voz. La etapa de análisis a corto plazo del codificador obtiene esa señal global y de ruido a partir de la señal vocal que es la señal residual a corto plazo. Esta etapa consiste en la determinación de los coeficientes que configuran el filtro de análisis y síntesis a corto plazo, así como la señal denominada residual a corto plazo que consiste simplemente en la señal resultante de pasar la señal vocal por el filtro predictivo lineal LPC, este filtro intenta simular el comportamiento de tracto vocal representándolo como una serie de elementos caracterizados por un conjunto de coeficientes de reflexión pero lo que se calcula y se transmite no son estos coeficientes sino los denominados coeficientes Log – área LAR que se obtienen a

partir de ellos y se cuantifican para su transmisión. La entrada al codificador son bloques de 160 muestras de voz de 20 ms de duración, estos 20 ms corresponden a un período global para las voces muy graves y a 10 períodos para voces agudas, cada una de estas muestras tiene 13 bits en complemento a dos con signo y cuantificación uniforme. Antes de pasar a hacer el análisis a corto plazo se pasan estas 160 muestras por un bloque de preproceso que eliminan el offset de la señal y que hace el filtrado de preénfasis, el análisis para determinar los coeficientes del filtro LPC consiste en el cálculo de 9 coeficientes de autocorrelación a partir de la secuencia de 160 muestras de la señal vocal, a partir de estos coeficientes se determinan 8 coeficientes de reflexión que son números reales entre -1 y +1. Para conseguir mejores propiedades de cuantificación se compandan logarítmicamente y se obtienen los coeficientes LAR(n) que tienen márgenes dinámicos diferentes y funciones de densidad de probabilidad distintas por lo que se cuantifican de diferente forma de modo que finalmente LAR0 y LAR1 pueden tomarse como enteros con signo de 6 bits, LAR2 y LAR3 sólo necesitan 5 bits, LAR 4 y LAR 5 sólo 4 bits y LAR6 y LAR7 3 bits, todos ellos constituyen los primeros 36 bits representativos de la señal de voz, el filtro así obtenido se utiliza para filtrar las 160 muestras iniciales obteniéndose así 160 muestras denominada señal residual a corto plazo.

### **Análisis a largo plazo**

La señal de voz se caracteriza por tener un alto grado de redundancia. Esta redundancia puede eliminarse en gran parte a través de un análisis a largo plazo de la

señal que permita identificar bloques previos de señal de gran semejanza con el bloque actual y eliminar esta parte común de forma que lo que realmente se transmita sea precisamente el residuo a largo plazo de la señal vocal, ésta es la excitación residual por pulsos. Esta etapa calcula un filtro predictor a largo plazo que permite minimizar la redundancia inherente a la señal vocal a corto plazo estimada en el punto anterior, para hacer esto, la trama de 160 muestras de la señal residual a corto plazo se divide en 4 subtramas de 40 muestras que representan cada una de ellas 5 ms de voz, cada subtrama se procesa de forma independiente en el bucle realimentado que constituye la etapa del análisis a largo plazo, este bloque LTP se basa en un filtro predictor a largo plazo que se calcula de forma que minimice el error cuadrático medio entre la señal residual a corto plazo y la cuantificada, concretamente este filtro viene con 2 parámetros, ganancia LTP y el retardo LTP. Para minimizar ese error cuadrático medio se determinan los valores de estos 2 parámetros que maximicen la correlación entre una secuencia almacenada de las 120 muestras previas de la señal residual a corto plazo reconstruida y la actual subtrama de 40 muestras de señal residual a corto plazo. El retardo LTP vendrá dado por el que hace máxima la correlación cruzada o lo que es lo mismo permita identificar las 40 muestras previas reconstruidas que más se parecen a las actuales, normalmente este retardo suele coincidir con el periodo de la señal vocal o un múltiplo, la ganancia se obtiene como la energía para esa correlación máxima, mediante este filtro tomando como entrada las muestras previas almacenadas de la señal residual reconstruida y aplicándoles este retardo y ganancia LTP, se obtiene la estimación de las 40 muestras residuales a corto

plazo. Los parámetros LTP también se transmiten, el retardo es un número entero que está entre 40 120 por lo que se puede representar sin redondeos por 7 bits, en cambio la ganancia hay que cuantificarla y se hace mediante 2 bits teniendo 4 valores posibles. Para el bloque de 160 muestras, los bits necesarios para los 4 juegos de parámetros uno por subtrama serán  $4 \cdot (7+2) = 36$  bits, la parte final del análisis a largo plazo consiste en restar a cada subtrama de señal residual a corto plazo la correspondiente subtrama de la estimación de la señal residual a corto plazo, lo que se transmite es precisamente la señal resultante que es el error residual a largo plazo.

### **Codificación RELP**

Esta señal residual puede muestrearse y codificarse de forma que el número de bits que se necesiten se minimice. Este es el bloque de excitación por impulsos regulares, etapa en la que se hace la compresión real de la señal a través de la cuantificación y codificación del error residual a largo plazo. Para empezar se pasan las 40 muestras del error residual a largo plazo por un filtro llamado de ponderación que consiste en un filtro pasa bajo con caída progresiva y frecuencia de corte  $4/3$  que corresponde al diezmado por 3 que se va a hacer después, este filtrado se hace mediante la convolución de las muestras con la respuesta impulsiva de filtro que viene dada por 11 pesos simétricos y solo se quedará con las 40 muestras centrales del resultado de la convolución. El resultado del análisis RELP es representar el bloque de estas 40 muestras a través de una de cuatro subsecuencias candidatas de 13 bits cada una, para ello se desconoce el bloque de 40 muestras en 3 secuencias de 13

bits entrelazadas que corresponden a un diezmado por 3. Se hace así una especie de rejilla de diezmado, se calcula la energía de las 3 secuencias y de acuerdo con el criterio de error cuadrático medio la secuencia con mayor energía se elige como la mejor representación del residuo LTP, se codifica la posición en la rejilla mediante 2 bits de forma que el número total de bits para transmitir en esa posición es de  $2 \times 4 = 8$  bits. La subsecuencia seleccionada se cuantifica mediante codificación adaptiva de pulsos o APCM, para ello se toma en primer lugar el máximo de los valores absolutos de la subsecuencia y se cuantifica logarítmicamente con 6 bits que se deben transmitir hasta el receptor, después se decodifica este máximo y se normalizan las 13 muestras respecto a este máximo, estas muestras normalizadas se cuantifican con 3 bits cada una, la suma de las 4 subsecuencias de 5 ms suponen  $4 \times 13 \times 3 + 6 \times 4 = 180$  bits. Finalmente se reconstruye el error cuantificado y se suma este error residual a largo plazo reconstruido actual a la señal a corto plazo estimada actual para obtener así el residuo a corto plazo reconstruido que se incorpora al buffer de 120 muestras que se utiliza en el bloque de análisis LTP, cerrando de esta manera el bucle de realimentación. Los parámetros y datos que se transmiten para cada bloque de 160 muestras equivalentes a 2080 bits de entrada son por tanto: parámetros de filtro LPC que son parámetros LAR de 36 bits más parámetros de filtro LTP que son de ganancia y retardo de 36 bits más posición en la rejilla RELP de 8 bits más cuantificación de las subsecuencias de 180 bits, da un total de 260 bits a la salida del codificador con una tasa de bits de 13 Kbps con una duración de 20 ms.

### 2.3.5 Codificación de canal y entrelazado

La señal generada por el codificador de fuente se entrega al codificador de canal para introducir la redundancia y protecciones necesarias para contrarrestar los efectos de los desvanecimientos que se producen en el canal, esta redundancia añadida sirve para detectar la presencia de errores en el receptor y poder estimar los bits más probablemente transmitidos a partir de los recibidos, además se utiliza la técnica de entrelazado o interleaving para destruir el efecto de memoria de canal radio sobre los errores en los bits, cada canal lógico tiene su propio esquema de codificación y entrelazado, utilizando todos ellos la siguiente secuencia y orden de operaciones:

- Los bits de información se codifican con un código bloque, construyendo así palabras código formadas por bits de información mas bits de paridad, este código se utiliza como detector de errores.
- Estas palabras se codifican con un código convolucional, generando los bits codificados. La finalidad de este código es la corrección, en recepción, de los errores producidos en la transmisión.
- Los bits codificados se reordenan y entrelazan, obteniéndose como resultados de los bits entrelazados.

Todas estas operaciones se hacen bloque a bloque, el tamaño del bloque depende del tipo de canal lógico del que se trate, la mayor parte de los canales lógicos utilizan como estructura básica del esquema de codificación de canal el bloque de 456

bits codificados, en el caso de los canales de control, este bloque contiene la información relativa a un mensaje.

### **Codificación de canales de tráfico**

**Codificación de bloque.** El codificador de fuente entrega al canal un bloque de datos que corresponden a una trama de voz, cada bloque contiene 260 bits de información que se clasifican en 2 clases diferentes en función de su importancia subjetiva: 182 bits de clase 1 que son bits protegidos y 78 bits de clase 2 que son bits no protegidos, estos bits se reordenan en orden decreciente de importancia y una vez así organizados pasan al codificador de bloque, los primeros 50 bits de clase 1 se protegen a través de 3 bits de paridad para la detección de errores y estos se añaden a los 50 bits siguiendo un código cíclico degenerado 53, 50, 2. Los bits de información y paridad de clase 1 se reordenan y se añaden 4 bits de cola iguales a 0, el resultado es 189 bits + 182 de información + 3 de paridad + 4 de cola.

**Codificación convolucional.** Los bits de clase 1 se codifican con un código convolucional de tasa  $\frac{1}{2}$ , y tras la codificación convolucional resultan 2 x 189 bits de información + 78 que es igual a 456 bits por consiguiente la velocidad binaria resultante es  $13 * 456/260$  que da igual a 22, 8 Kbps.

### **Entrelazado**

Una vez codificados los 456 bits resultantes de cada segmento de voz se

distribuyen a los largo de tramas TDMA sucesivas para su transmisión a fin de que los errores agrupados que se introduce en el canal móvil no afecten a bits consecutivos. Para empezar se reordenan los bits y esto se hace escribiendo los bits por columnas en una matriz y leyéndolos por filas para su transmisión, a continuación se muestra una matriz genérica A y la distribución de los bits que componen sus filas dentro de las ráfagas en que se van a transmitir:

	0	8	.....	440	448	bits pares de ráfaga N
	1	9	.....	441	449	bits pares de ráfaga N+1
	2	10	.....	442	450	bits pares de ráfaga N+2
A=	3	11	.....	443	451	bits pares de ráfaga N+3
	4	12	.....	444	452	bits impares de ráfaga N+4
	5	13	.....	445	453	bits impares de ráfaga N+5
	6	14	.....	446	454	bits impares de ráfaga N+6
	7	15	.....	447	455	bits impares de ráfaga N+7

De esta forma se divide cada trama de voz en 8 bloques, cada bloque es cada fila de 57 bits de la matriz anterior, cada unos de estos bloques se transmite en una ráfaga diferente y cada una de esta contiene por lo tanto la contribución de 2 bloques de voz sucesivos y cada ráfaga contiene 116 bits de información en total  $2 \cdot 57$  bits de información + 1 bit de señalización. Para maximizar la distancia entre bits sucesivos, la distribución dentro de la ráfaga es la siguiente: los bits procedentes de uno de los dos bloques ocupan las posiciones pares dentro de la ráfaga y los procedentes del otro bloque ocupan las posiciones impares. Los canales de tráfico se encuentran en multitramas que duran 120 ms, como el codec vocal proporciona datos cada 20 ms, en una multitrama se transmite la información de 6 tramas básicas de voz y cada trama básica de voz supone una matriz de 456 bits de datos por lo que por cada

multitrama se dispone de 6 matrices de datos. La transmisión con entrelazado se realiza intercalando bloques de datos de matrices consecutivas en los 2 campos de datos, pares e impares de las ráfagas de cada trama, en resumen, una ráfaga contiene 116 bits de datos codificados desglosados de la siguiente forma:

- 57 bits de un bloque dado ocupando los bits en las posiciones impares
- 1 bit que indica si esta semi ráfaga contiene datos o está ocupada por información de señalización FACCH
- 57 bits del bloque  $n + 1$  ocupando los bits pares dentro de la ráfaga
- 1 bit que indica si esta segunda semi ráfaga contiene datos o está ocupada por información de señalización FACCH

### **Codificación de canales de señalización**

Los bits de los canales de señalización salvo el SCH y el RACH que tienen estructuras diferentes, se organizan en grupos de 23 octetos, es decir 184 bits a los que se aplica un código FIRE con 40 bits de redundancia, este código tiene gran capacidad detectora de ráfagas de errores, a los 224 bits de salida de este codificador se le añaden 4 bits de cola y el conjunto resultante de 228 bits se somete a un codificador convolucional de tasa  $\frac{1}{2}$  y longitud obligada 5, obteniéndose 456 bits, igual en el caso de los canales de voz TCH/F. Se transmiten igualmente mediante un entrelazado extendido de 4 tramas, utilizándose los 2 campos de bits de las ráfagas de cada trama, la protección de los bits de señalización es aún mayor que la de los bits

de señal vocal, esto es debido a la gran sensibilidad del sistema a los errores de señalización.

### **Codificación de canales de datos**

La velocidad máxima de transmisión de datos en GSM se ha establecido en 9,6 Kbps, servicios a velocidad media de 4,8 Kbps y a velocidad reducida de 2, 4 Kbps o menor, las señales de datos experimentan en primer lugar una adaptación de velocidad y así quedan las velocidades de 12, 6 y 3,6 Kbps respectivamente. Con las velocidades modificadas se obtienen grupos de 240 y 72 bits en el período de recurrencia de 20 ms en los casos primero y tercero y de 60 bits en el semi período de 10 ms en el segundo caso, los bits así obtenidos se someten a la acción de códigos convolucionales de diferente rendimiento para formar grupos de 456 o 228 bits, los cuales se transmiten a lo largo de 19 tramas a razón de 24 bits por time slot siendo por lo tanto la profundidad de entrelazado igual a 19. Se ha elegido este valor con el fin de poder realizar las funciones FACCH y del traspaso sin interrupciones importantes en el flujo espontáneo de los datos por el canal.

#### **2.3.6 Modulación GMSK**

Los sistemas de modulación empleados en comunicaciones móviles dependen de la técnica de acceso empleada, para los sistemas GSM con multiacceso TDMA los

métodos de modulación deben tener las características como elevada eficiencia espectral, escasa radiación en canales adyacentes que están entre 60 a 80 db, continuidad de fase para minimizar la radiación fuera de la banda, envolvente constante de la señal modulada para evitar que se produzca distorsión de la intermodulación de las etapas amplificadoras, buena característica de error en cuanto a la relación portadora ruido y portadora interferencia que influye sobre la reutilización de las frecuencias y por último sencillez en las realizaciones físicas de los módulos moduladores y demoduladores.

Para el sistema GSM se optó por una modulación angular basada en la FSK, específicamente, se eligió una variante de la modulación MSK que es un caso particular de la FSK en el cual el índice de modulación es 0.5. Se procedió así por la facilidad de generación de la señal modulada ya que la MSK tiene envolvente constante y puede obtenerse mediante modulación de fase, sin embargo la MSK produce una señal modulada con bastante energía en los canales adyacentes por lo que es un inconveniente, por este motivo se suavizan las excursiones de fase sometiendo la señal digital moduladora a un filtro previo gaussiano. Al sistema de modulación resultante se le llama GMSK, Gaussian Minimum Shift Keying, y es utilizado primordialmente en GSM. El pre filtrado aminora en efecto la radiación de los canales adyacentes pero a costa de cierta interferencia entre símbolos y una disminución del nivel de la señal lo cual debe compensarse en la recepción. En primer lugar los bits a transmitir se aplican a un codificador diferencial que combina los bits,

a continuación se aplica la señal a un filtro gaussiano con anchura de banda de 3 db que suaviza las transiciones de fase de la modulación, lo que reduce la anchura de banda de la señal modulada, con un time slot que dura 0,577 ms hay 156,25 bits donde la duración del período de bit es  $277/156,25 = 3,962$  micro segundos por lo que la velocidad de modulación será  $1/T = 270,833$  Kbps, para una anchura de banda de transmisión igual a 200 Khz resulta un rendimiento espectral de 1,35 bit/hz.

Se deben considerar dos etapas sucesivas en el modulador GMSK, la primera etapa que a menudo se refiere al modulador mismo, origina la señal definida anteriormente pero con un pequeño valor ya fijado alrededor de 72 Mhz y la segunda etapa es la transposición de la frecuencia, que transforma esta señal intermedia pasándola a la frecuencia y potencia adecuadas para poder transmitirla a la antena y el hecho de realizar un cambio en la frecuencia no afecta a la fase de la señal siempre y cuando la frecuencia se multiplique por una función sinusoidal a la frecuencia adecuada y posteriormente se filtre para eliminar las partes no deseadas.

### **2.3.7 Encriptado en un sistema GSM**

Una de las principales ventajas que proporciona GSM frente a las tecnologías de telefonía móvil analógica es la confidencialidad de las transmisiones, para esto se utilizan técnicas de cifrado o encriptado que no dependen del tipo de datos que se estén transmitiendo y este cifrado únicamente se aplica a las ráfagas normales. El

cifrado se consigue realizando una operación or exclusivo entre una secuencia pseudo aleatoria y los 114 bits útiles de cada ráfaga normal. La secuencia pseudo aleatoria se genera a partir del número de trama conocido a partir del mecanismo de sincronización y de una clave de cifrado denominada  $K_c$  utilizando el algoritmo A5 que está especificado a nivel internacional para asegurar que todos los móviles tengan la posibilidad de hacer itinerancia en distinto países. Dado que el número de trama en que se transmite el downlink es distinto al que corresponde al uplink, la secuencia pseudo aleatoria con que cifra el móvil durante una determinada transmisión es distinta a la que se está utilizando la estación base para esa misma transmisión, esto es, el móvil usa una secuencia distinta para cifrar aquello que va a transmitir que para descifrar aquello que recibe desde la estación base y viceversa.

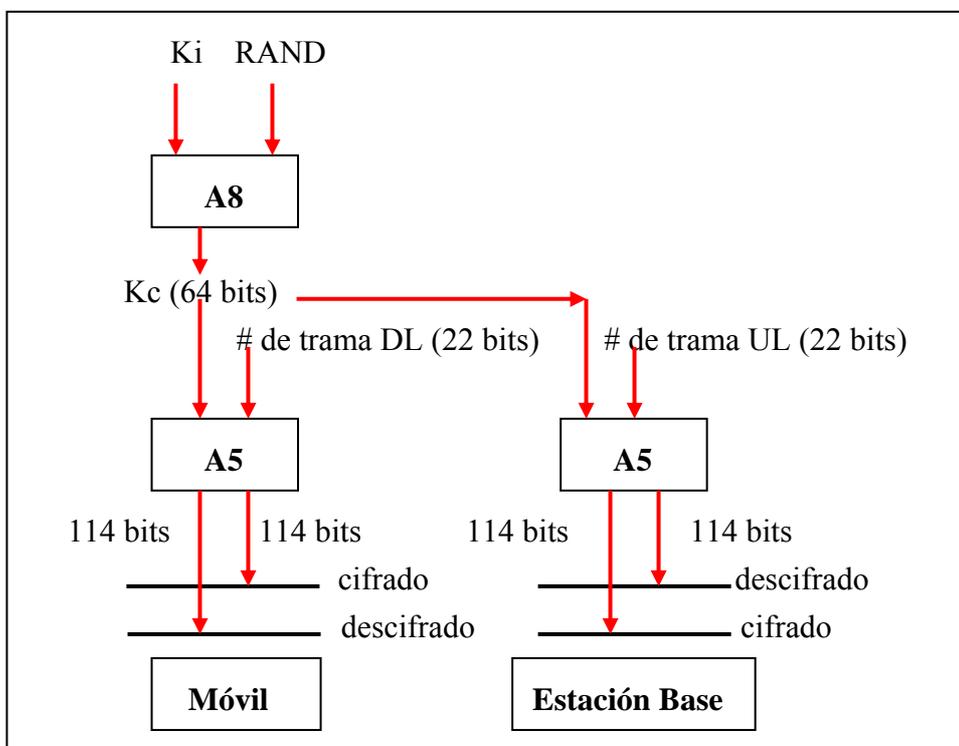


FIGURA No 2.15: Proceso de cifrado

La clave  $K_c$  se calcula a partir de la clave  $K_i$  y el número aleatorio RAND mediante el algoritmo A8, esta clave se calcula en el móvil y en el AUC guardándose en la memoria no volátil de la tarjeta SIM y en el VLR, el resultado del algoritmo A8 constituye la parte significativa de la clave  $K_c$  que tiene una longitud máxima de 64 bits pero puede ser menor a este valor completándose los bits menos significativos con ceros hasta alcanzar la longitud máxima. La clave  $K_c$  se recalcula cada vez que hay un proceso de autenticación, si ese proceso de autenticación se da dentro de una transmisión cifrada, se completará esta transmisión con la antigua clave, memorizándose la nueva para emplearse en la siguiente conexión.

### **2.3.8 Multiruta y Ecuación**

Las dos principales características de los canales móviles son los desvanecimientos producidos por multitrayectos ocasionados debido a que las ondas de radio rebotan y toman diferentes rutas provenientes de edificios, montañas, carros, aviones, etc. que producen muchas señales reflejadas con diferentes fases que llegan a la antena, y por otro lado la expansión Doppler del espectro debido a la variabilidad temporal del canal, hay un método fundamental para contrarrestar los efectos de multitrayectos que es la utilización de ecualizadores en los receptores que sean capaces de compensar de alguna forma los desvanecimientos que se produzcan, las especificaciones GSM no estipula un ecualizador concreto a utilizar sino que da especificaciones de las prestaciones que debe proporcionar, concretamente señala que

debe ser capaz de compensar diferencias de retardos de hasta 16 microsegundos entre dos rayos de igual amplitud.

La ecualización del canal se basa en el conocimiento a priori de una secuencia predeterminada que se transmite en todas las ráfagas de la señal, es la denominada secuencia de entrenamiento, a partir de cómo se reciba esta secuencia, el ecualizador hace una estimación del efecto que el canal ha causado sobre la señal transmitida. El ecualizador que se emplea en los receptores GSM es el denominado ecualizador de Viterbi y este ecualizador trabaja intervalo de time slot a intervalo de la siguiente forma:

- Se extrae de la ráfaga recibida la secuencia de entrenamiento y a partir de ella a través de correlaciones con los valores conocidos que debería tener, se realiza una estimación de la respuesta impulsiva del canal y esta respuesta refleja el efecto de los multitrayectos a que se ve sometida la señal en el canal.
- Se convolucionan con esta respuesta impulsiva todas las posibles señales banda base transmitidas por el modulador durante un período de referencia para obtener de esta forma las señales estimadas recibidas, se consideran 32 posibles señales, de esta forma se tiene en cuenta la influencia de los 4 bits previos al del intervalo de bit considerado: se permite compensar así la distorsión introducida por rayos reflejados retrasados hasta 4 bits respecto del principal.

- La señal digital recibida en banda base se convoluciona con la denominada función de ambigüedad, para compensar la estimación imperfecta de la respuesta impulsiva del canal a partir de la secuencia de entrenamiento, y la señal resultante junto con las señales estimadas son los datos de partida para calcular las métricas incrementales que necesita el algoritmo de Viterbi y el resultado de este algoritmo es una estimación de la secuencia transmitida.

El algoritmo de Viterbi es una técnica de máxima verosimilitud, es decir, encuentra la secuencia emitida más probable, bajo ciertas hipótesis sobre las señales posibles y la caracterización estadística del ruido considerándose ruido blanco gaussiano. Se basa en el conocimiento de un conjunto finito de posibles formas de onda recibidas durante un intervalo de referencia. El receptor que se utiliza en GSM emplea un ecualizador de Viterbi de 16 estados que es capaz de compensar 4 bits de diferencia entre trayectos lo que equivale a diferencias relativas de retardo máximo de 45.6 microsegundos es decir diferencias de trayectos de 4,68 Km entre 2 rayos dominantes que lleguen al receptor con niveles comparables, por lo tanto este ecualizador proporciona una protección frente a reflexiones provocadas por obstáculos lejanos des de el punto de vista del receptor pero con una limitación de la velocidad máxima de los móviles tomando en cuenta la duración de un time slot de 0.577 ms se obtiene una desplazamiento Doppler máximo a igual 275 Km/h con lo que el móvil tendría que tener pequeños desplazamientos en entornos homogéneos.

### **2.3.9 Salto de frecuencia**

Como ya se vio en el punto anterior, la transmisión por canales móviles esta sujeta a numerosas perturbaciones como son los desvanecimientos de la señal y las interferencias, los desvanecimientos son debidos a la propagación multitrayecto, tienen una influencia sobre la calidad, el desvanecimiento puede tener un carácter selectivo que puede afectar a señales de diferentes frecuencias, por otro lado GSM como todos los sistemas celulares pertenece al tipo de redes limitadas por interferencia la cual es consecuencia de la reutilización de las frecuencias o cuando hay una elevada carga de tráfico la interferencia cocanal es la más importante pero hay otras como las interferencias de canales adyacentes. Para contrarrestar estas influencias negativas de estas perturbaciones puede pensarse en la posibilidad de hacer variar la frecuencia a lo largo de la llamada aprovechando la técnica TDMA, esto es cambiando la frecuencia de un intervalo a otro a lo largo de las diferentes tramas, en esto consiste la técnica denominada salto de frecuencias, FH. Cuando se establece el FH en una celda la frecuencia se mantiene constante en una ráfaga y cambia de una ráfaga a otra en cada trama, tanto en el móvil como en la estación base, como el período de trama es de 4,615 ms, la frecuencia cambia 417 veces por segundo tomando valores de un conjunto de frecuencias asignadas por el planificador de la red.

#### **Ventajas de la utilización de FH**

Al aplicar FH es muy probable que si una ráfaga esta afectada por el

desvanecimiento la siguiente ya no lo esté puesto que se transmite en una frecuencia diferente, suele decirse que el FH equivale a una diversidad de frecuencia, este tipo de diversidad implica la transmisión simultánea de la misma información con diferentes frecuencias.

La segunda ventaja debida al FH es la reducción de la interferencia cocanal, en áreas de alto tráfico como son las grandes ciudades, es necesaria una intensa reutilización de frecuencias mediante patrones de reutilización lo más pequeños posible, para ello debe reducirse la interferencia cocanal, con el uso del FH las estaciones interferentes están cambiando de frecuencia por lo que en cada momento solo producirán interferencia aquellas estaciones cuyas frecuencias coincidan pero el número de tales estaciones es inferior al número total de estaciones que reutilizan las frecuencias. El parámetro utilizado en los sistemas celulares para evaluar el efecto de las interferencias y establecer los patrones de reutilización es la relación portadora/interferencia global  $C/I$ . El estudio analítico de la mejora de FH es muy complejo por lo que se realizaron variaciones con las siguientes conclusiones:

- La FH aporta mejora sustanciales cuando la estadística de la señal desea de Rayleigh, es decir no existe rayo directo y hay un gran número de fuentes interferentes,
- Se pueden mejorar las prestaciones del FH si se utiliza en conjunción con la transmisión discontinua.
- La ganancia de FH disminuye cuando las estadísticas son de tipo Rice

es decir hay rayo directo, por eso FH es más efectivo en macro/mini celdas que en microceldas.

- La mejor de FH será tanto mayor cuanto más independientes sean las frecuencias asignadas a cada celda, es decir cuanto menor correlación exista entre ellas. Esto será difícil de lograr en celdas muy cargadas debido a la limitación de la banda disponible por lo que debe procurarse que al menos las celdas co canal tenga secuencias de salto diferentes.
- La ganancia de FH permite reducir el tamaño del patrón de reutilización de  $4 \times 3$  ( $4/12$ ) a  $3 \times 3$  ( $3/9$ ), con la consiguiente mejora en el rendimiento espectral.

### **Secuencias de saltos de frecuencias**

Es necesario definir para cada grupo de canal las frecuencias en las que debe saltar sin embargo, no basta con indicar las frecuencias de salto, debe también establecerse la manera en que se deben utilizar estos saltos para conseguir las máximas prestaciones. A esta forma de realizar el salto de frecuencia se denomina secuencia de salto, el parámetro que la identifica es el HSN, número de secuencia de salto que puede tomar valores de 0 a 63, una secuencia de salto es la distribución, variable con el tiempo, de las frecuencias disponibles, la distribución elegida determinará la mayor o menor consecución de las máximas prestaciones de la funcionalidad del FH, a continuación se indican algunas de las modalidades de

secuencias programables todas por el operador GSM.

### **Secuencias cíclicas**

Este tipo de secuencias se usan fundamentalmente para atenuar lo máximo posible el efecto del desvanecimiento multitrayecto, se caracterizan porque las frecuencias disponibles se utilizan en orden consecutivo, para configurar estas secuencias se debe asignar un HSN = 0, por ejemplo para una celda cuyo grupo de salto esté constituido por 4 frecuencias la distribución cíclica será:

....., f2, f3, f4, f1, f2, f3, f4, f1, f2,.....

Donde el operador deberá fijar mediante parámetros cuál será la primera frecuencia de salto, hay sólo una secuencia cíclica definida en las especificaciones GSM, la secuencia de frecuencias va desde el número mas bajo de frecuencia absoluta en el grupo de frecuencias especificado por ese grupo de canales, al más alto, y otra vez, de nuevo, al más bajo y así sucesivamente.

### **Secuencias aleatorias**

La realización del FH con secuencias aleatorias ayuda a mejorar la relación C/I producida por la interferencia cocanal, estas secuencias utilizan las frecuencias disponibles en realidad de forma pseudo aleatoria, esta secuencia empleada se almacena en una tabla tanto en la estación móvil como en la BTS, el estándar GSM define hasta 63 secuencias diferentes en función del grado de aleatoriedad donde el HSN toma el valor desde 1 al 63, una secuencia aleatoria formada por 4 frecuencias disponibles puede ser como se muestra a continuación:

.... f4, f1, f1, f2, f2, f3, f4, f2, .....

La utilización de secuencias aleatorias es una mejor solución para la reducción de la interferencia que las secuencias cíclicas en aquellos entornos con alta densidad de estaciones donde la distancia entre celdas cocanales es pequeña, si se asignara a 2 celdas cocanales la misma secuencia ya sea cíclica o aleatoria la probabilidad de colisión de canales sería elevada por tanto, cuanto más independientes sean las secuencias asignadas, menor correlación existirá entre ellas y por tanto mejores serán las prestaciones conseguidas con el salto de frecuencias.

### **Secuencias ortogonales**

La asignación de las frecuencias por salto se realiza por celda, es decir, todos los transmisores de la misma disponen de las mismas frecuencias para saltar, esto implica que los canales de los diferentes transmisores, que coinciden en el tiempo, tienen asignadas las mismas frecuencias de salto y la misma secuencia, para no interferir unos con otros se aplica un desplazamiento offset a las frecuencias asignadas a estos canales, este desplazamiento viene indicado por el valor del parámetro MAIO, Mobile Allocation Index Offset, de esta forma todos los transmisores usarán la misma secuencia, pero en cambio los canales coincidentes en el tiempo nunca coincidirán en frecuencia, por ejemplo:

	TS0	TS1	TS2	TS3	TS4	TS5	
TRX1	f4	f1	f1	f2	f2	f3	..... MAIO = 1
TRX2	f1	f2	f2	f3	f3	f4	..... MAIO = 2
TRX3	f2	f3	f3	f4	f4	f1	..... MAIO = 3
TRX4	f3	f4	f4	f1	f1	f2	..... MAIO = 4

Esta propiedad por la cual los mismos canales nunca usan la misma frecuencia se determina ortogonalidad.

### **2.3.10 Transmisión y recepción discontinua**

Se ha comprobado que en una conversación normal cada uno de los interlocutores está en silencio durante el 50% del tiempo aproximadamente, esta propiedad ha permitido desarrollar la transmisión discontinua DTX donde solo se transmite señal cuando exista conversación de modo que se disminuye la energía transmitida, se reducen los niveles de interferencia y se prolonga la duración de la batería en los móviles. La aplicación de esta funcionalidad se lleva a cabo a nivel celda, pudiéndose activar por separado en el enlace ascendente y en el descendente, la activación de decidirá el operador GSM en función de las necesidades de la red.

Cuando se aplica DTX, la voz se codifica a su velocidad normal de 13 Kbps cuando existe conversación, cuando hay silencio, se envía en cambio, una señal de velocidad mucho menor d 500 bps que es una velocidad suficiente para simular un ruido de fondo que llega al interlocutor que está hablando, para evitar que este piense que la conexión se ha perdido. Para aplicar DTX es necesario detectar si existe o no señal de voz, esta función la desempeña el módulo detector de actividad de voz VAD presente tanto en la BTS como en el móvil. El algoritmo usado por el VAD es similar al utilizado para la codificación de la voz, para cada ráfaga de salida el codificador proporciona un bit de información adicional que indica si la ráfaga debe ser transmitida o no, dependiendo de si el algoritmo decide que contiene voz o ruido de fondo. La decisión se toma comparando la señal con un cierto nivel fijado, antes de

comparar la señal es necesario filtrarla, para separar voz y ruido, tanto los niveles usados como las características del filtro se ajustan de forma dinámica dependiendo de las características del ruido ambiente en la conversación, si la ráfaga es sólo ruido, el transmisor genera una trama indicadora de silencio y la transmisión se para. La razón por la se genera está ráfaga de ruido es porque la experiencia ha demostrado que el interlocutor percibe un efecto desagradable cuando el ruido de fondo desaparece de repente, esto ocurriría frecuentemente con la DTX, para esto se genera un ruido artificial cuando no existe voz. Al comienzo de cada período de inactividad se enviará una ráfaga SID y mientras no se detecte voz de nuevo se envía una ráfaga SID en casa período SACCH. En la parte receptora bien de la MS o BTS un detector de silencio comparan las ráfagas que llegan con ciertos umbrales y es capaz de separar perfectamente las ráfagas de ruido de las de voz y datos. La VAD debe estar operativa todo el tiempo. Cuando está activado el DTX las medidas que se utilizan para los algoritmos de traspaso y de control de potencia son las denominadas mediad SUB que se realizan durante los intervalos de conversación, mientras que las medidas FULL se efectúan durante todo el período de medida de modo que cuando el DTX este activo el valor de las medidas SUB siempre será mayor o igual al valor de las FULL.

### **Ventajas y desventajas de DTX**

Las ventajas principales son en el enlace ascendente, ahorrar batería en la estación móvil y reducir interferencia en el sistema, en el enlace descendente es disminuir el consumo de energía de la BTS especialmente cuando ésta funciona con

las baterías de emergencia y reducir los productos de intermodulación y las interferencias en el sistema. Cuando se aplica DTX tanto en el enlace ascendente y descendente se consigue una notable mejora de la relación C/I, esta mejora puede aprovecharse para realizar una planificación de frecuencias más cómoda. Por otro lado la DTX presenta como desventaja que las medidas de nivel de señal y de calidad son menos precisas, además en algunos casos se produce una degradación de la calidad de voz debido a la lentitud del VAD especialmente en palabras que contienen los sonidos de p t y k, además introduce ruido de fondo durante los silencios que depende del tipo de terminal utilizado.

## **2.4 Administración de recursos de radio en red GSM**

Dentro de la administración de recursos de radio la parte más importante es el traspaso efectivo de llamadas entre celdas dado que la red GSM debe soportar que un móvil pase de una celda a otra con una llamada en curso sin que se corte y una clave fundamental para que se de esto, es reducir las interferencias y entre los métodos a utilizarse para logra esto en el control de potencia.

### **2.4.1 Traspasos, Handovers**

La cobertura GSM de una determinada ciudad, carretera, etc. se consigue superponiendo la cobertura individual proporcionada por varias estaciones transmisoras, puesto que un móvil puede cambiar de posición durante una

conversación la BTS que sirve la cobertura puede ser diferente si el móvil se mueve entre áreas de coberturas de distintas BTS por lo tanto la red GSM debe asegurarse que el móvil siempre esté conectado a la mejor celda servidora posibilitando el cambio de una a otra sin que el usuario perciba efecto, a esto es lo que se le denomina traspaso que tiene como objetivos conseguir una elevada calidad y continuidad de las llamadas manteniendo la conexión con el máximo nivel de señal posible en cada momento, controlar el área de cobertura de una celda para evitar o minimizar las interferencias y por último reajustar la distribución de tráfico en las celdas. Hay 4 tipos de traspasos:

- Handover entre canales en la misma celda
- Handover entre celdas controladas por la misma BSC
- Handover entre celdas que pertenecen al mismo MSC, pero controladas por diferentes BSC
- Handover entre celdas de diferentes MSC

### **Señalización para traspaso**

Durante el proceso de traspaso se produce un intercambio de señalización entre el móvil y la red ya sea al BTS, BSC o MSC, cuyo resultado es la toma de la decisión por parte de la BSC de si es necesario o no un HO, en general, el operador GSM debe definir una serie de celdas vecinas de una dada para identificar aquellas celdas que pueden ser candidatas para realizar el HO. El móvil intercambia continuamente información de señalización con la red, cuando hay una llamada en

curso la BTS indica al móvil mediante mensajes enviados por el SACCH, las frecuencias de las celdas vecinas que debe medir y el móvil notifica el promedio de estas medidas vía el SACCH ascendente cada 480 ms, por su parte, la BTS también mide el nivel de la señal y la calidad de las transmisiones del móvil, la BTS realiza un primer procesado de manera que envía al BSC una lista de celdas candidatas al traspaso, por lo tanto la BSC dispone de una lista de vecinas con una prioridad determinada en función de los parámetros de red.

### **Mediciones de señal para traspaso**

Hay 3 tipos de medidas: de calidad de señal, de nivel de la señal y de avance temporal que veremos con más detalles a continuación.

**Medidas de calidad**, son las medidas realizadas por la BTS en el enlace ascendente y por el móvil en el enlace descendente relativas a la conexión establecida con el móvil cuando se esta desarrollando la comunicación, estas medidas se definen mediante el parámetro RXQUAL y los valores de este se promedian en todo el período y se usan para el procesado posterior que lleva a tomar la decisión de HO.

**Medias de nivel de señal**, el móvil debe medir el nivel de señal recibido tanto de la celda servidora como de cada una de las celdas vecinas que le indica la BTS en el downlink, en el uplink, la BTS recoge también el nivel de señal que le envía el móvil, estas medidas tras un promediado y comparación con un cierto umbral se

usarán para decidir la conveniencia o no del HO, el nivel se cuantifica mediante el parámetro RXLEV en función de la potencia recibida

<b>RXQUAL</b>	<b>BER</b>	<b>RXLEV</b>	<b>POTENCIA</b>
0	BER<0.2%	0	< -110 dBm
1	0,2%<BER<0,4%	1	-110 < dBm < -109
2	0,4%<BER<0,8%	2	-109 < dBm < -108
3	0,8%<BER<1,6%	...	.....
4	1,6%<BER<3,2%	...	.....
5	3,2%<BER<6,4%	...	.....
6	6,4%<BER<12,8%	62	-49 < dBm < -48
7	12,8%<BER	63	> -48 dBm

**TABLA No 2.3: Medida de calidad RXQUAL y medida de nivel de señal RXLEV**

**Medidas de avance temporal**, los valores del avance temporal se promedian con arreglo a unos parámetros de promediado prefijados por el operador, estas medidas deben pasar por un filtrado que equivale a una posmediación de las medidas, esto permite suavizar el efecto del ruido así como disminuir la influencia del desvanecimiento, los parámetros típicos de configuración de estos filtros tienen que ver con el tipo del filtro que pueden ser exponenciales, Butterworth, etc., longitud del filtro que hace referencia al número de muestras que se utilizan por cada medida calculada, rampa del filtro y valores de peso donde se trata de dar mayor peso a unas muestras que a otras.

### **Algoritmos de de traspaso**

Una vez procesadas todas estas medidas, la BSC evalúa si es necesario o no el traspaso, los algoritmos definidos para tomar esta decisión pueden ser muy variados y a continuación se describirán los más importantes.

**Traspaso producido por nivel de señal**, cuando las medias realizadas muestran que el nivel de señal recibido por la celda es muy bajo y menor que un determinado valor establecido por el operador se inicia un proceso de HO a la celda más prioritaria de la lista, es decir si:

$$\mathbf{RXLEV < L\_RXLEV\_HO}$$

Donde  $RXLEV$  es el valor de nivel de señal recibido por la BTS servidora y  $L\_RXLEV\_HO$  es el valor limite se la señal para realizar el traspaso, esta situación es típica cuando el móvil se encuentra en el límite de la zona de cobertura de la celda servidora, donde la realización del traspaso dependerán directamente de las potencias de salida de cada una de las estaciones involucradas.

**Traspaso producido por mala calidad de la señal**, uno de los objetivos perseguidos en la red es mantener un alto valor de la relación  $C/I$ , el sistema no puede medir la calidad percibida por las celdas vecinas, puesto que en el momento de realizar medidas el móvil no dispone de conexión con ellas por tanto se supone que el valor del nivel de señal medido puede asemejarse al valor de  $C/I$  para cada celda vecina, lo cual es cierto desde un punto de vista estadístico, si al realizar las medidas

de calidad para la celda servidora, se detecta un alto nivel de interferencia ósea un C/I bajo, se hace necesario un traspaso a otra celda vecina. Un caso especial de HO originado por mala calidad es el denominado intracelda, en el cual se permite el cambio de un time slot de la celda servidora a otro time slot dentro de la misma cuando las medidas realizadas indican una baja calidad para esta celda pero un alto nivel de señal, las condiciones que deben cumplirse para realizar este traspaso son:

$$\mathbf{RXQUAL > L\_RXQUAL\_HO ; RXLEV < L\_RXLEV\_IH}$$

Donde RXQUAL es el nivel de la calidad recibido tras el filtrado, L\_RXQUAL\_HO es el límite de nivel de calidad y L\_RXLEV\_IH es el límite de nivel de señal para hacer el traspaso. En este tipo de traspaso la BTS no enviará al BSC ninguna lista sino que se encargará de elegir un canal dentro de la misma celda.

#### **2.4.2 Control de potencia**

Mediante el control de potencia se realiza la adaptación de la potencia transmitida por el móvil como de la estación base a las condiciones de propagación, el objetivo fundamental es minimizar la potencia transmitida por la BTS y por la MS manteniendo la calidad de la comunicación y por ende se permite la reducción de la interferencia cocanal y el aumento de la duración de la batería de los móviles. Cuando el sistema puede hacer control de potencia, la estación transmisora ajustará la potencia de salida de tal forma que el móvil recibirá una señal adecuada y lo mismo

hará el móvil para los mensajes de enlace descendente, por tanto, la funcionalidad puede ser activada por separado en el enlace ascendente donde el móvil regula la potencia y en el descendente lo hará la BTS, aunque lo habitual es que ambos caminos tengan el control de potencia activado, también es posible de realizar un control de potencia por canal de modo que cada canal pueda transmitir con diferente potencia aplicándose tanto a canales de tráfico TCH y a los de señalización involucrados en el establecimiento de la llamada SDCCH, en la portadora BCCH no se aplica ya que se utiliza para las medidas de modo que la estación deberá transmitir siempre a la máxima potencia que se fije para esa celda. La regulación de potencia es efectiva cuando el móvil se encuentra en una determinada zona de la celda denominada área de regulación, en zonas muy cerca y lejanas a la estación base se transmite al mínimo y al máximo respectivamente independientemente de la potencia requerida por la base.

### **Algoritmo de control de potencia**

El algoritmo de control de potencia tanto para la estación móvil como para estación base se dividen en etapas: preparación de las medidas, filtrado de las medidas y cálculo de la orden de reducción.

**Preparación de medidas**, en cada trama SACCH se realizarán medidas tanto del enlace ascendente como del descendente que serán usadas como parámetros de

entrada del algoritmo de control de potencia en la BTS, antes de explicar de cómo se toman las medidas, el operador GSM debe programar los parámetros que determinan el algoritmo como número de muestras del nivel de señal a utilizar o ventana de señal, número de muestras del valor de calidad a utilizar o ventana de calidad y valores de peso para promediar los valores de señal y calidad. Una vez que el móvil transmite a la estación las medidas de calidad y de señal del uplink, la estación recoge las medidas de calidad y señal y va llenando las ventanas de calidad y señal que servirán para evaluar el control de potencia, en esta fase se tomará la decisión sobre si se deben emplear las medidas SUB o FULL dependiendo de si existe transmisión discontinua o no, o de si se debe usar una compensación para el caso de estar activado el salto de frecuencias y puesto que es preferible que el control de potencia dinámico responda rápidamente a una disminución en la calidad de la señal recibida, la ventana de calidad debe ser más pequeña que la de la señal.

**Filtrado de medidas,** las medidas son filtradas para eliminar las variaciones de naturaleza temporal, es decir para asegurar que la decisión que se tomará sobre la potencia a transmitir es estable. Los valores filtrados es el resultado de pasar las medidas tomadas a través de las ventanas de calidad y señal con los respectivos factores de peso definidos.

**Cálculo de la orden de reducción,** las medidas filtradas en la fase anterior se emplean en el algoritmo de control de potencia, comparándose con determinados

umbrales que llamaremos LRXLN que es el umbral inferior de nivel de señal, URXLN que es el umbral superior de nivel de señal, LRXQN que es el umbral inferior de nivel de calidad y por último URXQN que es el umbral superior de nivel de calidad, donde se debe incrementar la potencia de salida cuando el nivel de la señal esta por debajo de LRXLN y cuando la calidad de la señal esta por debajo de LRXQN. Para evitar que por causas de la regulación de potencia se provoque un traspaso no necesario se hará cumplir las siguientes condiciones:

$$\mathbf{LRXLN\_HO < LRXLN\_PC < URXLN\_PC}$$

$$\mathbf{URXQN\_HO < LRXQN\_PC < LRXQN\_PC}$$

Donde LRXLN\_HO y LRXQN\_HO son los umbrales de nivel de señal y calidad para el algoritmo de traspaso, una vez que se ha tomado la decisión de incrementar o reducir la potencia, el siguiente paso será realizar la regulación. Tras evaluar el algoritmo de control de potencia, si surge la necesidad de modificar la potencia transmitida, se esperará durante el tiempo marcado por un determinado parámetro T1, fijado por el operador, antes de pasar a transmitir con la nueva potencia, si no ha llegado la confirmación se continuará transmitiendo con la antigua potencia. Si se ha modificado la potencia transmitida, se debe esperar un tiempo determinado que ha sido fijado previamente mediante otro parámetro T2, de modo que las medidas recibidas se deban al nuevo nivel de potencia transmitida y no estén influidas por medidas antiguas. Si se ha recibido la orden de incrementar la potencia para el móvil,

este cambiará al nuevo valor cada 60 ms equivalentes a 13 tramas TDMA o que es lo mismo 8 veces cada SACCH, el cambio comenzará en la primera trama TDMA perteneciente al siguiente periodo de medidas, si existiese un cambio de canal, la orden de cambio de potencia se aplicará de forma inmediata al nuevo canal. Puesto que la reducción de potencia puede suponer una merma de la calidad es necesario disminuir la potencia en pasos pequeños para evitar que un salto brusco de potencia transmitida tanto por parte del móvil como de la estación, deteriore la calidad de la comunicación y para que sea posible responder a caídas rápidas de señal o de calidad de debe cumplir que el paso de incremento de potencia debe ser mayor al paso de decremento de potencia.

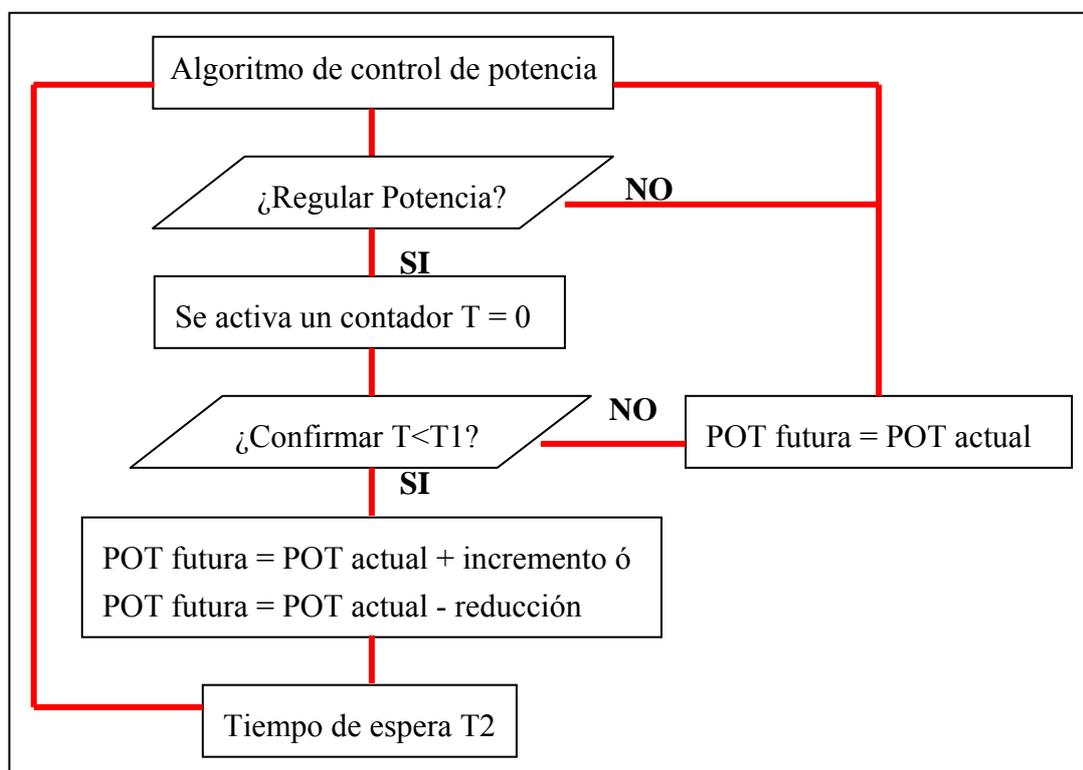


FIGURA No 2.16: Algoritmo de control de potencia

### **2.4.3 Métodos para minimizar la interferencia**

En los puntos anteriores se ha presentado varios métodos para reducir la interferencia como son los métodos de transmisión discontinua, salto de frecuencia y la ecualización, que permiten compensar los multitrayectos causados por reflexiones en obstáculos lejanos respecto al móvil. Para controlar el desvanecimiento Rayleigh debido a multitrayectos por obstáculos próximos al móvil se utilizan técnicas de diversidad en recepción, la idea básica consiste en obtener campos de propagación independientes de tal forma que las señales recibidas por esos caminos estén incorreladas entre sí, minimizando así la probabilidad de que coincidan en el tiempo los desvanecimientos de la señal, a continuación se detallan las diferentes técnicas para conseguir en el receptor estas señales incorreladas.

#### **2.4.3.1 Diversidad espacial**

Consiste en utilizar dos antenas receptoras iguales físicamente y separadas entre sí, La distancia a que deben estar tiene que ser tal que se asegure que las señales recibidas sean independientes entre sí, o lo que es lo mismo, que estén sometidas a distintos patrones de desvanecimiento. El valor mínimo de esta distancia depende del tipo de antena utilizada, de la frecuencia y de si se opta por separarlas en el plano vertical o en el horizontal, suele ser del orden de 3 a 5 metros.

### **2.4.3.2 Diversidad por polarización**

En este caso también se utilizan dos antenas pero situadas en la misma posición de hecho comparten el mismo radomo, cada una de las dos antenas tiene una polarización distinta, siendo estas ortogonales entre sí, existen en el mercado antenas con polarización horizontal/vertical o con polarización  $45^\circ/-45^\circ$ . Se aprovecha de esta forma la despolarización que experimenta la señal como consecuencia de las reflexiones y refracciones, y se obtienen también dos señales incorreladas en el receptor.

### **2.4.3.3 Diversidad en frecuencia**

Este es un caso poco especial ya que no se trata de obtener dos señales incorreladas entre sí, sino intentar independizar los patrones de desvanecimiento trama a trama, aprovechando el hecho de que el desvanecimiento Rayleigh suele ser selectivo en frecuencia, puede optarse por emplear el salto de frecuencia cambiando la frecuencia empleada para la transmisión en cada trama de forma que la probabilidad de tener un desvanecimiento en un determinado momento sea menor que en caso de utilizar una única frecuencia de transmisión, esta técnica se denomina salto lento en frecuencias SFH, hay otra técnica que consiste en cambiar la frecuencia bit a bit o incluso varias veces dentro del mismo bit, es una técnica de espectro ensanchado llamada salto rápido de frecuencia FFH.

Los valores de ganancia obtenidos a través de estas técnicas de diversidad varían según cual sea el entorno en que está el móvil, estas técnicas son mucho más ventajosas en entornos urbanos que en transmisión en entorno rural. Y que en condiciones de entorno rural es más ventajoso emplear diversidad espacial que de polarización, los valores típicos de ganancias que pueden obtenerse empleando diversidad espacial en entornos urbanos con antenas separadas 5 metros en el plano horizontal son de 3 a 4 dB.

## **2.5 Manejo de llamadas celulares en GSM**

### **2.5.1 Actualización de ubicación**

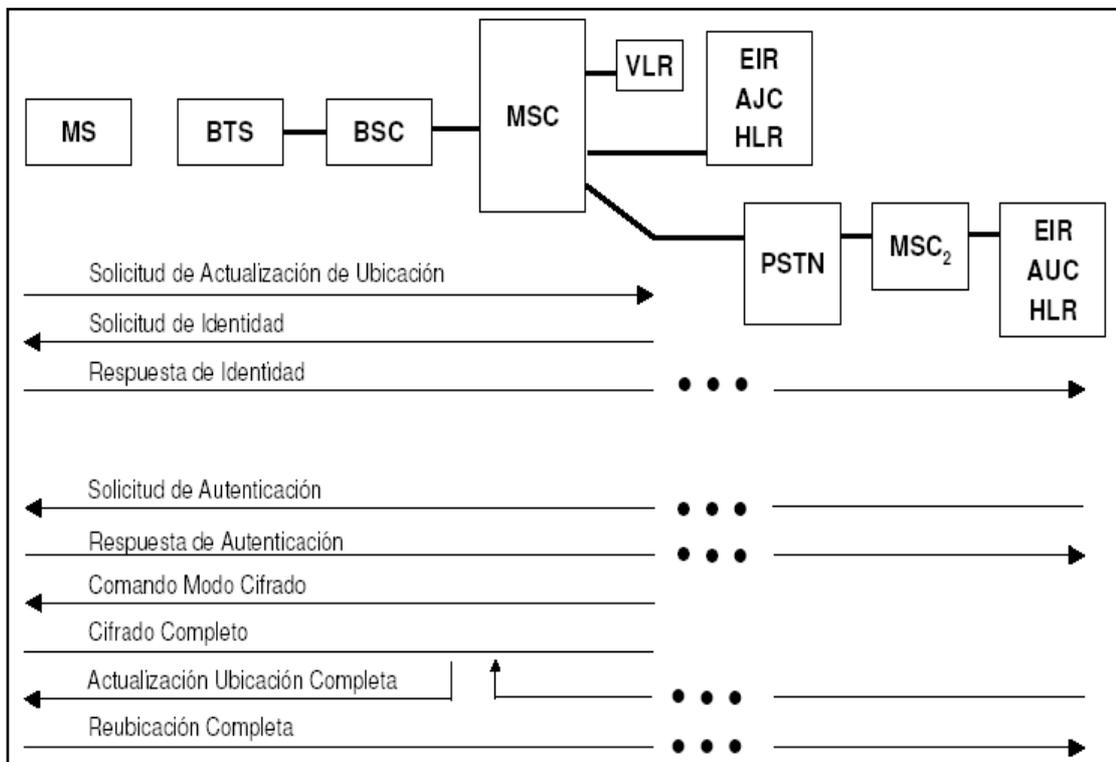
Es un procedimiento donde el móvil hace saber a la red GSM el código de área local LAC en que se encuentra, quedando esta información guardada en el VLR, existen 3 tipos de actualizaciones de ubicación

**Actualización de posición normal**, es el procedimiento que sigue el móvil cuando estando en modo desocupado detecta, al deseleccionar una celda, que el LAC ha cambiado, también se realiza después de finalizar una llamada que se ha iniciado en una celda con un LAC distinto al de la celda en que ha terminado. Otra situación que provoca esta actualización es la que se da cuando la red indica que el móvil es desconocido en el VLR como respuesta a una petición de establecimiento de

conexión.

**Actualización periódica de posición**, se utiliza para notificar a la red que el móvil sigue disponible, si no se produce en el momento que corresponde, la red interpreta que el móvil se encuentra en estado apagado y lo marca así en el VLR.

**Procedimiento de encendido**, al encenderse el móvil indica a la red que está de nuevo activo a través de una actualización de posición, este es también el procedimiento que se sigue cuando el móvil se queda sin cobertura y la recupera en una zona con un LAC distinto al que había en el momento de perderla.



**FIGURA No 2.17: Procedimiento de actualización de ubicación**

### 2.5.2 Autenticación y seguridad

Una de las principales ventajas de GSM es la confidencialidad de las transmisiones, para esto se utiliza la autenticación que tiene dos finalidades, permitir a la red verificar la validez de la identidad proporcionada por el móvil y proporcionar parámetros al móvil para que pueda calcular una nueva clave de cifrado, y para esto usa algoritmos de autenticación y cifrados que se realizan en el centro de Autenticación, AUC, que contiene para cada usuario su identificación IMSI y su clave de cifrado  $K_i$ , también contiene el generador de números aleatorios RAND y los algoritmos de autenticación A3 y de obtención  $K_c$  mediante el algoritmo A8 y no debe confundirse con el algoritmo de cifrado que es A5, este cifrado se consigue realizando una operación OR exclusivo entre una secuencia pseudo aleatoria y los 114 bits útiles de cada ráfaga normal. La secuencia pseudo aleatoria se genera a partir del número de trama conocido a partir del mecanismo de sincronización y de una clave de cifrado denominada  $K_c$  utilizando el algoritmo A5 que está especificado a nivel internacional para asegurar que todos los móviles tengan la posibilidad de hacer itinerancia en distintos países. Dado que el número de trama en que se transmite el downlink es distinto al que corresponde al uplink, la secuencia pseudo aleatoria con que cifra el móvil durante una determinada transmisión es distinta a la que se está utilizando la estación base para esa misma transmisión, esto es, el móvil usa una secuencia distinta para cifrar aquello que va a transmitir que para descifrar aquello que recibe desde la estación base y viceversa. La clave  $K_c$  se calcula a partir de la

clave  $K_i$  y el número aleatorio RAND mediante el algoritmo A8, esta clave se calcula en el móvil y en el AUC guardándose en la memoria no volátil de la tarjeta SIM y en el VLR, el resultado del algoritmo A8 constituye la parte significativa de la clave  $K_c$  que tiene una longitud máxima de 64 bits pero puede ser menor a este valor completándose los bits menos significativos con ceros hasta alcanzar la longitud máxima. La clave  $K_c$  se recalcula cada vez que hay un proceso de autenticación, si ese proceso de autenticación se da dentro de una transmisión cifrada, se completará esta transmisión con la antigua clave, memorizándose la nueva para emplearse en la siguiente conexión.

### **2.5.3 Originación y enrutamiento de llamadas**

La originación de la llamada en GSM comienza en el móvil cuando un usuario marca un número. Primero, la estación móvil debe estar sincronizada a una estación base cercana como se hace en un BCH. Recibiendo los mensajes FCCH, SCH y BCCH, el móvil se enganchará al sistema y al BCH apropiado. Para originar la llamada el usuario al marcar, el móvil transmite una ráfaga de datos RACH, usando el mismo ARFCN que la estación base a la que está enganchado. La estación base entonces responde con un mensaje AGCH sobre el CCCH que asigna al móvil un nuevo canal para una conexión SDCCH. El móvil, que está recibiendo en el TS0 del BCH, recibe su asignación de ARFCN y su TS por parte del AGCH e inmediatamente cambia su sintonización a su nuevo ARFCN y TS. Esta nueva asignación del ARFCN

y del TS es físicamente el SDCCH (no el TCH). Una vez sintonizado al SDCCH, el móvil primero espera a la trama SDCCH que se transmite, la espera será como mucho de 26 tramas cada 120 ms, que informa al móvil del adelanto de temporización adecuado y de los comandos de potencia a transmitir. La estación base es capaz de determinar el adelanto de temporización adecuado y el nivel de señal del móvil gracias al último RACH enviado por el móvil, y envía los valores adecuados a través del SACCH. Hasta que estas señales no le son enviadas y procesadas, el móvil no puede transmitir ráfagas normales como se requieren para un tráfico de voz. El SDCCH envía mensajes entre la unidad móvil y la estación base, teniendo cuidado de la autenticación y la validación del usuario, mientras que la PSTN conecta la dirección marcada con el MSC, y el MSC conmuta un camino de voz hasta la estación base servidora. Después de pocos segundos, la unidad móvil está dirigida por la estación base a través del SDCCH que devuelve un nuevo ARFCN y un nuevo TS para la asignación de un TCH. Una vez devuelto el TCH, los datos de voz se transfieren a través del uplink y del downlink, la llamada se lleva a cabo con éxito, y el SDCCH es liberado. Cuando se originan llamadas desde la PSTN, el proceso es bastante similar. La estación base envía un mensaje PCH durante el TS0 en una trama apropiada de un BCH. La estación móvil, enganchada al mismo ARFCN, detecta su búsqueda y contesta con un mensaje RACH reconociendo haber recibido la página. La estación base entonces usa el AGCH sobre el CCCH para asignar un nuevo canal físico a la unidad móvil su conexión al SDCCH y al SACCH mientras la red y la estación base están conectadas. Una vez que el móvil establece sus nuevas

condiciones de temporización y de potencia sobre el SDCCH, la estación base gestiona un nuevo canal físico a través del SDCCH, y se hace la asignación del TCH.

### **Enrutamiento de llamadas**

Cuando un usuario quiere realizar una llamada hacia un móvil, lo único que conoce de ese móvil es el número de teléfono MSISDN que contiene una indicación de la red GSM a la que pertenece, de esta manera el número de teléfono lleva siempre implícito su red de origen, este indicativo es el código de destino nacional NDC. El número que se marca no contiene ninguna indicación sobre la localización del móvil, por lo que la red deberá establecer mecanismos para saber donde se encuentra en cada momento y para proporcionar la información de enrutamiento necesaria, la información de enrutamiento es el número de itinerancia de la estación móvil MSRN que contiene la información que necesita el GMSC para poder dirigir la llamada hacia el MSC/VLR en que se encuentra el móvil llamado, el único nodo de la red que puede conseguir el MSRN a partir del MSC/VLR destino es el HLR, está es la razón por la que siempre que se reciba una llamada hacia un móvil será necesario interrogar al HLR para solicitarle un MSRN. Hay tres casos de encaminamientos de llamadas que dependen de donde proviene la llamada y hacia donde va, esto es si proviene la llamada es de un móvil o teléfono fijo y que pertenece a la misma red u otra GSM.

**Enrutamiento de una llamada cuando el usuario que llama y el llamado pertenecen a la misma red GSM.** Este es el caso más sencillo, cuando el móvil

originante marque el MSISDN del destino, la MSC origen es capaz de interrogar a su HLR directamente suponiendo que este MSC tiene funcionalidad de GMSC, y así obtener el MSRN que necesita, a partir de aquí enruta la llamada hacia la MSC destino sin salir de la misma red GSM.

**Usuario que llama y el llamado pertenecen al mismo país pero no a la misma red GSM.** Aquí se considera que el usuario que llama puede pertenecer a cualquier red fija o móvil que no sea la misma que la del móvil llamado. Pueden darse 2 casos, según quien interroge al HLR sea un GMSC de la misma PLMN o bien una central local o de tránsito de la red donde se ha originado la llamada, en ambos casos el móvil puede encontrarse en su red GSM de origen o bien en otra, si el móvil llamado se encuentra en una red diferente a la suya el proceso sería igual al del punto anterior con la diferencia de que el nodo que recibiera la información de enrutamiento del HLR, dirigiría la llamada hacia la red en que se encuentra el móvil en vez de hacia un MSC/VLR de esa misma red.

**El usuario que llama se encuentra en un país diferente al de la red GSM madre del móvil llamado.** En este caso la interrogación al HLR la pueden realizar 3 nodos, un GMSC de la misma red GSM, un centro internacional de conmutación, ISC del mismo país que la red GSM del HLR, una ISC del país en que se ha originado la llamada. Supongamos que quién interroga al HLR es un GMSC de la misma red y que el móvil llamado se encuentra en otro país, en este caso un nodo local o de

tránsito de la red analizará el prefijo y al ver que es para otro país dirigirá la llamada hacia un ISC que encamina la llamada a la otra red, cuando ésta recibe la llamada sigue analizando la numeración marcada y al ver el NDC es de otra red la dirige hacia un MNSC de esa red quien finalmente interrogará al HLR para obtener el MSRN y conocer el MSC/VLR destino.

## **CAPITULO 3**

### **SISTEMA GSM RELEASE 4**

#### **3.1 Evolución de tecnología celular GSM hacia la tercera generación**

La estandarización de los sistemas basados en GSM tiene sus inicios en los años ochenta, cuando un cuerpo de estandarización llamado Groupe Special Mobile fue creado en la Conferencia Europea de Telecomunicaciones, CEPT, cuya tarea era desarrollar un único sistema de comunicación de radio digital para Europa a 900 Mhz. Desde entonces el sistema ha experimentado muchas modificaciones en varios pasos por la demanda creciente de los operadores y usuarios celulares. La parte principal de desarrollo de GSM durante los años 80 y 90, hasta la primavera del 2000 fue dirigido por el Instituto Europeo de Normas de las Telecomunicaciones, ETSI, el Groupe Special Mobile, SMG, y sus subcomités técnicos, a partir del 2000, la evolución de los sistemas GSM es manejado bajo el Proyecto de Sociedad de tercera generación, 3GPP, que es un esfuerzo de la unión de varios organismos de estandarización alrededor del mundo para definir una tercera generación global, UMTS o Sistema de Comunicación Móvil Universal. Los componentes principales de

este sistema son, la red de acceso de radio terrestre universal, UTRAN, basado en acceso múltiple por división de código de banda ancha, WCDMA, y la red de acceso de radio para GSM/EDGE, GERAN, basado en Sistemas globales para comunicaciones móviles, GSM y el sistema de mayor tasa de datos para la evolución de GSM, EDGE. Los requerimientos de un sistema de tercera generación son:

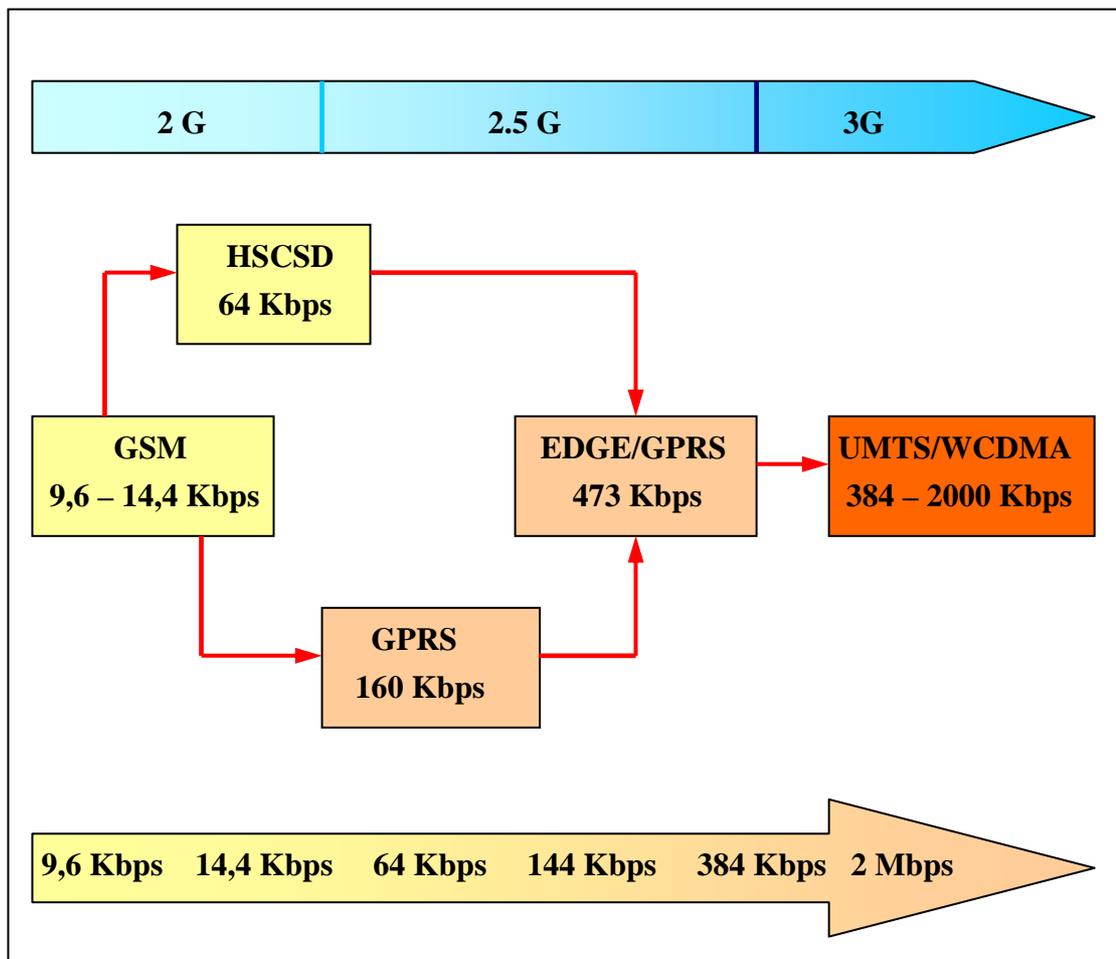
- Alta velocidad en transmisión de datos, hasta 144 Kb/s, velocidad de datos móviles (vehicular); hasta 384 Kb/s, velocidad de datos portátil (peatonal) y hasta 2 Mb/s, velocidad de datos fijos (terminal estático).
- Transmisión de datos simétrica y asimétrica.
- Servicios de conmutación de paquetes y en modo circuito, tales como tráfico Internet (IP) y video en tiempo real.
- Calidad de voz comparable con la calidad ofrecida por sistemas alámbricos.
- Mayor capacidad y mejor eficiencia del espectro con respecto a los sistemas actuales.
- Itinerancia internacional entre diferentes operadores (Roaming Internacional).
- Los sistemas de tercera generación deberán proveer soporte para aplicaciones como voz en banda estrecha a servicios multimedia en tiempo real y banda ancha. Apoyo para datos a alta velocidad para navegar por la World Wide Web, entregar información como noticias,

tráfico y finanzas por técnicas de empuje y acceso remoto inalámbrico a Internet e intranets. Servicios unificados de mensajes como correo electrónico multimedia. Aplicaciones audio/video en tiempo real como videoteléfono, videoconferencia interactiva, audio, etc.

### **Camino evolutivo de las redes GSM**

La necesidad para el desarrollo continuo de las especificaciones de GSM se anticipó al empezar el trabajo de la especificación y se la dividió en dos fases. La Fase de GSM 1 incluyó la mayoría de los servicios comunes para habilitar lo más rápido el despliegue de GSM en redes que operaban todavía con tecnologías análogas de primera generación para proveer un claro avance de tecnología celular. Esta fase 1 incluía, soporte para telefonía básica, llamadas de emergencia, servicios de datos entre 300 a 9600 bps, cifrado y autenticación, así como servicio de mensaje corto, SMS, salto de frecuencia, control de potencia y transmisión discontinua se desarrollaron en la Fase 1. Mientras la Fase 1 de GSM seguía construyéndose, la Fase 2 estaba siendo especificada en el ETSI SMG. Las especificaciones de la Fase 2 de GSM estuvieron terminadas en octubre de 1995 y estas incluyeron un mecanismo para la compatibilidad con la fase 1 y un menor manejo de errores para la evolución de las especificaciones. También se introdujeron muchas mejoras técnicas y nuevos servicios suplementarios incluidos como identificación de llamada, llamada en espera, también se introdujo la codificación del canal half rate como complemento de

la codificación de voz en full rate. Las primeras dos fases de GSM mantuvieron una base sólida para la evolución hacia los requerimientos de la tercera generación 3G, los cuales fueron mejor conocidos como Fase 2+. En la red central, la evolución llevó a la introducción del sistema de radio de paquetes, GPRS, sobre todo diseñado para la conectividad con Internet. Aunque las fases fueron usadas para desarrollar normas hacia 3G, se decidió agruparlas por actualizaciones o releases pues es una herramienta más práctica y estas se por lo general se hacen año a año.



**FIGURA No 3.1:** Evolución de GSM con tasa de datos máxima en transmisión y recepción

### **High Speed Circuit-Switched Data, HSCSD – Release 96**

Fue el primer trabajo en la Fase 2+ de GSM y fue estandarizado por ETSI SMG2. Se trata de un servicio derivado de GSM que dedica múltiples ranuras de tiempo a un sólo usuario de forma de incrementar la tasa de datos sin cambiar la interfaz de radio alcanza velocidades de 14,4 Kbps por time slot, teniendo 8 time slots disponibles, puede alcanzar una velocidad máxima de 115,2 Kbps. El beneficio principal de HSCSD comparado con otros métodos es que fue una manera barata de llevar a cabo datos más altos está en redes de GSM debiendo hacer modificaciones relativamente pequeñas en los equipos terminales, sin embargo, necesita ser actualizado para soportar multislot. Los terminales HSCSD disponibles en el mercado hoy en día puede recibir usando hasta 4 time slots y puede transmitir usando 2 time slots, lo que quiere decir que las velocidades son 57,6 y 28,8 respectivamente para downlink y uplink, en la práctica oscilan entre 20 y 40 Kbps, estas velocidades se obtienen modificando el código convolucional original de GSM y realizando una codificación de voz a 14,4 Kbps. Se puede usar dos configuraciones: simétrica o asimétrica (distinto número de ranuras en cada dirección). Las aplicaciones típicas corresponden a elevados volúmenes de información: fax, acceso a bases de datos, imágenes, etc.

### **General Packet Radio System, GPRS – Release 97**

Estandarizado por ETSI dentro de GSM fase 2+ y es considerado como generación 2.5. GPRS es un servicio paquetizado diseñado para: transmisión

frecuente de pequeños volúmenes de datos usando los protocolos IP y X.25, por ejemplo, navegación de Internet. Transmisión infrecuente de volúmenes moderados de datos por ejemplo, acceso a archivos. Ofrece servicios de transmisión punto-a-punto (PTP) y punto-a-multipunto (PTM). Las estaciones móviles con GPRS pueden usar de 1 a 8 time slots dependiendo de la capacidad del móvil. En la red GPRS los canales downlink y uplink y pueden ser usados mientras se realiza una llamada de voz son separados, la velocidad de transmisión de datos es de 21,4 Kbps por time slot, habiendo 8 time slots disponibles la velocidad es de  $21,4 \times 8 = 171,2$  Kbps como velocidad máxima, pero en el mercado los teléfonos móviles tienen solo 4 time slots para descarga con una velocidad  $4 \times 21,4 = 85,6$  Kbps, que por lo general en la práctica oscila entre 40 y 70 Kbps.

### **Enhanced Data Rates for GSM Evolution, EDGE – Release 99**

El comienzo de EDGE se remonta a 1997, cuando la ETSI dirigió un estudio de viabilidad en tasa de datos mejorada para la evolución de GSM y fue el principal mejoramiento de tasa de datos para las redes GSM. EDGE es especificado de tal forma que refuerza la capacidad por time slot para HSCSD y GPRS. El perfeccionamiento de HSCSD se llama ECSD, y el perfeccionamiento de GPRS se denomina EGPRS. En ECSD, la tasa de datos máxima no pasará de 64 kbps debido a las restricciones en la interfaz A pero la tasa de datos se triplica. En EGPRS, se tiene una tasa de datos por time slot de 59,2 y si se dispone de los 8 time slots de obtendrá

una velocidad máxima de  $59,2 \times 8$  igual a 473 kbps, en los móviles se disponen de 4 time slots para descargar datos, por ende se tendrá una tasa de datos máxima de  $59,2 \times 4$  igual a 236.8 Kbps que en la práctica oscila entre 120 y 180 Kbps. El mejoramiento de la tasa de datos se da gracias a la modulación 8PSK complementando a la existente GMSK, una señal 8PSK es capaz de llevar 3 bits por símbolo modulado mientras GMSK uno solo, por lo tanto se triplica la tasa de datos usando 8PSK.

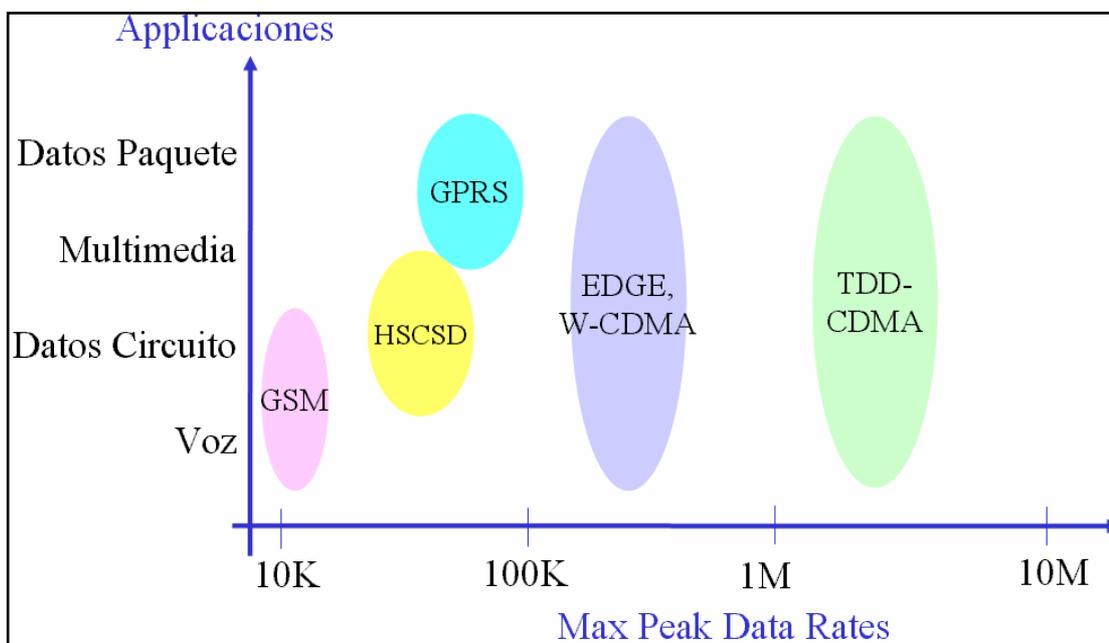


FIGURA No 3.2: Tasas promedios de tecnologías evolutivas de GSM

EDGE es un estándar 3G aprobado por la ITU, y está respaldado por la ETSI, EDGE se puede desplegar en múltiples bandas del espectro y complementa a UMTS, WCDMA y se puede desplegar en las bandas de frecuencia 800, 900, 1800 y 1900 MHz actuales y sirve como la vía a la tecnología WCDMA. EDGE ofrece servicios

de Internet Móvil con una velocidad en la transmisión de datos a tres veces superior a la de GPRS. EDGE es importante para los operarios con redes de GSM o GPRS que se desarrollarán en UMTS, les permite mejorar la infraestructura de GSM con EDGE que es una manera eficiente de lograr una cobertura de 3G complementaria en la red consistente al volver a emplear lo invertido en la tecnología de 2G

En verano del 2000, el trabajo de especificación de radio GSM fue movido de la ETSI SMG2 a 3GPP, el cual es un proyecto responsable de las normas de UMTS basadas en la evolución de la red central de GSM. Esto significó que el Release 99 fue la última versión de la norma de GSM/EDGE que se especificó en ETSI SMG, y todas la características técnica relacionada al acceso de radio a la red se movió al 3GPP, responsable con nuevos números de especificaciones. Las especificaciones de la parte de red central GSM se transfirieron 3GPP cuando el trabajo del proyecto fue comenzado, y el arreglo de la estandarización de GSM y el acceso de radio se dividió en dos diferentes cuerpos de estandarización para trabajar más eficazmente. Más pretenciosamente, las actividades apuntaron a la integración más cercana de radio GSM/EDGE y tecnología WCDMA que había llevado a una decisión para adoptar las especificaciones 3GPP como la interfase Iu para GERAN y así proveer servicios de multimedia de 3G. Luego del Release 99, en el 2001 se realizó las especificaciones para Release 4 entre las cuales, mejores requerimientos de eficiencia para la transferencia de datos, señalización y protocolos para redes GSM que tengan GPRS y EGPRS, como también una mejor localización de servicios GSM, LCS.

### 3.2 Descripción de una red celular GSM Release 4

Dentro de las especificaciones del 3GPP Release4 donde por primera vez se habla sobre la posibilidad real de VoIP, la arquitectura de la red del Core NSS es independiente de la red de transmisión del backbone, donde se encuentra integrado el nuevo elemento Media Gateway MGW capaz de interactuar entre la BSC y la MSC, es decir lo cual conlleva a la separación de la interfase A dada entre los dos elementos mencionados.

Con este nuevo elemento integrado se está cumpliendo los estándares para llegar hacia 3G WCDMA, UMTS, este MGW es capaz de dividir la red en segmentos Control Plane y User Plane, el primero está encargado del segmento o interfase Mc que es entre MGW-MSC SERVERC la cual transporta la señalización generada del requerimiento por los usuarios para acceder a los diferentes servicios que proporciona la red y el segundo corresponde al segmento o interfase A entre el MGW-BSC donde básicamente se trabaja con el tráfico de voz y servicios de valores agregados. Ojo falta indicar como va la señalización desde la BTS al MGW.

Para la integración del MGW, la MSC tiene que sufrir upgrade en Software y Hardware para poder soportar las conexiones hacia y desde el MGW, para esto a la MSC Server se la denominará stand alone, con respecto a la BSC esta también necesita sufrir upgrade de Software y Hardware para poder soportar las conexiones

necesarias con el MGW.

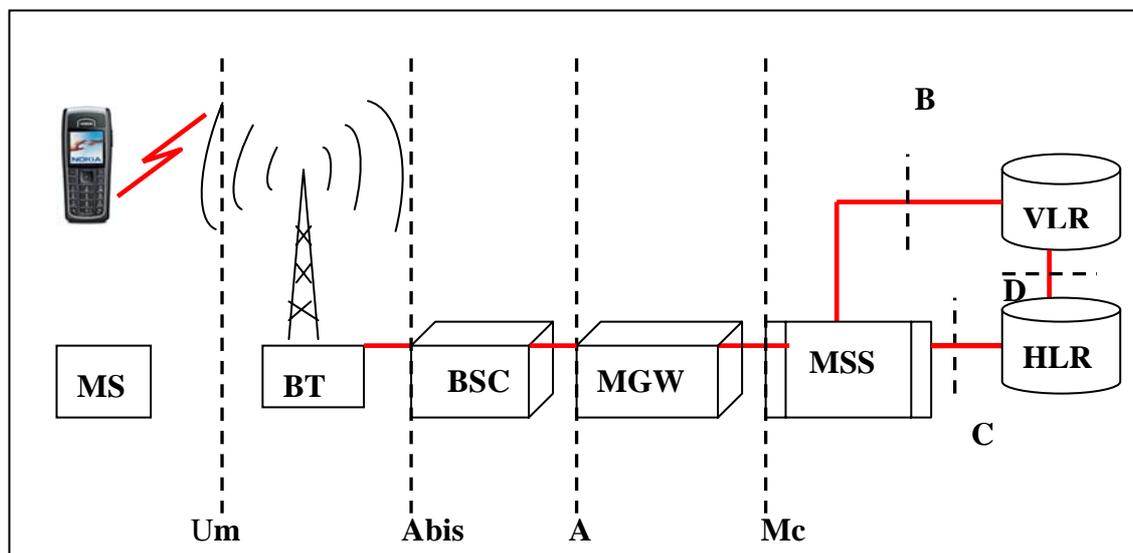


FIGURA No 3.3 Arquitectura de tecnología GSM Release 4.

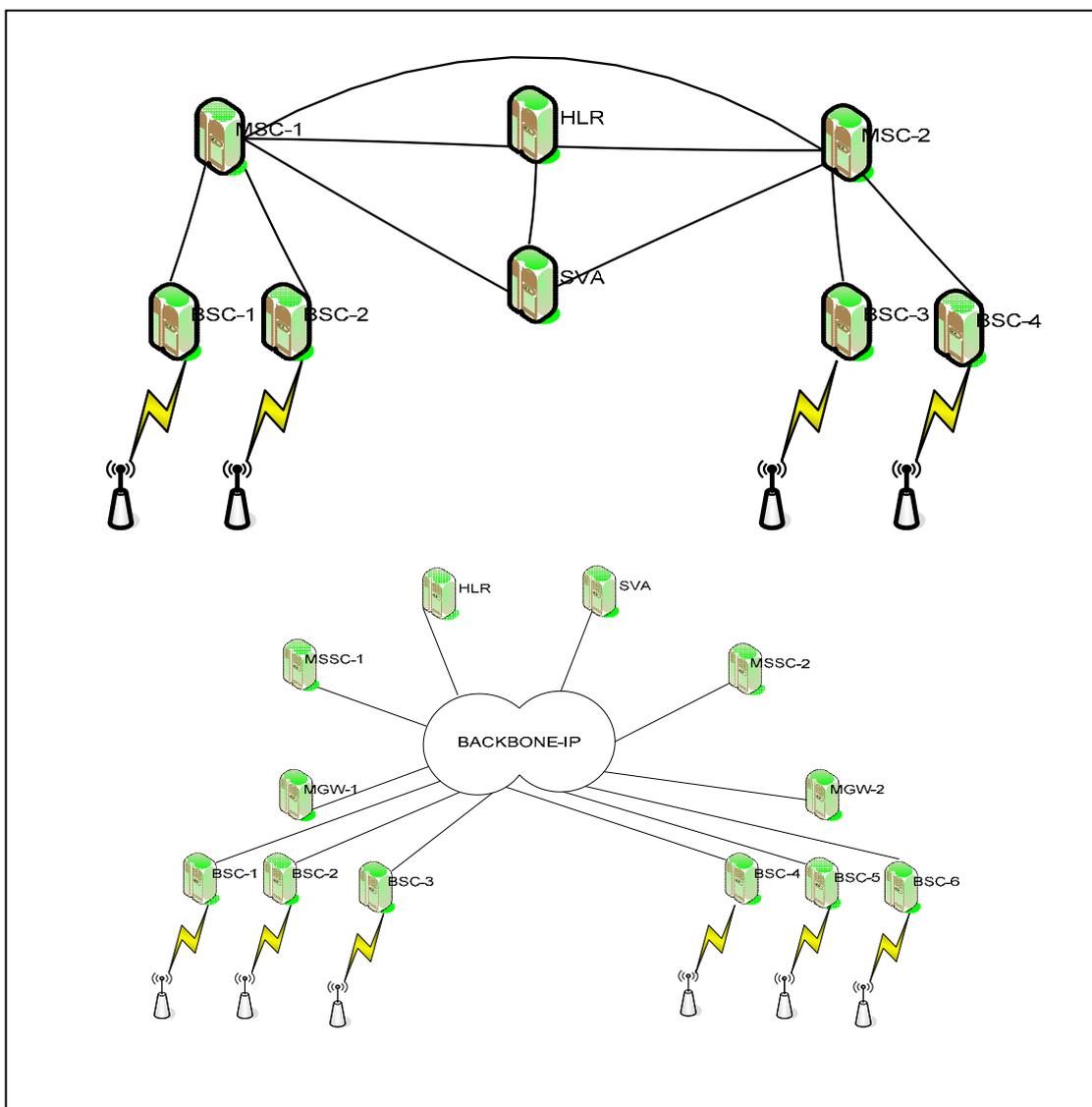
Lo que si esta claro son las ventajas que conlleva la integración de este elemento MGW, con lo cual se cumpliría las especificación de Release4 de 3GPP, lo cual implica un mejoramiento en los servicios brindados a los usuarios y existirá la capacidad con la misma topología y la inclusión de este elemento de incrementar la cantidad de usuarios que puedan acceder a los diferentes servicios que la operadora podría brindar a una mayor velocidad.

### 3.2.1 Arquitectura de una red GSM Release 4

La arquitectura ha especificar da como resultado la integración de un nuevo elemento llamado Media Gateway MGW quien actúa como mediador entre MSC Server y BSC, lo cual facilita para desarrollar una mejorada arquitectura para poder

cumplir a una mejora tecnología de transmisión es decir de TDM hacia ATM, es decir este MGW es capaz de manejar tanto tráfico de voz como señalización dividir el tipo de trafico con el objetivo de optimizar los recursos de la red.

La figura 3.4 muestra la arquitectura de la tecnología GSM 2G versus la tecnología GSM 2.5G, en la misma se puede observar las similitudes y diferencias .



**FIGURA No 3.4** Arquitectura de la tecnología GSM 2G versus GSM Release 4

Una vez realizados las actualizaciones necesarias tanto de Software como de Hardware en la MSC SERVER y la BSC, las mismas están en capacidad de ser conectadas al MGW pero se vuelve también necesario que en la red se integre equipos que manejen el Backbone IP lo cual es de mucha importancia debido que sin ello causaría graves problema con el dimensionamiento futuro de la red para 3G, este MGW divide el trafico de voz y señalización entre la BSC y la MSC SERVER con ello se logra la optimización esperada para la migración hacia 3G.

### **3.2.2 Interfases utilizadas en la red GSM Release 4**

En 3GPP Release 4 define las entidades funcionales y las interfases que se necesita para soportar al usuario móvil. Las principales nuevas interfases son las siguientes:

- A entre BSC - MGW
- Nb entre MGW - MGW.
- Nc entre MSC Server – MSC Server.
- Mc entre MSC Server-MGW
- B entre MSC Server - VLR
- C entre la MSC Server - HLR
- D entre HLR y VLR

En la figura 3.5 muestra las interfases antes descritas.

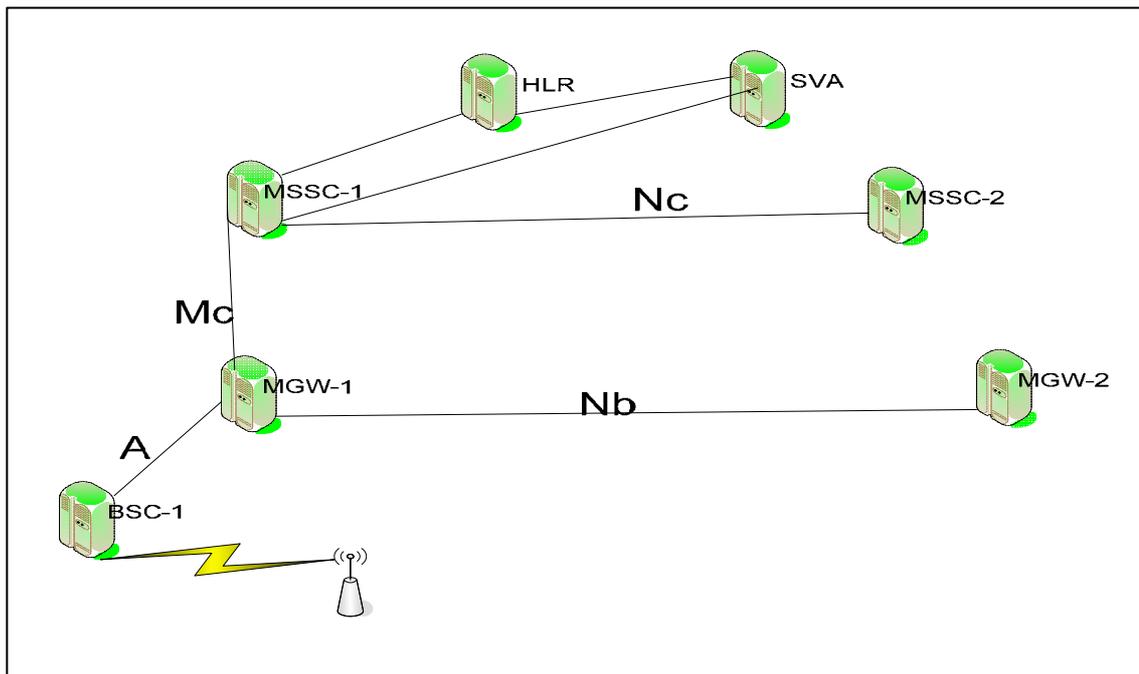


FIGURA No 3.5 Interfaces de la red GSM Release 4.

### 3.2.3 Tipos de protocolos usados en red GSM Release 4

Los principales protocolos introducidos por 3GPP Release 4 son:

- ❖ H.248/Megaco
- ❖ Sigtran
- ❖ Bearer Independent Call Control (BICC).

H.248/Megaco es un protocolo de control el cual es usado por la MSC Server para el control del MGW sobre la interfase Mc. H.248, también conocido como MEGACO, es el resultado de la cooperación entre la UIT, Unión Internacional de

Telecomunicaciones, y la IETF, Internet Engineering Task Force y se podría contemplar como un protocolo complementario a los dos anteriores. H.248 es un complemento a los protocolos H.323 y SIP: se utilizara para controlar los Media Gateways y el H.323 o SIP para comunicarse con otro controlador Media Gateway. Además, proporciona un control centralizado de las comunicaciones y servicios multimedia a través de redes basadas en IP. Megaco está adquiriendo solidez en el mercado porque permite una mayor escalabilidad que H.323, y da respuesta a las necesidades técnicas y a las funciones de conferencia multimedia que se pasaron por alto en el protocolo MGCP.

Sigtran es usado para el transporte de señalización de SSC7 sobre IP. SIGTRAN es el nombre del grupo de trabajo de la IETF, Internet Engineering Task Force, que ha desarrollado una serie de protocolos que permiten transportar señalización SS7 por redes IP. Por extensión llamamos SIGTRAN a este grupo de protocolos. Sigtran es además usado entre MGW y MSC Server para comunicarse con la red PSTN y UMTS. De esta manera el MGW actúa como un Gateway de señalización integrado.

Sigtran, transporte de señalización, es el nombre del grupo de trabajo del IETF encargado de definir una arquitectura para el transporte de señalización en tiempo real sobre redes IP. A raíz de ello, no sólo se creó una arquitectura, sino que se definió un conjunto de protocolos de comunicaciones para transportar mensajes SS7 sobre IP.

La arquitectura definida por el Sigtran [RFC2719] consta de tres componentes:

- IP estándar como protocolo de red.
- Un protocolo común de transporte de señalización. Los protocolos definidos por el Sigtran se basan en un nuevo protocolo de transporte sobre IP, llamado SCTP (Stream Control Transmission Protocol).
- Capas de adaptación específicas para cada capa de la torre SS7 que se necesite transportar. El IETF ha definido las siguientes: M2PA, M2UA, M3UA, SUA, TUA e IUA. IP SCTP Capa de adaptación S7UP/S7AP

BICC es usado para el control de llamadas entre dos MSC SERVER en la interfase Nc, permitiendo un backbone independiente en Control Plane y User Plane. Debido al nuevo manejo de señalización en la arquitectura para GSM release-4 cabe detallar la funcionalidad de los protocolos antes mencionados. El protocolo de control de llamada de portador independiente, Bearer Independent Call Control, BICC, que está preparando la Comisión de Estudio 11 del UIT-T, ofrece un medio para que los explotadores actuales de la RTPC, basándose en la tecnología de circuitos conmutados, hagan evolucionar sus redes hacia la compatibilidad con los servicios de voz por paquetes con un efecto mínimo en sus operaciones. Aunque existe cierta duplicación en la funcionalidad entre la especificación BICC del SG 11 y la H.323 del SG 16, la especificación H.323 se concentra en empresas pequeñas y nuevas de telecomunicaciones, mientras que la BICC es para las necesidades de las actuales

empresas operadoras de redes que han instalado redes ISUP y desean postergar su migración a SIP / SIP-T.

El protocolo BICC está basado en el protocolo de parte usuario de RDSI, ISUP, CCS7, y se especifica en la Recomendación Q.1901 del UIT-T. El BICC se transmite usando el mecanismo de transporte de aplicación, Application Transport Mechanism = APM. El protocolo BICC es una aplicación de la definición del protocolo ISUP, pero no es compatible entre pares con ISUP. Dicho protocolo recibía antes la denominación de ISUP+. El conjunto de capacidades uno (CS1) del BICC, compatible con las comunicaciones entre controladores de pasarelas de medios, fue decidido y aprobado por el SG 11 el 15 de junio de 2000. El BICC CS2, Recomendación Q.1902 del UIT-T, se refiere a otras redes portadoras, entre ellas las redes IP. Trata sobre las interfases e interacciones del controlador de pasarela de medios con la pasarela de medios. El BICC CS2 se determinó en noviembre de 2000. El SG 11 continúa trabajando en el BICC CS3.

### **3.3 Integración de Multimedia Gateway**

Este elemento es la principal novedad en las especificaciones de Release 4 con el cual la red será capaz de migrar hacia 3G, pero para poder integrar este nuevo elemento a la topología de la red GSM actual conlleva modificar la red de transporte en ciertas interfases de TDM hacia ATM, todo depende como la operadora le gustaría

y le convendría optar, pues ello conlleva con costo económico, para depende del mercado y su evolución en los requerimiento o necesidades.

El Multimedia Gateway tiene la capacidad de dividir la interfase A en control plane y user plane. El Control Plane como ya lo indicamos es la inteface entre MGW- MSC SERVER, en la cual el MGW se encarga de enviar y recibir requerimiento hacia y desde la MSC SERVER, este trafico solo es de señalización y no trafico de voz o datos, pues el trafico se trata en el Control User, es decir en la interfase A.



**FIGURA No 3.6 Funciones principales de un Multimedia Gateway**

La integración del MGW se lo puede llevar a cabo dependiendo si la MSC Server ya instalada sufrió el upgrade correspondiente caso contrario no estaría en capacidad de soportar el nuevo elemento, cuando se instalan MSC Server nuevas el Software ya viene listo para aceptar todas las interfases de las multimedia Gateway, MGW. Este nuevo elemento Multimedia Gateway ahora se encargara de toda la parte física, es decir las conexiones TDM e IP necesarias para poder interactuar con entre la BSC y la MSC SERVER, debido a esto se el multimedia gateway se encargara del

correcto procesamiento de señal, enrutamiento y multiplexación de la misma.

### 3.3.1 Arquitectura del Multimedia Gateway

El Multimedia Gateway esta enfocado principalmente para dar solución a las dos interfases control plane y user plane, de esta manera según al operador le convenga pueda elegir una solución al medio de transporte en dichas interfases. Físicamente este equipo es mas compacto comparado con la BSC la cual seria de forma homologa lo más parecido. Pero entre las principales funciones que tiene el Multimedia Gateway son:

Función para manejar las interfases de red.

Administración y control de funciones.

Función para el procesamiento de señal.

Función para el enrutamiento y la multiplexación.

Antes de iniciar con la descripción de las unidades funcionales, debemos tener claro que en todos mecanismos desde el mas sencillo al mas tecnológicamente avanzado se debe manejar el concepto de redundancia debido que si este es un servicio al publico una falla del mismo podría causar graves efectos en la persona o compañía que lo ofrece. Existen diferente tipos de redundancia ha ser aplicada, se muestran continuación.

**Duplicada (2N):** Una unidad esta en espera designada por la unidad activa, el software en el par de unidades esta sincronizado para un fácil switchover.

**Desplazamiento (N+1):** Una o mas unidades designadas están en espera para un grupo de unidades que están en working, las unidades en espera pueden ser reemplazadas por alguna de las unidades en estado activo sin causar graves efectos en el servicio brindado por aquella unidad, de igual manera los operadores podrían realizar dicho switchover de forma lógica para el cambio o mantenimiento de dicha unidad.

**Carga compartida (SN+):** En esta configuración no hay unidades en modo spare, todas las unidades picadas en un armario están trabajando como recurso del MGW, la cantidad de unidades puestas depende de la demanda que se realiza al MGW.

**No redundancia:** Significa que no hay en dicho elemento un real demanda que conlleve a la inserción de más unidades.

Ahora revisaremos las unidades funcionales que existen en un Multimedia Gateway:

**1.- Multiplexador ATM:** Esta unidad se encarga del switcheo y múltiplexación en los módulos ATM's.

**2.- Control y unidad administrativa del computador:** La misma que sirve para el control de switcheo ATM y el establecimiento de llamadas, en dicha unidad se

recomienda una redundancia de 2N, la misma tiene una interfase ATM hacia la unidad MXU.

**3.- Unidad de transcodificación:** Esta tarjeta incluye un numero de unidades de procesadores de señales las mismas que cumplen las siguientes funciones: Transcodificación de señales de lenguaje la conversión entre el formato coded usado in WCDMA y el PCM formato usado en la red GSM, el control del nivel de señal, las transmisiones discontinuas. Todos los DSP's de la unidad pueden ser libremente alojados.

**4.- Interface NMS:** Esta tarjeta provee facilidades como: interfase para usuario local, interfase con NMS, funcionalidades de O&M de las cuales no son manejadas por unidades del computador del MGW incluyendo pos-procesamiento y desarrollo y la administración de datos también actual como un controlador de los dispositivos periféricos. Esta tarjeta esta equipada con un dispositivo de almacenamiento para guardar estadísticas u medidas mediante un elemento de red HUB con sus respectivas interfases LAN.

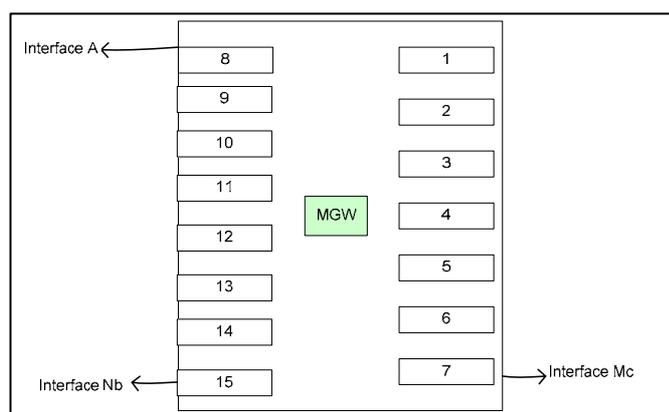
**5.- Memoria central del servidor:** Tarjeta en la cual se almacena los datos del MGW para una fácil distribución en el intercambio de información interna, además tiene el control centralizado de lo canales comunes de señalización, por ejemplo el análisis de dígitos.

**6.- Controlador de MGW:** Aquí se maneja la asignación del control del MGW's DSP y CDSP.

**7.- Unidad de control y señalización:** esta tarjeta es responsable para la emulación del core y la emulación de la señalización BSS hacia MSC/MSC SERVER.

**8.- Interfaz A:** Esta unidad se encarga del switcheo y multiplexación en los módulos ATM's.

**9.- Unidad de operación y administración:** dicha tarjeta maneja todos los módulos ATM's como la administración de la configuración y administración del hardware asociado a recuperar funciones. En el evento de una falla esta tarjeta automáticamente activara el adecuado recovery y procedimiento de diagnostico dentro del modulo ATM, además sirve como interfase entre el NEMU otras unidades internas. Esta tarjeta tiene dedicado dispositivos de almacenamiento.



**FIGURA No 3.7** Arquitectura de un Multimedia Gateway.

**10.- Anunciador de control:** En esta tarjeta se maneja los anuncios para las unidades de control del MGW.

**11.- Conmutador de Módulos:** Esta unidad se encarga del switcheo y multiplexación en todos los módulos ATM's existentes.

**12.- Sincronizador:** Esta tarjeta actúa como una unidad que es un reloj del búfer el cual distribuye la señal de sincronización generada por esta unidad.

**13.- Troncalizador de Interfases:** Esta unidad sirve como una troncal en las interfases de red de intercambio y ejecución en la capa física de ATM como control, estadística en las unidades de interfases TDM. Cada unidad de interfase de red contiene más de una interfase física.

**14.- Interfase STM:** Esta unidad sirve como una troncal en las interfases de red de intercambio y ejecución en la capa física de ATM como control, estadística del STM-1. Cada unidad de interfase de red contiene más de una interfase física.

**15. - Ethernet Switch:** Este elemento provee las interfases físicas LAN necesarias para las diferentes conexiones entre la tarjeta NEMU y otras unidades de intercambio como el conmutador de módulos.

### 3.3.2 Interfases del Multimedia Gateway

En el Multimedia Gateway existe una variedad de tipos de interfases que son usadas para poder soportar la red e inter-working, los mismos tienen la capacidad de manejar ciertos protocolos para la comunicación con las otras unidades de la red GSM Release 4 como por ejemplo:

- Interfase A, entre BSC-MGW
- Interfase Nb, entre MGW-MGW
- Interfase Mc entre MSC Server-MGW

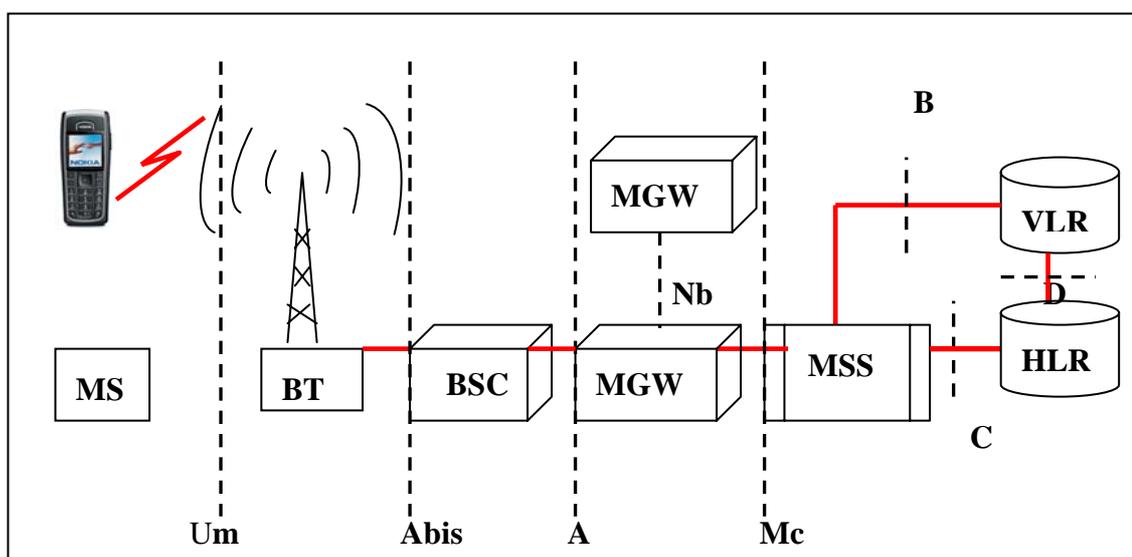


FIGURA No 3.8 Interfases del Multimedia Gateway.

Cabe también aclarar como todo equipo expandible en tecnología este viene prediseñado para la red del proveedor de tecnología que lo adquiere, es así que cierto

MGW, como por ejemplo si solo utilizaran interfases para tecnología de transmisión ATM, TDM, SDH, etc. Las interfases utilizadas para la toma de medidas en el capítulo cuarto estarán basadas en TDM y ATM, pero esto dependerá del tipo de la arquitectura deseada por cada operador que tenga la tecnología GSM dependiendo de la región donde estén operando y conveniencias.

En el actual trabajo de tesis se tomarán los datos de tráfico de voz de una red GSM que se le ha realizado la actualización a Release 4 pero la obtención de datos se realizará en la interfaz A que es la interfase entre la controladora de estación base, BSC, y el Multimedia Gateway, MGW. En GSM se ha especificado esta interfaz de forma que se pueda configurar de formas muy distintas por ejemplo, la localización física del transcodificador – adaptador de velocidades, TRAU, que puede estar integrado en el BSC o muy próxima al servidor de centro de conmutación móvil, MSC Server. El sistema de transmisión de esta interfaz está constituida por enlaces digitales de 2048 Kbps realizados mediante sistemas PCM que constan de 32 canales de 64 Kbps de los cuales 31 pueden ser utilizados para voz o señalización y el restante reservado para alineación de trama. En esta interfaz existen una serie de funciones que en ocasiones pueden hacer tanto el BSC como el MSC entre las principales tenemos: gestión de canales terrestres, gestión de canales de radio, codificación y decodificación de canal, transcodificación, adaptador de velocidad, gestión de la movilidad, trasposos, control de llamada y seguridad.

### 3.3.3 Tipos de protocolos usados en el Multimedia Gateway

Los diferentes tipos de protocolos utilizados en el MGW para la comunicación con los demás elementos de la red son por ejemplo H.248/ Megaco, Sigtran, BICC

H.248/Megaco es un protocolo de control el cual es usado por la MSC Server para el control del MGW sobre la interfase Mc. H.248, también conocido como MEGACO, es el resultado de la cooperación entre la UIT, Unión Internacional de Telecomunicaciones, y la IETF, Internet Engineering Task Force y se podría contemplar como un protocolo complementario a los dos anteriores. H.248 es un complemento a los protocolos H.323 y SIP: se utilizara para controlar los Media Gateways y el H.323 o SIP para comunicarse con otro controlador Media Gateway. Además, proporciona un control centralizado de las comunicaciones y servicios multimedia a través de redes basadas en IP. Megaco está adquiriendo solidez en el mercado porque permite una mayor escalabilidad que H.323, y da respuesta a las necesidades técnicas y a las funciones de conferencia multimedia que se pasaron por alto en el protocolo MGCP.

Sigtran es usado para el transporte de señalización de SSC7 sobre IP. SIGTRAN es el nombre del grupo de trabajo de la IETF, Internet Engineering Task Force, que ha desarrollado una serie de protocolos que permiten transportar señalización SS7 por redes IP. Por extensión llamamos SIGTRAN a este grupo de

protocolos. Sigtran es además usado entre MGW y MSC Server para comunicarse con la red PSTN y UMTS. De esta manera el MGW actúa como un Gateway de señalización integrado. Sigtran, transporte de señalización, es el nombre del grupo de trabajo del IETF encargado de definir una arquitectura para el transporte de señalización en tiempo real sobre redes IP. A raíz de ello, no sólo se creó una arquitectura, sino que se definió un conjunto de protocolos de comunicaciones para transportar mensajes SS7 sobre IP. La arquitectura definida por el Sigtran [RFC2719] consta de tres componentes:

- IP estándar como protocolo de red.
- Un protocolo común de transporte de señalización. Los protocolos definidos por el Sigtran se basan en un nuevo protocolo de transporte sobre IP, llamado SCTP (Stream Control Transmission Protocol).
- Capas de adaptación específicas para cada capa de la torre SS7 que se necesite transportar. El IETF ha definido las siguientes: M2PA, M2UA, M3UA, SUA, TUA e IUA. IP SCTP Capa de adaptación S7UP/S7AP

BICC es usado para el control de llamadas entre dos MSC SERVER en la interfase Nc, permitiendo un backbone independiente en Control Plane y User Plane. Debido al nuevo manejo de señalización en la arquitectura para GSM Release 4 cabe detallar la funcionalidad de los protocolos antes mencionados. El protocolo de control de llamada de portador independiente, Bearer Independent Call Control, BICC, que

está preparando la Comisión de Estudio 11 del UIT-T, ofrece un medio para que los explotadores actuales de la RTPC, basándose en la tecnología de circuitos conmutados, hagan evolucionar sus redes hacia la compatibilidad con los servicios de voz por paquetes con un efecto mínimo en sus operaciones. Aunque existe cierta duplicación en la funcionalidad entre la especificación BICC del SG 11 y la H.323 del SG 16, la especificación H.323 se concentra en empresas pequeñas y nuevas de telecomunicaciones, mientras que la BICC es para las necesidades de las actuales empresas operadoras de redes que han instalado redes ISUP y desean postergar su migración a SIP / SIP-T.

El protocolo BICC está basado en el protocolo de parte usuario de RDSI, ISUP, CCS7, y se especifica en la Recomendación Q.1901 del UIT-T. El BICC se transmite usando el mecanismo de transporte de aplicación, Application Transport Mechanism = APM. El protocolo BICC es una aplicación de la definición del protocolo ISUP, pero no es compatible entre pares con ISUP. Dicho protocolo recibía antes la denominación de ISUP+. El conjunto de capacidades uno (CS1) del BICC, compatible con las comunicaciones entre controladores de pasarelas de medios, fue decidido y aprobado por el SG 11 el 15 de junio de 2000. El BICC CS2, Recomendación Q.1902 del UIT-T, se refiere a otras redes portadoras, entre ellas las redes IP. Trata sobre las interfases e interacciones del controlador de pasarela de medios con la pasarela de medios. El BICC CS2 se determinó en noviembre de 2000. El SG 11 continúa trabajando en el BICC CS3.

### 3.4 Integración de Mobile Switching Center Server

La integración de la MSC Server es con el objetivo de dividir las tareas que antes sus predecesor hacían en parte es decir las MSC tenían que trabajar con la señalización y la conmutación del tráfico de voz y demás servicios agregados, lo cual conlleva a una concentración de trabajo, recursos y el riesgo en caso de que fallara este elemento se producirá un problema para prestar servicios a los abonados registrados en dicha MSC, ahora las tareas o funciones al realizar se dividen donde la MSC SERVER se encargara de administrar el tráfico es decir esta se encarga de conmutar dicho tráfico en función de la señalización a o requerimientos que un usuario realice.

Para la integración de Multimedia Gateway era necesario un Switch capaz de interpretar nuevos protocolos juntos con los nuevos puntos de conexión desde este, para lo cual se procedió con la actualización del Mobile Switching Center MSC, en este elemento se procedió con la implementación de nuevo software y hardware el mismo que sería capaz de soportar los nuevos requerimientos de la red y en especial los del MGW.

La integración de este nuevo Mobile Switching Server (MSC SERVER), se debería de realizar en paralelo con la integración del MGW, la principal novedad es el manejo de tráfico ATM, este dará una mejora en la transmisión de información,

además con la integración de la MSC SERVER se podrá lograr mejoras en el diseño de arquitecturas de red según le convenga a cada operador que desee utilizar este nuevo elemento.

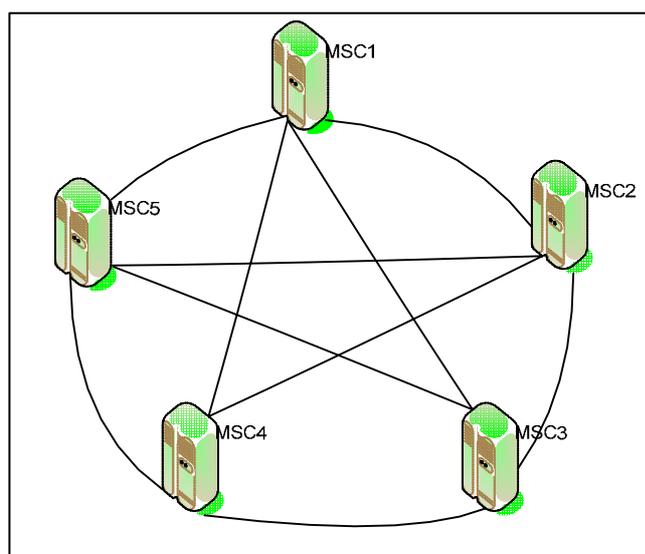
### **3.4.1 Arquitectura de MSC Server**

La MSC Server esta enfocada principalmente al servicio de conmutación y señalización de llamadas, es decir su función principal consiste en la gestión completa de establecimiento, encaminamiento, control y finalización de llamadas desde y hacia usuarios GSM la misma interactúa con los demás elementos de la red GSM y PSTN.

De forma muy unida esta el VLR (Registro de localización de visitantes) es una base de datos en la que esta guardada información temporal de cada cliente que se encuentra en la región de cobertura dará por la red y la zona de influencia de la MSC. Este VLR intercambia información frecuentemente con el HLR. La MSC Server soporta todas las interfases de señalización que existen actualmente en la red permitiendo una interacción ágil y eficiente.

La MSC Server esta en la parte NSS de la red independiente de la transmisión de backbone, según las especificaciones del release 4, la misma esta separada en llamada de control y señalización (control plane) y trafico (user plane) donde interactúa directamente con el MGW objetivo de este tesis.

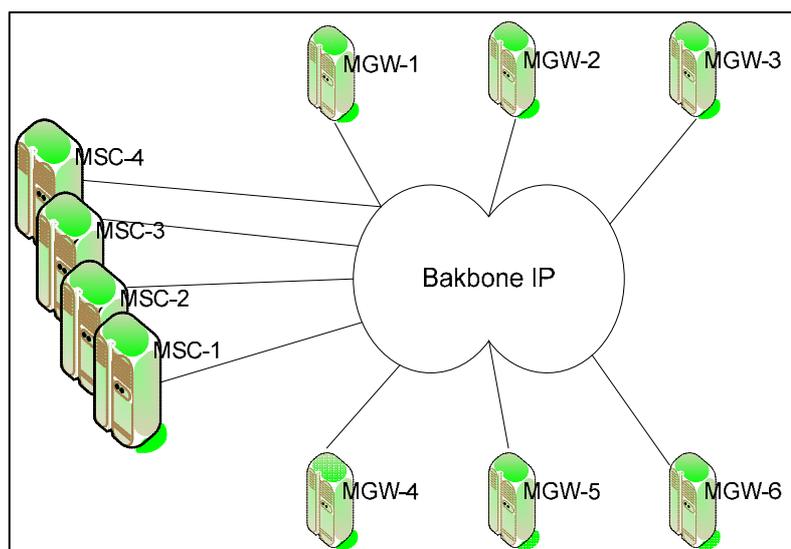
El 3GPP ofrece por primera vez la real posibilidad de implementar voz sobre IP en el ambiente en una vía estandarizada, esto permite a los operadores de red obtener los beneficios de VoIP sin afectar los beneficios que propiamente dan los elementos integrados. El backbone IP basado en esta arquitectura de release 4 lleva a una flexibilidad operacional y menores costos de infraestructura. De igual manera los operadores de red, pueden elegir entre varias soluciones que los proveedores les puedan brindar claro esta respetando la estandarización de release 4, en la siguientes figuras 3.9 y 3.10 se observa las siguientes soluciones de arquitecturas dadas para el core NSS.



**FIGURA No 3.9 Arquitectura de Core en GSM**

En la primera figura se observa una solución la más convencional y eficiente, en la cual se puede observar las conexiones de MSC's permitiendo tener configuradas los caminos de transmisión redundantes necesarios párale correcto funcionamiento de la red en caso de perder alguno de esos caminos de la red. Las conexiones son TDM

punto a punto las mismas pueden ser reemplazadas por interfases Ethernet IP para lo cual se debería crear un backbone IP, esta fácil operación basado en esta red reduce drásticamente los requerimiento de operación y mantenimiento, O&M.



**FIGURA No 3.10 Arquitectura de Core en GSM Release 4.**

Para la segunda figura podemos observar una solución de arquitectura para MSC's mas sofisticadas y mas eficiente que la figura anterior debido a la solución dada por release 4, donde se ha incluido el backbone IP, lo cual permite VoIP, dichas MSC's están conectadas entre si por dicha red, donde ya no hay enlaces dedicados.

Una vez implementado esta solución en la red, podríamos remover la necesidad de la capa física, es decir el cableado TDM punto a punto. IP backbone de transporte esta en capacidad de compartir interfases de trafico en vez de interfases TDM dedicadas claro esta sin comprometer la operabilidad de la red.

### 3.4.2 Interfases del MSC Server

En la MSC Server como en el MGW existe una variedad de interfases que son usadas para poder soportar la red e inter-working:

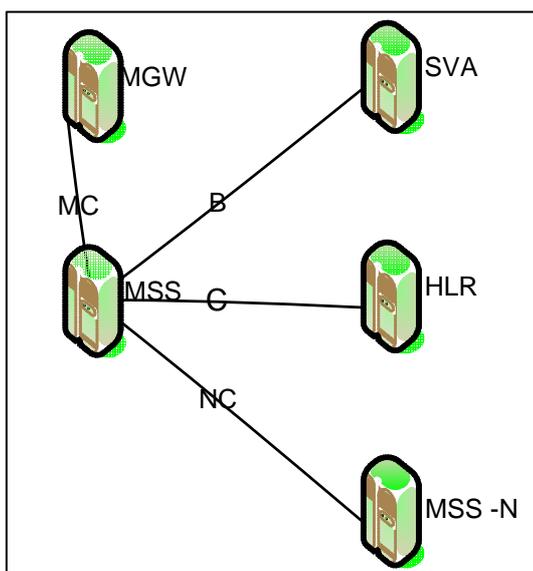
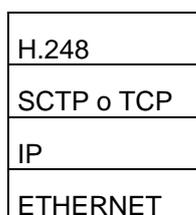


FIGURA No 3.11 Interfases del MSC Server

#### Interfase Mc entre MSC Server-MGW

Iniciando con 3GPP release 4 se maneja de forma diferente la llamada de control lo cual llevo a separar en control plane y user plane, sobre esta interfase se maneja la señalización, en la siguiente figura se muestra la estructura de sobre IP, así mismo la MSC controla el MGW sobre esta interfase la misma puede crear remover modificar vía comandos en el MGW, por ejemplo proveer tonos y hacer conexiones. El protocolo H.248 es usado en esta interfase entre MSC's, H.248/MEGACO ha sido conjuntamente desarrollado entre ITU-IT y IETF este soporta una separación de

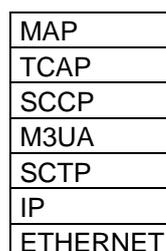
entidades de llamadas de control desde portador de entidades de control y entidades de transporte. En la siguiente figura se muestra se muestra la estructura disponible se señalización en la interfase Mc.



**FIGURA No 3.12 Capas de protocolo H.248**

### **Interfase C entre MSC-HLR**

Esta interfase es utilizada por la MSC para realizar un requerimiento de información de un usuario cuando esta realizando un location update o establecimiento de algún servicio la misma que puede ser establecida sobre IP. En la siguiente figura 3.8 se muestra se muestra la estructura disponible de señalización en la interfase C que usa el protocolo MAP.

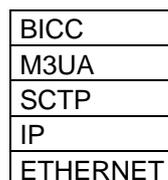


**FIGURA No 3.13 Capas de protocolo MAP**

### **Interfase Nc entre MSC-MSC**

Esta interfase esta basada en el control de señalización para llamadas las MSC soportan BICC como protocolo de llamada de control, el uso de BICC definido en

3GPP Release 4 esta como un portador independiente de protocolo de señalización de llamada lo cual indica que este es soportado por ATM e IP se elija la solución +el operador, BICC esta basado en ISUP. En la siguiente figura 3.9 se observa la estructura de BICC sobre IP.



**FIGURA No 3.14 Capas de protocolo BICC**

### 3.4.3 Tipos de protocolos usados en el MSC Server

En MSC Server utiliza los protocolos: H.248/MEGACO, El protocolo MEGACO ofrece las siguientes mejoras sobre MGCP:

- Soporta servicios de conferencias multimedia y multipunto.
- Posee una sintaxis mejorada Para hacer más eficiente el procesamiento semántico de los mensajes.
- Cuenta con opciones de transporte TCP y UDP.
- Permite codificación de texto o binaria.

Otro protocolo es el MAP, el cual es una extensión específica para redes móviles del sistema de señalización número 7 y transporta la información de señalización a actualizaciones de ubicación, perfiles de usuarios, handovers, etc., se

utiliza en las interfases B, C, D, E, F, G. Además usa los servicios de otros protocolos de señalización en capas inferiores como SCCP, TCAP esta basado en SS7, SCCP habilita la colocación de mensajes de señalización en el orden correcto orden, TCAP maneja la transacción de mensajes entre elementos de redes diferentes, entonces MAP utiliza los servicios de SCCP a través de TCAP.

BICC, es un protocolo para la llamada de control destinado para transportar información de la llamada de control, en la MSC Server, MSS soporta el BICC, los mismos trabajan sobre IP, en la sección anterior se dio una explicación de cada protocolo junto con su estructura.

### **3.5 Diferencias y ventajas de una red GSM Release 4 sobre una red GSM de segunda generación**

Las diferencias y ventajas de una red GSM Release 4 sobre una red GSM de segunda generación, principalmente se las puede tratar en función de la integración del MGW y la actualización del MSC pues estos elementos son el camino hacia la red GSM de tercera generación 3G, con ellos se puede iniciar el transporte de VoIP lo cual significa enormes ventajas para el operador y para el usuario final.

En GSM Release 4, el Multimedia Gateway divide la interfase A en dos interfases con lo cual la MSC solo se encargara de la conmutación y control de

señalización de la red, cuando antes este elemento se encargaba casi de todo el proceso de una llamada, en lo cual el sistema era centralizado a su vez conllevaba un mayor costo de O&M para el operador, y una desventaja con la carga de tráfico en la red.

Otras de las grandes diferencias en GSM Release 4, es que el Multimedia Gateway transforma tráfico TDMA en IP y viceversa, lo cual conlleva una enorme ventaja, pues estará en capacidad de interactuar con otras red que solo trabajan con tráfico IP, este elemento también trabaja en ATM, esto depende de la solución que el operador elija para su red.

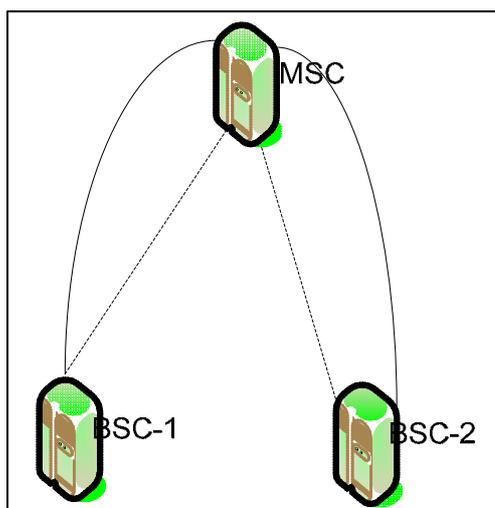
Como en secciones anteriores el Multimedia Gateway MGW divide la interfase A en User Plane, donde solo se maneja el tráfico y el Control Plane donde solo habrá tráfico de señalización pero de esto se encarga el MSC Sever.

### **3.5.1 Diferencias entre una red GSM Release 4 y una red GSM de segunda generación**

Las principales diferencias están a la vista de lo antes detallado, pues con ello hemos tratado de explicar las mejoras de la red GSM Release 4, entre las principales tenemos la integración del MGW, el cual se encarga de maximizar los recursos de la red especialmente en el camino de transmisión,

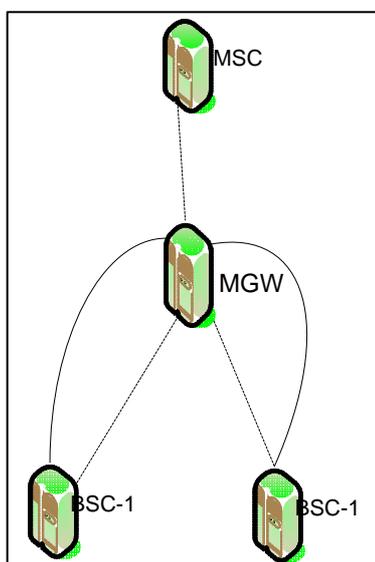
el cual es uno de los principales temas a tratar cuando se realiza un presupuesto de una red.

Una de los requerimientos de GSM Release 4 era de conseguir mayor recursos dentro de la red ya existente para dar mejores y nuevos servicios, en la figura 3.15 y 3.16 una demostración sencilla de la ventaja de la integración del Multimedia Gateway MGW es observando el tráfico de voz en la red, supongamos que el usuario A llama a un usuario B pero ocurre que dicho usuario se encuentra en la misma cobertura de MSC pero en otra BSC, para GSM 2G esto implicaría que tanto el tráfico de voz y señalización obligatoriamente pasaría a través de la MSC, esta es una desventaja pues conlleva enormes recursos de transmisión de TDM punto a punto cuando las estaciones controladores tienen demasiado demanda de requerimientos de las estaciones bases, BTS.



**FIGURA No 3.15 Esquema 1 GSM 2G**

Ahora el mismo ejemplo, el usuario A en cobertura de BSC-1 llama al usuario B que se encuentra en cobertura de BSC-2 pero ambas BSC's están en cobertura del mismo Multimedia Gateway MGW, observamos la ventaja que conlleva Release 4, la MSC no utiliza sus recursos de O&M para el trafico de voz, solo controla la conmutación y señalización ahora el Multimedia Gateway MGW se encargara de manejar el trafico de voz entre esos dos usuarios.



**FIGURA No 3.16 Esquema 1 GSM Release 4**

Otro ejemplo, en la figura 3.17 se muestra el escenario en una red de segunda generación GSM cuando un usuario A situado en la región de la BSC-1 la cual es controlada por la MSC-1 intenta comunicarse con el usuario B el cual se encuentra en la región de BSC-2 la cual a su vez es controlada por la MSC-2, como podemos notar en las MSC -1 y MSC-2 aparte de tener a cargo la carga de trabajo de conmutación y

señalización también llevarán el tráfico de voz, lo cual minimiza el desempeño de dichos switch, el tráfico pasara desde la BSC-1 a MSC-1, y este tráfico cursara a través de MSC-2 y para finalizar llegara hasta BSC-2.

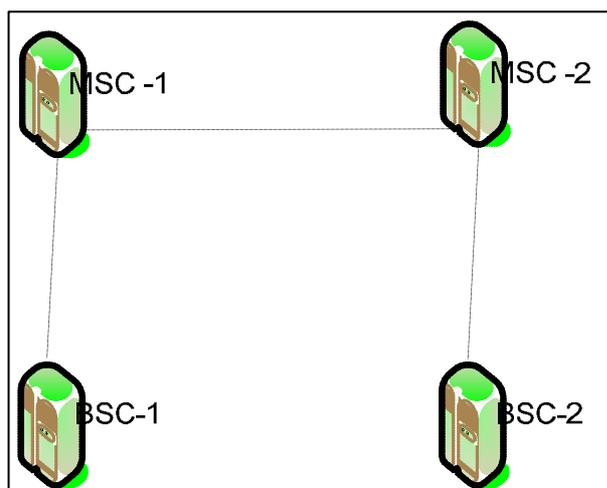
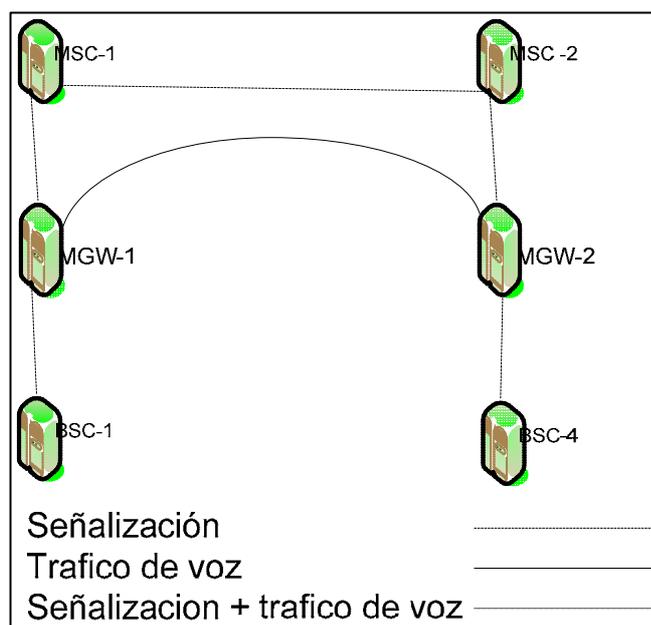


FIGURA No 3.17 Esquema 2 GSM 2G

En la figura 3.18 se muestra el mismo escenario un usuario A situado bajo el dominio de BSC-1 intenta comunicarse con el usuario B el cual es bajo el dominio de BSC-2, pero dicha red tiene aplicado el Release 4 de GSM. El usuario A al intentar llamar al usuario B, el requerimiento pasara desde la BSC-1 a través del MGW-1 hasta MSC-1 este switch conversa en la etapa de señalización con el HLR para detectar si dicho usuario esta atachado a la red, al detectarlo que el mismo esta en cobertura de MSC-2, los dos switch negocian conectarlo, a su vez los dos switches revisan la mejor ruta a través de los MGW's para enviar el tráfico de voz, para este escenario el tráfico de voz pasara desde BSC-1 a través de MGW-1 y llegara hasta MGW-2 el cual entregara dicho tráfico hasta BSC-2.



**FIGURA No 3.18 Esquema 2 GSM Release 4**

Otras de la diferencias es la separación de funciones de la MSC Server, la cual en la arquitectura de una red GSM de segunda generación no solo trataba la señalización sino también el tráfico de voz, el cual debía necesariamente pasar por esta debido que aun no existía un equipo capaz de tratar con esto y lo cual se generaba una elevada carga de trabajo para la misma. Estas dos grandes características entre las dos versiones de GSM son las grandes diferencias existentes, pues con ello se tiene focalizado llegar a la versión GSM de tercera generación.

### **3.5.2 Ventajas y desventajas de implementar una red GSM Release 4 por parte de una operadora de telefonía celular**

Las ventajas y desventajas presentes en las redes GSM-2G y GSM Release 4,

se observan cuando se implementa o quita elementos para maximizar el desarrollo de una red, este es el caso de GSM Release 4, la misma que le fue integrada un nuevo elemento el MGW, el cual será capaz por primera vez de mejorar en el uso de los recursos de transmisión, para ello el será el gestor en la BSC y la MSC, con eso será posible que los elemento BSC y MSC puedan manejar mayor cantidad de trafico de voz y aumentar la cantidad de usuario que puedan acceder a la red al mismo tiempo.

Ahora dentro de las desventajas para una operadora celular probablemente serán los recursos económicos que deba poner para actualizar la red, pero al final de cuanta esto es una inversión que significa en un futuro próximo ingreso económicos para la operadora debido a la cantidad de usuarios que accedan a la red al mismo tiempo ya lo largo del tiempo.

### **3.5.3 Ventajas de usuarios en la red GSM Release 4**

Las ventajas para los usuarios que utilizan esta nueva versión en la red GSM, es un mayor acceso a la red al mismo tiempo con un incremento a lo largo del mismo, los usuarios serán capaz de percibir notables mejorías como por ejemplo: acceso a nuevos servicios de IVR's como por ejemplo recarga de saldos, acceso a promociones brindado por el operador, consultas varias, etc. Otra ventaja es tener menos problemas al momento de realizar llamadas, esto es debido que existe un backbone el cual es capaz de utilizar todo los recursos existente para tratar de conectar la llamada en caso

de que exista problema con el camino de transmisión.

En estas dos características están encerradas diversas ventajas aplicadas con GSM Release 4, lo bueno de aplicar nuevos concepto en la red GSM es que las ventajas se dan para ambas partes tanto para la operadora como para el usuario, los dos son capaces de utilizarlo para su beneficio.

## **CAPITULO 4**

### **ANALISIS COMPARATIVO DE TRÁFICO DE VOZ DE RED GSM RELEASE 4 Y GSM DE SEGUNDA GENERACION EN EL ECUADOR**

#### **4.1 Ingeniería de tráfico celular**

En el actual proyecto de tesis se mostrará el tráfico de voz transportado entre la controladora de la estación base, BSC y el multimedia gateway, MGW por la interfaz A la cual conecta estos 2 dispositivos en una red GSM Release 4, pero antes se explicará brevemente el tráfico celular con probabilidad de bloqueo de llamadas, las unidades de medición de tráfico, tipos y variaciones de tráfico.

##### **4.1.1 Descripción de tráfico celular y probabilidad de bloqueo**

Todo sistema de telecomunicaciones tiene que proveer una demanda de tráfico fluctuante que solo se puede predecir con un grado limitado de exactitud. La

naturaleza del servicio requiere un alto estándar de rendimiento, desde el punto de vista del usuario la gran mayoría de las demandas deben ser satisfechas con poco ó ningún retraso, de lo contrario considerará un servicio inaceptable. Al mismo tiempo, los equipos de transmisión y conmutación son caros y deben ser eficientemente utilizados. Los intercambios entre teléfonos son conectados por uniones de circuitos, canales ó troncales que tienen un intercambio de conversaciones de pares. Uno de los pasos más importantes en telecomunicaciones es determinar el número de troncales requeridos en una ruta o conexión entre centrales. Para dimensionar una ruta se debe tener una idea de lo que es el dimensionamiento, que es cuanta gente desea llamar a la vez en la ruta. El uso de una ruta de transmisión o de un conmutador nos introduce a la ingeniería de tráfico y su uso debe ser definido por dos parámetros: la tasa de llamadas, o el número de veces que una trayectoria es usada por un periodo unitario, y el tiempo de espera, o la duración de una trayectoria en una llamada. Una trayectoria de tráfico es en un canal, una frecuencia de banda, una línea, un troncal o un circuito sobre el cual comunicaciones individuales pasan en secuencia. El flujo de tráfico a través de una central es la intensidad de uso de los circuitos en un tiempo determinado y se define como el producto del número de llamadas por la duración promedio durante un periodo de observación de una hora. Es decir:

$$A = C \times T$$

Donde A = Flujo de tráfico

C = Número de llamadas originadas en una hora

T = Tiempo promedio de llamadas en minutos

El tráfico en una red celular se refiere al acumulado de todas las solicitudes de los usuarios que la red está atendiendo. En lo que a la red se refiere, las solicitudes de servicio arriban aleatoriamente y usualmente requieren tiempos de servicio impredecible. El primer paso del análisis de tráfico es la caracterización de los arribos de tráfico y tiempos de servicio en un marco probabilístico. A partir de lo cuál la red pueda ser evaluada en términos de cuánto tráfico transporta bajo cargas normales o promedio y con que frecuencia el volumen de tráfico excede la capacidad de la red. La impredecible naturaleza del tráfico telefónico es el resultado de dos procesos aleatorios: El arribo de llamadas y los tiempos de retención. El arribo de un usuario particular se considera por lo general que ocurre completamente al azar y que es totalmente independiente del arribo de otros usuarios así que el número de arribos durante un intervalo de tiempo particular es indeterminado. En la mayoría de los casos los tiempos de retención también se distribuyen aleatoriamente. En algunas aplicaciones este crecimiento de aleatoriedad se puede sustituir por considerar tiempos de retención constantes. En cualquier caso la carga de tráfico presentada a una red depende fundamentalmente tanto de la frecuencia de arribos como de los tiempos promedios de retención de cada arribo.

Por tanto siempre existe una probabilidad de bloqueo en la red, la cual se la define como la inhabilidad de conseguir un circuito cuando es requerido y ocurre cuando no hay suficientes canales disponibles en la BTS, vocoders, matrices de conmutación o troncales desde la central hacia otras operadoras. La probabilidad de

bloqueo es expresada usualmente en porcentajes y se la conoce a veces como grado de servicio que viene definida por la siguiente fórmula:

$$\%P = (\# \text{ de llamadas pérdidas} / \# \text{ total de llamadas ofrecidas}) \times 100\%$$

**%P= Grado de servicio.**

En los sistemas celulares esta probabilidad de bloqueo debe ser un valor muy bajo para poder brindar una excelente calidad de servicio y no tener un alto valor de llamadas caídas o no tratadas, por lo general entre una estación móvil y una BTS puede existir un máximo de probabilidad de bloqueo del 2%, entre la BTS y la BSC del 1 al 5% y de la BSC a la MSC del 1 al 9 %.

#### **4.1.2 Unidades de medición de tráfico celular**

La unidad internacional y principal de tráfico telefónico se le denomina Erlang en reconocimiento al matemático danés A. K. Erlang, fundador de la teoría de tráfico telefónico. Un Erlang representa a un circuito continuamente ocupado o usado durante un período de observación que normalmente es una hora y se determina por la siguiente fórmula:

$$\text{Erlang} = \frac{\# \text{ de llamadas en una hora} \times \text{duración de llamadas en segundos}}{3600}$$

Cabe anotar que se considera la duración de llamadas en segundos debido a

que todas las conversaciones tienen una duración de tiempo variable siendo pocos segundos lo mínimo que puede durar una conversación y por ende se divide para 3600 porque se desea obtener el Erlang por hora.

Otra unidad de medición de tráfico es el average call holding time o el tiempo promedio de llamadas que viene dada por la fórmula:

$$\text{ACHT} = \text{tiempo promedio de conversación} / \# \text{ de llamadas en una hora}$$

El término unidad de llamada ó su sinónimo cien segundos de llamada, CCS, es de uso más o menos generalizado. Y corresponde al número de circuitos ocupados en observaciones de cada 100 segundos. Así mismo otra unidad es el MOU o minutos de llamadas donde el período de observación es de 60 minutos. La relación de los CCS y del MOU con el Erlang es:

$$1 \text{ Erlang} = 36 \text{ CCS} = 60 \text{ MOU}$$

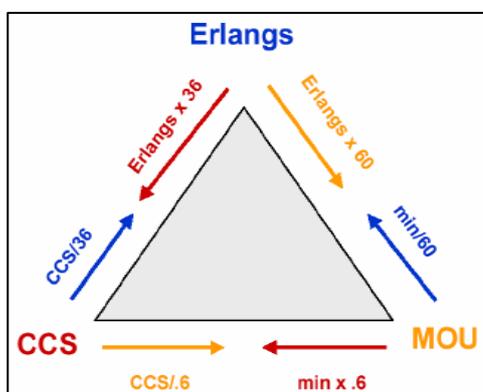


FIGURA No 4.1 Conversión entre unidades de medición de tráfico

### 4.1.3 Estrategias de cola y tipos de carga de tráfico

La ingeniería de Tráfico es una aplicación de una ciencia llamada teoría de colas, esta teoría de colas relaciona la estadística de arribo de usuarios, número de servidores y varias estrategias de cola con una probabilidad determinada de que el usuario tenga el servicio. La consideración fundamental del análisis de tráfico clásico es que el arribo de las llamadas es independiente. Es decir, el arribo de una fuente no está relacionado al arribo de cualquier otra fuente. En aquellos casos en que el arribo de llamadas tiende a estar correlacionado, aún se pueden obtener resultados útiles efectuando un análisis de arribos aleatorio. La adopción de arribos "aleatorios" provee una formulación matemática a problemas que de otra manera son matemáticamente insolubles, la distribución Poisson considera que los arribos son independientes y que ocurren a una tasa promedio  $A$  sin relación con el número de arribos ocurridos en previos al intervalo en cuestión. Por lo cual la distribución de probabilidad de Poisson se debe utilizar solo para un gran número de fuentes independientes.

Por otro lado las estrategias de cola se refieren al tratamiento que se les da a las llamadas teniendo una situación de bloqueo que pueden ser dos tipos de bloqueo determinados, Erlang B o sistema de pérdida y Erlang C o sistema de espera.

**Erlang B:** Cuando una llamada encuentra todos los recursos ocupados

abandona el sistema aunque tal vez se produzcan reintentos posteriores, la probabilidad de bloqueo para el caso de infinitos usuarios y que deja el sistema por siempre es conocido como Erlang B.

**Erlang C:** Cuando una llamada encuentra todos los recursos ocupados, se pone en una cola de espera hasta que pueda ser atendida, la cola es ordenada, es decir, las primeras llamadas en entrar a la cola también son las primeras en salir de ella

En los sistemas GSM se emplea Erlang B porque las llamadas que no son tratadas por la central ya sea por falta de canales disponibles en la BTS, son bloqueadas y no pasan a una cola de espera. La tabla de Erlang B provee el número de canales versus la carga ofrecida en Erlangs para diferentes valores de probabilidad de bloqueo.

Canales	Tráfico
8	3.63
13	7,40
20	13,18
28	20,15
30	21,93
42	32.84

**TABLA No 4.1: Erlang B con Probabilidad de bloqueo del 2%**

En cada BTS GSM se encuentran los transeptores de transmisión y recepción, TRX, y estos tienen una cantidad de canales disponibles para tráfico de

voz, la BTS dependiendo de la cantidad de TRX que pueda tener, va a tener menor o mayor capacidad de manejar una cantidad de tráfico determinado, por ejemplo una BTS con 4 TRX tiene 28 canales disponibles para tráfico lo que equivale que la BTS puede manejar hasta 20, 15 Erlangs de tráfico, si hay mayor tráfico demandado por los usuarios en la zona que se encuentra esta BTS, va a existir congestión en la BTS y por ende caídas de llamadas, por lo tanto el operador GSM tendrá que aumentar TRX en la estación base o colocar una nueva estación base.

### **Tipos de carga de tráfico**

**Carga de tráfico demandado**, es el tráfico que los usuarios intentan originar cuando realizan las llamadas, por lo tanto es manejado por la central y se lo puede obtener de mediciones tomados en el centro de operación y mantenimiento, OMC, mediante la siguiente formula:

$$\mathbf{Td = \# \text{ de llamadas} \times \text{promedio de duración de las llamadas}}$$

**Carga disponible o tráfico ofrecido**, es el tráfico que puede ser manejado por el sistema, este tráfico ofrecido es una cantidad no medible debido a que se desconoce el tiempo de duración de las llamadas que es aleatorio, por ende cada operador GSM debe tener un correcto dimensionamiento de la red para soportar una gran cantidad de tráfico y más en horas picos.

**Tráfico bloqueado** es el que no puede ser manejado, debido a que los intentos nunca se materializan, el tráfico bloqueado puede ser estimado basado en el número de intentos bloqueados y el promedio de duración de las llamadas exitosas.

#### 4.1.4 Eficiencia de troncales y variaciones de tráfico

El concepto de troncal permite que un gran número de usuarios puedan compartir un pequeño grupo de canales dentro de una celda brindando acceso a cada usuario bajo demanda, desde un pool disponible de canales que tienen un grado de servicio, el GOS es una medida de la habilidad de un particular usuario para acceder a un sistema troncalizado durante la horade mayor ocupación.

Troncales	Erlangs	Eficiencia
1	0,02	2 %
5	1,66	33 %
10	5,08	51 %
25	17,5	70 %
50	40,25	81%
100	87,97	88 %
1000	991,85	99 %

**TABLA No 4.2: Eficiencia de troncal con un GOS del 2%**

El principio de eficiencia troncal dice que para un grado de servicio dado, la eficiencia de la utilización de la troncal incrementa cuando el número de troncales o canales en el pool se hace mas grande. Para grupos de troncales de algunos cientos de

canales, la eficiencia de la troncal se aproxima al 100 %.

### **Variaciones de tráfico**

Debido a las variaciones por hora, día, mes, año, estación o tendencias a largo plazo, es necesario en telefonía coleccionar y analizar el tráfico hora a hora y seguir tendencias sobre meses, trimestres y años. Si se planifican troncales, esta debe soportar la mayor carga del día, no se consideran eventos especiales como desastres, días festivos, a menos que sea una promoción. Para determinar el dimensionamiento de las instalaciones telefónicas en concordancia con las necesidades de los subscriptores, se requiere la comprensión de la naturaleza del tráfico telefónico y su distribución con respecto al tiempo y destino. Los volúmenes de tráfico varían, la duración de las conversaciones es otra importante variable a considerar. Aunque la duración de llamada puede variar considerablemente entre centrales y temporadas del año, se ha encontrado por mediciones reales, que tiempos de conversación de uno a tres minutos son relativamente frecuentes, en tanto que diez ó más minutos son más ocasionales.

La hora pico es la hora en un día donde el tráfico demandado es máximo y por lo general el operador GSM se basa en este valor para dimensionar la red, este valor de tráfico varía día a día, en una red GSM por lo general la busy hour se presenta entre las 7 y 8 de la noche de cada día siendo viernes o sábado a esta hora, el día donde se presenta el tráfico máximo en toda una semana, y el día domingo y feriados días de

menor tráfico.

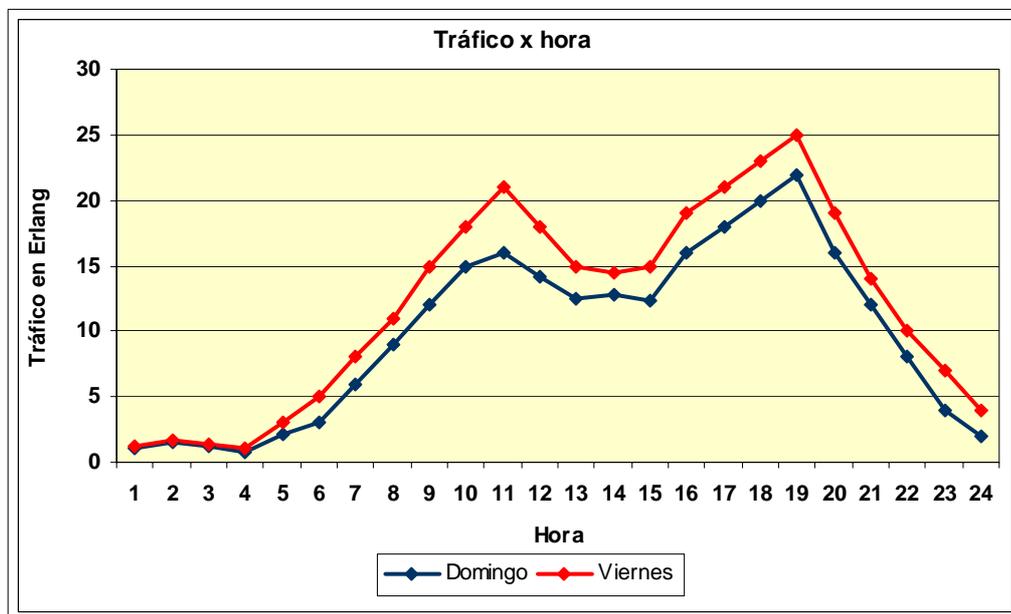


FIGURA No 4.2 Comportamiento de tráfico celular de una BTS de 2 días de la semana

#### 4.2 Datos reales de tráfico de voz entre la BSC y la MSC de la interfaz A de una red GSM de segunda generación

En esta versión de la red GSM, presentaremos datos obtenidos de un esquema utilizado por una operadora Celular, la cual tenía el esquema de arquitectura GSM de segunda generación, sin la integración de MGW, para esto dicha red en la interfase A utiliza tecnología de transmisión TDM, la cual como sabemos es una limitante cuando se trabaja con gran cantidad de tráfico aun mas cuando se trata del transporte de voz. Para la toma de datos reales entre la controladora de estación base BSC y centro de conmutación MSC en la interfase A, la empresa que proporciona los datos la denominaremos Operadora Celular A, dichos datos son tomados con equipos que

retiene medidas de forma constante dependiendo de los días que se vayan a tomar dichas mediciones, para aquello la operadora tuvo que invertir en dichos equipos pero al final dicho gastos se traduce en inversión, pues con este estudio de medición de tráfico de las 2 redes GSM la operadora celular A podrá lograr optimizar su red. La figura 4.3 muestra el escenario de la red GSM de segunda generación.

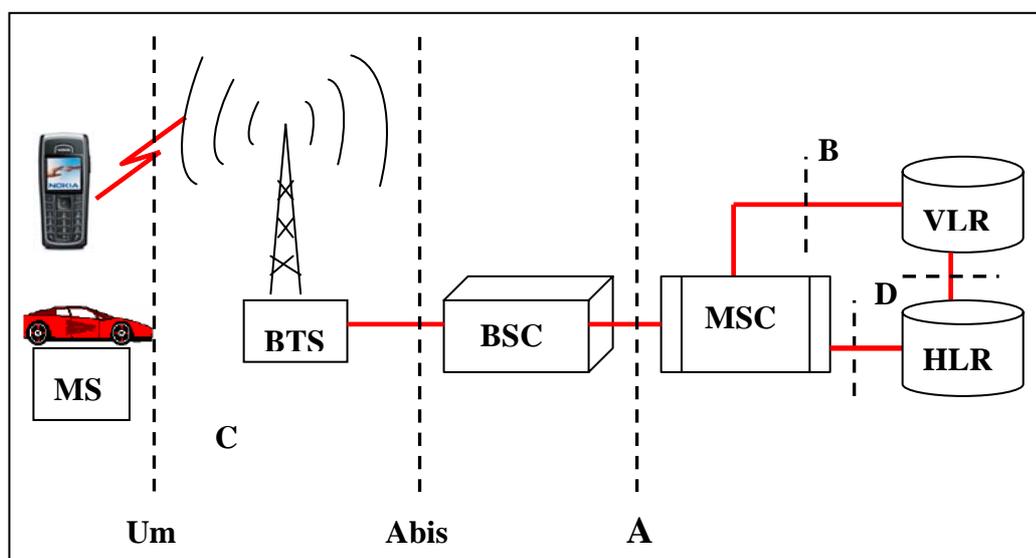


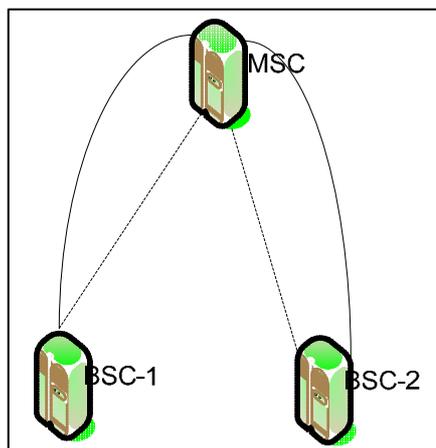
FIGURA No 4.3 Red GSM de segunda generación.

#### 4.2.1 Escenario y topología para la obtención de datos reales de tráfico de voz en red GSM de segunda generación

A continuación se adjunta el escenario elegido para la toma de datos, los cuales fueron tomados en el mes de Noviembre del 2007 haciendo énfasis en los días de mayor tráfico pues con ello lograremos observar realmente la capacidad que posee la red para soportar el tráfico en cuestión, cabe indicar que dichos equipos adicionales son constantemente calibrados para evitar datos falsos o se presente degradación al

momento de la tomas de medidas.

En la figura 4.4, se observa la interacción de la interfase A entre la BSC y la MSC, en dicho tramos el trafico de voz es transmitido sobre TDM, lo cual implica la realizar el correcto dimensionamiento de la red en dicha interfase, para lo cual una limitante son recursos de circuitos de E1's, debido que cada una de ellas corresponde a un par de cobre en los tributarios de la central en cuestión.



**FIGURA No 4.4 Esquema para la toma de medidas en 2G GSM.**

#### **4.2.2 Datos reales de tráfico de voz obtenidos entre la MSC y dos BSC de red GSM de segunda generación**

En la sección anterior se mostró el escenario para la obtención de los datos de tráfico de voz en la interfaz A entre la Mobile Switching Center, MSC, y 2 Base Station Controller, BSC, estos datos fueron obtenidos el mes de noviembre del 2007.

MSC	BSC	FECHA	TRAFICO PICO	TRAFICO TOTAL	Capacidad en Erlangs	% Ocupación
MSC	BSC-1	Jueves 1 de Noviembre de 2007	89,00	994,90	345,81	25,74%
MSC	BSC-1	Viernes 2 de Noviembre de 2007	106,90	1280,95	345,81	30,91%
MSC	BSC-1	Sábado 3 de Noviembre de 2007	102,75	1151,00	345,81	29,71%
MSC	BSC-1	Domingo 4 de Noviembre de 2007	75,75	888,32	345,81	21,91%
MSC	BSC-1	Lunes 5 de Noviembre de 2007	73,35	949,25	345,81	21,21%
MSC	BSC-1	Martes 6 de Noviembre de 2007	82,32	999,15	345,81	23,80%
MSC	BSC-1	Miércoles 7 de Noviembre de 2007	77,20	928,35	345,81	22,32%
MSC	BSC-1	Jueves 8 de Noviembre de 2007	92,12	998,65	345,81	26,64%
MSC	BSC-1	Viernes 9 de Noviembre de 2007	112,33	1311,77	345,81	32,48%
MSC	BSC-1	Sábado 10 de Noviembre de 2007	105,65	1177,98	345,81	30,55%
MSC	BSC-1	Domingo 11 de Noviembre de 2007	75,00	892,32	345,81	21,69%
MSC	BSC-1	Lunes 12 de Noviembre de 2007	76,43	963,76	345,81	22,10%
MSC	BSC-1	Martes 13 de Noviembre de 2007	83,44	1000,36	345,81	24,13%
MSC	BSC-1	Miércoles 14 de Noviembre de 2007	80,76	950,77	345,81	23,35%
MSC	BSC-1	Jueves 15 de Noviembre de 2007	96,54	1009,41	345,81	27,92%
MSC	BSC-1	Viernes 16 de Noviembre de 2007	118,34	1378,65	345,81	34,22%
MSC	BSC-1	Sábado 17 de Noviembre de 2007	111,98	1269,73	345,81	32,38%
MSC	BSC-1	Domingo 18 de Noviembre de 2007	78,83	902,65	345,81	22,80%
MSC	BSC-1	Lunes 19 de Noviembre de 2007	80,54	966,57	345,81	23,29%
MSC	BSC-1	Martes 20 de Noviembre de 2007	85,76	1054,65	345,81	24,80%
MSC	BSC-1	Miércoles 21 de Noviembre de 2007	96,54	970,43	345,81	27,92%
MSC	BSC-1	Jueves 22 de Noviembre de 2007	101,23	1075,32	345,81	29,27%
MSC	BSC-1	Viernes 23 de Noviembre de 2007	124,32	1411,36	345,81	35,95%
MSC	BSC-1	Sábado 24 de Noviembre de 2007	116,12	1345,32	345,81	33,58%
MSC	BSC-1	Domingo 25 de Noviembre de 2007	80,21	933,43	345,81	23,19%
MSC	BSC-1	Lunes 26 de Noviembre de 2007	83,65	986,48	345,81	24,19%
MSC	BSC-1	Martes 27 de Noviembre de 2007	88,43	1087,63	345,81	25,57%
MSC	BSC-1	Miércoles 28 de Noviembre de 2007	100,32	983,21	345,81	29,01%
MSC	BSC-1	Jueves 29 de Noviembre de 2007	110,23	1106,44	345,81	31,88%
MSC	BSC-1	Viernes 30 de Noviembre de 2007	140,65	1538,91	345,81	40,67%

**TABLA No 4.3: Datos reales de tráfico de voz entre MSC y BSC – 1 de red GSM 2G**

MSC	BSC	FECHA	TRAFIC O PICO	TRAFICO TOTAL	Capacidad en Erlangs	% Ocupación
MSC	BSC-2	Jueves 1 de Noviembre de 2007	1290,55	16996,70	2735,80	47,17%
MSC	BSC-2	Viernes 2 de Noviembre de 2007	1255,45	16588,05	2735,80	45,89%
MSC	BSC-2	Sábado 3 de Noviembre de 2007	1279,60	16722,85	2735,80	46,77%
MSC	BSC-2	Domingo 4 de Noviembre de 2007	1560,55	20699,85	2735,80	57,04%
MSC	BSC-2	Lunes 5 de Noviembre de 2007	1389,05	17985,55	2735,80	50,77%
MSC	BSC-2	Martes 6 de Noviembre de 2007	1168,85	15673,85	2735,80	42,72%
MSC	BSC-2	Miércoles 7 de Noviembre de 2007	1244,50	16584,90	2735,80	45,49%
MSC	BSC-2	Jueves 8 de Noviembre de 2007	1295,66	17200,52	2735,80	47,36%
MSC	BSC-2	Viernes 9 de Noviembre de 2007	1256,12	16612,58	2735,80	45,91%
MSC	BSC-2	Sábado 10 de Noviembre de 2007	1285,61	16800,78	2735,80	46,99%
MSC	BSC-2	Domingo 11 de Noviembre de 2007	1580,89	21002,98	2735,80	57,79%
MSC	BSC-2	Lunes 12 de Noviembre de 2007	1400,32	18108,36	2735,80	51,19%
MSC	BSC-2	Martes 13 de Noviembre de 2007	1189,21	15712,54	2735,80	43,47%
MSC	BSC-2	Miércoles 14 de Noviembre de 2007	1255,48	16725,61	2735,80	45,89%
MSC	BSC-2	Jueves 15 de Noviembre de 2007	1302,56	17245,23	2735,80	47,61%
MSC	BSC-2	Viernes 16 de Noviembre de 2007	1260,45	16801,59	2735,80	46,07%
MSC	BSC-2	Sábado 17 de Noviembre de 2007	1293,46	17000,23	2735,80	47,28%
MSC	BSC-2	Domingo 18 de Noviembre de 2007	1595,48	21312,73	2735,80	58,32%
MSC	BSC-2	Lunes 19 de Noviembre de 2007	1425,34	18419,65	2735,80	52,10%
MSC	BSC-2	Martes 20 de Noviembre de 2007	1205,56	16124,15	2735,80	44,07%
MSC	BSC-2	Miércoles 21 de Noviembre de 2007	1264,23	16954,23	2735,80	46,21%
MSC	BSC-2	Jueves 22 de Noviembre de 2007	1315,67	17462,37	2735,80	48,09%
MSC	BSC-2	Viernes 23 de Noviembre de 2007	1270,85	17001,59	2735,80	46,45%
MSC	BSC-2	Sábado 24 de Noviembre de 2007	1300,18	17301,56	2735,80	47,52%
MSC	BSC-2	Domingo 25 de Noviembre de 2007	1620,35	21541,95	2735,80	59,23%
MSC	BSC-2	Lunes 26 de Noviembre de 2007	1440,48	18645,32	2735,80	52,65%
MSC	BSC-2	Martes 27 de Noviembre de 2007	1220,45	16395,17	2735,80	44,61%
MSC	BSC-2	Miércoles 28 de Noviembre de 2007	1289,56	17205,94	2735,80	47,14%
MSC	BSC-2	Jueves 29 de Noviembre de 2007	1322,85	17787,25	2735,80	48,35%
MSC	BSC-2	Viernes 30 de Noviembre de 2007	1287,59	18122,30	2735,80	47,06%

**TABLA No 4.4: Datos reales de tráfico de voz entre MSC y BSC – 2 de red GSM 2G**

### 4.2.3 Capacidad de usuarios de red en función de datos de tráfico de voz

De la sección anterior ahora observaremos la capacidad de usuarios que este segmento de red es decir la controladora de estación base podrá manejar con un GoS del 1% y teniendo un tráfico por usuario de 30 mE

$$\text{Capacidad de usuarios} = \text{Tráfico pico cursado} / \text{mE por Abonado}$$

Para la BSC1 en el mes de noviembre del 2007 tuvimos un tráfico pico de 140.65 E con lo cual:

$$\text{Capacidad de usuarios} = \text{Tráfico pico cursado} / \text{mE por Abonado}$$

$$\text{Capacidad de usuarios} = 140.65 \text{ E} / 0.03 \text{ E}$$

$$\text{Capacidad de usuarios} = \mathbf{4.688 \text{ usuarios}}$$

Para la BSC2 en el mes de noviembre del 2007 tuvimos un tráfico pico de 1620.35 E con lo cual:

$$\text{Capacidad de usuarios} = \text{Tráfico pico cursado} / \text{mE por Abonado}$$

$$\text{Capacidad de usuarios} = 1620.35 \text{ E} / 0.03 \text{ E}$$

$$\text{Capacidad de usuarios} = \mathbf{54.011 \text{ usuarios}}$$

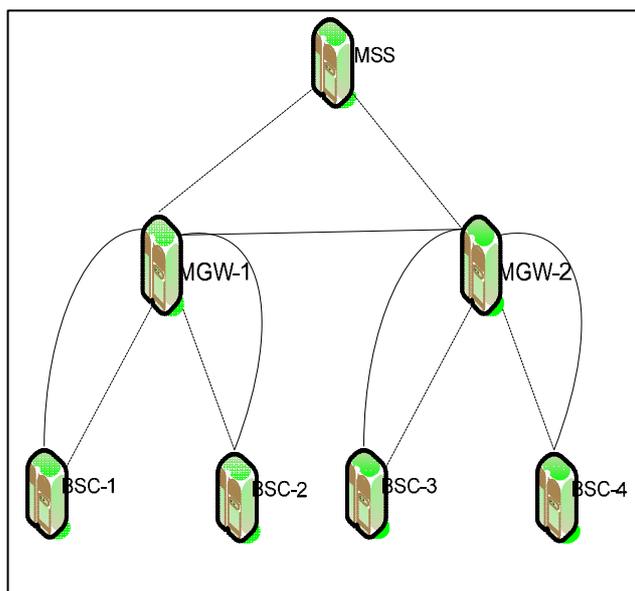
### **4.3 Datos reales de tráfico de voz entre la BSC y MGW de la interfaz A de una red GSM Release 4**

Con la integración del Multimedia Gateway se logra mejoras en la optimización de la transmisión y en especial en la interfase A, con lo cual se vera reflejado en la cantidad de usuarios que accedan a los diferentes servicios que ofrezca la operadora celular, además lograra una optimización también para la señalización, al separar el trafico de voz del trafico de señalización, es decir en User plane y Control plane, esta separación era una de las condiciones para el upgrade a esta versión. Cabe indicar que la integración de MGW es fundamental para lograr la separación de la interfase A, lo cual garantizara una mayor optimización de la red de transporte en la interfase A.

#### **4.3.1 Escenario y topología para la obtención de datos reales de tráfico de voz en red GSM Release 4**

A continuación se adjunta el escenario elegido para la toma de datos, los cuales fueron tomados en el mes de Abril del 2008 haciendo énfasis en los días de mayor trafico pues con ello lograremos observar realmente la capacidad que posee la red para soportar el trafico en cuestión, estos datos fueron tomados de la operadora celular A una vez que aplico en unos de sus segmentos de red el upgrade respectivo

es decir la integración del MGW y la actualización del MSC Server, en la figura 4.5 se puede observar la interacción en la interfase A de dos BSC un MGW y el MSC Server, como indicamos anteriormente ahora existe los segmentos user plane y Control Plane, lo cual sirve para separar el trafico de voz de la señalización.



**FIGURA No 4.5 Esquema para la toma de medidas en GSM Release 4**

#### **4.3.2 Datos reales de tráfico de voz obtenidos entre dos MGW y dos BSC conectados a cada MGW de una red GSM Release 4**

En la sección anterior se mostró el escenario para la obtención de los datos de tráfico de voz en la interfaz A, entre 2 Base Station Controller conectadas a un Multimedia gateway, estos datos fueron obtenidos el mes de Abril del 2008.

MGW	BSC	FECHA	TRAFICO PICO	TRAFICO TOTAL	Capacidad en Erlangs	% Ocupación
MGW	BSC-1	Martes 1 de Abril de 2008	180,67	2040,54	692,24	26,10%
MGW	BSC-1	Miércoles 2 de Abril de 2008	217,01	2627,23	692,24	31,35%
MGW	BSC-1	Jueves 3 de Abril de 2008	208,58	2360,70	692,24	30,13%
MGW	BSC-1	Viernes 4 de Abril de 2008	153,77	1821,94	692,24	22,21%
MGW	BSC-1	Sábado 5 de Abril de 2008	148,90	1946,91	692,24	21,51%
MGW	BSC-1	Domingo 6 de Abril de 2008	167,11	2049,26	692,24	24,14%
MGW	BSC-1	Lunes 7 de Abril de 2008	162,12	1996,88	692,24	23,42%
MGW	BSC-1	Martes 8 de Abril de 2008	193,45	2148,10	692,24	27,95%
MGW	BSC-1	Miércoles 9 de Abril de 2008	235,89	2821,62	692,24	34,08%
MGW	BSC-1	Jueves 10 de Abril de 2008	221,87	2533,83	692,24	32,05%
MGW	BSC-1	Viernes 11 de Abril de 2008	157,50	1919,38	692,24	22,75%
MGW	BSC-1	Sábado 12 de Abril de 2008	160,50	2073,05	692,24	23,19%
MGW	BSC-1	Domingo 13 de Abril de 2008	175,22	2151,77	692,24	25,31%
MGW	BSC-1	Lunes 14 de Abril de 2008	173,63	2201,13	692,24	25,08%
MGW	BSC-1	Martes 15 de Abril de 2008	207,56	2336,89	692,24	29,98%
MGW	BSC-1	Miércoles 16 de Abril de 2008	254,43	3191,71	692,24	36,75%
MGW	BSC-1	Jueves 17 de Abril de 2008	240,76	2939,55	692,24	34,78%
MGW	BSC-1	Viernes 18 de Abril de 2008	169,48	2089,73	692,24	24,48%
MGW	BSC-1	Sábado 19 de Abril de 2008	173,16	2237,71	692,24	25,01%
MGW	BSC-1	Domingo 20 de Abril de 2008	190,39	2441,62	692,24	27,50%
MGW	BSC-1	Lunes 21 de Abril de 2008	214,32	2440,73	692,24	30,96%
MGW	BSC-1	Martes 22 de Abril de 2008	224,73	2704,54	692,24	32,46%
MGW	BSC-1	Miércoles 23 de Abril de 2008	275,99	3549,71	692,24	39,87%
MGW	BSC-1	Jueves 24 de Abril de 2008	257,79	3383,61	692,24	37,24%
MGW	BSC-1	Viernes 25 de Abril de 2008	178,07	2347,67	692,24	25,72%
MGW	BSC-1	Sábado 26 de Abril de 2008	185,70	2481,10	692,24	26,83%
MGW	BSC-1	Domingo 27 de Abril de 2008	196,31	2735,50	692,24	28,36%
MGW	BSC-1	Lunes 28 de Abril de 2008	230,74	2571,19	692,24	33,33%
MGW	BSC-1	Martes 29 de Abril de 2008	253,53	2893,45	692,24	36,62%
MGW	BSC-1	Miércoles 30 de Abril de 2008	323,50	3632,21	692,24	46,73%

. TABLA No 4.5: Datos reales de tráfico de voz entre MGW y BSC – 1 de red GSM Release 4

MGW	BSC	FECHA	TRAFICO PICO	TRAFICO TOTAL	Capacidad en Erlangs	% Ocupación
MGW	BSC-2	Martes 1 de Abril de 2008	2695,96	35778,05	5498,96	49,03%
MGW	BSC-2	Miércoles 2 de Abril de 2008	2622,64	34917,85	5498,96	47,69%
MGW	BSC-2	Jueves 3 de Abril de 2008	2673,08	35201,60	5498,96	48,61%
MGW	BSC-2	Viernes 4 de Abril de 2008	3259,99	43573,18	5498,96	59,28%
MGW	BSC-2	Sábado 5 de Abril de 2008	2901,73	37859,58	5498,96	52,77%
MGW	BSC-2	Domingo 6 de Abril de 2008	2441,73	32993,45	5498,96	44,40%
MGW	BSC-2	Lunes 7 de Abril de 2008	2848,66	34911,21	5498,96	51,80%
MGW	BSC-2	Martes 8 de Abril de 2008	2965,77	36207,09	5498,96	53,93%
MGW	BSC-2	Miércoles 9 de Abril de 2008	2875,26	43192,71	5498,96	52,29%
MGW	BSC-2	Jueves 10 de Abril de 2008	2942,76	43682,03	5498,96	53,51%
MGW	BSC-2	Viernes 11 de Abril de 2008	3618,66	54607,75	5498,96	65,81%
MGW	BSC-2	Sábado 12 de Abril de 2008	3205,33	47081,74	5498,96	58,29%
MGW	BSC-2	Domingo 13 de Abril de 2008	2722,10	40852,60	5498,96	49,50%
MGW	BSC-2	Lunes 14 de Abril de 2008	2999,34	43486,59	5498,96	54,54%
MGW	BSC-2	Martes 15 de Abril de 2008	3111,82	44837,60	5498,96	56,59%
MGW	BSC-2	Miércoles 16 de Abril de 2008	3011,22	43684,13	5498,96	54,76%
MGW	BSC-2	Jueves 17 de Abril de 2008	3090,08	44200,60	5498,96	56,19%
MGW	BSC-2	Viernes 18 de Abril de 2008	3811,60	55413,10	5498,96	69,31%
MGW	BSC-2	Sábado 19 de Abril de 2008	3405,14	47891,09	5498,96	61,92%
MGW	BSC-2	Domingo 20 de Abril de 2008	2880,08	45147,62	5498,96	52,38%
MGW	BSC-2	Lunes 21 de Abril de 2008	3399,51	47471,84	5498,96	61,82%
MGW	BSC-2	Martes 22 de Abril de 2008	3537,84	48894,64	5498,96	64,34%
MGW	BSC-2	Miércoles 23 de Abril de 2008	3417,32	47604,45	5498,96	62,14%
MGW	BSC-2	Jueves 24 de Abril de 2008	3496,18	48444,37	5498,96	63,58%
MGW	BSC-2	Viernes 25 de Abril de 2008	4357,12	60317,46	5498,96	79,24%
MGW	BSC-2	Sábado 26 de Abril de 2008	3873,45	52206,90	5498,96	70,44%
MGW	BSC-2	Domingo 27 de Abril de 2008	3281,79	45906,48	5498,96	59,68%
MGW	BSC-2	Lunes 28 de Abril de 2008	3467,63	48176,63	5498,96	63,06%
MGW	BSC-2	Martes 29 de Abril de 2008	3557,14	49804,30	5498,96	64,69%
MGW	BSC-2	Miércoles 30 de Abril de 2008	3462,33	50742,44	5498,96	62,96%

. TABLA No 4.6: Datos reales de tráfico de voz entre MGW y BSC – 2 de red GSM Release 4

MGW	BSC	FECHA	TRAFICO PICO	TRAFICO TOTAL	Capacidad en Erlangs	% Ocupación
MGW	BSC-3	Martes 1 de Abril de 2008	159,31	1679,13	662,42	24,05%
MGW	BSC-3	Miércoles 2 de Abril de 2008	191,35	2016,84	662,42	28,89%
MGW	BSC-3	Jueves 3 de Abril de 2008	183,92	1938,54	662,42	27,77%
MGW	BSC-3	Viernes 4 de Abril de 2008	135,59	1429,14	662,42	20,47%
MGW	BSC-3	Sábado 5 de Abril de 2008	131,30	1383,87	662,42	19,82%
MGW	BSC-3	Domingo 6 de Abril de 2008	147,35	1553,10	662,42	22,24%
MGW	BSC-3	Lunes 7 de Abril de 2008	138,19	1456,50	662,42	20,86%
MGW	BSC-3	Martes 8 de Abril de 2008	164,89	1737,99	662,42	24,89%
MGW	BSC-3	Miércoles 9 de Abril de 2008	201,07	2119,29	662,42	30,35%
MGW	BSC-3	Jueves 10 de Abril de 2008	189,11	1993,26	662,42	28,55%
MGW	BSC-3	Viernes 11 de Abril de 2008	114,75	1209,47	662,42	17,32%
MGW	BSC-3	Sábado 12 de Abril de 2008	116,94	1232,53	662,42	17,65%
MGW	BSC-3	Domingo 13 de Abril de 2008	127,66	1345,57	662,42	19,27%
MGW	BSC-3	Lunes 14 de Abril de 2008	123,56	1302,35	662,42	18,65%
MGW	BSC-3	Martes 15 de Abril de 2008	147,71	1556,82	662,42	22,30%
MGW	BSC-3	Miércoles 16 de Abril de 2008	181,06	1908,37	662,42	27,33%
MGW	BSC-3	Jueves 17 de Abril de 2008	171,33	1805,81	662,42	25,86%
MGW	BSC-3	Viernes 18 de Abril de 2008	120,61	1271,23	662,42	18,21%
MGW	BSC-3	Sábado 19 de Abril de 2008	123,23	1298,80	662,42	18,60%
MGW	BSC-3	Domingo 20 de Abril de 2008	131,21	1382,98	662,42	19,81%
MGW	BSC-3	Lunes 21 de Abril de 2008	188,25	1984,19	662,42	28,42%
MGW	BSC-3	Martes 22 de Abril de 2008	197,40	2080,58	662,42	29,80%
MGW	BSC-3	Miércoles 23 de Abril de 2008	242,42	2555,15	662,42	36,60%
MGW	BSC-3	Jueves 24 de Abril de 2008	226,43	2386,61	662,42	34,18%
MGW	BSC-3	Viernes 25 de Abril de 2008	156,41	1648,56	662,42	23,61%
MGW	BSC-3	Sábado 26 de Abril de 2008	163,12	1719,26	662,42	24,62%
MGW	BSC-3	Domingo 27 de Abril de 2008	172,44	1817,50	662,42	26,03%
MGW	BSC-3	Lunes 28 de Abril de 2008	195,62	2061,88	662,42	29,53%
MGW	BSC-3	Martes 29 de Abril de 2008	214,95	2265,56	662,42	32,45%
MGW	BSC-3	Miércoles 30 de Abril de 2008	274,27	2890,78	662,42	41,10%

. TABLA No 4.7: Datos reales de tráfico de voz entre MGW y BSC – 3 de red GSM Release 4

MGW	BSC	FECHA	TRAFICO PICO	TRAFICO TOTAL	Capacidad en Erlangs	% Ocupación
MGW	BSC-4	Martes 1 de Abril de 2008	1735,79	15804,37	3328,09	52,15%
MGW	BSC-4	Miércoles 2 de Abril de 2008	1688,58	15374,52	3328,09	50,73%
MGW	BSC-4	Jueves 3 de Abril de 2008	1721,06	15670,27	3328,09	51,71%
MGW	BSC-4	Viernes 4 de Abril de 2008	2098,94	19110,85	3328,09	63,06%
MGW	BSC-4	Sábado 5 de Abril de 2008	1868,27	17010,62	3328,09	56,13%
MGW	BSC-4	Domingo 6 de Abril de 2008	1572,10	14314,00	3328,09	47,23%
MGW	BSC-4	Lunes 7 de Abril de 2008	1673,85	15240,43	3328,09	50,29%
MGW	BSC-4	Martes 8 de Abril de 2008	1742,66	15866,94	3328,09	52,36%
MGW	BSC-4	Miércoles 9 de Abril de 2008	1689,48	15382,73	3328,09	50,76%
MGW	BSC-4	Jueves 10 de Abril de 2008	1729,15	15743,87	3328,09	51,95%
MGW	BSC-4	Viernes 11 de Abril de 2008	2126,30	19359,93	3328,09	63,88%
MGW	BSC-4	Sábado 12 de Abril de 2008	1883,43	17148,63	3328,09	56,58%
MGW	BSC-4	Domingo 13 de Abril de 2008	1599,49	14563,33	3328,09	48,05%
MGW	BSC-4	Lunes 14 de Abril de 2008	1688,62	15374,89	3328,09	50,73%
MGW	BSC-4	Martes 15 de Abril de 2008	1751,94	15951,44	3328,09	52,63%
MGW	BSC-4	Miércoles 16 de Abril de 2008	1695,31	15435,75	3328,09	50,93%
MGW	BSC-4	Jueves 17 de Abril de 2008	1739,70	15840,00	3328,09	52,27%
MGW	BSC-4	Viernes 18 de Abril de 2008	2145,92	19538,61	3328,09	64,47%
MGW	BSC-4	Sábado 19 de Abril de 2008	1917,08	17455,03	3328,09	57,60%
MGW	BSC-4	Domingo 20 de Abril de 2008	1621,48	14763,56	3328,09	48,71%
MGW	BSC-4	Lunes 21 de Abril de 2008	1700,39	15482,05	3328,09	51,09%
MGW	BSC-4	Martes 22 de Abril de 2008	1769,58	16111,99	3328,09	53,16%
MGW	BSC-4	Miércoles 23 de Abril de 2008	1709,29	15563,12	3328,09	51,35%
MGW	BSC-4	Jueves 24 de Abril de 2008	1748,74	15922,30	3328,09	52,54%
MGW	BSC-4	Viernes 25 de Abril de 2008	2179,37	19843,17	3328,09	79,24%
MGW	BSC-4	Sábado 26 de Abril de 2008	1937,45	17640,44	3328,09	58,21%
MGW	BSC-4	Domingo 27 de Abril de 2008	1641,51	14945,91	3328,09	49,32%
MGW	BSC-4	Lunes 28 de Abril de 2008	1734,46	15792,24	3328,09	52,11%
MGW	BSC-4	Martes 29 de Abril de 2008	1779,23	16199,92	3328,09	53,45%
MGW	BSC-4	Miércoles 30 de Abril de 2008	1731,81	15768,12	3328,09	52,03%

. TABLA No 4.8: Datos reales de tráfico de voz entre MGW y BSC – 4 de red GSM Release 4

### 4.3.3 Capacidad de usuarios de red GSM Release 4 en función de datos de tráfico de voz

De los datos tomados en la red GSM Release 4 ahora observaremos la capacidad de usuarios que este segmento de red es decir la controladora de estación base podrá manejar con un GoS del 1% y teniendo un tráfico por usuario de 30 mE

$$\text{Capacidad de usuarios} = \text{Tráfico pico cursado} / \text{mE por Abonado}$$

Para la BSC1 en el mes de abril del 2008 tuvimos un tráfico pico de 323.50 E con lo cual:

$$\text{Capacidad de usuarios} = 323.50 \text{ E} / 0.03 \text{ E}$$

$$\text{Capacidad de usuarios} = \mathbf{10.783 \text{ usuarios}}$$

Para la BSC2 en el mes de abril del 2008 tuvimos un tráfico pico de 4357.12 E con lo cual:

$$\text{Capacidad de usuarios} = 4357.12 \text{ E} / 0.03 \text{ E}$$

$$\text{Capacidad de usuarios} = \mathbf{145.237 \text{ usuarios}}$$

Para la BSC3 en el mes de abril del 2008 tuvimos un tráfico pico de 274.27 E con lo cual:

Capacidad de usuarios =  $274.27 \text{ E} / 0.03 \text{ E}$

**Capacidad de usuarios = 9.142 usuarios**

Para la BSC4 en el mes de abril del 2008 tuvimos un tráfico pico de 2179.37 E con lo cual:

Capacidad de usuarios =  $2179.37 \text{ E} / 0.03 \text{ E}$

**Capacidad de usuarios = 72.645 usuarios**

#### **4.4 Análisis y comparación de datos reales de tráfico de voz de redes GSM**

##### **Release 4 y GSM de segunda generación**

En los puntos 4.2 y 4.3 hemos adheridos la tomas de datos de las redes de GSM segunda generación la de Release 4, la cuales fueron tomadas en el periodo de 30 días.

Para el análisis y comparación se procedió con la comparación del tráfico pico cursado en el mes del noviembre del 2007 y abril del 2008 por ramal es decir BSC1 GSM versus BSC-1 GSM Release 4, BSC2 GSM versus BSC-2 GSM Release 4, BSC1 GSM versus (BSC-1 + BSC-3) GSM Release 4 y por último BSC-2 GSM versus (BSC-2 + BSC-4) GSM Release 4.

#### 4.4.1 Comparación y diferenciación en función volumen de tráfico

En las figuras 4.6, 4.7, 4.8 y 4.9 se tiene la comparación y diferenciación del tráfico cursado en la interfase A por las controladoras de estación base BSC's cuando estas tenían aplicado la solución de segunda generación GSM versus las BSC's a las cuales se les aplico el Release 4, en la cuales se puede observar el incremento considerable de tráfico por hora, este incremento de tráfico es el producto de la implantación del Release 4 en dicho ramal, lo que permite mayor cantidad de tráfico soportado mas la cantidad de usuarios nuevos que han adquiridos equipos móviles de esta operadora.

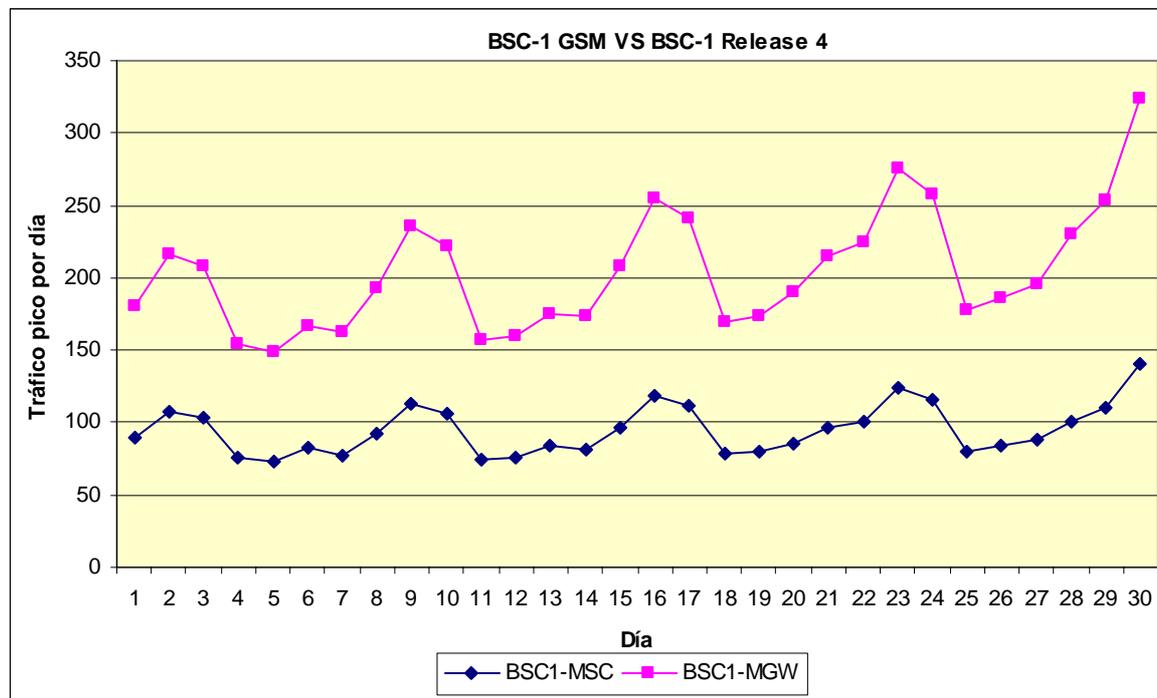
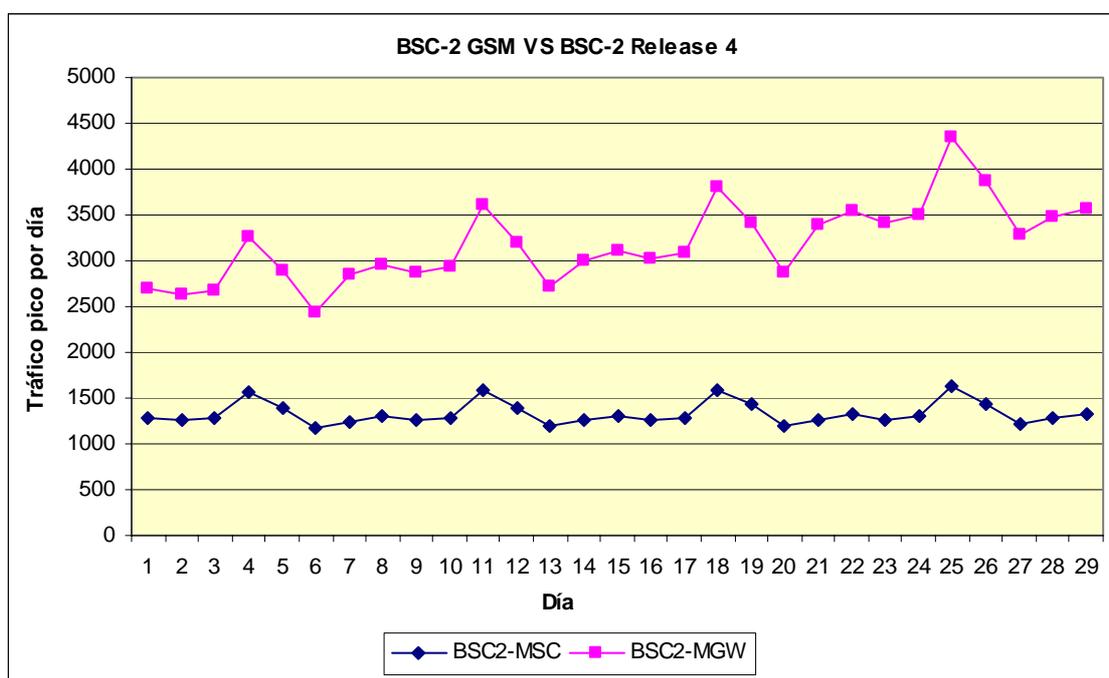


FIGURA No 4.6 Comparación de BSC1 en GSM 2 G versus GSM Release 4

En la figura 4.6 se observa el tráfico de BSC1 GSM versus BSC-1 Release 4, casi duplicándose el tráfico cursado en este ultimo ramal tomando en cuenta el tráfico total pico cursado en un mes.



**FIGURA No 4.7 Comparación de BSC2 en GSM 2 G versus GSM Release 4**

En la figura 4.7 se observa el tráfico de BSC2 GSM versus BSC-2 Release 4, obteniéndose casi 2.5 veces el tráfico cursado en este ultimo ramal sumando el tráfico pico por día en el lapso de un mes.

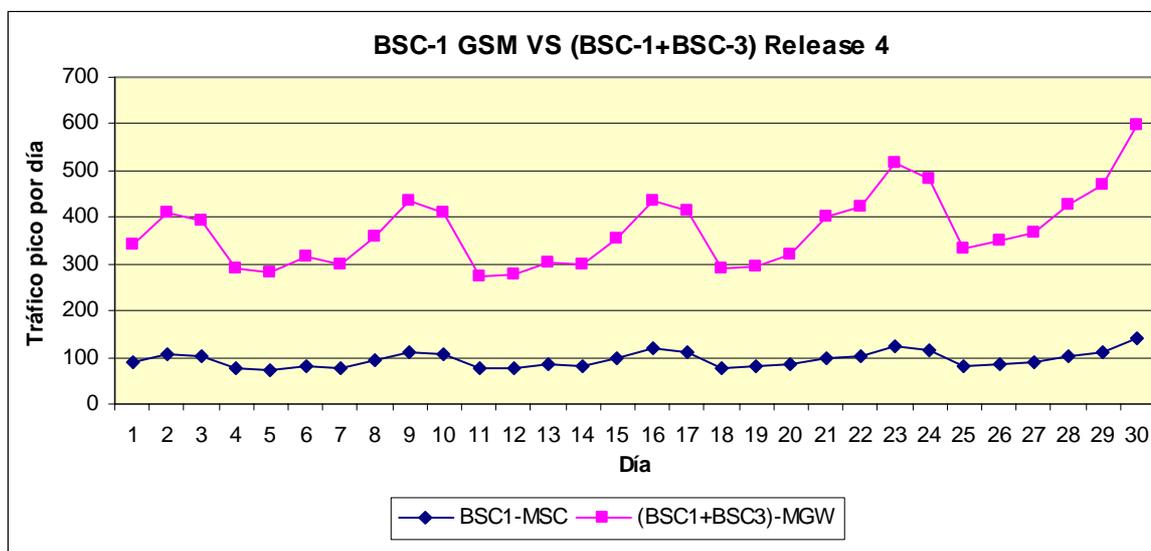


FIGURA No 4.8 Comparación de BSC1 en GSM 2G versus BSC1+BSC3 GSM Release 4

En la figura 4.8 se observa el tráfico de BSC1 GSM 2G versus BSC-1 + BSC-3 Release 4, teniendo casi 4 veces el tráfico cursado en este ultimo ramal tomando en cuenta el tráfico total pico cursado en un mes.

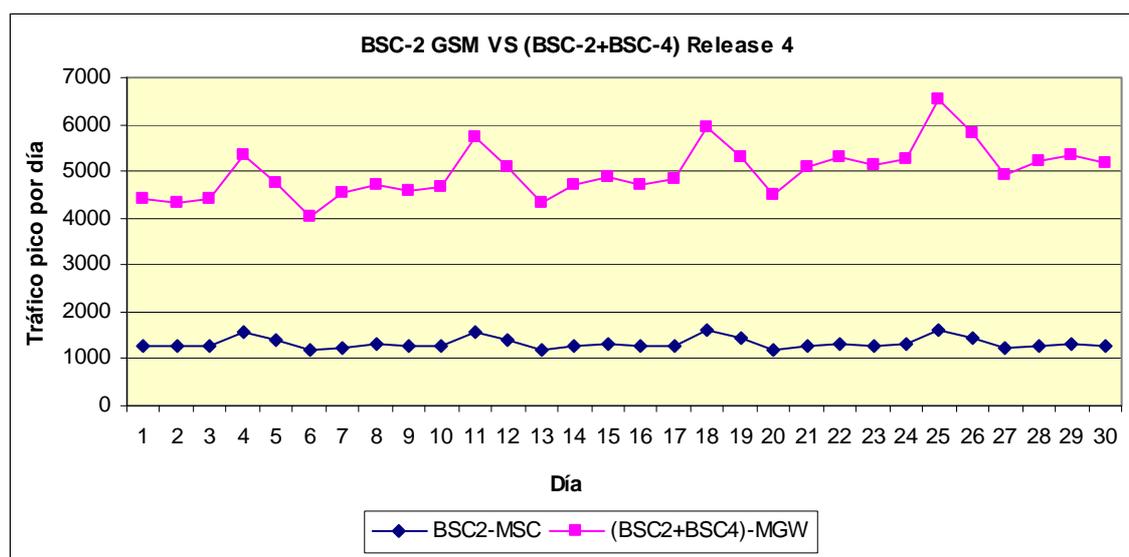


FIGURA No 4.9 Comparación de BSC2 en GSM 2G versus BSC2+BSC4 GSM Release 4

En la figura 4.9 se observa el tráfico de BSC-2 GSM 2G versus BSC-2 + BSC-4 en GSM Release 4, obteniendo casi 3.6 veces el tráfico cursado en este último ramal sumando el tráfico pico por día en el lapso de un mes.

#### **4.4.2 Optimización y mejoras de los medios de transmisión de voz**

Con el análisis realizado podemos observar como se logra la optimización de los recursos de una red celular, en especial la parte del subsistema de conmutación de red NSS, con la implementación del Release 4 se logra separar el plano físico y el lógico, el primero será manejado por el Multimedia Gateway mientras que el otro plano será manejado por la Mobile Switching Center, es decir todo el tráfico de voz pasará a través del MGW mientras que la señalización será controlada por la MSS.

La optimización y mejoras en la parte de transmisión de igual manera se lo logra debido que ahora el Multimedia Gateway MGW es capaz no solo de manejar tecnología de transmisión TDM sino también ATM o IP, con lo cual ya no hay una limitante tan significativa como era en la segunda generación con la tecnología TDM la cual maneja solo E1's.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Con la realización de este trabajo de tesis se ha demostrado las ventajas y desventajas cuando se realiza la implementación de nuevos estándares según lo requerido por los entes reguladores, como el estándar 3GPP por ejemplo. Para esto se procedió con la revisión actual de la tecnología GSM de segunda generación en conjunto con la tecnología GSM Release 4 de esta misma tecnología. Se decidió realizar este tema debido al auge que esta tecnología al momento de forma transparente la mayoría de la población ecuatoriana utiliza si tener un conocimiento de cómo funciona. En el país actualmente existen tres operadora celulares que brindan servicio de telefonía celular con tecnología GSM, a nivel mundial esta tecnología esta dominando el mercado debido a los bajos costos de adquisición tanto de licencias como de los materiales de infraestructuras de la misma.
2. En los capítulos uno y dos se realizaron una descripción de la tecnología GSM, en la cual se observa que dentro de esta misma tecnología existen muchos avances en la parte de transmisión tanto para voz como para datos, para lo cual se revisan dichas tecnologías de transmisión, de igual manera se presenta la funcionamiento y arquitectura de la red GSM de segunda generación.
3. En el capítulo tres se procede con la revisión del Release 4 GSM, en la cual se describe la integración de un nuevo elemento, el Multimedia Gateway, el cual será capaz de interactuar entre la BSC y la MSS, esta ultima deberá sufrir un upgrade de

software y hardware para así poder soportar lo requerimientos del Multimedia Gateway. En este mismo capítulo se realiza la descripción y análisis del funcionamiento específico del MGW y la MSS como por ejemplo sus interfaces, protocolos y arquitecturas internas, con esto se cumple la parte de la descripción del Release 4 para GSM, que es un paso necesario para llegar a la tercera generación 3G. Al finalizar el capítulo tres se procedió con la revisión en general del Release 4 para GSM con sus interfaces, nuevos protocolos manejados, arquitecturas que el operador de red podría elegir según sus necesidades.

4. Para el capítulo cuatro se procedió con la realización de un estudio con el objetivo de verificar mejoras con la implementación del Release 4 en GSM. En este capítulo para la realización del estudio se tomaron datos reales de una operadora celular del País por el periodo de un mes del 2007 cuando aun la operadora tenía su red GSM de segunda generación y estos se compararon con datos de tráfico una vez que la operadora actualizó su red a GSM Release 4 en el mes de abril del 2008. Una vez obtenidos los datos reales de ambas redes se realizó la comparación de los datos en los cuales se puede observar las mejoras ante la aplicación de la tecnología Release 4, como por ejemplo el aumento de tráfico en un cierto factor, el cual no es medible de forma sencilla pues el tráfico de voz y datos es muy variable lo cual fue demostrado en el capítulo uno de esta tesis. Con el aumento de tráfico de forma significativa lo cual es el producto de la integración del MGW y el upgrade tanto en BSC's como en MSS's y una buena elección de la configuración de la red por parte del operador dará como resultado óptimos datos transferidos a través de esta.

5. En el análisis realizado se pudo observar también la optimización de los canales de transmisión con la implementación de un backbone IP, lo cual es opcional dependiendo de lo que desee la operadora en cuestión. De igual manera se pudo observar el crecimiento constante en el uso del servicio de telefonía móvil mediante el tráfico de voz, lo cual indica que el público está accediendo a los nuevos servicios que brindan las redes celulares con gran aceptación. En un futuro cercano el teléfono celular será uno de los dispositivos más utilizados en el mundo tecnológico, no solo con el objetivo de comunicarse con otras personas sino también se podrá controlar sistemas desde forma remota como por ejemplo: el hogar, la oficina, la fábrica, seguridad, entretenimiento, etc.
  
6. De lo realizado en este proyecto podemos destacar el desarrollo tecnológico que se está presentando en el país pero la actualización de redes GSM deben realizarse en el resto de operadoras del país que tengan tecnología GSM para poder brindar servicios de tercera generación, como recomendación sería estar siempre al día con las tecnologías que implican el buen servicio que deben brindar las operadoras celulares en el País.

# GLOSARIO

<b>2G</b>	Segunda generación
<b>3G</b>	Tercera generación
<b>3GPP</b>	Proyecto de tercera generación fase 1
<b>3GPP2</b>	Proyecto de tercera generación fase 2
<b>ATM</b>	Modo de transferencia asincrónica
<b>AUC</b>	Centro de autenticación
<b>BER</b>	Tasa de error de bit
<b>BICC</b>	Protocolo para control de llamada independiente
<b>BSC</b>	Controladora de estación base
<b>BSS</b>	Subsistema de estación base
<b>BTS</b>	Estación Base
<b>CCITT</b>	Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico
<b>CDMA</b>	Acceso múltiple por división de código
<b>CEPT</b>	Conferencia Europea de Telecomunicaciones
<b>DTX</b>	Transmisión discontinua
<b>DTM</b>	Multitono discreto
<b>EDGE</b>	Tasas de datos realizadas para la evolución de GSM
<b>EIR</b>	Base de datos registradora de móviles
<b>ETSI</b>	Instituto Europeo de normas de telecomunicaciones
<b>FDMA</b>	Acceso múltiple por división de frecuencia

<b>FH</b>	Salto de frecuencia
<b>GERAN</b>	Red de acceso para red GSM con EDGE
<b>GMSK</b>	Modulación GMSK, Gaussian minimum shift keying
<b>GPRS</b>	General packet radio service
<b>GSM</b>	Sistema Global para comunicaciones móviles
<b>H.248</b>	Protocolo de Control para Multimedia Gateway
<b>H.323</b>	Protocolo para voz sobre IP
<b>HLR</b>	Registro local de móviles
<b>HO</b>	Traspaso de llamadas
<b>HSCSD</b>	High speed circuit-switched data
<b>IETF</b>	Internet engineering task force
<b>ISDN</b>	Red digital de servicios integrados
<b>ITU</b>	Unión Internacional de Telecomunicaciones.
<b>IVR</b>	Servicio de respuesta de voz interactivo
<b>MAP</b>	Protocolo MAP. Mobile application part
<b>MEGACO</b>	Protocolo de control para comunicación entre Medias gateway
<b>MGCP</b>	Protocolo de control entre Medias gateway
<b>MGW</b>	Multimedia gateway
<b>MMS</b>	Servicio de mensajes multimedia
<b>MS</b>	Estación Móvil
<b>MSC</b>	Centro de conmutación movil
<b>MSS</b>	Servidor de sistema multimedia

<b>NSS</b>	Subsistema de conmutación de red
<b>O&amp;M</b>	Operación y mantenimiento
<b>OMC</b>	Centro de operación y mantenimiento
<b>OSS</b>	Sistema de soporte de operaciones
<b>PLMN</b>	Public land mobile network
<b>PSTN</b>	Public switched telephone network
<b>QoS</b>	Calidad de servicio
<b>RNC</b>	Radio network Controller
<b>SIGTRAN</b>	Protocolo de señalización
<b>SIP</b>	Protocolo de inicio de sesión
<b>SS7</b>	Sistema de señalización número 7
<b>SVA</b>	Servicio de valor agregado.
<b>TDD</b>	Duplex por división de tiempo
<b>TDM</b>	Multiplexación por división de tiempo
<b>UMTS</b>	Universal mobile telecommunications system
<b>USSD</b>	Unstructured supplementary service data
<b>UTRAN</b>	UMTS terrestrial radio access network.
<b>VLR</b>	Registro de móviles visitantes
<b>WAP</b>	Protocolo de acceso inalámbrico
<b>WCDMA</b>	Wideband acceso múltiple por división de código.

# ANEXOS

**TABLA 1 DE ERLANG B**

Erlang B - Bloqueo: 1%							
No. Canales	Erlangs	No. Canales	Erlangs	No. Canales	Erlangs	No. Canales	Erlangs
1	0,01	41	29,89	81	66,29	121	103,91
2	0,15	42	30,77	82	67,22	122	104,86
3	0,45	43	31,66	83	68,15	123	105,81
4	0,87	44	32,54	84	69,08	124	106,76
5	1,36	45	33,43	85	70,02	125	107,71
6	1,91	46	34,32	86	70,95	126	108,66
7	2,50	47	35,21	87	71,88	127	109,61
8	3,13	48	36,11	88	72,81	128	110,57
9	3,78	49	37,00	89	73,75	129	111,52
10	4,46	50	37,90	90	74,68	130	112,47
11	5,16	51	38,80	91	75,62	131	113,42
12	5,88	52	39,70	92	76,56	132	114,38
13	6,61	53	40,60	93	77,49	133	115,33
14	7,35	54	41,50	94	78,43	134	116,28
15	8,11	55	42,41	95	79,37	135	117,24
16	8,87	56	43,31	96	80,31	136	118,19
17	9,65	57	44,22	97	81,24	137	119,14
18	10,44	58	45,13	98	82,18	138	120,10
19	11,23	59	46,04	99	83,12	139	121,05
20	12,03	60	46,95	100	84,06	140	122,01
21	12,84	61	47,86	101	85,00	141	122,96
22	13,65	62	48,77	102	85,95	142	123,92
23	14,47	63	49,69	103	86,89	143	124,88
24	15,29	64	50,60	104	87,83	144	125,83
25	16,12	65	51,52	105	88,77	145	126,79
26	16,96	66	52,43	106	89,72	146	127,74
27	17,80	67	53,35	107	90,66	147	128,70
28	18,64	68	54,27	108	91,60	148	129,66
29	19,49	69	55,19	109	92,55	149	130,62
30	20,34	70	56,11	110	93,49	150	131,58
31	21,19	71	57,03	111	94,44	151	132,53
32	22,05	72	57,96	112	95,38	152	133,49
33	22,91	73	58,88	113	96,33	153	134,45
34	23,77	74	59,80	114	97,28	154	135,41
35	24,64	75	60,73	115	98,22	155	136,37
36	25,51	76	61,65	116	99,17	156	137,33
37	26,38	77	62,58	117	100,12	157	138,29
38	27,25	78	63,51	118	101,07	158	139,25
39	28,13	79	64,43	119	102,01	159	140,21
40	29,01	80	65,36	120	102,96	160	141,17

**TABLA 2 DE ERLANG B**

Erlang B - Bloqueo: 1%							
No. Canales	Erlangs	No. Canales	Erlangs	No. Canales	Erlangs	No. Canales	Erlangs
161	142,13	201	180,71	241	219,53	281	258,54
162	143,09	202	181,67	242	220,51	282	259,52
163	144,05	203	182,64	243	221,48	283	260,50
164	145,01	204	183,61	244	222,45	284	261,48
165	145,97	205	184,58	245	223,43	285	262,45
166	146,93	206	185,55	246	224,40	286	263,43
167	147,89	207	186,52	247	225,37	287	264,41
168	148,86	208	187,48	248	226,35	288	265,39
169	149,82	209	188,45	249	227,32	289	266,36
170	150,78	210	189,42	250	228,30	290	267,34
171	151,74	211	190,39	251	229,27	291	268,32
172	152,71	212	191,36	252	230,24	292	269,30
173	153,67	213	192,33	253	231,22	293	270,28
174	154,63	214	193,30	254	232,19	294	271,25
175	155,60	215	194,27	255	233,17	295	272,23
176	156,56	216	195,24	256	234,14	296	273,21
177	157,52	217	196,21	257	235,12	297	274,19
178	158,49	218	197,18	258	236,09	298	275,17
179	159,45	219	198,15	259	237,07	299	276,15
180	160,42	220	199,12	260	238,04	300	277,12
181	161,38	221	200,09	261	239,02	301	278,10
182	162,34	222	201,06	262	239,99	302	279,08
183	163,31	223	202,03	263	240,97	303	280,06
184	164,27	224	203,01	264	241,94	304	281,04
185	165,24	225	203,98	265	242,92	305	282,02
186	166,20	226	204,95	266	243,90	306	283,00
187	167,17	227	205,92	267	244,87	307	283,98
188	168,14	228	206,89	268	245,85	308	284,96
189	169,10	229	207,86	269	246,82	309	285,94
190	170,07	230	208,84	270	247,80	310	286,92
191	171,03	231	209,81	271	248,78	311	287,90
192	172,00	232	210,78	272	249,75	312	288,88
193	172,97	233	211,75	273	250,73	313	289,86
194	173,93	234	212,72	274	251,71	314	290,84
195	174,90	235	213,70	275	252,68	370	345,81
196	175,87	236	214,67	276	253,66	690	662,42
197	176,83	237	215,64	277	254,64	720	692,24
198	177,80	238	216,61	278	255,61	2760	2735,80
199	178,77	239	217,59	279	256,59	3349	3328,09
200	179,74	240	218,56	280	257,57	5505	5498,96

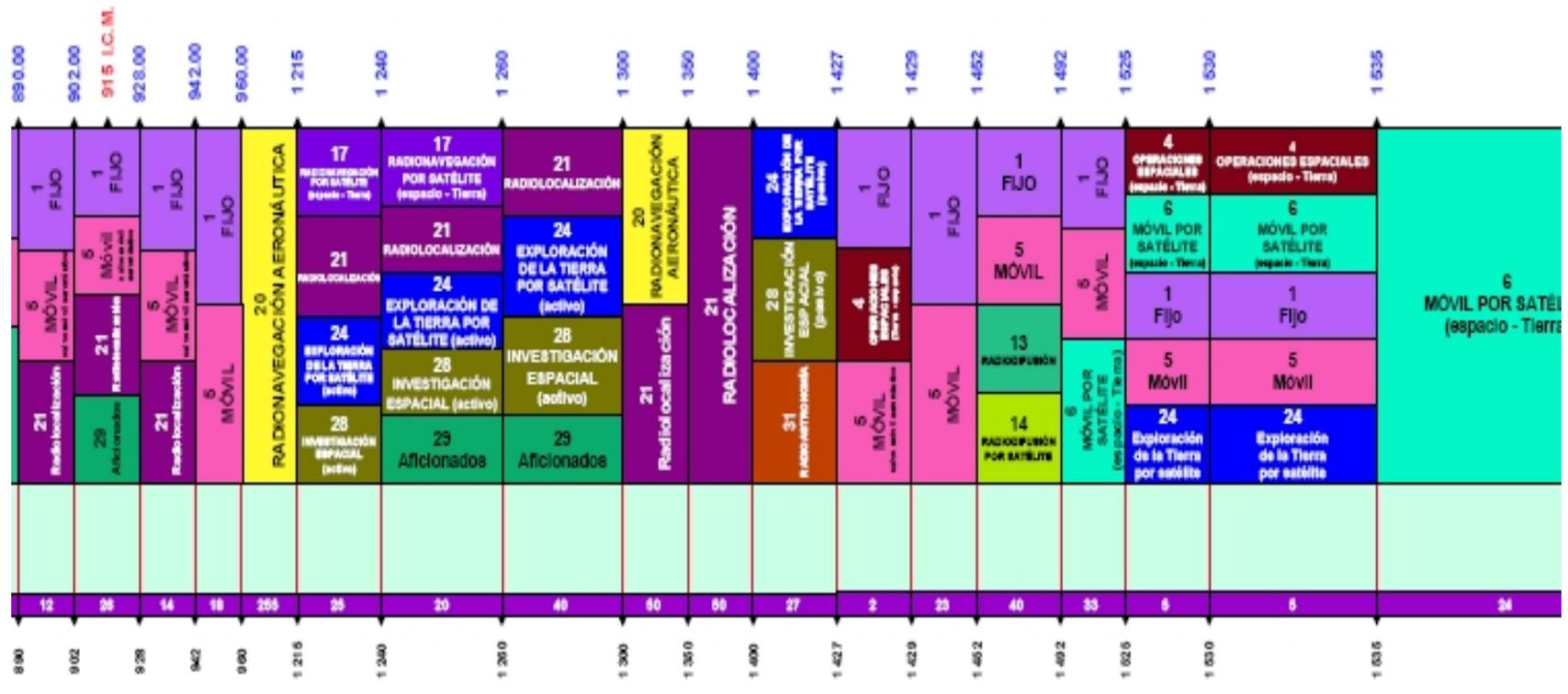
# BANDA UHF: 300 a 3000 MHz

## Parte 1

300 MHz		ANCHO DE BANDA EN MHz		LOS SERVICIOS PRIMARIOS SE ESCRIBEN CON MAYÚSCULAS Y LOS SERVICIOS SECUNDARIOS SE ESCRIBEN CON MAYÚSCULA Y MINÚSCULAS		3000 MHz	
312	12 MHz	6	MÓVIL	1	FIJO	312.00	
315	3	5	MÓVIL por satélite (Tierra - espacio)	5	MÓVIL	315.00	
322	7	5	MÓVIL	1	FIJO	322.00	
328.6	6.6	31	Radioafirmación	5	MÓVIL	322.60	
335.4	6.6	20	RADIO NAVIGACIÓN AERONÁUTICA	1	FIJO	335.40	
387	61.6	5	MÓVIL	1	FIJO	387.00	
390	3	6	Móvil por satélite (espacio - Tierra)	5	MÓVIL	390.00	
399.9	9.9	5	MÓVIL	1	FIJO	399.90	
400.05	0.15	17	RADIO NAVIGACIÓN POR SATELITE	5	MÓVIL POR SATELITE (Tierra - espacio)	400.05	
400.15	0.1	27	FRECUENCIAS PATRÓN Y SEÑALES HORARIAS POR SATELITE (400.1 MHz)			400.15	
401	0.95	4	Operaciones móviles por satélite (Tierra - espacio)	25	MÓVIL POR SATELITE (Tierra - espacio)	401.00	
402	1	5	Móvil por satélite (Tierra - espacio)	25	MÓVIL POR SATELITE (Tierra - espacio)	402.00	
403	1	1	Móvil por satélite (Tierra - espacio)	25	MÓVIL POR SATELITE (Tierra - espacio)	403.00	
406	3	6	Móvil por satélite (Tierra - espacio)	1	FIJO	406.00	
406.1	0.1	6	MÓVIL POR SATELITE (Tierra - espacio)	23	AYUDAS A LA METEOROLOGÍA	406.10	
410	3.9	31	Radioafirmación	5	MÓVIL	410.00	
420	10	28	Operaciones móviles por satélite (espacio - Tierra)	5	MÓVIL	420.00	
430	10	21	Radioafirmación	6	MÓVIL	430.00	
440	10	29	Alojamiento	21	RADIO LOCALIZACIÓN	440.00	
450	10	21	Radioafirmación	5	MÓVIL	450.00	
455	5	6	MÓVIL	1	FIJO	455.00	
456	1	6	Móvil por satélite (Tierra - espacio)	5	MÓVIL	456.00	
459	3	5	MÓVIL	1	FIJO	459.00	
460	1	6	Móvil por satélite (Tierra - espacio)	5	MÓVIL	460.00	
470	10	25	Radioafirmación por satélite (espacio - Tierra)	6	MÓVIL	470.00	
512	42	5	Móvil	1	FIJO	512.00	
608	96	13	RADIO DIFUSIÓN	13	RADIO DIFUSIÓN	608.00	
614	6	6	Móvil por satélite (Tierra - espacio)	31	Radioafirmación	614.00	
806	102	5	Móvil	1	FIJO	806.00	
890	84	13	RADIO DIFUSIÓN	5	MÓVIL	890.00	

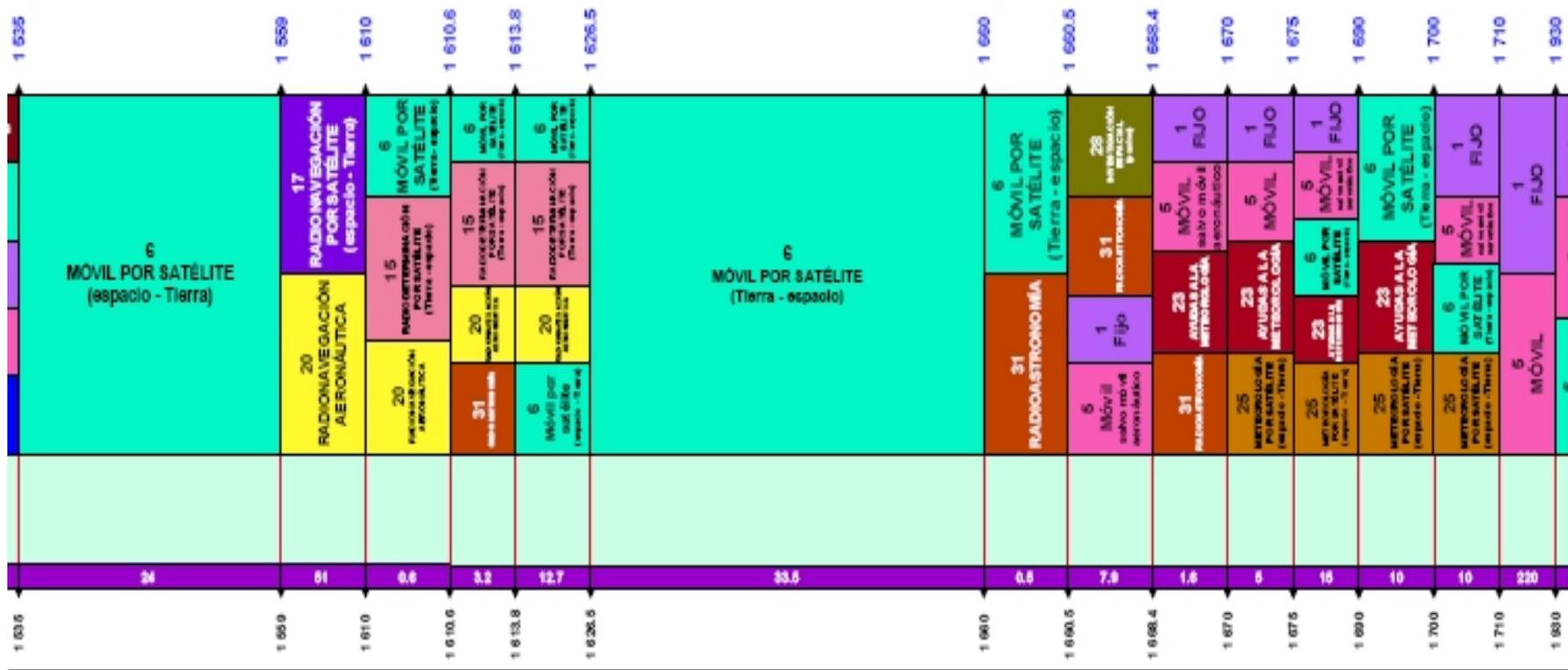
# BANDA UHF: 300 a 3000 MHz

## Parte 2



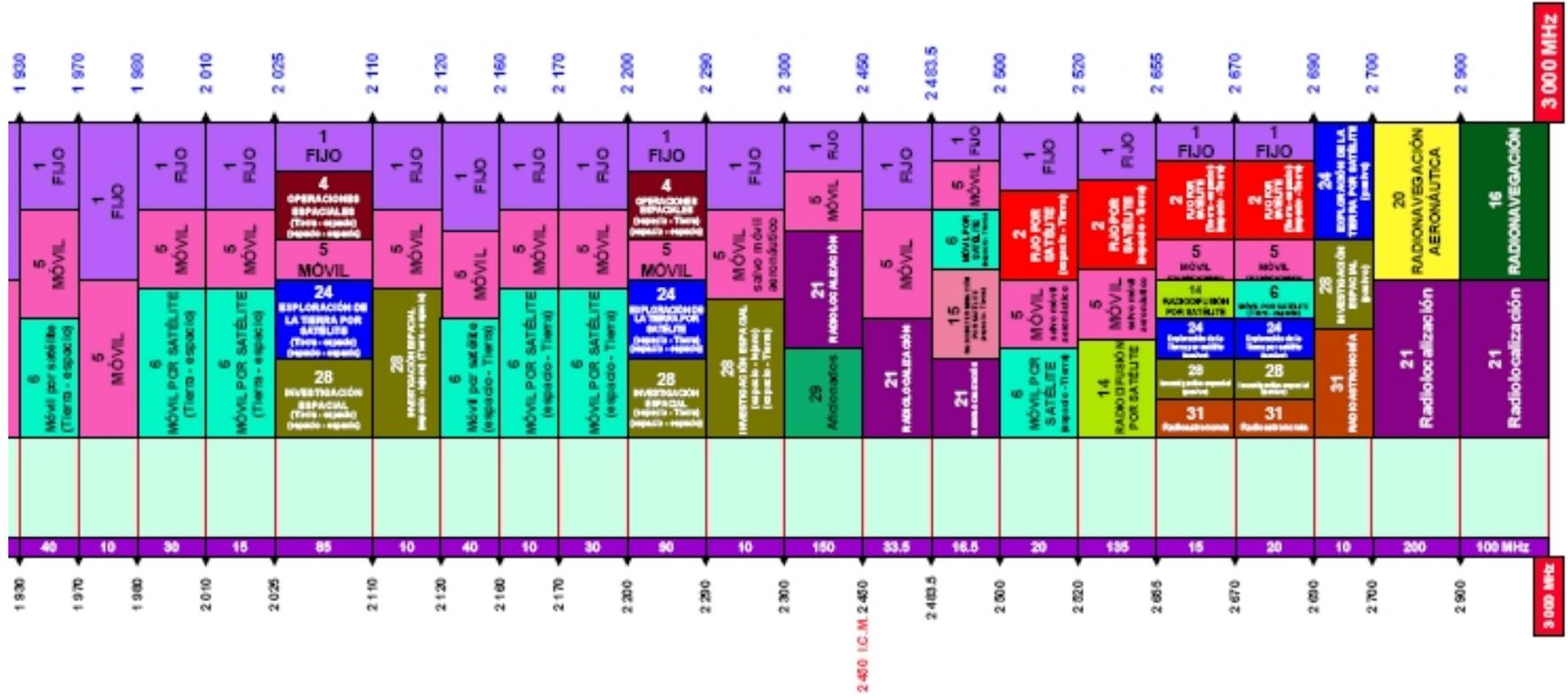
# BANDA UHF: 300 a 3000 MHz

## Parte 3



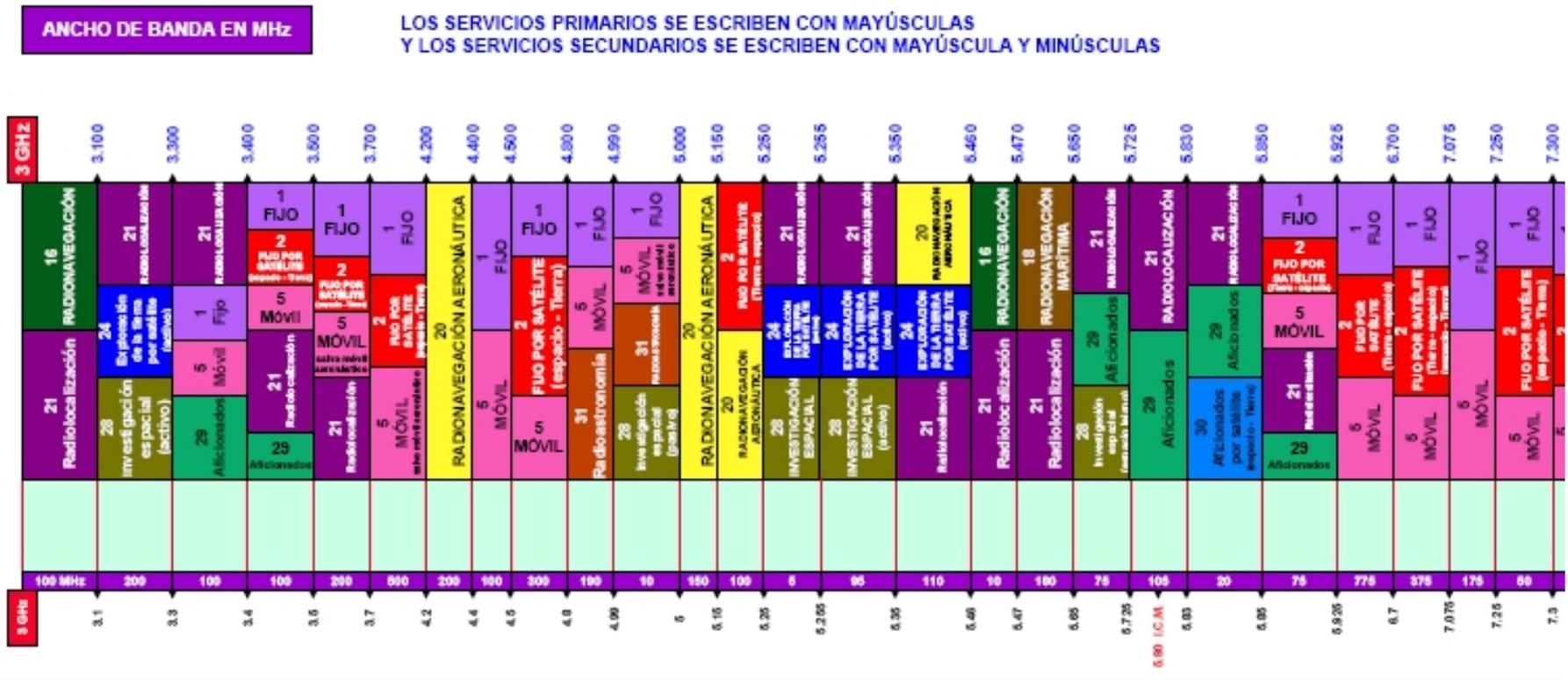
# BANDA UHF: 300 a 3000 MHz

## Parte 4



# BANDA SHF: 3 a 30 GHz

## Parte 1



# BANDA SHF: 3 a 30 GHz

## Parte 2

Frecuencia (GHz)	Ancho de Banda (MHz)	Uso	Frecuencia (GHz)	Ancho de Banda (MHz)	Uso
7.3	160	MÓVIL	7.300		1
7.46	100	MÓVIL	7.450		2
7.66	200	MÓVIL	7.650		1
7.76	100	MÓVIL	7.750		1
7.86	60	MÓVIL	7.850		1
7.9		MÓVIL	7.900		1
8.026	125	MÓVIL	8.025		1
8.176	100	MÓVIL	8.175		1
8.216	145	MÓVIL	8.215		1
8.4	100	MÓVIL	8.400		1
8.5	60	MÓVIL	8.500		1
8.56	100	RADIOLOCALIZACIÓN	8.550		21
8.66	100	RADIOLOCALIZACIÓN	8.650		21
8.76	100	RADIOLOCALIZACIÓN	8.750		20
8.86	150	RADIOLOCALIZACIÓN	8.850		18
9	200	RADIOLOCALIZACIÓN	9.000		20
9.2	100	RADIOLOCALIZACIÓN	9.200		18
9.3	200	RADIOLOCALIZACIÓN	9.300		16
9.5	300	RADIOLOCALIZACIÓN	9.500		21
9.8	200	RADIOLOCALIZACIÓN	9.800		21
10	460	RADIOLOCALIZACIÓN	10.000		21
10.46	60	RADIOLOCALIZACIÓN	10.450		21
10.5	60	RADIOLOCALIZACIÓN	10.500		21
10.66	60	RADIOLOCALIZACIÓN	10.650		21
10.8	60	RADIOLOCALIZACIÓN	10.800		21
10.68	20	RADIOLOCALIZACIÓN	10.680		24
10.7	1000	RADIOLOCALIZACIÓN	10.700		2
11.7	400	RADIOLOCALIZACIÓN	11.700		2
12.1	100	RADIOLOCALIZACIÓN	12.100		2
12.2	600	RADIOLOCALIZACIÓN	12.200		2
12.7	60	RADIOLOCALIZACIÓN	12.700		2
12.76	600	RADIOLOCALIZACIÓN	12.760		2
13.26	150	RADIOLOCALIZACIÓN	13.250		20
13.4		RADIOLOCALIZACIÓN	13.400		20

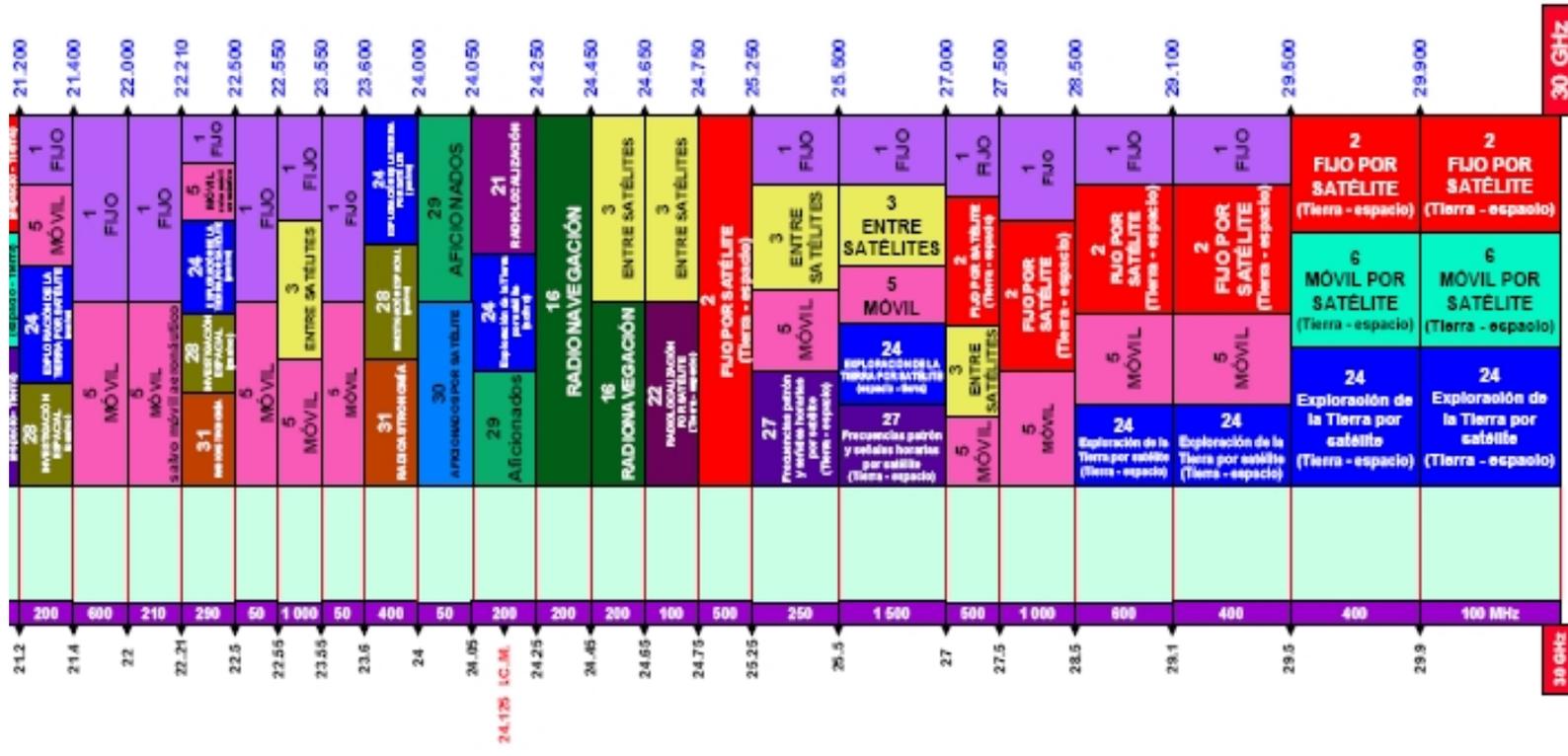
# BANDA SHF: 3 a 30 GHz

## Parte 3

Frecuencia (GHz)	Ancho de Banda (MHz)	Uso	Reserva	Frecuencia (GHz)
13.4	300	27 Investigación espacial (Thurs - sept)	27 Investigación espacial (Thurs - sept)	13.400
13.75	250	28 Investigación espacial (Thurs - sept)	28 Investigación espacial (Thurs - sept)	13.750
14	200	29 Investigación espacial (Thurs - sept)	29 Investigación espacial (Thurs - sept)	14.000
14.25	50	30 Investigación espacial (Thurs - sept)	30 Investigación espacial (Thurs - sept)	14.250
14.3	100	31 Investigación espacial (Thurs - sept)	31 Investigación espacial (Thurs - sept)	14.300
14.4	70	32 Investigación espacial (Thurs - sept)	32 Investigación espacial (Thurs - sept)	14.400
14.47	30	33 Investigación espacial (Thurs - sept)	33 Investigación espacial (Thurs - sept)	14.470
14.5	300	34 Investigación espacial (Thurs - sept)	34 Investigación espacial (Thurs - sept)	14.500
14.8	500	35 Investigación espacial (Thurs - sept)	35 Investigación espacial (Thurs - sept)	14.800
15.35	50	36 Investigación espacial (Thurs - sept)	36 Investigación espacial (Thurs - sept)	15.350
15.4	30	37 Investigación espacial (Thurs - sept)	37 Investigación espacial (Thurs - sept)	15.400
15.43	200	38 Investigación espacial (Thurs - sept)	38 Investigación espacial (Thurs - sept)	15.430
15.53	70	39 Investigación espacial (Thurs - sept)	39 Investigación espacial (Thurs - sept)	15.530
15.7	500	40 Investigación espacial (Thurs - sept)	40 Investigación espacial (Thurs - sept)	15.700
15.8	500	41 Investigación espacial (Thurs - sept)	41 Investigación espacial (Thurs - sept)	15.800
17.1	100	42 Investigación espacial (Thurs - sept)	42 Investigación espacial (Thurs - sept)	17.100
17.2	100	43 Investigación espacial (Thurs - sept)	43 Investigación espacial (Thurs - sept)	17.200
17.3	400	44 Investigación espacial (Thurs - sept)	44 Investigación espacial (Thurs - sept)	17.300
17.7	100	45 Investigación espacial (Thurs - sept)	45 Investigación espacial (Thurs - sept)	17.700
17.8	300	46 Investigación espacial (Thurs - sept)	46 Investigación espacial (Thurs - sept)	17.800
18.1	300	47 Investigación espacial (Thurs - sept)	47 Investigación espacial (Thurs - sept)	18.100
18.4	200	48 Investigación espacial (Thurs - sept)	48 Investigación espacial (Thurs - sept)	18.400
18.6	200	49 Investigación espacial (Thurs - sept)	49 Investigación espacial (Thurs - sept)	18.600
18.8	500	50 Investigación espacial (Thurs - sept)	50 Investigación espacial (Thurs - sept)	18.800
18.3	400	51 Investigación espacial (Thurs - sept)	51 Investigación espacial (Thurs - sept)	19.300
19.7	400	52 Investigación espacial (Thurs - sept)	52 Investigación espacial (Thurs - sept)	19.700
20.1	100	53 Investigación espacial (Thurs - sept)	53 Investigación espacial (Thurs - sept)	20.100
20.2	1000	54 Investigación espacial (Thurs - sept)	54 Investigación espacial (Thurs - sept)	20.200
21.2	2	55 Investigación espacial (Thurs - sept)	55 Investigación espacial (Thurs - sept)	21.200

# BANDA SHF: 3 a 30 GHz

## Parte 4





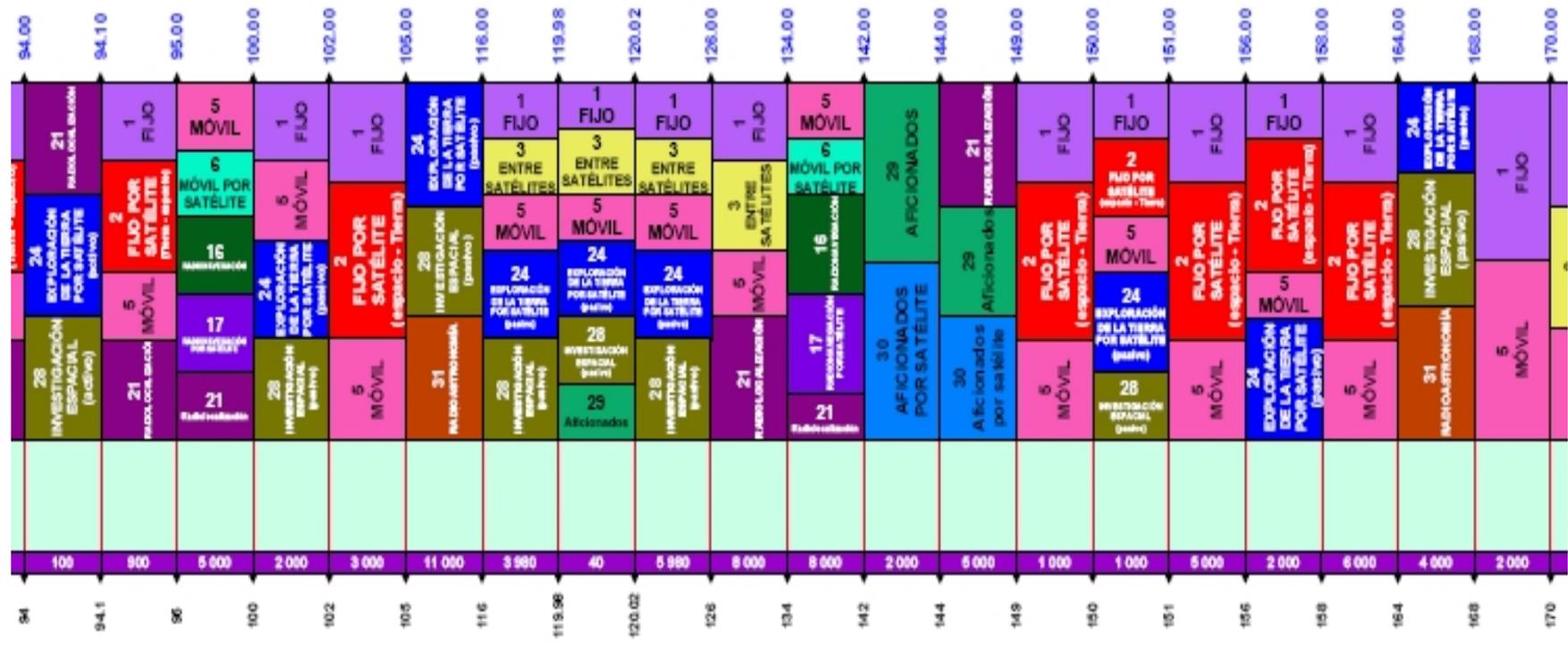
# BANDA EHF: 30 a 300 GHz

## Parte 2

50.40	51.40	52.60	54.25	55.78	56.90	57.00	58.20	59.00	59.30	64.00	65.00	66.00	71.00	74.00	75.50	76.00	81.00	84.00	86.00	92.00	94.00
1 FIJO 2 FIJO POR SATELITE	1 FIJO	24 EXPLORACION DE LA TIERRA POR SATELITE (pasivo)	3 ENTRE SATELITES	1 FIJO 3 ENTRE SATELITES	1 FIJO 3 ENTRE SATELITES	1 FIJO 3 ENTRE SATELITES	1 FIJO 5 MÓVIL	1 FIJO 3 ENTRE SATELITES 5 MÓVIL	1 FIJO 3 ENTRE SATELITES	1 FIJO 3 ENTRE SATELITES	1 FIJO 3 ENTRE SATELITES	3 ENTRE SATELITES 5 MÓVIL	3 ENTRE SATELITES 2 FIJO POR SATELITE (Tierra - espacio)	1 FIJO	29 AFICIONADOS A PERSONAS	21 AFICIONADOS	1 FIJO 2 FIJO POR SATELITE (espacio - Tierra)	1 FIJO 6 MÓVIL	24 EXPLORACION DE LA TIERRA POR SATELITE (pasivo)	1 FIJO	1 FIJO
5 MÓVIL 6 MÓVIL por satélite (Tierra - espacio)	5 MÓVIL	28 INVESTIGACION ESPACIAL (pasivo)	24 EXPLORACION DE LA TIERRA POR SATELITE (pasivo)	24 EXPLORACION DE LA TIERRA POR SATELITE (pasivo)	24 EXPLORACION DE LA TIERRA POR SATELITE (pasivo)	24 EXPLORACION DE LA TIERRA POR SATELITE (pasivo)	28 INVESTIGACION ESPACIAL (pasivo)	24 EXPLORACION DE LA TIERRA POR SATELITE (pasivo)	21 RADIO DIFUSION	5 MÓVIL	3 ENTRE SATELITES	5 MÓVIL salvo móvil aeronáuticos	6 MÓVIL POR SATELITE	5 MÓVIL	30 AFICIONADOS POR SATELITE	30 AFICIONADOS por satélite	5 MÓVIL	6 MÓVIL POR SATELITE (Tierra - Tierra)	28 INVESTIGACION ESPACIAL (pasivo)	5 MÓVIL	28 INVESTIGACION ESPACIAL (pasivo)
1 000	1 200	1 650	1 830	1 120	100	1 200	800	300	4 700	1 600	1 000	5 000	3 000	1 500	500	5 000	3 000	2 000	6 000	2 000	
50.4	51.4	52.6	54.25	55.78	56.90	57.00	58.2	59	59.3	64	65	66	71	74	75.5	76	81	84	86	92	94

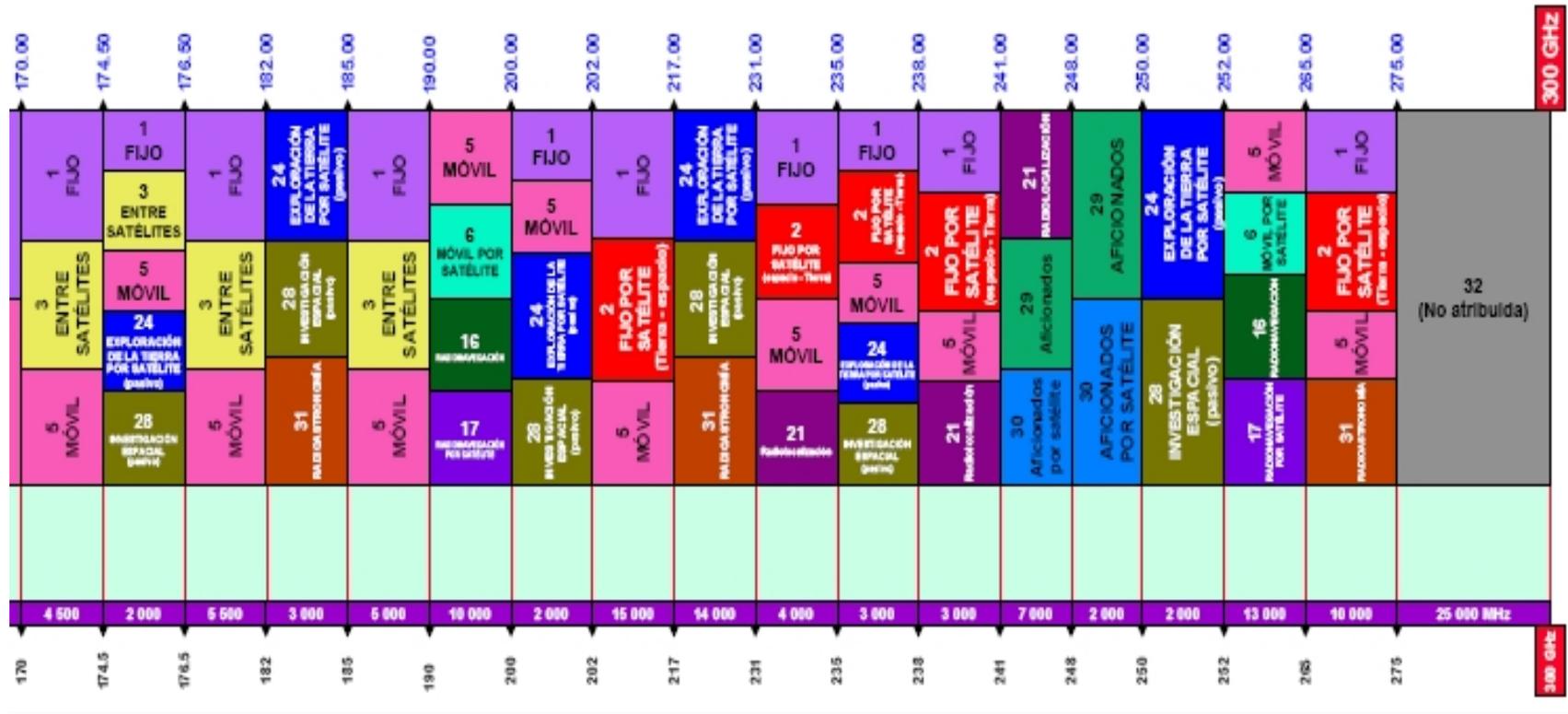
# BANDA EHF: 30 a 300 GHz

## Parte 3



# BANDA EHF: 30 a 300 GHz

## Parte 4



## USUARIOS DE TELEFONÍA CELULAR DESDE 1994 POR OPERADORA Y TECNOLOGIA

	Dic-94	Dic-95	Dic-96	Dic-97	Dic-98	Dic-99
<b>Porta TDMA</b>	13.620	30.548	36.484	64.160	127.658	196.632
<b>Movistar TDMA</b>	5.300	23.800	23.295	62.345	115.154	186.553
<b>TOTAL</b>	<b>18.920</b>	<b>54.348</b>	<b>59.779</b>	<b>126.505</b>	<b>242.812</b>	<b>383.185</b>

	Ene-00	Feb-00	Mar-00	Abr-00	May-00	Jun-00	Jul-00	Ago-00	Sep-00	Oct-00	Nov-00	Dic-00
<b>Porta TDMA</b>	204.457	218.161	227.462	228.580	217.332	219.509	222.275	225.043	225.441	227.211	240.032	248.480
<b>Movistar TDMA</b>	193.484	199.508	195.198	209.392	216.127	218.228	210.886	201.823	199.018	216.325	222.057	233.733
<b>TOTAL</b>	<b>397.941</b>	<b>417.669</b>	<b>422.660</b>	<b>437.972</b>	<b>433.459</b>	<b>437.737</b>	<b>433.161</b>	<b>426.866</b>	<b>424.459</b>	<b>443.536</b>	<b>462.089</b>	<b>482.213</b>

	Ene-01	Feb-01	Mar-01	Abr-01	May-01	Jun-01	Jul-01	Ago-01	Sep-01	Oct-01	Nov-01	Dic-01
<b>Porta TDMA</b>	262.647	273.194	286.679	301.873	323.981	350.420	363.285	381.738	401.010	427.088	453.913	483.982
<b>Movistar TDMA</b>	239.238	243.281	251.065	258.713	269.751	281.699	293.923	308.671	321.313	332.835	343.643	375.170
<b>TOTAL</b>	<b>501.885</b>	<b>516.475</b>	<b>537.744</b>	<b>560.586</b>	<b>593.732</b>	<b>632.119</b>	<b>657.208</b>	<b>690.409</b>	<b>722.323</b>	<b>759.923</b>	<b>797.556</b>	<b>859.152</b>

	Ene-02	Feb-02	Mar-02	Abr-02	May-02	Jun-02	Jul-02	Ago-02	Sep-02	Oct-02	Nov-02	Dic-02
<b>Porta TDMA</b>	502.997	520.303	544.134	580.000	615.720	650.827	689.270	729.838	770.284	811.855	847.400	920.878
<b>Movistar TDMA</b>	390.987	411.847	417.650	424.255	454.507	478.720	503.124	531.902	570.425	606.120	631.665	639.983
<b>TOTAL</b>	<b>893.984</b>	<b>932.150</b>	<b>961.784</b>	<b>1.004.255</b>	<b>1.070.227</b>	<b>1.129.547</b>	<b>1.192.394</b>	<b>1.261.740</b>	<b>1.340.709</b>	<b>1.417.975</b>	<b>1.479.065</b>	<b>1.560.861</b>

	Ene-03	Feb-03	Mar-03	Abr-03	May-03	Jun-03	Jul-03	Ago-03	Sep-03	Oct-03	Nov-03	Dic-03
<b>Porta TDMA</b>	952.715	984.304	1.008.938	1.044.905	1.090.099	1.117.086	1.144.823	1.180.693	1.207.025	1.234.246	1.262.184	1.276.156
<b>Porta GSM</b>						35.966	56.193	81.000	110.564	144.261	169.184	256.859
<b>PORTA</b>	952.715	984.304	1.008.938	1.044.905	1.090.099	1.153.052	1.201.016	1.261.693	1.317.589	1.378.507	1.431.368	1.533.015
<b>Movistar TDMA</b>	619.427	631.137	662.095	698.730	559.570	567.690	589.661	571.599	560.697	514.839	524.889	480.152
<b>Movistar CDMA</b>					180.238	208.958	231.311	258.470	277.567	309.501	290.664	381.190
<b>MOVISTAR</b>	619.427	631.137	662.095	698.730	739.808	776.648	820.972	830.069	838.264	824.340	815.553	861.342
<b>ALEGRO</b>												3.804
<b>TOTAL</b>	<b>1.572.142</b>	<b>1.615.441</b>	<b>1.671.033</b>	<b>1.743.635</b>	<b>1.829.907</b>	<b>1.929.700</b>	<b>2.021.988</b>	<b>2.091.762</b>	<b>2.155.853</b>	<b>2.202.847</b>	<b>2.246.921</b>	<b>2.398.161</b>

	Ene-04	Feb-04	Mar-04	Abr-04	May-04	Jun-04	Jul-04	Ago-04	Sep-04	Oct-04	Nov-04	Dic-04
<b>Porta TDMA</b>	1.285.302	1.275.711	1.256.929	1.239.849	1.226.893	1.202.035	1.136.146	1.132.377	1.116.875	1.099.261	1.089.914	1.084.402
<b>Porta GSM</b>	309.589	369.320	428.031	489.449	550.643	615.511	684.882	761.559	844.159	937.356	1.031.806	1.232.659
<b>PORTA</b>	1.594.891	1.645.031	1.684.960	1.729.298	1.777.536	1.817.546	1.821.028	1.893.936	1.961.034	2.036.617	2.121.720	2.317.061
<b>Movistar TDMA</b>	489.008	503.587	510.241	532.427	554.643	577.864	451.731	447.603	424.823	502.962	398.761	388.077
<b>Movistar CDMA</b>	391.759	404.100	438.282	466.500	485.948	497.950	660.946	648.261	626.351	524.107	625.509	731.680
<b>MOVISTAR</b>	880.767	907.687	948.523	998.927	1.040.591	1.075.814	1.112.677	1.095.864	1.051.174	1.027.069	1.024.270	1.119.757
<b>ALEGRO</b>	13.752	19.585	35.858	44.155	53.163	56.772	59.131	61.882	64.614	69.319	79.635	107.356
<b>TOTAL</b>	<b>2.489.410</b>	<b>2.572.303</b>	<b>2.669.341</b>	<b>2.772.380</b>	<b>2.871.290</b>	<b>2.950.132</b>	<b>2.992.836</b>	<b>3.051.682</b>	<b>3.076.822</b>	<b>3.133.005</b>	<b>3.225.625</b>	<b>3.544.174</b>

	Ene-05	Feb-05	Mar-05	Abr-05	May-05	Jun-05	Jul-05	Ago-05	Sep-05	Oct-05	Nov-05	Dic-05
<b>Porta TDMA</b>	1.081.341	1.070.801	1.056.275	1.032.650	979.912	918.408	874.536	826.019	775.573	721.970	679.727	628.988
<b>Porta GSM</b>	1.335.722	1.439.911	1.570.766	1.775.999	1.965.075	2.135.097	2.341.666	2.560.474	2.759.032	2.959.178	3.154.222	3.459.362
<b>PORTA</b>	2.417.063	2.510.712	2.627.041	2.808.649	2.944.987	3.053.505	3.216.202	3.386.493	3.534.605	3.681.148	3.833.949	4.088.350
<b>Movistar TDMA</b>	376.597	371.982	372.320	379.043	382.715	380.143	366.787	342.850	306.831	353.039	265.982	221.711
<b>Movistar CDMA</b>	829.589	884.345	945.933	1.100.019	1.220.294	1.277.473	1.305.808	1.314.038	1.314.748	1.251.770	1.304.837	1.310.544
<b>Movistar GSM</b>									2.616	56.468	167.319	399.375
<b>MOVISTAR</b>	1.206.186	1.256.327	1.318.253	1.479.062	1.603.009	1.657.616	1.672.595	1.656.888	1.624.195	1.661.277	1.738.138	1.931.630
<b>ALEGRO</b>	119.857	131.296	140.640	146.848	154.721	160.734	168.593	178.154	186.446	195.589	202.587	226.352
<b>TOTAL</b>	<b>3.743.106</b>	<b>3.898.335</b>	<b>4.085.934</b>	<b>4.434.559</b>	<b>4.702.717</b>	<b>4.871.855</b>	<b>5.057.390</b>	<b>5.221.535</b>	<b>5.345.246</b>	<b>5.538.014</b>	<b>5.774.674</b>	<b>6.246.332</b>

	Ene-06	Feb-06	Mar-06	Abr-06	May-06	Jun-06	Jul-06	Ago-06	Sep-06	Oct-06	Nov-06	Dic-06
<b>Porta TDMA</b>	592.534	554.938	515.515	487.501	463.103	419.265	399.072	328.323	309.086	293.323	269.751	253.149
<b>Porta GSM</b>	3.644.370	3.792.921	3.972.875	4.110.805	4.261.409	4.388.016	4.524.584	4.730.417	4.887.868	5.043.728	5.184.088	5.383.246
<b>PORTA</b>	4.236.904	4.347.859	4.488.390	4.598.306	4.724.512	4.807.281	4.923.656	5.058.740	5.196.954	5.337.051	5.453.839	5.636.395
<b>Movistar TDMA</b>	213.717	208.192	203.478	183.880	178.748	174.441	171.252	167.659	162.242	158.338	158.304	131.055
<b>Movistar CDMA</b>	1.307.093	1.326.014	1.344.123	1.350.274	1.365.306	1.354.372	1.332.036	1.292.379	1.259.606	1.245.680	1.249.996	1.077.146
<b>Movistar GSM</b>	534.971	715.109	941.788	985.723	1.088.409	1.061.195	1.029.729	1.005.290	971.260	989.910	1.002.470	1.281.801
<b>MOVISTAR</b>	2.055.781	2.249.315	2.489.389	2.519.877	2.632.463	2.590.008	2.533.017	2.465.328	2.393.108	2.393.928	2.410.770	2.490.002
<b>ALEGRO</b>	233.896	238.517	245.781	254.786	263.274	270.725	277.861	285.871	296.368	307.620	326.314	358.653
<b>TOTAL</b>	<b>6.526.581</b>	<b>6.835.691</b>	<b>7.223.560</b>	<b>7.372.969</b>	<b>7.620.249</b>	<b>7.668.014</b>	<b>7.734.534</b>	<b>7.809.939</b>	<b>7.886.430</b>	<b>8.038.599</b>	<b>8.190.923</b>	<b>8.485.050</b>

	Ene-07	Feb-07	Mar-07	Abr-07	May-07	Jun-07	Jul-07	Ago-07	Sep-07	Oct-07	Nov-07	Dic-07
<b>Porta TDMA</b>	240.109	219.565	197.734	183.953	165.171	102.779	70.966	3				
<b>Porta GSM</b>	5.522.764	5.633.332	5.750.900	5.851.524	5.978.074	6.093.138	6.251.333	6.483.438	6.575.317	6.673.478	6.750.853	6.907.911
<b>PORTA</b>	5.762.873	5.852.897	5.948.634	6.035.477	6.143.245	6.195.917	6.322.299	6.483.441	6.575.317	6.673.478	6.750.853	6.907.911
<b>Movistar TDMA</b>	105.155	93.065	60.593	60.551	60.591	59.359	52.252	56.878	32.329	19.033	13.282	13.078
<b>Movistar CDMA</b>	1.071.330	1.049.459	1.047.861	1.027.104	1.009.772	1.013.965	981.698	945.924	902.068	862.576	802.973	761.539
<b>Movistar GSM</b>	1.325.341	1.328.785	1.390.125	1.380.998	1.482.924	1.571.672	1.607.261	1.665.119	1.718.757	1.721.621	1.719.406	1.807.819
<b>MOVISTAR</b>	2.501.826	2.471.309	2.498.579	2.468.653	2.553.287	2.644.996	2.641.211	2.667.921	2.653.154	2.603.230	2.535.661	2.582.436
<b>ALEGRO CDMA</b>	374.078	381.636	390.922	401.400	411.267	412.597	412.802	416.704	419.789	423.980	428.868	433.275
<b>ALEGRO GSM</b>												16.355
<b>ALEGRO</b>												449.630
<b>TOTAL</b>	<b>8.638.777</b>	<b>8.705.842</b>	<b>8.838.135</b>	<b>8.905.530</b>	<b>9.107.799</b>	<b>9.253.510</b>	<b>9.376.312</b>	<b>9.568.066</b>	<b>9.648.260</b>	<b>9.700.688</b>	<b>9.715.382</b>	<b>9.939.977</b>

	<b>Ene-08</b>	<b>Feb-08</b>	<b>Mar-08</b>	<b>Abr-08</b>	<b>May-08</b>	<b>Jun-08</b>	<b>Jul-08</b>	<b>Ago-08</b>
<b>Porta TDMA</b>								
<b>Porta GSM</b>	7.015.400	7.090.448	7.165.538	7.230.620	7.307.374	7.230.411	7.373.213	7.528.413
<b>PORTA</b>	7.015.400	7.090.448	7.165.538	7.230.620	7.307.374	7.230.411	7.373.213	7.528.413
<b>Movistar TDMA</b>	42.637	35.012	30.495	24.545	18.254	11.195	9.585	3.568
<b>Movistar CDMA</b>	691.240	671.429	656.837	622.656	600.058	605.607	593.784	580.936
<b>Movistar GSM</b>	1.864.845	1.914.959	1.988.513	2.032.915	2.091.152	2.236.310	2.330.148	2.368.250
<b>MOVISTAR</b>	2.598.722	2.621.400	2.675.845	2.680.116	2.709.464	2.853.112	2.933.517	2.952.754
<b>ALEGRO CDMA</b>	435.893	431.152	413.680	373.922	337.510	312.202	288.144	279.820
<b>ALEGRO GSM</b>	35.683	50.938	117.106	191.505	271.317	325.085	368.728	383.294
<b>ALEGRO</b>	471.576	482.090	530.786	565.427	608.827	637.287	656.872	663.114
<b>TOTAL</b>	<b>10.085.698</b>	<b>10.193.938</b>	<b>10.372.169</b>	<b>10.476.163</b>	<b>10.625.665</b>	<b>10.720.810</b>	<b>10.963.602</b>	<b>11.144.281</b>

## **BIBLIOGRAFIA**

- 1. GSM, GPRS and EDGE Performance, Evolution toward 3G:** Timo Halonen, Javier Romero, Jeroen Wigard y Juan Melero, Editora WILEY, 2002.
- 2. GSM Phase 2+, General packet radio service GPRS: Architecture, Protocols and air interface:** Christian Bettstetter, Hans-Jörg Vögel and Jörg Eberspächer, IEEE Communications Surveys, Third Quarter 1999, vol. 2 no. 3.
- 3. The GSM System for Mobile Communications:** Michel Mouly and Marie-Bernadette Pautet, 1992
- 4. Comunicaciones Móviles GSM:** Rafael Ayuso, Blanca Ceña, María Fernández y Berta Millán. Publicado por Fundación Airtel en España. 1999
- 5. Overview of the Global System for Mobile Communications:** John Scourias, Octubre de 1999.
- 6. 3GPP TS 05.02, TS 05.04, TS 05.05, TS 05.08:** 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group GSM/EDGE Radio Access Network; Digital Cellular Telecommunications System Phase 2+; Multiplexing and Multiple Access on the Radio Path, Release 1999

7. **Telecommunications System Engineering:** Roger Freeman, Wiley Series in telecommunications.
8. **Principles of Mobile Communications:** Gordon Stuber, Kluwer Academic Press
9. **Tercera generación de telefonía móvil, evolución hacia UMTS:** Carlos Navarro Catalá, 2003
10. **Wireless Communications:** Principles and Practice, Theodore Rappaport, Prentice Hall, 2nd Edition.
11. **IS-95 CDMA and cdma2000:** Vijay Garg, Prentice Hall, 2000

**12. PAGINAS WEB:**

<http://www.gsm.org>

<http://www.3gpp.org/>

<http://www.3gpp2.org>

<http://www.gsmdata.com>

<http://www.imt-2000.org>

<http://www.3gamericas.org/>

<http://www.gsmworld.com/technology/gprs>

<http://www.suptel.gov.ec>

[http://www.supertel.gov.ec/noticias\\_2005.htm](http://www.supertel.gov.ec/noticias_2005.htm)

<http://www.conatel.gov.ec>

<http://www.inec.gov.ec>

<http://www.porta.net>

<http://www.movistar.com.ec>

<http://www.alegropcs.com>

<http://www.nokia.com>

<http://www.cideiber.com/infopaises/Ecuador/Ecuador-02-01.html>

<http://es.wikipedia.org/>

<http://www.fao.org/docrep/007/j4524s/j4524s06.htm>

<http://www.frecuenciaonline.com/espanol/mostrarnoticia.php?id=32>

<http://www.hoy.com.ec/zhechos/2004/libro/tema29.htm>

<http://www.tele-semana.com>