



Departament d'Enginyeria Electrònica Elèctrica i Automàtica

## **Despliegue de un sistema de telefonía móvil GSM/GPRS en las comarcas de Tarragona**

**Titulación:** Enginyeria Tècnica de Telecomunicacions, especialitat en Telemàtica.

**Fecha de presentación:** Septiembre de 2007.

**AUTOR:** Álvaro Ruano Fernández

**DIRECTOR:** Jesús Brezmes Llecha

# Índice

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>6</b>
1.1	Antecedentes .....	6
1.2	Objetivos.....	7
<b>2</b>	<b>CONCEPTOS DE REDES GSM/GPRS.....</b>	<b>8</b>
2.1	Introducción GSM.....	8
2.1.1	Características generales del sistema GSM .....	8
2.1.2	Bandas de frecuencia .....	9
2.1.2.1	GSM modo extendido.....	10
2.1.2.2	GSM-1800 .....	10
2.1.3	Modulación GMSK.....	11
2.1.3.1	Espectro de potencia.....	12
2.2	Organización jerárquica del acceso TDMA .....	13
2.2.1	Tipos de ráfagas en el sistema GSM .....	13
2.2.1.1	Ráfaga normal.....	13
2.2.1.2	Ráfaga de corrección de frecuencia .....	15
2.2.1.3	Ráfaga de sincronización .....	15
2.2.1.4	Ráfaga de acceso.....	16
2.2.1.5	Ráfaga de relleno .....	16
2.2.2	Estructura jerárquica de las tramas en el sistema GSM .....	17
2.2.2.1	Generación de multitramas en el sistema GSM .....	18
2.3	Canales lógicos .....	18
2.3.1	Canales de tráfico .....	18
2.3.2	Canales de radiodifusión (BCH – Broadcast Channels).....	19
2.3.3	Canales de control dedicados (DCCH – Dedicated Control Channels) .....	19
2.3.4	Canales comunes de control (CCCH – Common Control Channels).....	20
2.3.5	Resumen.....	20
2.4	Procedimientos de sincronización y llamada.....	20
2.4.1	Sincronización entre el terminal móvil y la base .....	20
2.4.1.1	Sincronización inicial .....	21
2.4.1.2	Sincronismo en régimen permanente .....	21
2.4.2	Registro y actualización de la localización del terminal móvil .....	21
2.4.3	Establecimiento de llamada desde la estación base.....	22
2.4.4	Establecimiento de llamada desde el terminal móvil .....	22
2.5	Multiplexado .....	23
2.5.1	Multiplexado de los canales lógicos.....	23
2.5.1.1	Canales de tráfico .....	23
2.5.1.2	Canales de señalización y control .....	23
2.5.1.3	Combinación IV .....	24
2.5.1.4	Combinación V .....	24
2.6	Codificación de canal y entrelazado.....	25
2.6.1	Canales vocales .....	25
2.6.1.1	Codificación.....	25
2.6.1.2	Entrelazado .....	25
2.6.2	Canales de datos a 9,6 Kb/seg.....	26
2.6.2.1	Codificación.....	26
2.6.2.2	Entrelazado .....	26
2.6.3	Canales de datos a 2,4 Kb/seg.....	28

2.6.3.1 Codificación.....	28
2.6.3.2 Entrelazado .....	28
2.6.4     Canales de señalización.....	28
2.6.4.1 Codificación.....	28
2.6.5     Resumen de codificación de canal .....	29
<b>2.7     Misceláneos .....</b>	<b>29</b>
2.7.1     Autentificación.....	29
2.7.2     Cifrado .....	30
2.7.3     Slow Frequency Hopping.....	31
<b>2.8     Introducción a la funcionalidad .....</b>	<b>31</b>
2.8.1     Funciones de un sistema móvil .....	31
2.8.1.1 Operaciones básicas.....	31
2.8.1.2 Enganche a la estación base.....	32
2.8.1.3 Camping.....	32
2.8.1.4 Acceso a la estación base.....	33
2.8.1.5 Establecimiento de la llamada .....	33
2.8.1.6 Monitorización.....	34
2.8.1.7 Traspaso o Handover .....	34
2.8.1.8 Modos de traspaso o handover.....	36
2.8.1.9 Tipos de traspaso según quien ordena el mismo.....	36
2.8.1.10 Handover sin señalización .....	37
2.8.1.11 Control de potencia.....	37
2.8.1.12 Time Advance.....	38
2.8.1.13 Salto lento en frecuencia.....	38
2.8.1.14 Transmisión discontinua .....	39
2.8.1.15 Paging o procedimiento de búsqueda .....	40
2.8.1.16 Áreas de localización .....	41
2.8.1.17 Attach/Detach .....	42
<b>2.9     Arquitectura del sistema GSM.....</b>	<b>42</b>
2.9.1     Introducción .....	42
2.9.2     Características principales de la red de señalización .....	44
2.9.2.1 Señal digital .....	44
2.9.2.2 Jerarquía digital: niveles de multiplexado .....	44
2.9.2.3 Estructura del interfaz Abis .....	45
2.9.2.4 Interfaces .....	45
2.9.3     Elementos de la arquitectura de red GSM .....	46
2.9.3.1 Mobile STATION (MS) .....	46
2.9.3.2 Subscriber Identity Module (SIM).....	46
2.9.3.3 Base Station Subsystem (BSS) .....	47
2.9.3.4 Base Transceiver Station (BTS) .....	47
2.9.3.5 Configuraciones de las BTS .....	47
2.9.3.6 Base Station Controller (BSC).....	48
2.9.3.7 Network and Switching Subsystem (NSS) .....	48
2.9.3.8 Mobile Switching Center and Gateway MSC (MSC y GMSC).....	48
2.9.3.9 Home Location Register (HLR) .....	49
2.9.3.10 Visitors Location Register (VLR).....	50
2.9.3.11 Autoauthentication Center (AUC).....	51
2.9.3.12 Equipment Identity Register (EIR) .....	52
2.9.3.13 Transcoder and Rate Adaptation Unit (TRAU) .....	52
<b>2.10    Introducción al Sistema GPRS .....</b>	<b>52</b>
2.10.1     Características de GPRS .....	53
2.10.2     Arquitectura del sistema GPRS.....	53
2.10.2.1 Packet Control Unit (PCU) .....	54
2.10.2.2 Gateway GPRS Support Node (GGSN) .....	54
2.10.2.3 Serving GPRS Support Node (SGSN).....	54
2.10.3     Contexto PDP.....	55

2.10.4. Transferencia de paquetes de información .....	55
<b>2.11 Interfaz aire GPRS .....</b>	<b>56</b>
2.11.1 Canales lógicos .....	56
2.11.1.1 Packet Broadcast Control Channel (PBCCCH).....	56
2.11.1.2 Packet Common Control Channel (PRACH).....	56
2.11.1.3 Packet Traffic Channels (PTCH) .....	57
2.11.2 Estructura de trama y multitrama en GPRS .....	57
<b>2.12 Calidad de servicio en el sistema GPRS.....</b>	<b>58</b>
2.12.1 Prioridad del servicio.....	58
2.12.2 Fiabilidad.....	58
2.12.3 Retardo medio y en porcentaje .....	59
2.12.4 Caudal de pico .....	59
2.12.5 Caudal medio.....	59

### **3 ESTUDIO DE IMPLANTACIÓN DE UNA RED CELULAR GSM/GPRS . 61**

<b>3.1 Prefacio.....</b>	<b>61</b>
<b>3.2 Introducción al estudio de coberturas .....</b>	<b>61</b>
<b>3.3 Zona de trabajo.....</b>	<b>62</b>
<b>3.4 Estudio preliminar sobre el tráfico de la zona .....</b>	<b>62</b>
3.4.1 Coordenadas UTM del término municipal de las poblaciones pertenecientes a la zona del estudio.....	62
3.4.2 Estudio de la distribución de la población en pueblos, ciudades y principales vías de comunicación (censo 2005).....	64
3.4.3 Factores de crecimiento, distribución, movilidad y variación .....	66
<b>3.5 Estudio final de la densidad en términos de tráfico (Erlangs/ Km<sup>2</sup>).....</b>	<b>67</b>
<b>3.6 Planificación radio GSM.....</b>	<b>69</b>
3.6.1 Planificación inicial .....	70
3.6.2 Optimización del sistema .....	71
3.6.3 Estudios de interferencia .....	72
3.6.4 Posibles mejoras del sistema .....	74
3.6.5 Conclusiones del estudio de planificación radio GSM.....	75
<b>3.7 Radio de cobertura .....</b>	<b>75</b>
3.7.1 Balance de potencias .....	76
3.7.2 Radio de cobertura en función de la QoS.....	78
<b>3.8 Dimensionado de la red GSM/GPRS: Conceptos teóricos .....</b>	<b>78</b>
3.8.1 Introducción .....	78
3.8.2 Parámetros generales.....	79
3.8.2.1 Datos de población bajo la celda .....	79
3.8.2.2 Datos de tráfico por servicio .....	79
3.8.2.3 Acceso aleatorio a móviles en GSM/GPRS .....	80
3.8.2.4 Canales de control.....	81
3.8.2.5 Canales de búsqueda de abonado móvil .....	81
3.8.2.6 Attach/Detach de los terminales móviles.....	82
3.8.2.7 Localización de la posición del terminal móvil .....	82
3.8.2.8 Interfaz radio GPRS .....	82
3.8.2.9 Calidad en el interfaz radio.....	82
3.8.3 Diseño de la red GSM .....	83
3.8.3.1 Dimensionado del Interfaz Radio .....	83
3.8.3.2 Dimensionado del núcleo de red.....	88

3.8.4	Diseño del servicio GPRS .....	91
3.8.4.1	Diseño del acceso radio .....	91
3.8.4.2	Diseño del núcleo de red.....	94
3.8.4.3	Interconexión con redes externas de datos.....	98
3.8.4.4	DNS y BG.....	98
<b>3.9</b>	<b>Dimensionado de la red GSM/GPRS: Zona de trabajo.....</b>	<b>98</b>
3.9.1	Demanda de Time Slots en GSM .....	101
3.9.2	Demanda de señalización.....	102
3.9.2.1	Demanda en el SDCCH .....	103
3.9.2.2	Dimensionado en el RACH .....	105
3.9.2.3	Dimensionado en el ACGH .....	107
3.9.2.4	Canal PCH: Tiempo de envío del mensaje de paging.....	108
3.9.3	Dimensionado radio GPRS .....	111
3.9.3.1	Dimensionado del número de PDCH.....	111
3.9.3.2	Tiempo de tránsito en red GPRS .....	115
3.9.3.3	Ocupación de los canales de señalización.....	116
3.9.4	Integración GSM/GPRS.....	118
<b>4</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>121</b>
4.1	Consecución de objetivos .....	121
4.2	Futuras implementaciones .....	121
<b>5</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>122</b>
<b>6</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>123</b>
6.1	Diagrama de radiación de las antenas escogidas para la planificación radio.....	123
6.2	Resultados de <i>Coverage by transmitter</i> urbano con 35 portadoras .....	124
6.3	Resultados de <i>Coverage by transmitter</i> rural con 35 portadoras.....	133

## 1 Introducción

### 1.1 Antecedentes

Soy alumno de la *Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de la Universitat Rovira i Virgili* y he cursado la totalidad de la *Enginyeria Tècnica en Telecomunicacions, especialitat en Telemàtica* (a falta del presente Proyecto Final de Carrera).

En su día me interesé por una asignatura optativa que se imparte dentro del programa curricular de la carrera, llamada *Telefonia Mòbil*, asignatura que sirvió de presentación a las características más relevantes de los sistemas móviles celulares y su evolución futura. Esta asignatura se centra en las tecnologías móviles desplegadas actualmente y me permitió conocer los factores clave en la planificación, diseño y despliegue de una red móvil, así como el proceso de mejora de calidad y optimización.

Posteriormente, promovido por el interés en la presente materia, he realizado a través de la *Fundació de la Universitat Politècnica de Catalunya*, un *Master en Comunicaciones Móviles*, contando con el mecenazgo de la *Fundación Vodafone*.

El programa del Master proporciona un marco estructurado en el que se integran todas las disciplinas necesarias para llegar a ser un profesional altamente cualificado en el sector de las comunicaciones móviles.

Se han estudiado en detalle los sistemas de redes móviles celulares: los sistemas GSM, la red de datos GPRS y el nuevo sistema de comunicaciones UMTS, que permite velocidades mucho más elevadas que las actuales en GSM y GPRS, particularmente en sus variantes HSDPA y HSUPA.

También se han proporcionado los conocimientos para entender las claves de otras tecnologías complementarias a las celulares anteriormente mencionadas, principalmente en lo relativo a las redes de banda ancha Wi-Fi y WiMAX, entre otras, tales como TETRA o Bluetooth. A su vez, se han desarrollado los conceptos necesarios para entender una nueva área de enorme potencial de crecimiento: la TV móvil.

Otro pilar básico en el que se ha apoyado nuestro estudio en el Master lo ha constituido la capacitación para el desarrollo de aplicaciones y contenidos específicos para la confección de servicios en entornos móviles, dadas sus perspectivas de crecimiento futuras.

Las grandes líneas anteriormente señaladas fueron precedidas por la introducción de conceptos fundamentales en el área de radiocomunicaciones y de redes, donde se dedicó una atención especial a las redes Internet y a su gestión.

Cabe destacar que gracias al apoyo de Vodafone se han podido utilizar herramientas de gestión y análisis que de otro modo no hubieran sido accesibles, herramientas que han sido primordiales para la realización de este proyecto.

Es por todo ello por lo que me siento capacitado a realizar un proyecto pionero en esta Universidad sobre Telefonía Móvil y Redes Celulares.

### 1.2 Objetivos

- Como ya se ha indicado anteriormente, el hecho de que este sea el primer proyecto de estas características crea la necesidad de conformar un proyecto modelo para que, si el estudiante lo desea, se pueda profundizar o ampliar en los temas que se tratan en las siguientes páginas. Se ha creído por ello necesario, como primer objetivo, dedicar una primera parte a realizar un estudio didáctico sobre los aspectos más básicos del sistema celular GSM y su modificación para poder transmitir datos, llamada GPRS.
- Como segundo objetivo, apoyándonos en el punto anterior y gracias a las herramientas propias de Vodafone, se ha realizado un estudio concreto sobre el terreno para la implantación de un sistema celular GSM/GPRS.

De esta forma se crea un proyecto cerrado en contenido -contiene desde la teoría básica hasta la puesta en marcha de un sistema real- pero abierto a nuevas ideas y expectativas.

## 2 Conceptos de redes GSM/GPRS

### 2.1 Introducción GSM

El Global System for Mobile Communications (Sistema Global para las Comunicaciones Móviles), estándar creado por la Conferencia Europea de Administraciones de Correos y Telecomunicaciones (CEPT, siglas de su nombre en francés *Conférence Européenne des Administrations des Postes et des Télécommunications*), fue adaptado y desarrollado por ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) como estándar para la telefonía móvil europea.

Se trata de un estándar abierto, no propietario y evolutivo. Predomina su uso en Europa y en el resto del mundo, siendo el 70% de los usuarios de telefonía móvil los que utilizan este sistema.

A diferencia de sus antecesores, el sistema GSM es el primer sistema de telefonía móvil en que tanto los canales de voz como los de señalización son digitales. Se diseñó así con el fin de poder aplicar con mayor facilidad sistemas y técnicas de seguridad.

#### 2.1.1 Características generales del sistema GSM

GSM tiene cuatro versiones principales basadas en la banda: GSM-850, GSM-900, GSM-1800 y GSM-1900. A pesar de ello en la mayor parte del mundo se utilizan las bandas de 900 y 1800 MHz. GSM-850 y GSM-1900 fueron creadas debido a que en Estados Unidos las bandas de 900 y 1800 MHz ya estaban ocupadas con fines militares.

Parámetro	GSM
<b>Frecuencia Transmisión (Mhz)</b>	
Base → Móvil	935-960
Móvil → Base	890-915
Tipo de Acceso Múltiple	TDMA
Método de Duplexado	FDD
Ancho de Banda por radiocanal	200 KHz
Nº Canales tráfico por radiocanal	8
Nº Total de canales de tráfico	1000
<b>Canal Vocal</b>	
Tipo de Modulación	GMSK
Vel. Transmisión /Desviación de Frecuencia	270,8 Kb/s
Tipo de VOCODER y velocidad	13 Kb/s
<b>Canal de Servicio</b>	
Tipo de Modulación	GMSK
Vel. Transmisión	270 Kb/s (NRZ)

Tabla 2.1. Principales características de un sistema GSM-900.

### 2.1.2 Bandas de frecuencia

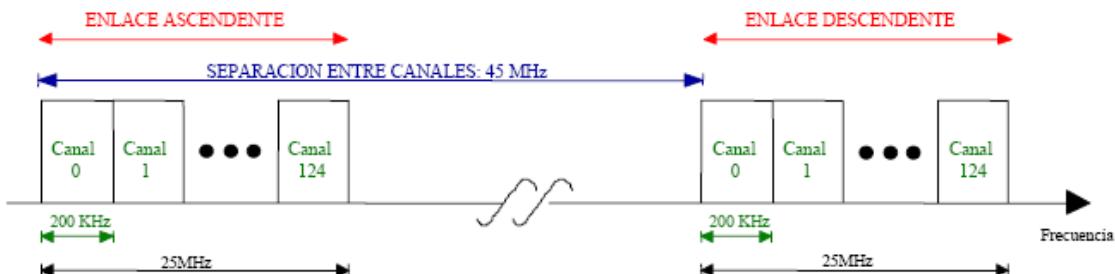


Figura 2.1. Bandas de frecuencia en el enlace ascendente y descendente.

El sistema GSM-900 opera en la banda de 890 a 960 MHz. Se trata de un sistema full-duplex, es decir, puede transmitirse información de forma simultánea en ambas direcciones (utiliza dos radiocanales por comunicación) y con objeto de simplificar la implementación del circuito duplexor empleado para permitir la transmisión-recepción simultánea por una única antena, se ha considerado una separación mínima entre los radiocanales de ambas bandas de 45 MHz. Es decir se trata de un sistema FDD (*Frequency Division Duplex*).

Para el enlace ascendente (de móvil a base) se considera la banda comprendida entre 890 MHz y 915 MHz, mientras que para el enlace descendente (de base a móvil) se considera la banda comprendida entre 935 MHz y 960 MHz. El ancho de banda de cada radiocanal es de 200 KHz, por lo que se dispone en total de 125 radiocanales bidireccionales, cada uno de ellos capaz de soportar hasta 8 usuarios simultáneos.

Los canales se numeran de 0 a 124 mediante el denominado ARFCN (*Absolute Radio Frequency Channel Number*). El canal 0 es utilizado como banda de guarda entre GSM y otros sistemas, por lo que no se utiliza.

Conocido el ARFCN (Absolute Radio Frequency Channel Number), que denominamos como  $n$ , pueden obtenerse los valores absolutos de las frecuencias portadoras de los distintos radiocanales.

Enlace ascendente:

$$F(\text{MHz}) = 890 + 0,2 n \text{ (MHz)}; 0 \leq n \leq 124 \quad (2.1)$$

Enlace descendente:

$$F(\text{MHz}) = 935 + 0,2 n \text{ (MHz)}; 0 \leq n \leq 124 \quad (2.2)$$

$n$  = Absolute Radio Frequency Channel Number (ARFCN)

Por lo tanto, para informar desde la base al móvil del radiocanal elegido para operar sólo hay que indicar el parámetro ARFCN.

Cada estación base contiene de 1 a 16 radiocanales dependiendo de como se ha planificado la red y de la densidad de tráfico en la zona de cobertura servida por la estación base.

### 2.1.2.1 GSM modo extendido

Debido a la necesidad de más canales surgió el modo extendido de GSM, el cuál habilita 20 MHz adicionales. Se añaden 10 MHz al inicio de cada banda (ascendente y descendente).

- Enlace ascendente: 880MHz a 915 MHz.
- Enlace descendente: 925 MHz a 960 MHz.

El aumento de frecuencia posibilita obtener 50 nuevos canales numerados de 974 a 1023. Puesto que el canal numerado 974 es el que ahora está situado en el extremo inferior de la banda, ahora se utiliza como canal de guarda, convirtiéndose el canal 0 (antes canal de guarda) en un canal de uso convencional.

De la misma forma se pueden obtener los valores absolutos de las frecuencias portadoras de los radiocanales añadidos en el modo extendido.

Enlace ascendente:

$$F(\text{MHz}) = 890 + 0,2(n - 1024); \quad 975 \leq n \leq 1023 \quad (2.3)$$

Enlace descendente:

$$F(\text{MHz}) = 935 + 0,2(n - 1024); \quad 975 \leq n \leq 1023 \quad (2.4)$$

n = Absolute Radio Frequency Channel Number (ARFCN)

### 2.1.2.2 GSM-1800

El espectacular éxito del sistema GSM hizo que los operadores agotaran los radiocanales disponibles en la banda de 900 MHz en muy pocos años y no fuera suficiente con la aplicación del sistema de GSM extendido. Por esta razón se buscó una banda disponible alrededor de los 2 GHz, que fuera compatible con el sistema UMTS, ya en proceso de diseño.

En USA se optó por asignar una banda alrededor de 1900 MHz, mientras que en Europa la banda asignada fue alrededor de 1800 MHz.

Obsérvese que el sistema opera aproximadamente al doble de la frecuencia original de GSM, lo que facilita la generación de terminales duales. Por ejemplo, el hecho de generar las nuevas frecuencias portadoras puede hacerse de una forma razonablemente simple utilizando el mismo sintetizador que en la banda de 900 MHz (convenientemente sintonizado) y utilizando un doblador de frecuencia.

Sin embargo al operar a frecuencia doble también implica ciertos problemas de implementación. Así por ejemplo hay que dejar el doble (de hecho 95 MHz) de banda

de guarda entre los canales del enlace ascendente y los canales del enlace descendente (banda de duplexado) para poder tener las mismas prestaciones que en GSM clásico por parte del circuito de duplexación. Teniendo en cuenta todos estos datos, la distribución de frecuencias en el sistema GSM-1800 es la siguiente:

- Enlace ascendente: 1710 MHz a 1785 MHz.
- Enlace descendente: 1805 MHz a 1880 MHz.

En este caso los valores absolutos de frecuencia de cada radiocanal vienen dados por:

Enlace ascendente:

$$F(\text{MHz}) = 1710.2 + 0,2(n - 512); \quad 512 \leq n \leq 885 \quad (2.5)$$

Enlace descendente:

$$F(\text{MHz}) = 1805.2 + 0,2(n - 512); \quad 512 \leq n \leq 885 \quad (2.6)$$

$n$  = Absolute Radio Frequency Channel Number (ARFCN)

Obsérvese que ahora se han fijado entre 512 y 885 los valores del ARFCN para evitar confusiones con el sistema GSM y GSM extendido.

Comparándolo con la versión de GSM que opera en la banda de 900 MHz, observamos que ambos sistemas mantienen la misma estructura en cuanto a canalización, señalización, estructura de trama TDMA, etc. y la única diferencia reside en que el sistema GSM-1800 tiene 75 MHz de banda asignada en lugar de los 25 MHz del sistema GSM convencional. Es decir, se dispone de 374 radiocanales en lugar de los 124 del sistema GSM convencional, permitiendo la coexistencia de un número mayor de operadores.

### 2.1.3 Modulación GMSK

La modulación utilizada en el estándar GSM es la denominada GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*). Esta modulación deriva de la denominada MSK (*Minimum Shift Keying*) que es una modulación digital de frecuencia cuyo ancho de banda es mínimo.

Tanto MSK como GMSK son modulaciones digitales de envolvente constante, por lo que son buenas candidatas para ser utilizadas en sistemas de comunicaciones móviles en tanto que pueden ser amplificadas utilizando amplificadores de potencia de alto rendimiento (por ejemplo amplificadores en clase C), lo que permite mejorar la eficiencia en potencia del sistema y aumentar la autonomía del transmisor móvil.

Aunque la modulación MSK tiene un nivel de lóbulos laterales menor que la modulación QPSK clásica (con pulso conformador rectangular), al tener garantizada la continuidad de fase, en sistemas de radiocomunicación no se utiliza, pues aún así el nivel de lóbulos laterales es excesivamente elevado (los lóbulos adyacentes están sólo

23 dB atenuados con respecto al lóbulo principal). Ello es debido a las transiciones bruscas de la señal en el dominio de la frecuencia.

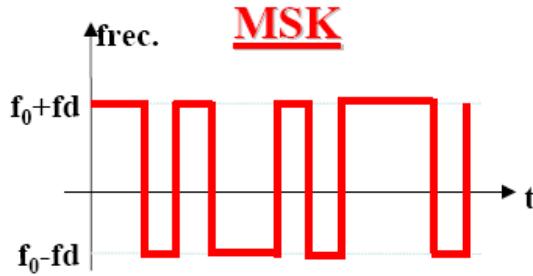


Figura 2.2. Señal modulada con MSK.

Si se desea garantizar un nivel de lóbulos laterales suficientemente bajo, no sólo hay que garantizar continuidad de fase sino también continuidad de frecuencia y de sus sucesivas derivadas. Por esta razón, en el caso de modulación GMSK se parte de una modulación MSK y se introduce un filtro de pre-modulación Gaussiano frente al modulador digital de frecuencia MSK.

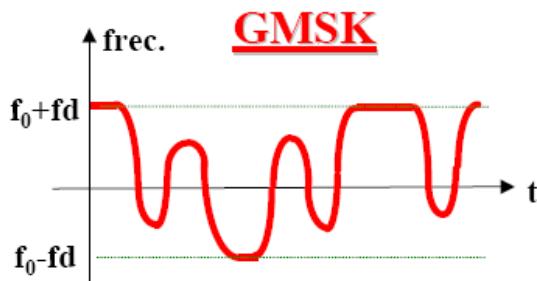


Figura 2.3. Señal modulada con GMSK.

#### 2.1.3.1 Espectro de potencia

El espectro de la señal GMSK se extiende fuera de la banda asignada a un radiocanal. Por consiguiente se trata de un sistema que produce interferencias entre distintos usuarios que operan en radiocanales contiguos.

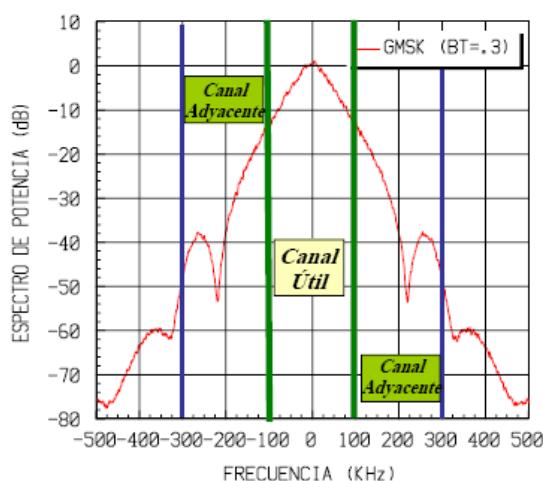


Figura 2.4. Espectro de una señal GMSK.

Sin embargo ello no constituye un problema para el sistema, puesto que los sistemas de telefonía móvil celular son sistemas limitados por interferencias, debido a la existencia de células relativamente cercanas servidas por estaciones base que operan con los mismos radiocanales que la estación base a la que se encuentra sintonizado el usuario en cuestión. En este tipo de sistemas las prestaciones del mismo dependen fundamentalmente de la relación señal-interferencia y no de la relación señal-ruido.

Cabe subrayar que la presencia de interferencia en los canales adyacentes ocasionada por la modulación no constituye ningún problema en el sistema GSM. En efecto, para una tasa de error (*Bit Error Ratio* o BER) de 0,01, la degradación (con respecto a un sistema ideal en la que no existiera radiación procedente del canal adyacente) en las prestaciones del sistema introducida por la presencia de canales adyacentes es de 0,5 dB si se considera el canal inmediatamente adyacente ( $\Delta f = 200$  KHz) y de 0,1 dB si se considera que el radiocanal que genera la señal interferente está situado dos radiocanales adyacente más allá del canal útil ( $\Delta f = 400$  KHz).

## 2.2 Organización jerárquica del acceso TDMA

### 2.2.1 Tipos de ráfagas en el sistema GSM

En un sistema de acceso TDMA los usuarios emiten a ráfagas, en intervalos de tiempo predefinidos. Puesto que el sistema GSM tiene como método de acceso un sistema TDMA, resulta conveniente pasar a describir los distintos tipos de ráfaga definidos en el mismo.

Básicamente cabe distinguir entre:

- Ráfaga **NORMAL**.
- Ráfagas específicas:

Enlace descendente:

- Ráfaga de **CORRECCIÓN DE FRECUENCIA**.
- Ráfaga de **SINCRONIZACIÓN**.

Enlace ascendente:

- Ráfaga de **ACCESO**.
- Ráfagas de **RELLENO (Dummy Burst)**.

#### 2.2.1.1 Ráfaga normal

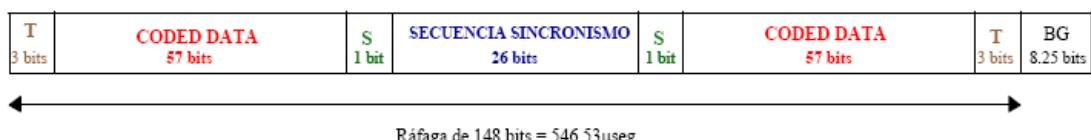


Figura 2.5. Estructura de una ráfaga normal.

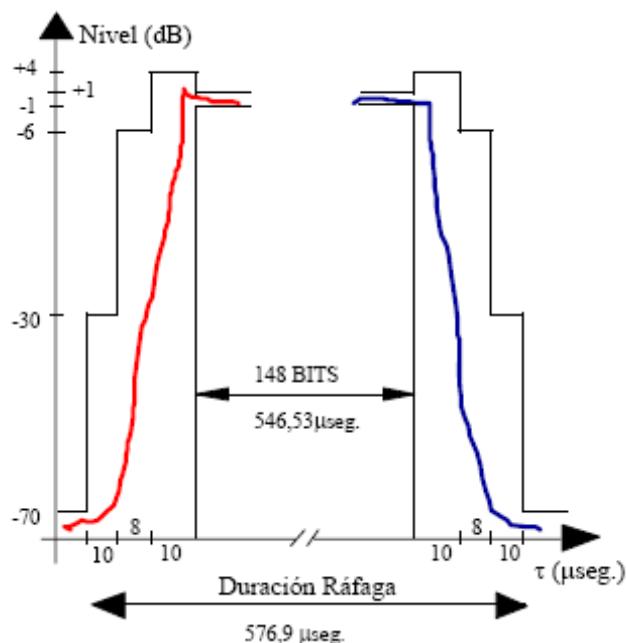
La ráfaga contiene 148 bits, de modo que su duración es de 546,12  $\mu$ seg. De estos 148 bits sólo 114 contienen información de usuario, el resto son bits de señalización y control del sistema. Ello representa una eficiencia del 77%.

Los 3 bits de inicio y cola (T bits) sirven para inicializar al igualador. Los 2 bits S (*Stealing flag*) indican si la ráfaga transporta información de control urgente en lugar de información de usuario. Obsérvese que existe uno en cada extremo de la ráfaga de sincronización, puesto que es posible transmitir información de control urgente utilizando sólo media ráfaga de información (57 bits).

La secuencia de sincronización se utiliza para estimar la respuesta impulsional del canal. Esta secuencia de sincronización está situada en la mitad de la ráfaga para minimizar el efecto del desplazamiento *Doppler*. Existe un total de 8 secuencias de sincronización diferentes, de modo que bases relativamente próximas que utilicen los mismos radiocanales utilizan secuencias de sincronización diferentes. De este modo se protege al usuario móvil frente a interferencias de células vecinas.

El periodo de guarda es de 8,25 bits equivalente a 30,4  $\mu$ seg aproximadamente. Este periodo es similar al transitorio de potencia (siendo este de aproximadamente 28  $\mu$ seg.). Durante este tiempo el nivel del amplificador de potencia aumenta o disminuye 70 dB. Puesto que una variación tan brusca de nivel puede dar lugar a señales espúreas a la salida del mismo, durante este transitorio no se transmite información. Además, el periodo transitorio ascendente de la ráfaga puede coincidir con el periodo transitorio descendente de la ráfaga anterior.

Durante la transmisión de los 148 bits de la ráfaga, la variación del nivel de potencia no puede ser superior a 1dB.



**Figura 2.6.** Nivel de potencia durante una ráfaga normal.

### 2.2.1.2 Ráfaga de corrección de frecuencia

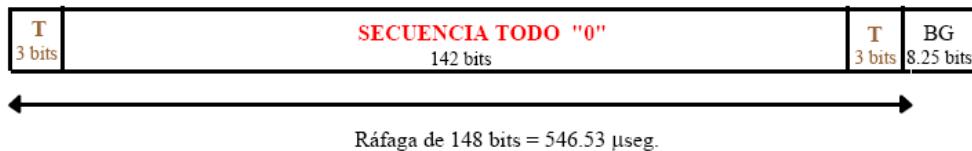


Figura 2.7. Estructura de una ráfaga de corrección de frecuencia.

Durante esta ráfaga se transmite un tono puro desplazado de la frecuencia portadora 67,5 KHz. La transmisión de dicho tono tiene por objeto permitir la sincronización del móvil al reloj maestro del sistema (ajuste fino del receptor del móvil) que está ubicado en la estación base.

La transmisión de esta ráfaga de frecuencia seguida de la ráfaga de sincronización, que se explicará a continuación, permite la sincronización temporal del sistema. En efecto, el sistema sólo validará la ráfaga de sincronización si previamente ha detectado la ráfaga de corrección de frecuencia, de modo que la probabilidad de sincronización falsa del sistema es extraordinariamente pequeña.

La ráfaga de corrección de frecuencia está compuesta por 142 símbolos iguales, todos de valor “0” lógico, que al entrar en el modulador GMSK dan lugar a un tono puro que tiene por duración aproximadamente la duración de la ráfaga.

Como en el caso de la ráfaga normal, también se incluyen tres bits de cabecera y otros tres bits de cola, y un periodo de guarda de 8,25 bits equivalente a 30,4 µseg., similar al transitorio de potencia.

### 2.2.1.3 Ráfaga de sincronización



Figura 2.8. Estructura de una ráfaga de sincronización.

Junto con la ráfaga de corrección de frecuencia esta es la primera ráfaga que detecta el móvil al conectarse a la red.

Contiene tres bits de cabecera y otros tres bits de cola, 78 bits de información codificados y una secuencia de sincronización de 64 bits. Esta secuencia de sincronización se utiliza para detectar, mediante un proceso de correlación, esta ráfaga de sincronización. Por ello la longitud de la secuencia de sincronización es sensiblemente mayor que en el caso de una ráfaga normal, con objeto de aumentar la probabilidad de sincronización del móvil.

Los bits codificados contienen, el Identificador de Estación Base, que permite conocer la secuencia de entrenamiento de 26 bits (de entre las ocho posibles) que se

utilizará en la transmisión de la ráfaga normal y los Identificadores de Trama Multitrama y Supertrama necesarios para la completa sincronización del sistema.

Obviamente toda esta información va convenientemente codificada, mediante la concatenación de un código cíclico y otro convolucional de tasa 1/2, para protegerla frente a las anomalías que introduce la propagación radioeléctrica. La información sin codificar incluida en estos campos consiste en 25 bits distribuidos de la siguiente forma:

- 6 bits para el identificador de estación de base *Base Station Identity Code* (BSIC) de los cuales 3 bits son para identificar al operador *Public Land Mobile Network* (PLMN) y otros 3 bits para identificar la base propiamente *Base Station Color Code* (BCC).
- 19 bits para Número de Identificación de Trama (RFN) de los cuales 11 bits (denominados T1) identifican la supertrama (está numerada de 0-2047 como se verá posteriormente), 5 bits (denominados T2) para el identificador la multitrama de los canales de información de usuario que se agrupan en una supertrama de 26 tramas y 3 bits (denominados T3) para el identificador de década en una supertrama de 51 tramas, utilizada para los canales de señalización. Obsérvese que sólo se precisan tres bits en T3 puesto que el número de trama para los canales de señalización siempre es la unidad.

#### 2.2.1.4 Ráfaga de acceso



Figura 2.9. Estructura de una ráfaga de acceso.

Permite el acceso del móvil a la red según un protocolo ALOHA.

Está compuesta por 8 bits de cabecera y tres de cola, una secuencia de sincronización única para el sistema y que tiene una mayor duración para facilitar la sincronización del móvil y un mensaje encriptado de 36 bits. El tiempo de guarda previsto es equivalente a 60 bits.

El mayor número de bits de inicio y cola (*tail bits*) facilita el modo de operación del igualador. Por su parte, el elevado tiempo de guarda permite evitar colisiones con otras ráfagas que deban de recibirse en el receptor de la base con anterioridad o posterioridad al intervalo de tiempo destinado al acceso.

#### 2.2.1.5 Ráfaga de relleno

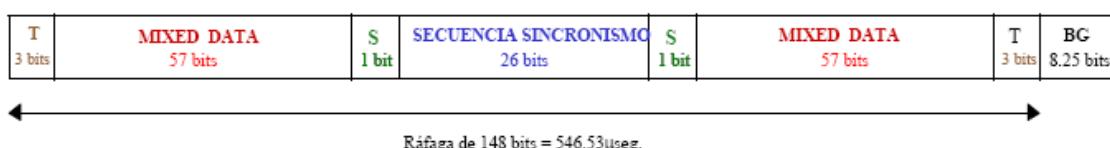


Figura 2.10. Estructura de ráfaga de relleno.

Las ráfagas de relleno se utilizan para garantizar que la portadora que contiene las ráfagas de corrección de frecuencia y de sincronización sea la de mayor potencia de entre todas las que emite la estación base a la que quiere conectarse el móvil.

Ello permite simplificar la sincronización del sistema, puesto que el receptor del móvil simplemente necesita seleccionar la portadora de mayor nivel para estar seguro que dispondrá de las ráfagas de corrección de frecuencia y sincronización que le permiten iniciar el proceso de sincronización del móvil al sistema.

El contenido de los bloques de datos de las secuencias de relleno está predefinido, de modo que no puedan confundirse con una ráfaga de tráfico convencional.

### 2.2.2 Estructura jerárquica de las tramas en el sistema GSM

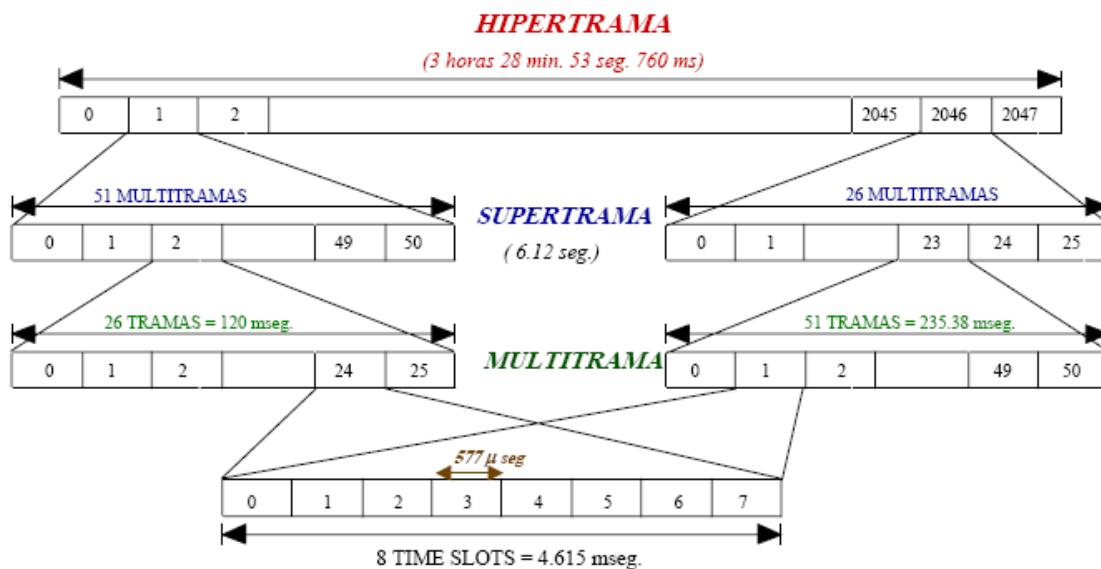


Figura 2.11. Estructura de tramas del sistema GSM.

Los intervalos (*slots*) en donde se alojan las ráfagas del sistema GSM se agrupan en bloques de ocho para formar una trama de duración 4,615 mseg.

En el caso de slots que contiene información de tráfico de usuario se forma una multitrama a partir de la repetición de 26 tramas, es decir con una duración de 120 mseg., mientras que si el *slot* contiene información de señalización, el periodo de repetición de la multitrama es de 51 tramas, equivalente a 235,38 mseg. Con este simple mecanismo se consigue diferenciar claramente en la estructura temporal (*timing*) del sistema GSM la información de usuario de la información de señalización interna del sistema.

Posteriormente ambos tipos de slots tienen el mismo periodo de repetición en términos de supertrama (6,12 seg.) y de hipertrama (3 h. 28 min. 53 seg. 760 mseg.). En efecto, cada supertrama está formada por 51 multitramas en el caso de información de usuario o de 26 multitramas en el caso de señalización, dando lugar a un periodo de repetición común de 6,12 seg. Análogamente una hipertrama está compuesta por 2048 supertramas.

Obsérvese que la estructura temporal del sistema GSM se repite cada tres horas y media aproximadamente.

### 2.2.2.1 Generación de multitramas en el sistema GSM

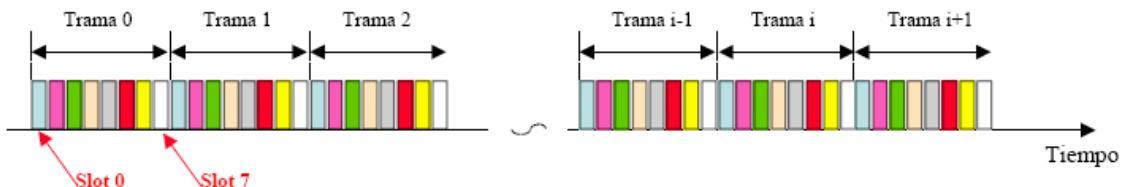


Figura 2.12. Ubicación de slots dentro de las tramas.

A continuación se muestra el procedimiento de repetición de un slot en el caso de generar una multitrama de señalización (slot 0) y de la misma manera en una multitrama de usuario (slot i).

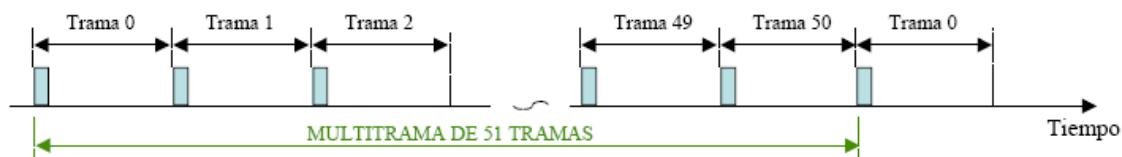


Figura 2.13. Slot 0 en multitrama de señalización.

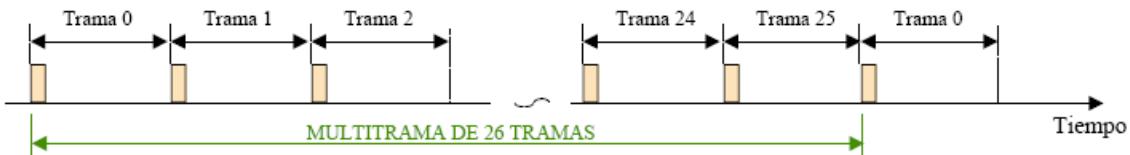


Figura 2.14. Slot i en multitrama de usuario.

## 2.3 Canales lógicos

Un canal lógico no es más que una combinación ordenada de ráfagas dentro de una estructura de trama. En el sistema GSM existen dos tipos de canales lógicos:

- Canales de TRÁFICO.
- Canales de CONTROL.

Dentro de los canales de control podemos distinguir:

- Canales de RADIODIFUSIÓN (BCH).
- Canales de CONTROL DEDICADOS (DCCH).
- Canales COMUNES DE CONTROL (CCCH).

### 2.3.1 Canales de tráfico

Transmiten información generada por el usuario (voz digitalizada y/o datos). Pueden clasificarse en:

- *Traffic Channel/Full-rate Speech* (TCH/FS), transmite información de voz digitalizada a 13 Kb/seg.
- *Traffic Channel/Half-rate Speech* (TCH/HS), transmite información de voz digitalizada a 6,5 Kb/seg. Permite doblar aproximadamente el número de usuarios del sistema.
- *Traffic Channel/Full-rate Data* (TCH/F9.6, TCH/F4.8, TCH/F2.4), transmite información de datos a 9,6, 4,8 o 2,4 Kb/s.
- *Traffic Channel/Half-rate Data* (TCH/H4.8, TCH/H2.4), transmite información de datos a 4,8 o 2,4 Kb/s.

Todos estos canales lógicos utilizan una ráfaga normal para su transmisión.

### **2.3.2 Canales de radiodifusión (BCH – Broadcast Channels)**

Proporcionan al móvil información suficiente para su sincronización con la red. Pueden distinguirse tres tipos de canales de radiodifusión:

- BCCH (*Broadcast Control Channel*). Se utiliza para informar al móvil de parámetros del sistema, necesarios para identificar la red y acceder a la misma. En particular transmite la identificación de la celda, área de localización, organización de los canales lógicos CCCH y parámetros de los grupos de búsqueda (“paging”). Se transmite dentro de una ráfaga normal y la información útil de cada bloque BCCH ocupa 23 octetos (184 bits).
- FCCH (*Frequency Correction Channel*). Informa al móvil de la frecuencia portadora de la estación base. Permite la sintonía de los receptores móviles. Se transmite dentro de una ráfaga de corrección de frecuencia.
- SCH (*Synchronization Channel*) Permite identificar la estación base sintonizada y sincronizarse con la estructura de trama. Informa al móvil de la secuencia de entrenamiento que utiliza la base y que es necesaria para la demodulación de la ráfaga. Se transmite dentro de una ráfaga de sincronización.

### **2.3.3 Canales de control dedicados (DCCH – Dedicated Control Channels)**

Se utilizan para transmitir información de control entre la red y el móvil, o incluso entre los propios transceptores de radio. Pueden distinguirse tres tipos de canales de control dedicados:

- SACCH (*Slow Associated Control Channel*). Transmite información de control dedicada al mantenimiento del enlace. Se utiliza siempre asociado a un canal de tráfico. En el enlace descendente transmite el valor de potencia a transmitir y el valor del Time Advance. En el enlace ascendente transmite medidas realizadas por el móvil para los procesos de transferencia de llamada (Handover). Se transmite dentro de una ráfaga normal.
- FACCH (*Fast Associated Control Channel*). Reemplaza a un canal de tráfico y sirve para transmitir informaciones de control urgentes. Se transmite dentro de una ráfaga normal.
- SDCCH (*Stand-alone Dedicated Control Channel*). Se utiliza para intercambiar mensajes entre el móvil y la base, una vez el móvil ha accedido a una ráfaga y antes de establecer la comunicación. Se transmite dentro de una ráfaga normal.

### 2.3.4 Canales comunes de control (CCCH – Common Control Channels)

Permiten el establecimiento del enlace entre el móvil y la base. Puede distinguirse entre:

Originados en la base:

- PCH (*Paging Channel*). Avisa al móvil de las llamadas entrantes procedentes de la estación base. Se transmite dentro de una ráfaga normal.
- AGCH (*Access Grant Channel*). Concede o niega la llamada solicitada por el móvil. En caso de concesión de llamada también informa del valor del Time Advance. Se transmite dentro de una ráfaga normal.

Originados en el terminal:

- RACH (*Random Access Channel*). Se utiliza por el móvil para realizar una petición de llamada. Se transmite dentro de una ráfaga de acceso.

Todos los canales comunes de control se transmiten en una multitrama de 51 tramas.

### 2.3.5 Resumen

A continuación un pequeño resumen de todos los canales lógicos del sistema GSM y el sentido en el que pueden ser transmitidos siendo el enlace ascendente el que va del móvil a la base y el descendente de la base al móvil.

Canal lógico	Sentido de la transmisión
TCH	Bidireccional
SACCH	Bidireccional
FACCH	Bidireccional
BCCH	Enlace Descendente
FCCH	Enlace Descendente
SCH	Enlace Descendente
PCH	Enlace Descendente
RACH	Enlace Ascendente
AGCH	Enlace Descendente
SDCCH	Bidireccional

Tabla 2.2. Canales lógicos del sistema GSM.

## 2.4 Procedimientos de sincronización y llamada

### 2.4.1 Sincronización entre el terminal móvil y la base

En el proceso de sincronización del terminal móvil a una estación de base, cabe distinguir dos fases: Sincronización inicial, y sincronismo en régimen permanente.

#### 2.4.1.1 Sincronización inicial

Para sincronizar el móvil a la estación base, el sistema GSM utiliza la ráfaga de corrección de frecuencia más la ráfaga de Sincronización. Primero se detecta la ráfaga de corrección de frecuencia. Este es un procedimiento simple puesto que durante esta ráfaga sólo se transmite un tono puro, de modo que por técnicas de procesado de señal puede detectarse fácilmente su presencia. Una vez detectada la ráfaga de frecuencia se conoce que la siguiente ráfaga es de sincronización. Dentro de esta ráfaga se busca la secuencia de sincronismo de 64 bits y mediante un proceso de correlación se detecta su pico. Una vez detectada la posición del pico de correlación puede establecerse el inicio temporal de la ráfaga de sincronismo. Además de la medida de correlación también es posible establecer el sincronismo de bit.

#### 2.4.1.2 Sincronismo en régimen permanente

Puesto que la distancia entre el móvil y la base varía al desplazarse el primero, se requiere un ajuste continuo del sincronismo, puesto que varía el tiempo de propagación. En efecto, si no existiera este ajuste de sincronización continuo, ráfagas emitidas por móviles a distinta distancia de la base podrían colisionar, ocasionando la destrucción de parte de la información transmitida. Para solucionar este problema, se tiene que ajustar el instante de emisión de cada móvil de modo que se compense el tiempo de propagación y las ráfagas procedentes de distintos móviles lleguen a la base perfectamente alineadas. El mecanismo utilizado para ello es el denominado *Time Advance* (TA). El valor del TA se suministra por la base al móvil a través de los canales de control.

#### 2.4.2 Registro y actualización de la localización del terminal móvil

El procedimiento de actualización de la localización se genera debido a:

- Desplazamiento del móvil a una nueva área de localización.
- Petición desde la red (registro del móvil).

En la Tabla 2.3 se muestran los canales lógicos utilizados en el procedimiento de registro y actualización de la localización del terminal móvil, la dirección de transmisión de dichos canales lógicos y la funcionalidad de los mismos.

Canal lógico	Base	Móvil	Comentarios
RACH		←	Petición de canal
AGCH		→	Asignación de canal
SDCCH		←	Petición de actualización del registro del móvil. Se transmite en el canal asignado por AGCH.
SDCCH		→	Petición de autenticación desde la RED.
SDCCH		←	Respuesta de autenticación desde el móvil.
SDCCH		→	Petición de transmisión en modo cifrado.
SDCCH		←	Respuesta a la petición de transmisión en modo cifrado
SDCCH		→	Confirmación por parte de la red de la localización del móvil. Asignación temporal de identidad (TMSI) y actualización del HLR.
SDCCH		←	Reconocimiento de la asignación desde el móvil.

SDCCH	→	La RED libera el canal de transmisión.
-------	---	--

Tabla 2.3. Registro y actualización de la localización del terminal móvil.

#### 2.4.3 Establecimiento de llamada desde la estación base

En la Tabla 2.4 se muestran los canales lógicos utilizados en el procedimiento de establecimiento de llamada desde la estación base, la dirección de transmisión de dichos canales lógicos y la funcionalidad de los mismos.

Canal lógico	Base	Móvil	Comentarios
PCH		→	Llamada al móvil desde la RED
RACH		←	Petición de canal por parte del móvil
AGCH		→	Asignación de canal
SDCCH		←	Respuesta a la llamada de la RED
SDCCH		→	Petición de autentificación desde la RED
SDCCH		←	Respuesta de autentificación desde el móvil
SDCCH		→	Petición de transmisión en modo cifrado
SDCCH		←	Respuesta a la petición de transmisión en modo cifrado
SDCCH		→	Mensaje de inicio de la llamada entrante
SDCCH		←	Confirmación
SDCCH		→	Asignación de un canal de tráfico
FACCH		←	Reconocimiento del canal de tráfico
FACCH		←	Alerta (ahora el usuario que llama oye el timbre del teléfono)
FACCH		←	Mensaje de conexión cuando el móvil activa la llamada
FACCH		→	Aceptación del mensaje de conexión
TCH		↔	Intercambio de datos (voz) entre los usuarios

Tabla 2.4. Establecimiento de llamada desde la estación base.

#### 2.4.4 Establecimiento de llamada desde el terminal móvil

En la gráfica se muestran los canales lógicos utilizados en el procedimiento de establecimiento de llamada desde el terminal móvil, la dirección de transmisión de dichos canales lógicos y la funcionalidad de los mismos.

Canal lógico	Base	Móvil	Comentarios
RACH		←	Petición de canal por parte del móvil
AGCH		→	Asignación de canal
SDCCH		←	Respuesta a la llamada de la RED
SDCCH		→	Petición de autentificación desde la RED
SDCCH		←	Respuesta de autentificación desde el móvil
SDCCH		→	Petición de transmisión en modo cifrado
SDCCH		←	Respuesta a la petición de transmisión en modo cifrado
SDCCH		←	Inicialización ó SET-UP
SDCCH		→	"Proceeding message" (la red ruta la llamada hacia su destino)
SDCCH		→	Asignación de un canal de tráfico
FACCH		←	Reconocimiento del canal de tráfico

FACCH	→	Alerta (ahora el usuario que llama oye el timbre del teléfono)
FACCH	→	Mensaje de conexión cuando el destinatario acepta la llamada
FACCH	←	Aceptación del mensaje de conexión
TCH	↔	Intercambio de datos (voz) entre los usuarios

Tabla 2.5. Establecimiento de llamada desde el terminal móvil.

## 2.5 Multiplexado

### 2.5.1 Multiplexado de los canales lógicos

Cada ráfaga o “Time Slot” de una trama tiene asignada una estructura de multiplexado de canales lógicos particular, en bloques de 26 o 51 tramas, dependiendo de si se están transmitiendo canales de tráfico o canales de señalización.

Se definen siete posibles combinaciones de multiplexado. Las tres primeras corresponden a canales de tráfico y el resto corresponden a canales de señalización y control:

#### 2.5.1.1 Canales de tráfico

Se multiplexan en una estructura de multitrama de 26 tramas.

Combinación I	TCH/FS+FACCH/FS+SACCH/FS
Combinación II	TCH/HS(0)+FACCH/HS(0)+SACCH/HS(0)
Combinación III	TCH/HS(1)+FACCH/HS(1)+SACCH/HS(1)

Tabla 2.6. Combinaciones de multiplexado I, II y III.

#### 2.5.1.2 Canales de señalización y control

Se multiplexan en una estructura de multitrama de 51 tramas.

Combinación IV	FCCH+SCH+CCCH+BCCH
Combinación V	FCCH+SCH+CCCH+BCCH+SDCCH/4+SACCH/4
Combinación VI	CCCH+BCCH
Combinación VII	SDCCH/8+SACCH/8

Tabla 2.7. Combinaciones de multiplexado IV, V, VI y VII.

La combinación IV corresponde a la del estándar de GSM y la combinación V se utiliza en células con un número limitado de portadoras (1 o 2). Ambas combinaciones se excluyen mutuamente.

Las combinaciones VI y VII son combinaciones auxiliares de la combinación IV, se utilizan cuando la red requiere señalización adicional.

### 2.5.1.3 Combinación IV

Como ya hemos indicado anteriormente, es la combinación propia del estándar de GSM y se utiliza en células con elevado tráfico que requieren el uso de varios radiocanales. Incluye canales lógicos tanto de tipo BCH como CCCH.

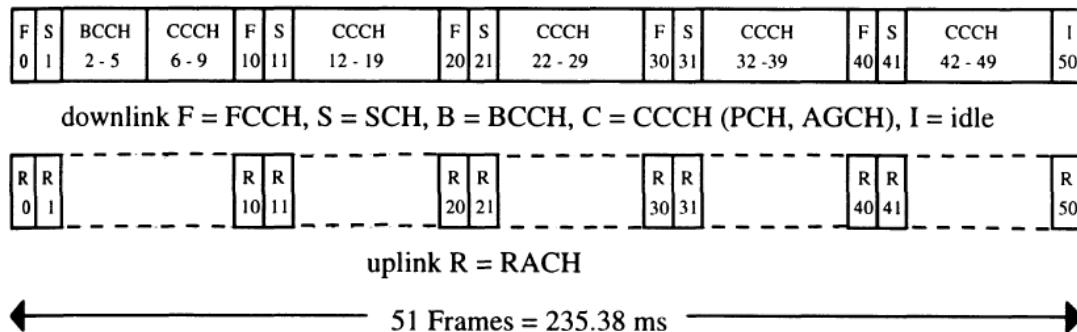


Figura 2.15. Estructura de trama de la combinación IV.

Como podemos observar en la imagen anterior, en el enlace ascendente sólo se transmiten canales RACH. En el enlace descendente se pueden distinguir 5 conjuntos de 10 tramas y una trama vacía. Destacamos que:

- Cada conjunto empieza con FCCH/SCH para facilitar la sincronización.
- El primer bloque transmite BCCH y el resto se dedican al CCCH (PCH y AGCH).

Si en una trama no hay información a transmitir, se emiten ráfagas de relleno. De esta forma la portadora que contienen esta estructura emite con mayor potencia y facilita al móvil tanto la sincronización con la estación base como la medida de señal recibida de otras estaciones cercanas.

### 2.5.1.4 Combinación V

Se transmite en el Time Slot 0 de una de las frecuencias portadoras asignadas a la célula. Incluye canales lógicos del tipo BCH, CCCH, SDCCH y sus asociados.

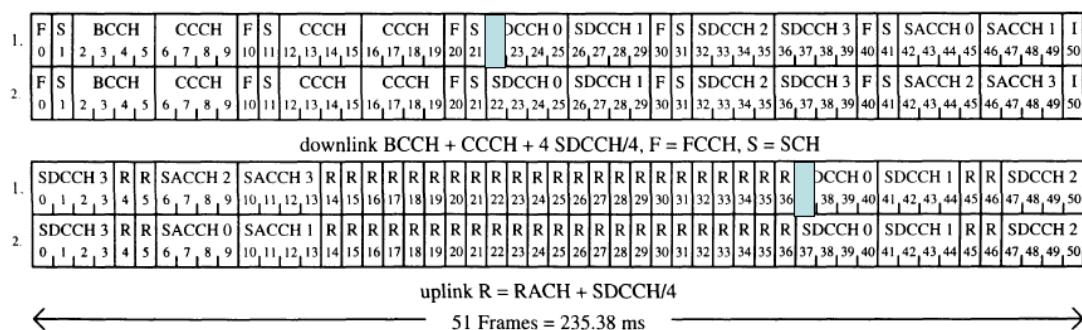


Figura 2.16. Estructura de trama de la combinación V.

Existen dos estructuras de multitrama que se transmiten consecutivamente ya que sólo existen dos sub-canales de SACCH en cada multitrama y la información contenida en este canal se reparte en cuatro tramas.

Para posibilitar una respuesta rápida del móvil a los requerimientos de la base, entre un canal SDCCH enviado por la estación base (enlace descendente) y su homólogo del enlace ascendente sólo transcurren 15 tramas (aprox. 70 mseg.).

## 2.6 Codificación de canal y entrelazado

### 2.6.1 Canales vocales

#### 2.6.1.1 Codificación

Cada 20 mseg. el VOCODER entrega 260 bits (Net Bit Rate: 13 Kb/s) que presentan distintos grados de importancia:

Clase Ia: 50 Bits, Clase Ib: 132 Bits, Clase Ic: 78 Bits

Los bits más importantes se protegen utilizando códigos correctores de errores. Se utilizan códigos bloque y convolucionales, dando lugar a 456 bits codificados cada 20 mseg. (*Gross Bit Rate: 22,8 Kb/s*).

Los bits de clase Ia, que son los más importantes, se codifican primero con un código cíclico que añade tres bits CRC que se utilizan para detectar si el bloque se ha transmitido sin errores.

Posteriormente los 53 bits codificados mas los 132 correspondientes al bloque Ib y cuatro bits nulos añadidos al final del paquete, se codifican nuevamente mediante un código convolucional de tasa 1/2 para generar 378 bits codificados.

A estos 378 bits codificados se les agregan los 78 bits del bloque Ic, que al ser poco relevantes no pasan por el proceso de codificación, para formar un bloque de 456 bits que entra al sistema de entrelazado.

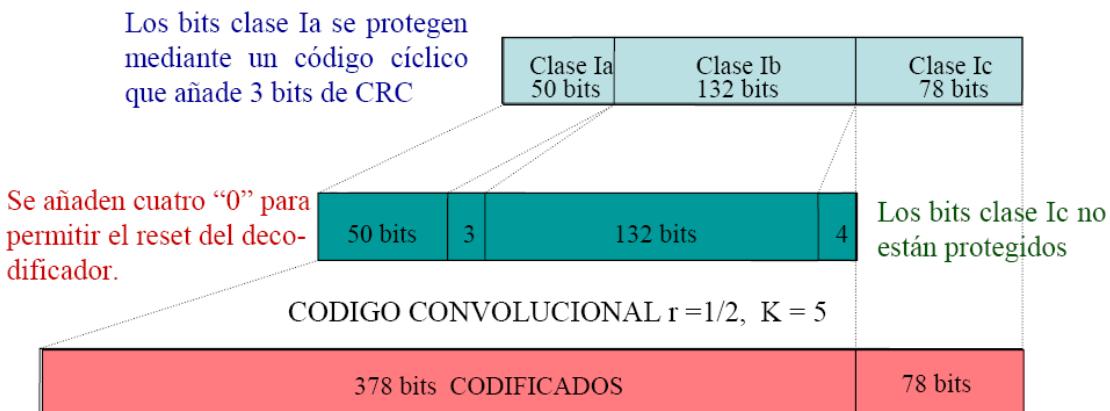


Figura 2.17. Proceso de codificación de canal vocal.

#### 2.6.1.2 Entrelazado

Para realizar el proceso de entrelazado, los bits a transmitir se escriben por columnas en una matriz de 8 filas y 57 columnas, y se transmiten leyéndolos por filas durante ocho ráfagas consecutivas, tal como se muestra en la Tabla 2.8.

Puesto que en una ráfaga normal pueden transmitirse hasta 114 bits de información, queda claro que cada ráfaga contiene la contribución de dos bloques consecutivos de voz. Obsérvese que la duración de cuatro tramas es aproximadamente igual a 18,5 mseg., por lo que se entiende que en cada ráfaga se transmiten bits de la muestra de voz actual y de la muestra anterior.

Ráfaga	Simb.(1)	Simb.(2)	Simb.(3)	Simb.(4)	...	Simb.(113)	Simb.(114)
N	S0(i)	S4(i-1)	S8(i)	S12(i-1)	...	S448(i)	S452(i-1)
N+1	S1(i)	S5(i-1)	S9(i)	S13(i-1)	...	S449(i)	S453(i-1)
N+2	S2(i)	S6(i-1)	S10(i)	S14(i-1)	...	S450(i)	S454(i-1)
N+3	S3(i)	S7(i-1)	S11(i)	S15(i-1)	...	S451(i)	S455(i-1)
N+4	S0(i+1)	S4(i)	S8(i+1)	S12(i)	...	S448(i+1)	S452(i)
N+5	S1(i+1)	S5(i)	S9(i+1)	S13(i)	...	S449(i+1)	S453(i)
N+6	S2(i+1)	S6(i)	S10(i+1)	S14(i)	...	S450(i+1)	S454(i)
N+7	S3(i+1)	S7(i)	S11(i+1)	S15(i)	...	S451(i+1)	S455(i)

Tabla 2.8. Proceso de entrelazado de canal vocal.

### 2.6.2 Canales de datos a 9,6 Kb/seg.

#### 2.6.2.1 Codificación

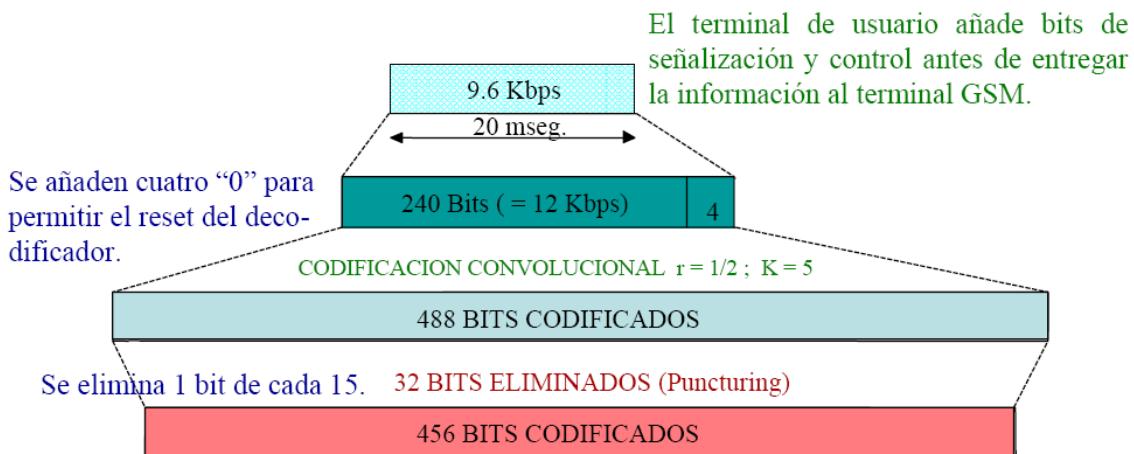


Figura 2.18. Proceso de codificación de canal de datos a 9,6 Kb/seg.

Aunque la velocidad nominal de los datos es 9.6 Kb/seg., a los bloques de datos (192 bits) generados cada 20 mseg. se les añade en el terminal de usuario bits de información y control hasta generar 240 bits, que son los que se entregan al equipo GSM.

Estos 240 bits, junto con cuatro bits nulos añadidos al final del paquete, entran en un codificador convolucional de tasa 1/2 para dar lugar a un bloque de 488 bits codificados. De estos 488 bits codificados se elimina uno por cada bloque de 15 (*puncturing*), quedando reducidos a 456 bits que se entregan al bloque de entrelazado.

#### 2.6.2.2 Entrelazado

Bloques datos	Ráfaga
(K) a (K+5)	n      S(12,K)+S(24,K+1)+S(24,K+2)+S(24,K+3)+S(24,K+4)+S(6,K+5)

## Conceptos de redes GSM/GPRS

	n+1	S(6,K)+S(24,K+1)+S(24,K+2)+S(24,K+3)+S(24,K+4)+S(12,K+5)
	n+2	S(24,K+1)+S(24,K+2)+S(24,K+3)+S(24,K+4)+S(18,K+5)
	n+3	S(18,K+1)+S(24,K+2)+S(24,K+3)+S(24,K+4)+S(24,K+5)
(K+1) a (K+6)	n+4	S(12,K+1)+S(24,K+2)+S(24,K+3)+S(24,K+4)+S(24,K+5)+S(6,K+6)
	n+5	S(6,K+1)+S(24,K+2)+S(24,K+3)+S(24,K+4)+S(24,K+5)+S(12,K+6)
	n+6	S(24,K+2)+S(24,K+3)+S(24,K+4)+S(24,K+5)+S(18,K+6)
	n+7	S(18,K+2)+S(24,K+3)+S(24,K+4)+S(24,K+5)+S(24,K+6)
.....	.....	.....
(K+5) a (K+10)	n+20	S(12,K+5)+S(24,K+6)+S(24,K+7)+S(24,K+8)+S(24,K+9)+S(6,K+10)
	n+21	S(6,K+5)+S(24,K+6)+S(24,K+7)+S(24,K+8)+S(24,K+9)+S(12,K+10)
	n+22	S(24,K+6)+S(24,K+7)+S(24,K+8)+S(24,K+9)+S(18,K+10)
	n+23	S(18,K+6)+S(24,K+7)+S(24,K+8)+S(24,K+9)+S(24,K+10)

Tabla 2.9. Proceso de entrelazado de canal de datos a 9,6 Kb/seg.

El entrelazado de señales de datos es más complejo y profundo que el aplicado a las señales vocales. Los bloques de datos codificados se reparten entre 22 ráfagas. La estructura se repite cada cuatro tramas dando lugar a un entrelazado diagonal.

Los 456 bits codificados se dividen en: 16 bloques de 24 bits, 2 bloques de 18 bits, 2 bloques de 12 bits y 2 bloques de 6 bits.

Cada ráfaga contiene información sobre 5 o 6 bloques de datos codificados consecutivos:

- Bloques de 24 bits más 1 bloque 18 bits.
- Bloques de 24 bits más 1 bloque de 12 bits más 1 bloque de 6 bits.

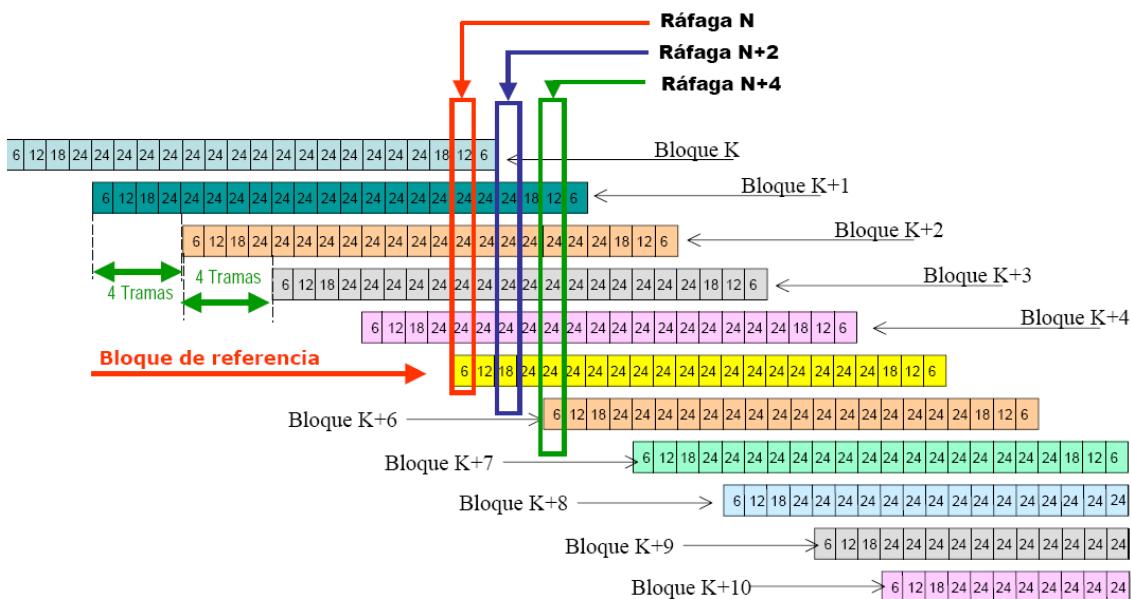


Figura 2.19. Estructura de entrelazado de canal de datos a 9,6 Kb/seg.

### 2.6.3 Canales de datos a 2,4 Kbps.

#### 2.6.3.1 Codificación

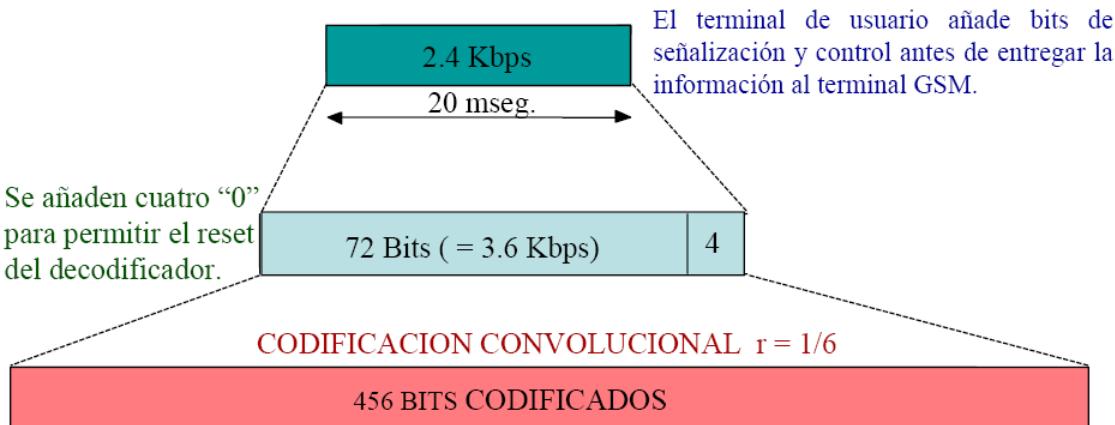


Figura 2.20. Proceso de codificación de canal de datos a 2,4 Kbps.

Aunque la velocidad nominal de los datos es 2.4 Kbps., en el terminal de usuario se añaden bits de señalización y control a los bloques de 48 bits generados cada 20 mseg. hasta dar lugar a 72 bits (3.6 Kbps.), que son los que se entregan al equipo GSM.

Estos 72 bits junto con cuatro bits nulos añadidos al final del paquete entran en un codificador convolucional de tasa 1/6 para dar lugar a un bloque de 456 bits codificados.

#### 2.6.3.2 Entrelazado

El entrelazado de estos bits sigue la misma estructura que el entrelazado de la señal vocal. Es decir, los 456 bits se reparten entre 8 ráfagas siguiendo un entrelazado diagonal.

### 2.6.4 Canales de señalización

#### 2.6.4.1 Codificación

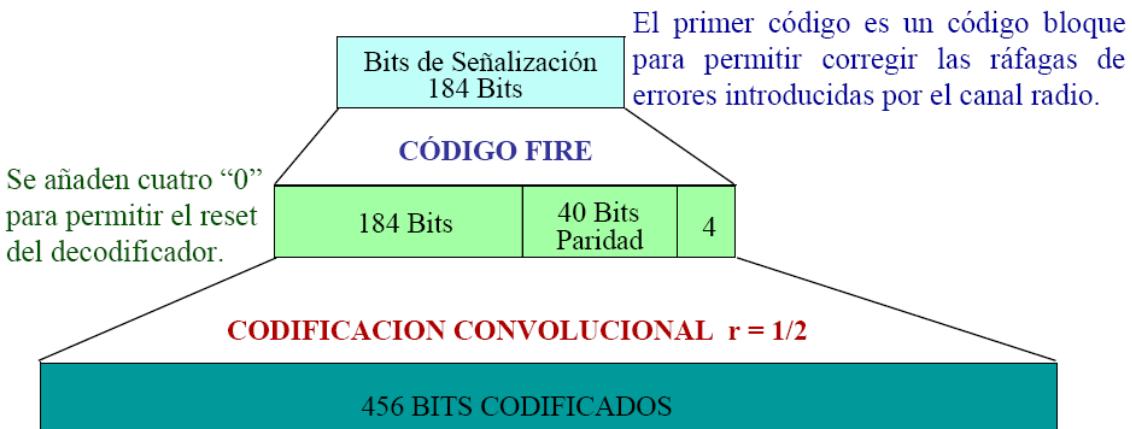


Figura 2.21. Proceso de codificación de canal de señalización.

Como en el caso de los bits de clase Ia de la señal vocal, los bits de los canales de señalización van protegidos por un doble proceso de codificación concatenado. En primer lugar los 184 bits de información se entregan a un código bloque, que añade 40 bits de redundancia. Este código permite detectar y corregir ráfagas de errores.

Estos 224 bits, junto con cuatro bits nulos añadidos al final del paquete, entran en un codificador convolucional de tasa 1/2 para dar lugar a un bloque de 456 bits codificados.

### 2.6.5 Resumen de codificación de canal

Canal lógico	Entrada Kb/s	Bloque Entrada	Codificación	Bloque Salida	Entrelazado
TCH/FS Ia Ib Ic	13	50	Paridad (3 bits)	456	8 medias ráfagas
		132	Convolutinal 1/2		
		78	Ninguno		
TCH/F9.6	12	240	Convolutinal 1/2	456	22 porciones desiguales
TCH/H4.8	6	120	Punctured 1 cada 15	456	22 porciones desiguales
TCH/F4.8	6	144	Añadir 32 (u 8) "0"	456	22 porciones desiguales
TCH/H2.4	3.6	72	Convolutinal 1/3	456	8 medias ráfagas
TCH/F2.4	3.6	25	Convolutinal 1/6	456	8 medias ráfagas
SCH			Paridad 10 bits	78	Ráfaga de sincronización
RACH			Convolutinal 1/2	36	Ráfaga de acceso
<b>AGCH</b>					
<b>SDCCH</b>					
<b>SACCH</b>					
<b>BCCH</b>		184	Fire code 224/184	456	4 ráfagas
			Convolutinal 1/2		

Tabla 2.10. Cuadro resumen de codificación de canal.

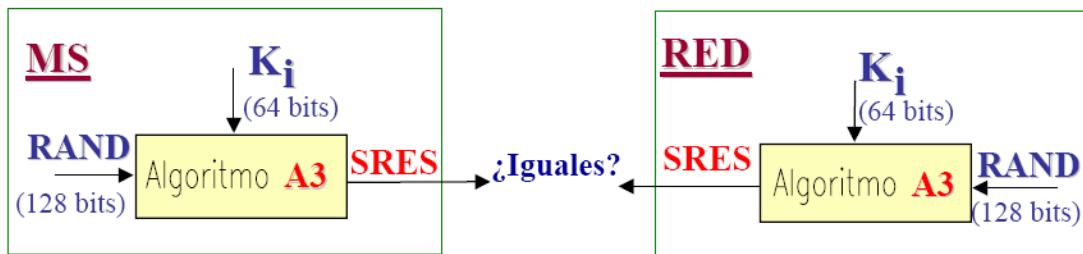
## 2.7 Misceláneos

### 2.7.1 Autentificación

El procedimiento de autentificación garantiza que el usuario móvil pertenece a la red gestionada por un determinado operador. El procedimiento se basa en comprobar la identidad del usuario mediante el parámetro SRES, generado a partir del algoritmo de cifrado A3. Para ello, una vez el móvil ha establecido la conexión a la red, esta le solicita la transmisión de dicho valor, que es calculado a partir del parámetro Ki almacenado en la tarjeta SIM y de un valor aleatorio, que la base a transmitido previamente y que cambia cada vez que se establece una conexión.

A su vez la estación base ha realizado el mismo cálculo y comprueba si el SRES enviado por el móvil coincide con el SRES generado por ella. En el caso de que ambos coincidan, esto implica que el móvil se ha autenticado correctamente y por lo tanto se prosigue con el establecimiento de la conexión, mientras que en caso contrario deniega el acceso al móvil.

En la parte de la red (estación base) los parámetros RAND y SRES son generados en el AUR y transferidos al HLR y al VLR.



- **K<sub>i</sub> clave secreta de usuario, almacenada en la SIM y en el Centro de Autentificación.**

Figura 2.22. Procedimiento de autentificación.

### 2.7.2 Cifrado

El cifrado añade privacidad al sistema y afecta tanto a los canales de tráfico como a los canales de control dedicado. Se realiza después de la codificación del correspondiente canal lógico mediante una operación XOR con una secuencia específica que se obtiene mediante un algoritmo de cifrado denominado A5.

La secuencia de cifrado cambia de trama en trama y son distintas en el enlace ascendente y en el descendente.

Para generar una secuencia de cifrado se utiliza el número de trama y una clave (K<sub>c</sub>) que se genera a partir de un número aleatorio (RAND) transmitido por la base utilizando un algoritmo específico denominado A8, que está almacenado en la tarjeta SIM. El número aleatorio RAND (de 128 bits) cambia cada vez que se inicia una comunicación.

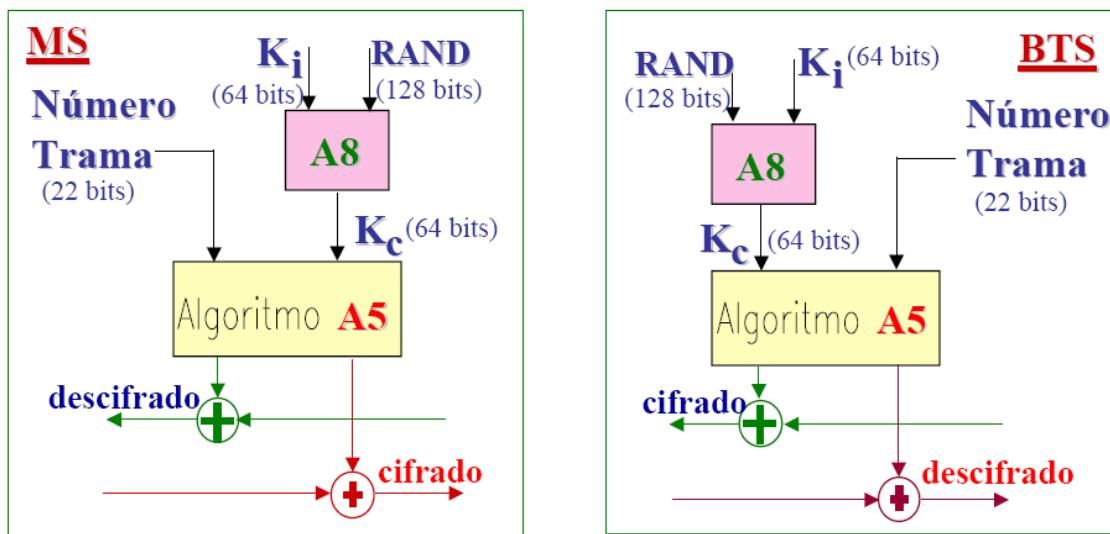


Figura 2.23. Proceso de cifrado y descifrado de la señal.

### 2.7.3 Slow Frequency Hopping

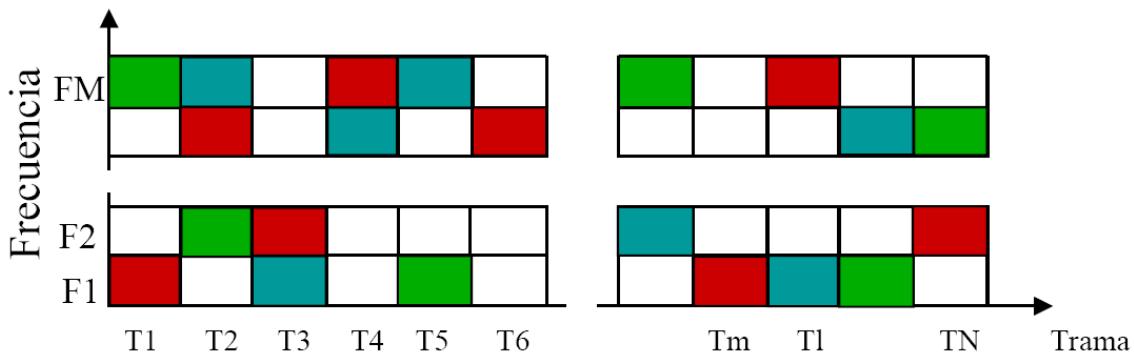


Figura 2.24. Esquema de Slow Frequency Hopping.

Slow Frequency Hopping es una técnica de diversidad y mejora las prestaciones del sistema en aproximadamente 2 dB.

Para entrar en modo de operación SFH la red informa al móvil del conjunto de frecuencias asignadas y del algoritmo de salto. El algoritmo de salto queda definido mediante el denominado *Frequency-Hopping Sequence Number* (HSN), mientras que la frecuencia inicial dentro del conjunto de frecuencias asignadas lo proporciona el denominado *Mobile Allocation Index Offset* (MAIO).

Se definen un total de 64 secuencias de salto. Existe una secuencia cíclica ( $HSN=0$ ) y 63 secuencias aleatorias ( $HSN=1, 63$ ). La asignación de una secuencia de salto se realiza por celda, de modo que todos los transmisores tienen la misma secuencia de salto. Para evitar que se interfieran unos con los otros a cada uno se le asigna un valor de MAIO diferente, de modo que las secuencias que se observan entre transmisores son distintas.

En el sistema de FH en Banda Base, el número de frecuencias de salto coincide con el número de transceptores, por lo que la mejora en la calidad de la llamada es limitada (depende de dicho número). En el caso de FH sintetizado cada transceptor es capaz de sintetizar cualquiera de las frecuencias asignadas a la celda, de modo que son posibles más frecuencias que transceptores (existe una mejor protección frente a interferencias).

## 2.8 Introducción a la funcionalidad

### 2.8.1 Funciones de un sistema móvil

#### 2.8.1.1 Operaciones básicas

Un sistema de comunicaciones móviles no sólo trata de dar una comunicación radio móvil, sino que debe ofrecer una comunicación equivalente a la telefónica. Para conseguir este objetivo es necesario dotar al sistema de funciones adicionales que los sistemas de telefonía fija no disponen, tales como:

- Acceso a la estación base.
- Medida de la calidad de la comunicación.

- Traspaso de la llamada.
- Localización.
- Búsqueda.
- Control de potencia.
- Escucha de la estación base.

#### 2.8.1.2 Enganche a la estación base

Lo primero que debe hacer un terminal que aparece en un sistema móvil (éste estaba apagado o fuera de cobertura) es buscar un canal por el que recibir los avisos de llamada entrante (pagings o búsquedas). La mayoría de sistemas tienen una configuración variable (número de frecuencias, estructura de los canales,...) siendo necesario para el terminal conocer estos detalles para interoperar correctamente con la red fija.

Por estos dos motivos apuntados es preciso que el terminal seleccione la mejor estación base que le pueda dar esta información y se quede a la escucha. Esta operación (búsqueda y escucha de la estación base) es la que conocemos como “enganche”.

La selección de estación base se hace con un criterio de potencia recibida. El móvil explora todos los canales de control difundidos que recibe y elige aquel que le ofrece mayor nivel de potencia. En el caso de que existan varios operadores o sistemas con cobertura solapadas, el terminal deberá seleccionar la estación base que además pertenezca a su sistema.

Toda estación base difundirá información de control de forma más o menos permanente.

#### 2.8.1.3 Camping

Como ya hemos comentado el terminal debe estar a la escucha de una estación base de forma permanente para detectar:

##### *Cambios en la configuración del sistema*

Por razones de gestión del sistema se puede modificar la estructura de canales en función del tiempo y del emplazamiento. El móvil deberá escuchar los canales de control que le darán información sobre la configuración.

##### *Mensajes de control dirigidos al móvil*

La presencia de una llamada entrante dirigida a un móvil se notifica con un mensaje de control que es difundido por la celda. El móvil debe contestar a este mensaje para confirmar su presencia y su disponibilidad para cursar la llamada. Para que el móvil no pierda ninguna llamada es imprescindible que el terminal esté escuchando el canal de control.

### *Identidades*

Por razones de gestión se difunden de forma periódica las identidades de las áreas de servicio de donde se encuentra el terminal.

El desplazamiento del móvil modifica los niveles de señal que se reciben de una estación base y fuerza a que el terminal monitorice de forma continua el nivel de señal de los canales de control que recibe de otras estaciones base. Si detecta una mejor que la que está usando deberá engancharse a esta.

#### **2.8.1.4 Acceso a la estación base**

La estación base dispone de un canal de control a disposición de todos los terminales que están “acampados” en la celda. Este canal es un recurso compartido por todos los móviles. El uso de un canal de este tipo debe hacerse con mensajes cortos que utilicen este recurso el mínimo tiempo.

El uso compartido de una canal se puede organizar de diferentes formas:

- Por consulta.
- De forma periódica.
- Al azar.

De todas las posibles la que se escogió para GSM es la mas simple, que es el acceso al azar o aleatorio. Esta técnica consiste en que cualquier usuario pueda transmitir sin ninguna coordinación entre ellos.

El resultado de la falta de coordinación es que si más de un usuario decide transmitir simultáneamente superpondrá (colisionará) su señal a la de otro usuario y el resultado será un mensaje que no tendrá sentido para la estación base.

Un terminal que haya accedido espera de la base un mensaje de reconocimiento. Si transcurrido un tiempo no se recibe, el terminal puede concluir que se ha producido una colisión y por ello debe reintentar la transmisión.

Si los terminales intentan la retransmisión de forma inmediata una vez han detectado la falta de reconocimiento puede suceder que vuelva a colisionar en todos sus intentos. Para evitar esta situación la retransmisión se hace una vez ha transcurrido un tiempo aleatorio.

#### **2.8.1.5 Establecimiento de la llamada**

Cuando se ha de establecer una llamada se precisa de un radiocanal que la pueda soportar. La elección de este canal la puede hacer la estación base según una asignación previa (sistemas estáticos); el terminal (sistemas dinámicos); o entre los dos (sistemas semiestáticos).

El canal que se asigna en una fase inicial de la llamada no tiene porque coincidir con el que finalmente se use para la llamada. Puede existir una señalización previa al establecimiento de la llamada que use un canal de menor capacidad.

La red fija del sistema móvil y el terminal pueden precisar conocer cierta información previa a cualquier establecimiento de llamada. Esta información es relativa a versiones o actualizaciones de los protocolos que incorpora el sistema, a las potencias a las que se puede transmitir, al número de canales que se pueden manejar, así como a correcciones en el funcionamiento del sistema, etc.

#### 2.8.1.6 Monitorización

Una vez el canal está establecido se ha de garantizar que la calidad que se ofrece al usuario en el canal sea suficiente. Si la calidad se degrada, se deberá intentar cambiar de canal.

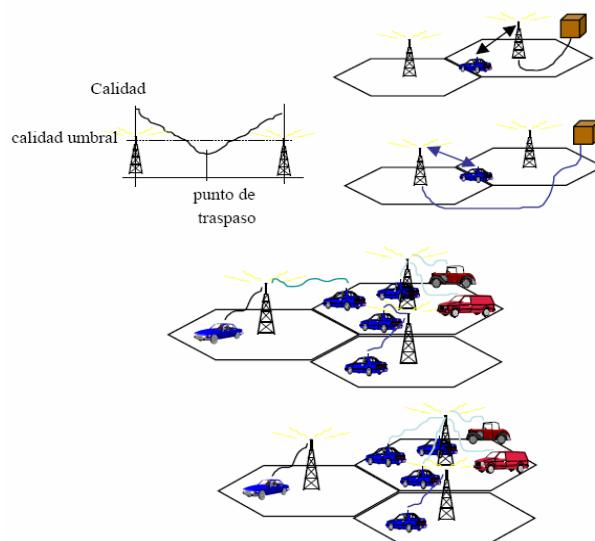
La monitorización de la calidad del canal se hace en la red fija y en ocasiones también en el terminal. En cualquier caso se deben de tener en cuenta los dos sentidos de la comunicación.

La medida del canal se puede hacer en base a un parámetro o a un conjunto de los mismos. La elección de varios parámetros puede permitir dar una respuesta más adecuada al problema del canal.

Los parámetros mas usados son los siguientes:

- Potencia recibida: Es el parámetro más simple de medir. En un sistema celular este parámetro no es muy representativo ya que la calidad viene dada por la relación señal a interferencia, más que por el nivel de señal.
- Relación S/I: Está relacionado con la calidad de la comunicación, pero es difícil de medir.
- *Delay spread*: El canal puede producir que los pulsos se ensanchen y por lo tanto se interpreten erróneamente.
- Tasa de error: Para sistemas digitales este parámetro es el más usado.

#### 2.8.1.7 Traspaso o Handover



**Figura 2.25.** Tipos de traspaso o handover.

El handover, traspaso o handoff es la operación de cambio de canal empleado en la comunicación. Los traspasos se pueden catalogar en tres tipos según los motivos que lo han generado. Así tenemos:

### *Traspaso de rescate*

Se inicia cuando se decide que el canal presenta mala calidad y que este tiene que cambiarse por otro mejor. Si el traspaso resulta imposible y la comunicación continua en mala calidad se deberá finalizar la comunicación y liberar el canal.

### *Traspaso de tráfico*

Cuando una celda tiene un tráfico elevado y las celdas vecinas tienen canales libres se pueden traspasar a las celdas con menos tráfico comunicaciones de la celda congestionada. Los móviles más aptos para ser traspasados son aquellos que están en la parte exterior de la celda y que pueden recibir servicio de las celdas colindantes. Este tipo de traspaso tiende a reducir la probabilidad de bloqueo de llamadas, pero las hace más susceptible a interrupciones.

### *Traspaso de confinamiento*

Este traspaso fuerza a que los móviles usen las estaciones base que están más próximas y por ello se pueda transmitir con menos potencia y producir menos interferencias.

La decisión de inicio de un traspaso ha de basarse en dos condiciones. Por un lado tenemos la necesidad de cambiar de canal y por otro ha de existir un canal en una estación base que pueda soportar la llamada. La combinación de todas estas condiciones se hace mediante un algoritmo que como resultado da la decisión de traspaso y sobre qué estación se debe realizar.

Los datos usados en un algoritmo de traspaso son estáticos y dinámicos. En el primer grupo de datos se engloban aquellos que son conocidos y fijos como las potencias máximas del terminal móvil y de las estaciones base, tanto de la que cursa la llamada como de las vecinas.

En el grupo de datos dinámicos se engloban las medidas hechas por la estación base o el terminal. Entre las medidas más usuales podemos encontrar las siguientes:

- Tasa de error: Este parámetro es muy próximo al usuario y por ello puede dar indicaciones de la calidad que está recibiendo.
- Nivel de potencia recibida: La estación base mide el nivel de potencia recibida del terminal y el terminal el que le llega de la estación base. En algunos sistemas el terminal mide el nivel de potencia que recibe de las celdas vecinas y en otros son las estaciones base vecinas las que miden la señal del terminal que desea hacer un traspaso.
- Time Advance: La estación base puede conocer el tiempo de propagación de una señal en su camino de ida y vuelta desde un terminal. Con este tiempo calcula la distancia entre el terminal y la base.

### 2.8.1.8 Modos de traspaso o handover

El traspaso supone dejar el canal en uso y continuar la comunicación sobre uno de nuevo. Este cambio puede implicar una interrupción de la comunicación. Cuando un handover es imperceptible (sin corte de la comunicación) se dice que es “seamless”.

Si catalogamos el traspaso según la forma como se hace el paso de la comunicación de un canal a otro podemos distinguir los siguientes tipos:

#### *Hard handover*

Para este caso se tiene en todo momento un solo canal con datos de usuario. Se tiene antes del handover el canal con tráfico de usuario, se crea el nuevo canal y se deja de usar el canal viejo. En el momento del cambio de canal se puede producir un periodo de tiempo en el que no tengamos canal para la comunicación. Se ha abandonado el viejo y el nuevo no está aun activo con datos de usuario. El uso de hard handover no implica que el traspaso no sea “seamless”.

#### *Soft handover*

Este tipo de traspaso precisa que el cambio de canal sea suave, en el sentido de que el canal viejo sólo se abandona cuando el nuevo esté ya establecido y ofrezca una calidad aceptable. El soft handover es costoso en recursos (tenemos dos canales ocupados durante el traspaso) y complejo a nivel de red fija del sistema móvil (la misma información viaja por varios caminos y ha de ser combinada para obtener un único flujo de datos).

#### *Softer handover*

Concepto definido en UMTS para definir un handover entre sectores de un mismo emplazamiento (Nodo B en la terminología UMTS).

### 2.8.1.9 Tipos de traspaso según quien ordena el mismo

En este apartado podemos diferenciar entre un traspaso “backward” si se ordena el traspaso desde el canal viejo o “forward” si este se notifica al móvil desde la nueva estación base. El procedimiento backward es el más común y tiene, de forma general los siguientes pasos.

- La estación base notifica la necesidad de hacer un traspaso de la llamada y a la vez indica el canal elegido para el traspaso.
- El terminal sintoniza el canal nuevo e intenta acceder a la nueva estación base.
- La nueva estación base detecta el acceso y lo notifica al elemento de control.
- El elemento de control commuta la comunicación de la estación base vieja a la nueva.

Para ciertos tipos de sistema móvil el punto de acceso de la red móvil a la fija es permanente durante toda la comunicación. Si el móvil se desplaza y se produce un traspaso se prolongará la comunicación hacia la nueva estación base, pero manteniendo el punto de acceso. En esta situación si se produce otro handover este se cataloga como

“third” e implica la creación de un nuevo camino desde el punto de acceso a la nueva estación base y la liberación del camino por la red fija anterior. Si por el contrario el móvil vuelve a la estación base original este se denomina “back” e implica la liberación del circuito que teníamos por la red fija.

#### 2.8.1.10 Handover sin señalización

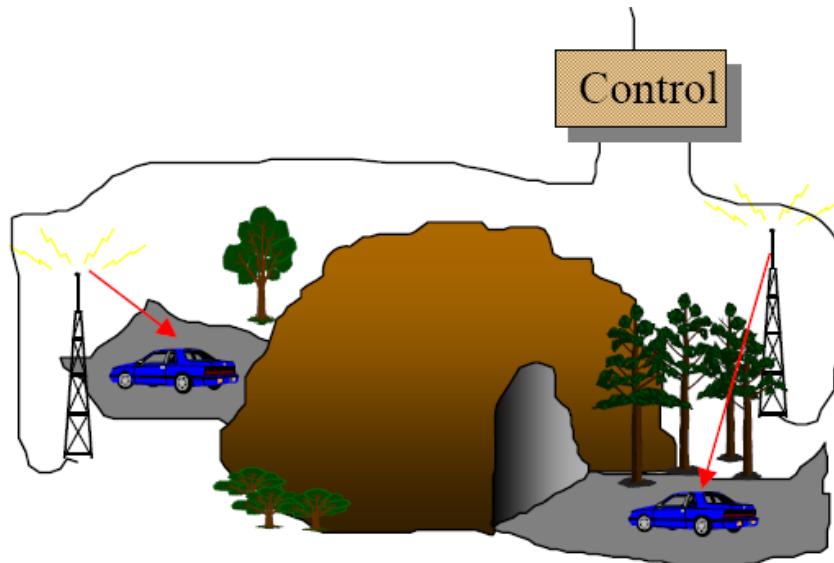


Figura 2.26. Handover sin señalización.

En ciertas situaciones la degradación de la calidad de la comunicación es tan rápida que no permite la señalización desde la estación base indicando que se debe realizar un traspaso. En este caso el móvil perderá la comunicación iniciándose un proceso de re-enganche. Este proceso consiste en la búsqueda de una estación base (la misma que teníamos o diferente) para poder seguir con la comunicación.

El re-enganche es difícil ya que precisa que en un tiempo corto el móvil pueda engancharse a una nueva estación base y señalizar con ella. La nueva estación al detectar el acceso para un re-enganche debe buscar la anterior estación base y conmutar la comunicación.

#### 2.8.1.11 Control de potencia

La interferencia es el factor que limita la capacidad de un sistema móvil. Una de las formas de reducir la interferencia es limitando la potencia de los terminales y estaciones base al mínimo. Si un móvil está próximo a una estación base la potencia con la que deberá transmitir para llegar con calidad a la estación base es baja. Por el contrario, si está lejos de la misma, el nivel de potencia deberá ser mayor.

El control de potencia tiene por objetivo hacer que se transmita la mínima potencia en cada caso. Si un sistema no dispone de control de potencia todos los móviles transmitirán con una potencia fija suficiente para alcanzar la estación base desde el vértice de la celda. Esta potencia sería la ideal para un móvil situado en los límites de la celda, pero sería superior a la necesaria para un móvil próximo a la estación base. Este exceso de potencia implica una interferencia y un consumo de batería superior al que tendríamos si sólo se emitiese la potencia necesaria.

Los criterios que sigue el control de potencia para el ajuste del nivel de señal son el nivel de potencia recibido o la relación S/I.

Existen dos formas básicas de implementar un control de potencia. Una de ellas se conoce como bucle abierto, en la que el dispositivo varía su potencia transmitida según el nivel de potencia recibido. La otra alternativa, la de bucle cerrado, es aquella en la que el dispositivo varía su potencia según las indicaciones de potencia recibida del otro extremo.

Si se usa la relación S/I como criterio se corre el riesgo de hacer un sistema inestable en el que todos los terminales y estaciones base acaben transmitiendo a máxima potencia.

### 2.8.1.12 Time Advance

Para los sistemas que funcionan con una estructura TDMA se debe añadir al conjunto de funciones una de avance temporal.

En un sistema TDMA es preciso que las ráfagas emitidas por los terminales encajen en la trama de la estación base. En un sistema móvil los terminales se pueden alejar de la estación base haciendo variar el instante de tiempo de llegada de la ráfaga. Esta variación del tiempo puede hacer que la ráfaga llegue a ocupar el siguiente slot interfiriéndolo.

La solución comentada consiste en dotar a la estación base de un mecanismo que varíe el instante de tiempo de transmisión de la ráfaga para que compense el movimiento del terminal haciendo encajar la ráfaga en el slot.

### 2.8.1.13 Salto lento en frecuencia

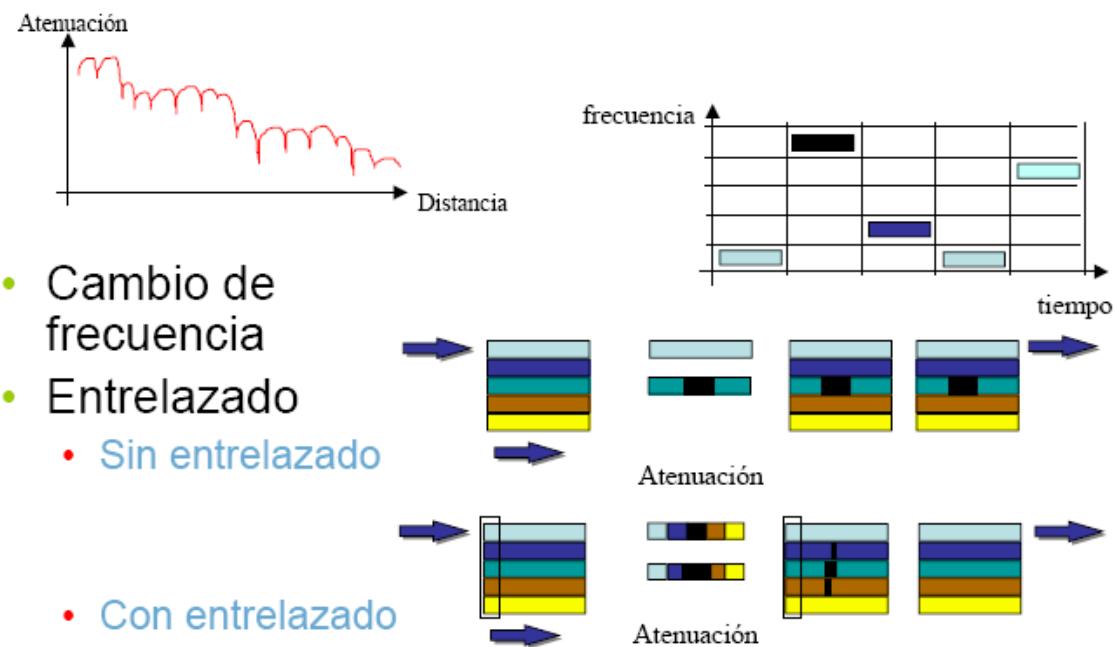


Figura 2.27. Esquema de salto lento en frecuencia.

Como ya se apuntó, el canal radio de una comunicación móvil sufre de una atenuación rápida. La frecuencia con la que un móvil sufre una atenuación profunda depende de la longitud de onda de la portadora y de la velocidad del terminal. Si un móvil se desplaza lentamente este sufrirá pocas atenuaciones, pero por contrapartida puede permanecer en esta situación una mayor parte del tiempo. Una atenuación profunda producirá una ráfaga de errores de longitud la duración de la atenuación.

Para combatir el efecto de las ráfagas de errores se puede usar el entrelazado que consiste en distribuir los errores de la ráfaga para así poder corregirlos fácilmente.

Cuando un móvil se desplaza a cierta velocidad la duración de los períodos atenuados son cortos y la codificación de canal puede corregir los errores que se produzcan. En el caso de tener móviles de baja velocidad el anterior razonamiento no se cumple degradándose la calidad debido a los errores. Para poder corregir este problema se puede usar el salto en frecuencia lento. Este método va cambiando la frecuencia de la portadora y por ello la posición de los nulos de señal recibida. Este cambio es equivalente al que tendríamos con un terminal móvil que se desplazase a una velocidad elevada y por ello compensable con una codificación de canal.

#### 2.8.1.14 Transmisión discontinua



**Figura 2.28.** Modelo de transmisión discontinua.

El control de potencia era una función que nos permitía reducir el nivel de interferencia. Otra función que persigue el mismo objetivo es la transmisión discontinua.

En una comunicación normal el móvil y la base ocupan los dos canales de forma permanente. Si pensamos en la naturaleza del diálogo entre personas vemos que aproximadamente la mitad del tiempo un interlocutor está en reposo escuchando al otro. Durante este tiempo de silencio se sigue transmitiendo y por ello interfiriendo.

La transmisión discontinua pretende detectar la existencia de silencios en la comunicación e inhibir la transmisión de la señal radio. Si el 50% del tiempo de una conversación estamos en silencio esto significará que podremos doblar la capacidad manteniendo el nivel de calidad.

La transmisión discontinua tiene dos problemas:

- La detección del paso de silencio a actividad o viceversa puede producir cortes tanto a principio como al final del periodo de actividad.
- Se precisa introducir un generador local de ruido en el otro extremo para emular el nivel de ruido cuando estamos en silencio (confort noise).

#### 2.8.1.15 Paging o procedimiento de búsqueda

Cuando el terminal móvil recibe una llamada, el elemento de control de la red móvil ordena a las estaciones base que difundan un mensaje dirigido al destinatario de la llamada entrante. Este mensaje es transmitido por todas las estaciones base. Los móviles del sistema que están escuchando los canales de control recibirán este mensaje y comprobarán si su identidad coincide con la del destinatario. En caso afirmativo deberán responder al mensaje, mientras que lo ignorarán en caso contrario. El móvil destinatario confirmará la recepción del mensaje usando la estación base en la que está “enganchado”.

Cuando el controlador del sistema móvil recibe la respuesta del móvil quedan resueltas dos incertidumbres que se tenían en el momento de hacer la búsqueda. Primero se confirma que el terminal está en el área de servicio y en segundo lugar se conoce la celda donde se encuentra ubicado. El diálogo que se pueda establecer seguidamente entre el terminal y el elemento de control se hará usando únicamente la estación base en la que se encuentra el móvil.

El procedimiento de búsqueda o “paging” es costoso en recursos ya que exige que cada mensaje sea transmitido por cada una de las estaciones base del sistema. Para controlar el coste de la búsqueda del terminal se definen las áreas de localización. Estas zonas de servicio son agrupaciones de celdas adyacentes en la que tenemos la certeza de encontrar al móvil.

La definición de área de localización implica el uso de una base de datos y de unas funciones de actualización de la misma (registro y actualización de la localización).

El móvil en estado de reposo (sin una llamada en curso) debe estar a la escucha de todos los mensajes de búsqueda. Esta monitorización constante consume energía y por ello se acorta la autonomía de las baterías en reposo.

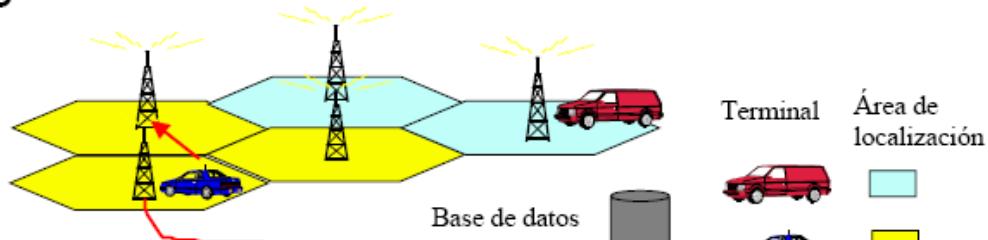
Para reducir el tiempo dedicado a la monitorización y aumentar la duración de las baterías se puede usar la subdivisión del canal de paging en un conjunto de canales que denominaremos sub-canales de paging. La idea es dividir a los abonados en grupos y asignar a cada uno de ellos uno de los sub-canales definidos.

De esta forma el terminal que pertenezca a un determinado grupo sólo deberá estar escuchando el canal de paging en aquellos instantes de tiempo que estén asignados a su grupo.

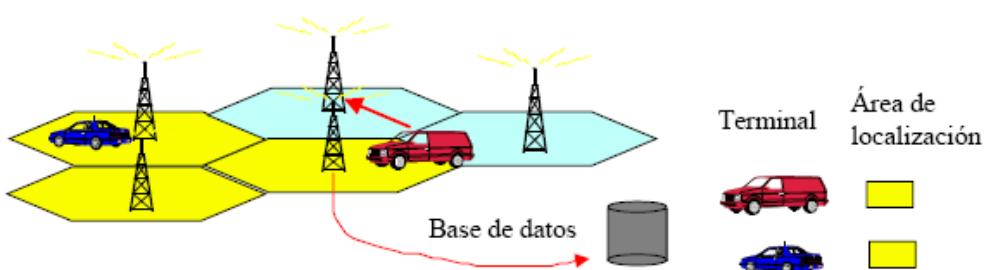
Las contrapartidas derivadas del uso de los sub-canales de paging son un incremento del retardo de paging (el mensaje deberá esperar a que se le asigne el canal al grupo al que va dirigido) y una menor eficiencia en el uso del canal de paging.

### 2.8.1.16 Áreas de localización

- **Registro inicial**



- **Actualización de localización**



**Figura 2.29.** Esquema de registro y actualización de la localización.

Al hablar de la búsqueda del terminal se comentó que para un sistema grande (en número de abonados) el coste que tenía asociada la búsqueda era muy elevado. Para reducirlo se pueden definir las áreas de localización. Estas son un conjunto de celdas adyacentes que dividen la zona de servicio y que sirven para delimitar la posición del abonado.

Las áreas de localización se deben usar conjuntamente con una base de datos que relacione abonado con el área de localización en donde se encuentra. Para soportar la movilidad de los terminales y mantener la información de localización actualizada es preciso definir unas funciones de registro inicial y de actualización de la localización.

El registro inicial permitirá indicar en la base de datos el área de localización en la que se encuentra el móvil y con la función de actualización modificaremos la información de la base de datos a medida que el abonado vaya cambiando de área de localización.

Con el uso del área de localización, una llamada entrante consultará la base de datos para obtener el área en la que se encuentra el abonado. Una vez conocida esta información el paging no se hará sobre todo el sistema, sino que se limitará a las celdas del área de localización.

El uso de áreas de localización nos permite tener áreas tan pequeñas como celdas y tan grandes como el sistema completo. El tamaño a elegir dependerá de la cantidad de llamadas, la movilidad de los abonados y el coste de los procedimientos, tanto de paging como de localización.

La actualización de la localización se hace cada vez que el terminal detecta un cambio de área de localización. Las identidades del área de localización son difundidas de forma periódica por los canales de control de la celda. Si nos desplazamos en reposo

y dejamos un área de localización para entrar en otra, el terminal se enganchará en la nueva, recibirá la identidad del área de localización y finalmente, como respuesta al cambio de identidad de la base, se iniciará una actualización de la localización. El coste de una actualización es también elevado ya que implica mensajes radio así como una modificación de una base.

Si el terminal se desplazase por la frontera entre dos áreas de localización se sucederían las operaciones de actualización, una para cada cambio, aumentando la carga de la base datos. Para evitar este comportamiento se define en el criterio de cambio de estación base a la que estamos enganchados una histéresis que dificulte este cambio.

### 2.8.1.17 Attach/Detach

La búsqueda de un terminal finaliza cuando el abonado que buscamos contesta. Si el abonado está fuera de la zona de cobertura o está con el terminal apagado la difusión del mensaje de búsqueda se podrá repetir varias veces. Si después de varios intentos el terminal no contesta se considerará que el abonado es inaccesible y se abandonará la búsqueda. En este contexto es posible reducir las búsquedas sobre terminales que no quieran recibir llamadas o bien se encuentren fuera de la zona de cobertura.

Para conseguir que un abonado que no quiera recibir llamadas no sea buscado se define la función Detach. Un abonado que invoque esta función modificará la base de datos de abonados indicando que él no quiere recibir llamadas. Cualquier llamada entrante será rechazada directamente ahorrándonos el proceso de búsqueda.

Cuando ese mismo abonado decida volver a recibir llamadas invocará la función Attach, que restablecerá el indicador de Attach/Detach para que se busque al abonado.

Existe la posibilidad de hacer un Detach automático después de varias búsquedas infructuosas, o transcurrido un tiempo si actualizar su posición (Attach periódico).

## 2.9 Arquitectura del sistema GSM

### 2.9.1 Introducción

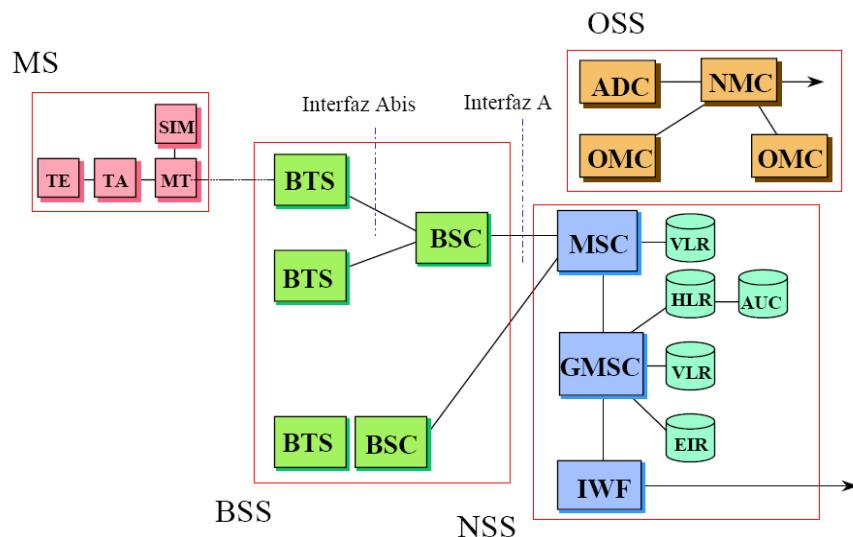


Figura 2.30. Esquema principal de la arquitectura GSM.

La arquitectura del sistema GSM está dividida en cuatro elementos o subsistemas:

- La estación móvil.
- El subsistema de estación base (BSS).
- El subsistema de conmutación y de red (NSS).
- El subsistema de operación y soporte (OSS).

Además se pueden identificar un conjunto de interfaces:

- El interfaz radio U.
- El interfaz Abis entre la BTS y la BSC.
- El interfaz A entre la BSC y la MSC.

- **MS Mobile Station**

- MT Mobile Termination
  - TA Terminal Adaptor
- TE Terminal Equipment
  - SIM Subscriber Identity Module

- **BSS Base Station Subsystem**

- BTS Base Transceiver Station
- BSC Base Station Controller

- **NSS Network and Switching Subsystem**

- MSC Mobile Switching Center
  - HLR Home Location Register
  - EIR Equipment Identity Register
- GMSC Gateway Mobile Switching Center
  - VLR Visitors Location Register
  - AUC Autoauthentication Center

- **OSS Operation Support Subsystem**

- OMC Operation and Maintenance Center
  - NMC Network Management Center
- ADC ADministration Center

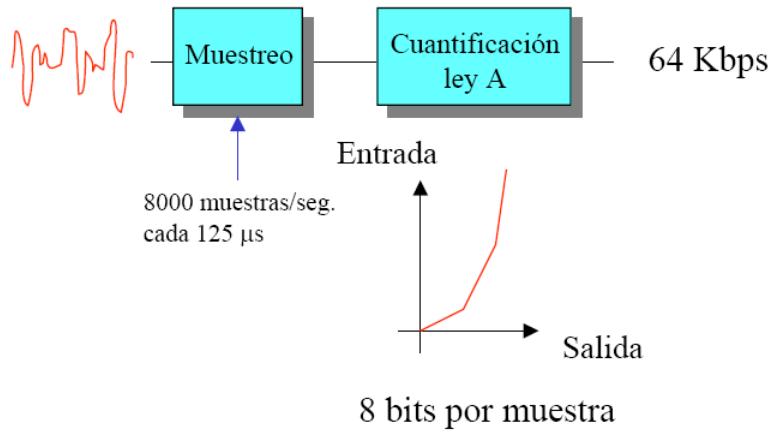
Figura 2.31. Terminología de los elementos de la arquitectura GSM.

Como elemento de unión para la señalización se usa la red de señalización SS7. Esta se usa para el intercambio de información de control y para cierto tipo de información de usuario como son los mensajes cortos.

Para el transporte de tráfico de usuario se usan enlaces dedicados que componen la red de transporte del operador. Esta red está basada en enlaces de 2Mbps y en equipos de multiplexado y cross-conexión.

## 2.9.2 Características principales de la red de señalización

### 2.9.2.1 Señal digital



**Figura 2.32.** Digitalización de los datos vocales.

La señal digital básica procede de la digitalización del canal telefónico. Este canal está comprendido en su forma analógica entre los 300 y 3400 Hz. Para convertirlo a digital se muestrea a 8 KHz y se codifica con 8 bits por muestra. Para obtener una calidad equivalente a la del canal telefónico analógico es preciso distribuir el ruido de cuantificación entre los diferentes niveles de la señal. Esta redistribución se puede hacer de diferentes formas. En Estados Unidos se usa una relación de traducción llamada ley  $\mu$ , mientras que en Europa se usa la ley A.

### 2.9.2.2 Jerarquía digital: niveles de multiplexado

El multiplexado de las señales se puede hacer en diferentes niveles siguiendo una jerarquía de multiplexado. Las señales que acceden a un multiplexor se denominan tributarios y el resultado del multiplexado es el agregado. En una jerarquía de multiplexado el agregado de un nivel se convierte en el tributario del nivel superior.

La jerarquía de multiplexado está estandarizada para poder limitar el número de elementos de transporte y estandarizar los multiplexores. Las jerarquías usadas en Estados Unidos y en Japón tienen algunos puntos en común, mientras que en Europa se usa una jerarquía basada en un primer nivel de 2Mbps, que llega hasta los 140Mbps.

### 2.9.2.3 Estructura del interfaz Abis

- TRAU remota

- Organización de la trama

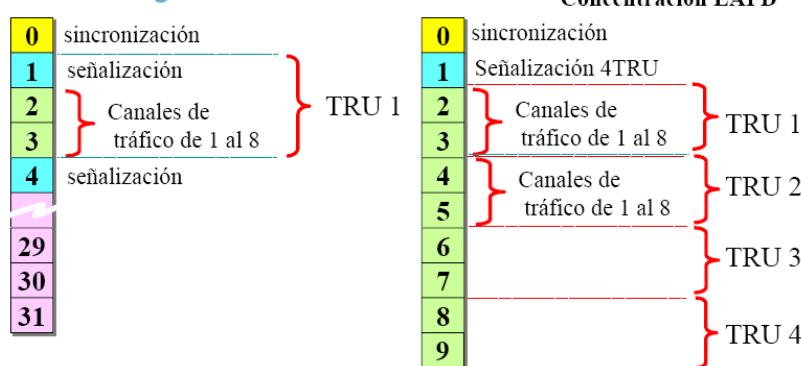


Figura 2.33. Organización de la trama en la TRAU remota.

El interfaz Abis se soporta sobre interfaces de 2Mbps. Dependiendo del fabricante y modelo se dispone de varias configuraciones para los canales de tráfico y los de señalización.

- TRAU local

- Organización de la trama

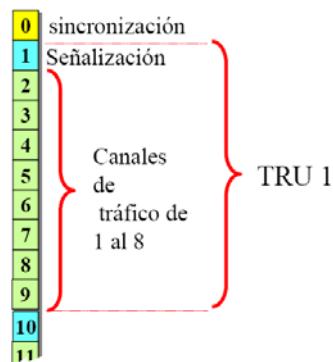


Figura 2.34. Organización de la trama en la TRAU local.

### 2.9.2.4 Interfaces

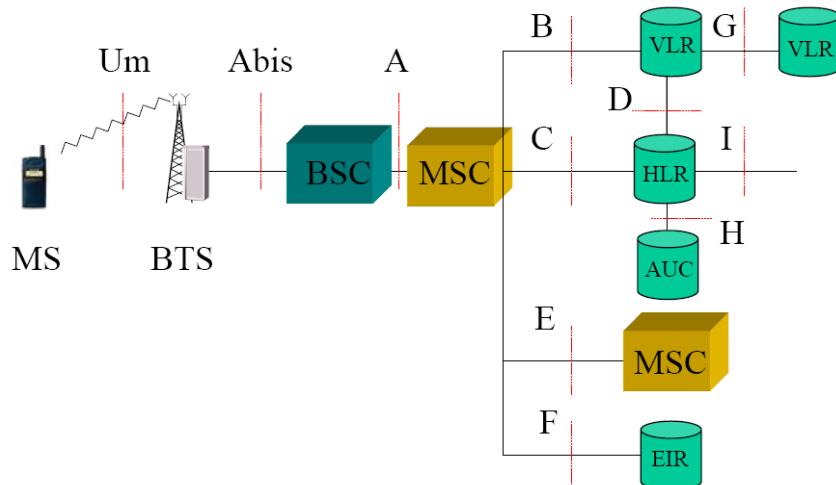


Figura 2.35. Esquema de los interfaces disponibles en la arquitectura GSM.

Para facilitar la interconexión entre los diferentes elementos de la red GSM se han definido la mayoría de los interfaces abiertos (públicos), de forma que cualquier fabricante los pueda cumplir y esto permita la interoperabilidad de los equipos y con ello la posibilidad de que un operador tenga la oportunidad de tener suministradores alternativos.

De todos los interfaces, el que no está totalmente estandarizado es el Abis. Otros como el B no se usan, ya que VLR y MSC están situados en el mismo elemento físico.

### **2.9.3 Elementos de la arquitectura de red GSM**

#### **2.9.3.1 Mobile STATION (MS)**

Representa el único equipamiento de todo el sistema que ve el usuario final. Las funciones que debe realizar son las de acceder a la red a través del interfaz radio y debe ofrecer un interfaz con el usuario humano en caso de transmitir voz o con otro equipo terminal en el caso de que no queramos transmitir voz sino datos.

Para que sea operativo debe incluir un SIM (*Subscriber Identity Module*). Si no se incluye este módulo sólo se pueden realizar llamadas de emergencia.

Existen diferentes tipos según la máxima potencia que pueden transmitir: en GSM 900 existen cinco potencias máximas definidas: 20 W, 8 W, 5 W, 2W y 0.8 W. Los equipos de 20 W probablemente no se realizarán.

Los fijos, que están instalados permanentemente en un coche, y los portátiles pueden tener una potencia máxima de hasta 8 W, los handheld pueden emitir hasta 2 W y los handheld, que se restringen a áreas urbanas por las limitaciones de cobertura, tienen hasta 0.8 W. Sin embargo en DCS1800 sólo hay dos especificaciones: 1 W y 0.25 W.

Cabe destacar que el valor de la potencia máxima es útil para el control de potencia y la preparación del handover.

#### **2.9.3.2 Subscriber Identity Module (SIM)**

Proporciona identidad al equipo móvil y sin el SIM un móvil no es operacional, excepto para llamadas de emergencia. Algunos terminales necesitan que el SIM esté insertado para permitir las llamadas de emergencia.

Es una tarjeta inteligente que contiene información relacionada con el abonado, así como información utilizada por este. Hay dos tipos, según el tamaño, de SIM.

El SIM debe ser insertado en un lector en la estación móvil para que el terminal pueda ser utilizado para los propósitos habituales. El poder extraer el SIM de la estación móvil ofrece múltiples ventajas: si el teléfono se ha de reparar, se quita el SIM y se introduce en otro equipo, si se alquila un coche con teléfono, etc.

Contiene dos números de seguridad para evitar usos indebidos.

### 2.9.3.3 Base Station Subsystem (BSS)

El Base Station Subsystem (BSS) agrupa la infraestructura específica de los aspectos de radio celular de GSM.

Está en contacto directo con la estación móvil a través del interfaz radio por un lado y con los conmutadores de la red (NSS) para encaminar las llamadas por el otro y por tanto conectar al usuario de GSM con otros usuarios de los sistemas de telecomunicación. Incluye los equipos de transmisión y recepción en el camino radio. Incluye dos tipos de equipo: la BTS y el BSC.

### 2.9.3.4 Base Transceiver Station (BTS)

Es la parte del BSS que incluye los dispositivos para la transmisión y recepción de radio (incluyendo las antenas) y todo el procesado de la señal que recibe o emite.

Una estación base tiene entre uno y dieciséis transmisores donde cada uno de ellos representa un canal de RF (Radio Frecuencia). Lo más común es tener entre 1 y 3 transmisores.

#### *Toma de medidas*

La MS proporciona medidas de la BTS servidora y de hasta seis celdas vecinas. Estas medidas viajan de la MS a la BTS a través del canal SACCH. Las medidas requieren una velocidad de 130 bps y la capacidad del SACCH es de 260 bps, por lo que se puede tener un máximo de dos tomas de medidas por segundo. Para tomar las medidas se aprovecha el intervalo que hay entre la transmisión del UPLINK BURST i la recepción del DOWNLINK BURST. Las medidas se toman en un canal que no sufre Frequency Hopping, que es el canal BCCH. La BTS pasa a la MS las frecuencias que tiene que medir y para hacerlo la MS debe estar pre-sincronizada con todas las celdas a las que tiene que tomar medidas. Es la BTS la encargada de promediar las medidas.

### 2.9.3.5 Configuraciones de las BTS

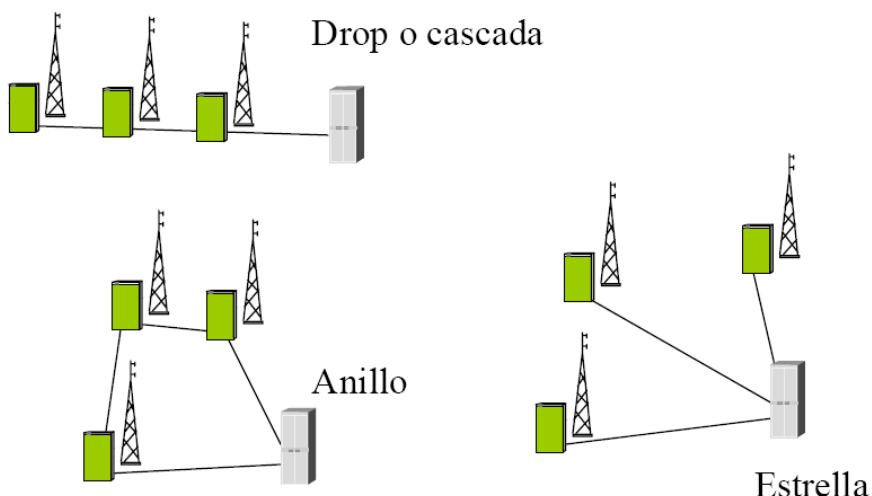


Figura 2.36. Esquema de las posibles topologías de las BTS.

La interconexión de las estaciones base con el BSC admite diferentes topologías. El uso de una u otra dependerá de los enlaces disponibles y de la protección que se quiera ofrecer. La topología en anillo permite hacer un uso más eficiente de los canales y es la más segura, siendo la de cascada la menos robusta.

En la práctica se pueden usar unos elementos intermedios (cross-conectores) que permiten hacer configuraciones más complejas.

#### 2.9.3.6 Base Station Controller (BSC)

El BSC está a cargo del control de todo el interfaz radio a través del comando remoto de la BTS y la MS. Se encarga principalmente de la asignación y liberación de los canales móviles así como de la gestión del handover cuando este es intra-BSC.

El BSC está conectado por un lado con varias BTS (controla a varias) y por otro lado con una MSC (*Mobile Switching Center*).

#### 2.9.3.7 Network and Switching Subsystem (NSS)

El NSS incluye las funciones de conmutación más importantes de GSM y se encarga también de la gestión de todas las bases de datos necesarias para el control de la movilidad y los datos del abonado.

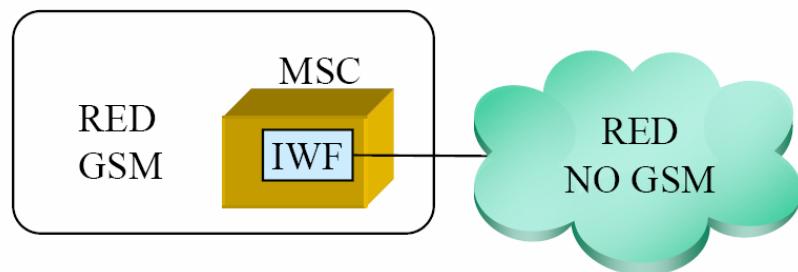
Su papel principal es el de controlar las comunicaciones entre los usuarios de GSM y otros usuarios de redes de telecomunicaciones.

Dentro del NSS las funciones básicas de conmutación las realizan las centrales de conmutación (MSC y GMSC), mientras que las bases de datos se encuentran en los HLR y VLR.

#### 2.9.3.8 Mobile Switching Center and Gateway MSC (MSC y GMSC)

La principal función de la MSC es coordinar el establecimiento de llamadas entre usuarios de GSM. La MSC tiene interfaz con el BSS por un lado y con las redes externas por el otro. Una MSC controla varios BSC.

El interfaz con redes externas puede requerir un gateway para adaptar el tipo de datos del usuario y las redes con las que se conecta (IWF o *Interworking Functions*). El papel de la IWF será más o menos importante dependiendo de los datos del usuario y de la red con la que interopere.



**Figura 2.37.** Adaptación de datos entre diferentes redes.

Las IWF permiten la interconexión con redes como:

- PSPDN (*Packet-Switched Public Data Networks*).
- CSPDN (*Circuit-Switched Public Data Networks*).
- PSTN (*Public Switching Telephone Network*).
- ISDN (*Integrated Service Digital Network*).

El NSS utiliza una red de soporte de señalización, con una parte externa a GSM, siguiendo el protocolo CCITT Signalling System nº 7 (SS7). Esta red de señalización permite el funcionamiento cooperativo entre NSS de una o más redes GSM.

#### **2.9.3.9 Home Location Register (HLR)**

El HLR es el registro local de abonado, es una base de datos que contiene la información de los móviles que pertenecen a su MSC, independientemente de la localización real de los mismos. Almacena la identidad y los datos de los usuarios de la MSC y es el encargado de proporcionar los datos para localizar el móvil cuando se desea establecer una llamada dirigida hacia este.

Contiene el número con el que se llama al abonado (MSISDN), que es diferente del IMSI.

Almacena dos tipos de datos: permanentes y temporales. Entre los datos permanentes se encuentran:

- IMSI .
- El número de teléfono del usuario para llamarle desde la red pública.
- Información sobre el tipo de servicios suplementarios que tienen contratados los abonados.

Entre los datos temporales podemos encontrar:

- Dirección del VLR: es un puntero al VLR en el que están situados los datos del móvil para asistir en el encaminamiento de las llamadas entrantes que recibe el móvil.
- El número donde redirigir las llamadas en el caso de que ese móvil cuente con ese servicio suplementario.
- Las tripletas que deben ser enviadas al VLR para proceder a la autenticación del móvil cada vez que haya un intento de llamada.

*Internacional Mobile Subscriber Identify (IMSI)*

Se almacena en el HLR y en el SIM y sólo se utiliza para propósitos internos de la red.

El número se divide en tres partes:

- Los tres primeros dígitos identifican el código del país del móvil (MCC).

- Los dos dígitos siguientes identifican el operador dentro del país (o código de la red del móvil), en caso de que haya más de uno dentro del país.
- Unos cuantos dígitos más, que pueden llegar a ser 10, identifican al abonado, el móvil concretamente.

#### *Mobile Subscriber ISDN Number (MSISDN)*

Número con que se llama al abonado (MSISDN):

- Esta registrado también en la SIM.
- Un mismo usuario puede tener diferentes MSISDN para diferentes servicios (telefonía, fax, datos).
- Es diferente del IMSI
- En la asignación del número se sigue el mismo criterio que para un número de la RDSI.
  - *Country Code* (CC) hasta 3 dígitos decimales.
  - *National Destination Code* (NDC) 2 o 3 posiciones decimales.
  - *Subscriber Number* (SN) con un máximo de 10 posiciones.

Los CC están definidos por la ITU-T en su recomendación E.164; el regulador de cada país asigna los NDC.

La longitud total debe ser de 15 dígitos decimales.

#### **2.9.3.10 Visitors Location Register (VLR)**

El VLR contiene la información de los móviles que están situados en su MSC en un momento determinado.

Contiene, al igual que el HLR, datos permanentes y datos temporales. Los datos permanentes son los mismos que los del HLR, mientras que los datos temporales varían ligeramente: En lugar del IMSI incluye el TMSI que es utilizado para evitar la transmisión del IMSI por el interfaz radio. El TMSI es asignado por el operador y por ellos no tiene un formato específico. Se pueden emplear hasta 32 bits.

Da soporte a la MSC durante el establecimiento de la llamada y para la autenticación del móvil.

Aunque el móvil esté situado en la MSC a la que pertenece se siguen utilizando ambos registros, el HLR y el VLR, para simplificar las posibilidades y no tener que diferenciar entre el caso en que el móvil esté en su MSC y el caso en que esté fuera de él.

#### *Temporary Mobile Subscriber Identify (TMSI)*

Para evitar que un intruso pueda identificar los usuarios de GSM por su IMSI (que es un número asignado permanentemente a un abonado), a estos se les asigna una identidad temporal mientras están usando la red. Esta identidad se almacena, junto con la permanente, en la red. La identidad temporal se asigna durante el procedimiento de

actualización de localización. La estación móvil la utiliza cuando origina una llamada o cuando hace una localización, y la red la utiliza para hacer un paging del MS. Cuando el móvil se apaga, el MS almacena el TMSI en el SIM para asegurarse de que estará disponible cuando éste se vuelva a encender.

El TMSI puede tener una estructura singular, definida por el fabricante o el operador, pero suele disponer de los siguientes campos:

- Hora en que se hizo la actualización de localización de la estación móvil.
- Número que indica el número de re-arranques del VLR (para evitar confusión entre usuarios en caso de que el VLR haya caído en algún momento y se asigne el mismo número de TMSI a dos usuarios, uno antes de la caída del VLR y otro después).
- Índice a la base de datos del usuario.

#### *Mobile Station Roaming Number (MSRN)*

Este identificador de usuario que esta visitando la zona de servicio del VLR se usa para facilitar el encaminamiento de una llamada desde el punto de entrada a la red GSM (el GMSC) hasta la MSC que contiene el VLR (y que conecta con la BTS que cubre al usuario con el que queremos conectar).

Se puede asignar de forma permanente a cada usuario del VLR (costoso en espacio de numeración) o se puede asignar de forma temporal a un usuario cuando se recibe una petición del GMSC.

Tiene la misma estructura que el MSISDN.

#### *Location Area Identify (LAI)*

Uno de los mecanismos que usa el GSM para conocer la posición de los abonados es el concepto de área de localización. Un conjunto de celdas vecinas están asociadas a un área de localización. Cuando la red busca a un terminal lo hace sobre el área de localización.

Cada área de localización está identificada de forma única por el LAI (Location Area Identity) que está difundido de forma periódica por los canales de broadcast del canal de control de la celda.

Un abonado cuando actualiza su localización la red actualiza el área de localización en la que se encuentra el abonado en el VLR. Simultáneamente el terminal actualiza esta información en la SIM del abonado.

#### **2.9.3.11 Autentication Center (AUC)**

Su función es la gestión de los datos de seguridad para la autenticación de los abonados. La autenticación se basa en unos grupos de datos calculados por el AUC.

En GSM se manejan las tripletas (formadas por tres números), mientras que para UMTS se usan las quíntuplas (formadas por cinco elementos).

Una vez que un abonado se ha registrado, el AUC genera las tripletas/quintetos que deberá proporcionar al HLR para completar la autenticación del MS. A su vez, el HLR le pasará las tripletas al VLR.

Hay que hacer autenticación en cada intento de llamada (originada o terminada) y en cada activación y desactivación de servicios suplementarios.

Las tripletas son grupos de tres valores: RAND, SRES y Kc (RAND de 6 bytes, SRES de 4 bytes, Kc de 8 bytes).

#### **2.9.3.12 Equipment Identity Register (EIR)**

Es una base de datos mundial y contiene todos los números de serie de equipos móviles robados o que debido a algún defecto en su hardware no deben ser usados en una red.

La idea es comprobar la identidad cada vez que hay un registro o un establecimiento de llamada de una estación móvil y dependiendo de su IMEI permitir o impedir el acceso del MS al sistema.

Un ejemplo de móvil al que se le impide el acceso puede ser aquel equipo de un determinado fabricante cuya calidad de Radio Frecuencia no cumple las recomendaciones especificadas (produce emisiones espúreas o perturba otros servicios de radio en ese área). El operador puede comprobar el IMEI de esa estación móvil y rechazarla de la red.

Esta base de datos se distribuye de forma periódica a los operadores con el objetivo de que puedan comprobar si los terminales que están accediendo están incluidos en esa lista.

#### **2.9.3.13 Transcoder and Rate Adaptation Unit (TRAU)**

Es una parte del equipo de transmisión y se encarga de codificar y decodificar la voz y adaptar velocidades en el caso de transmisión de datos. Introduce una función de gateway entre los 16 Kbps de la red GSM y los 64 Kbps de ISDN.

En el caso de tráfico de voz entre dos usuarios de GSM, la señal se transforma dos veces: de 13 Kbps a 64 Kbps para pasar del interfaz radio a la red fija y de 64 Kbps a 13 Kbps en el sentido inverso.

### **2.10 Introducción al Sistema GPRS**

El sistema GPRS (*General Packet Radio Service*) es una tecnología que fue desarrollada para facilitar el acceso a redes de paquetes de datos (tanto X.25 como IP).

Desde el punto de vista de la telefonía móvil fue utilizado para modificar la forma de transmitir datos en una red GSM, pasando de la conmutación de circuitos a la conmutación de paquetes.

Que la conmutación sea de paquetes permite fundamentalmente poder compartir los recursos radio. Un usuario GPRS sólo usará la red cuando envíe o reciba un paquete de información y 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 y 20 Kbps de transmisión en GPRS.

Por otra parte, desde el punto de vista del operador es una forma sencilla de reutilizar la red GSM para la transmisión de datos mediante una serie de cambios en la arquitectura de red y ligeras modificaciones en las antenas.

#### **2.10.1 Características de GPRS**

Las características principales de GPRS son las siguientes:

- Optimización de los recursos radio.
- Conexión con redes externas de datos (X.25, IP, etc.).
- Introducción la conmutación de paquetes de datos extremo a extremo.
- Para cada contexto activado se define una calidad de servicio determinada.
- Calidad de servicio y tipo de servicio. Se pueden controlar aspectos como el retardo de entrega de los paquetes, el caudal medio y de pico ofertado y la fiabilidad del enlace.
- Tarificación por volumen de datos intercambiados y por calidad de servicio ofertada.
- Coexistencia con el sistema GSM.
- Permite destinar varias ráfagas (slots) a un mismo usuario, lo que permite velocidades de transmisión de pico elevadas.
- Ofrece un gran potencial para la creación de nuevos servicios de valor añadido (Servidores de Internet) ya que la asignación de recursos del enlace ascendente y descendente están absolutamente desacopladas (el enlace ya no es simétrico). Esto permite tratar de modo eficiente aplicaciones que generen tráfico asimétrico.

#### **2.10.2 Arquitectura del sistema GPRS**

Cuando hablamos de arquitectura del sistema GPRS estamos hablando de una serie de componentes que se suman a los ya existentes en la antigua arquitectura GSM. Estos componentes son el PCU, el SGSN y el GGSN.

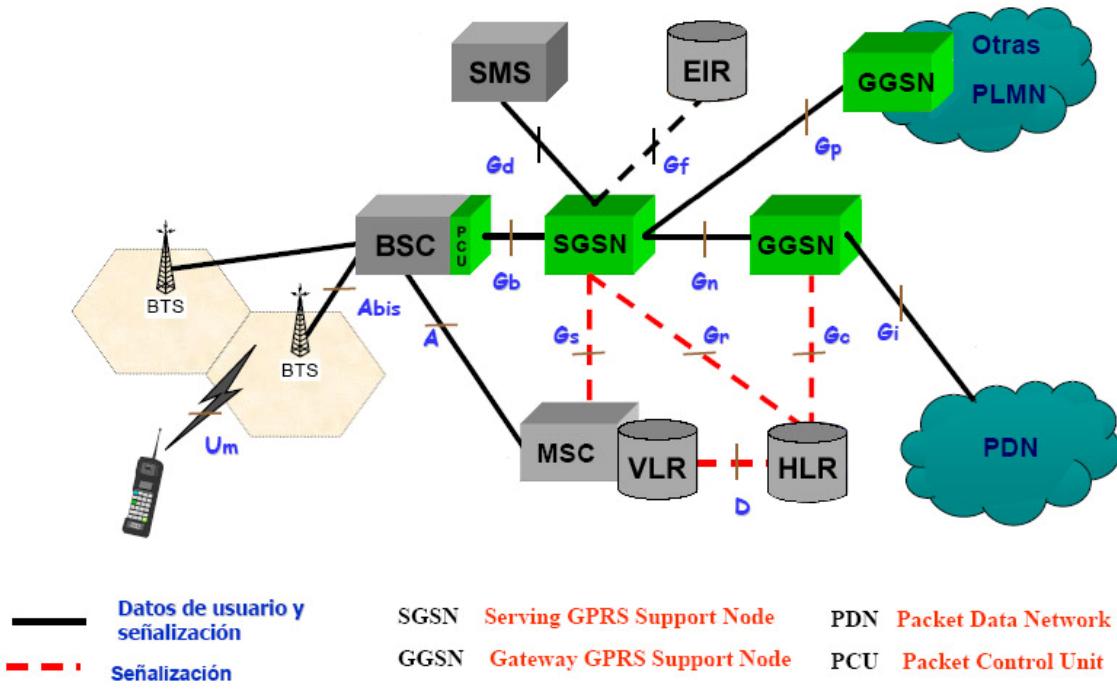


Figura 2.38. Arquitectura del sistema GPRS

#### 2.10.2.1 Packet Control Unit (PCU)

Requerido para el control y gestión de los paquetes. Se puede colocar tanto en la BSC, BTS como GGSN. Es responsable de las capas RLC (*Radio Link Control*) y MAC (*Medium Access Control*).

Gestiona la transferencia de paquetes de datos de usuario entre terminales móviles y el SGSN y se encarga de la asignación y liberación de los recursos radio.

#### 2.10.2.2 Gateway GPRS Support Node (GGSN)

Punto de conexión a PDN, a través del interfaz Gi. Contiene información de contexto para los usuarios GPRS y encamina los paquetes mediante “tunneling” hacia el SGSN que sirve al terminal.

Realiza funciones de encaminamiento (el nodo GGSN se comporta como un conmutador de paquetes de datos permitiendo el encaminamiento de los paquetes hacia redes externas), gestión de sesión (incluyendo la asignación de la dirección IP al terminal móvil), gestión de movilidad, pasarela de seguridad y tarificación de las conexiones hacia redes externas.

#### 2.10.2.3 Serving GPRS Support Node (SGSN)

Da servicio al móvil a través de BSS con el interfaz Gb. Contiene información de usuario para el encaminamiento y manejo de paquetes entre GGSN y MS.

Realiza funciones de encaminamiento, gestión de sesión, gestión de movilidad, seguridad (cifrado de la conexión a través interfaz aire), tarificación de la conexión GPRS y compresión de datos.

### 2.10.3 Contexto PDP

Un abonado al servicio GPRS puede disponer de una o más subscripciones para poder acceder a distintas redes externas de datos con diferentes calidades de servicio, siendo el operador de red quien delimita el número máximo. A cada una de estas subscripciones se les denomina en GPRS una dirección de protocolo de datos de paquetes (dirección PDP) o contexto PDP. Un contexto identifica los parámetros que se requieren para una transacción entre una terminal móvil y una red de datos externa.

- El terminal móvil puede soportar múltiples contextos de forma simultánea.
- Una vez activado el contexto se puede enviar y recibir paquetes hacia/desde otras redes de datos (IP o X.25).
- Cada contexto activado consume una dirección IP.
- Para la transferencia de paquetes se usa el concepto de Tunneling. Para poder hacer Tunneling se necesita construir una relación entre el SGSN y GGSN. Esta relación implica la activación de un contexto PDP.

### 2.10.4. Transferencia de paquetes de información

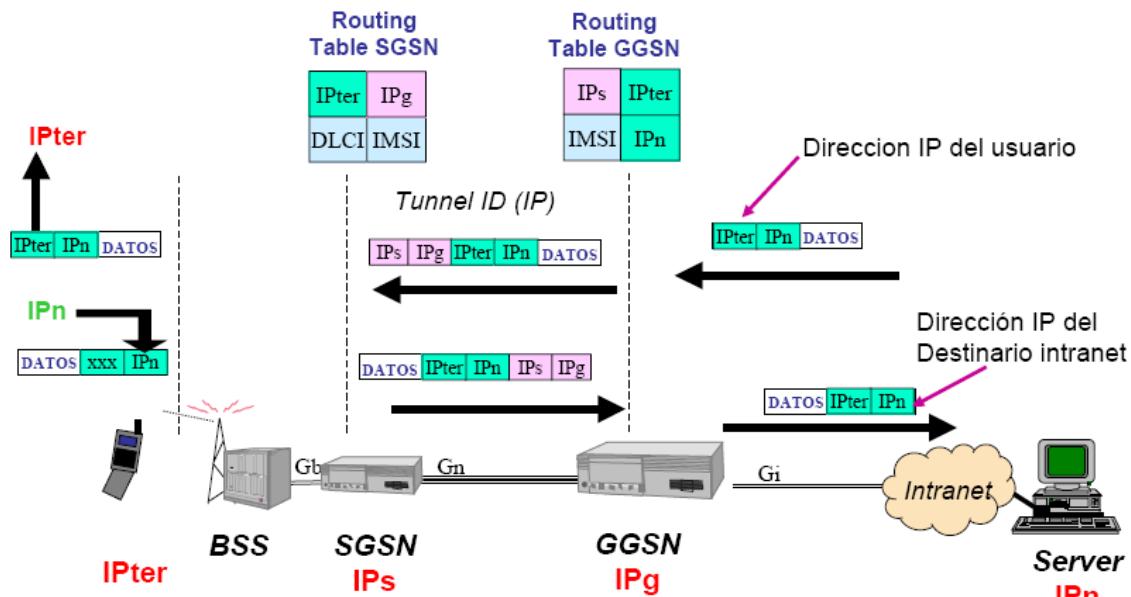


Figura 2.39. Esquema de envío y recepción de paquetes de información.

Una vez se ha realizado la conexión al servicio GPRS por parte del terminal, este posee una dirección IP (IPter). Esta dirección IP es almacenada en las tablas de enrutamiento del SGSN y el GGSN. De la misma forma está almacenada la relación entre la IP del SGSN (IPs) y la IP del GGSN (IPg). Una vez asignadas y almacenadas las direcciones se procede al intercambio de paquetes:

- El usuario establece una conexión con el servidor de Internet (IPn).
- El usuario envía paquetes con dirección de destino IPn a través del interfaz aire y del interfaz Gb.
- Cuando el paquete es recibido por el SGSN, se utiliza la dirección almacenada en las tablas de enrutamiento para obtener la dirección IP del GGSN al que enviar los datos.

- El SGSN encapsula los PDU (Packet Data Unit) y pone la dirección del GGSN correspondiente (IPg) como destino del paquete. Acto seguido lo envía a través del interfaz Gn.
- Cuando el paquete llega al GGSN, este elimina la cabecera y lo envía hacia la red externa a través del interfaz Gi.

El proceso de recepción de paquetes es el inverso al especificado.

## 2.11 Interfaz aire GPRS

El canal físico dedicado al tráfico de GPRS es el PDCH (Packet Data Channel). Como mínimo un PDCH debe actuar como maestro transmitiendo PCCCH, señalización dedicada y datos de usuario. El resto actúan como esclavos y solo transmiten datos de usuario.

Por otra parte, el operador puede decidir si dedica algunos PDCH para tráfico GPRS. El número de PDCH puede aumentar o disminuir según la demanda.

### 2.11.1 Canales lógicos

Varios canales lógicos con distintas funciones son mapeados en cada PDCH. En la Tabla 2.11 podemos ver cada canal lógico, la dirección en que trabajan y su función.

Grupo	Nombre	Dirección	Función
PCCCH	PBCCH	Descendente	Broadcast
	PRACH	Ascendente	Random Acces
	PPCH	Descendente	Paging
	PAGCH	Descendente	Acces Grant
	PNCH	Descendente	Multicast
PTCH	PDTCH	Bidireccional	Datos
	PACCH	Bidireccional	Control

Tabla 2.11. Canales lógicos.

#### 2.11.1.1 Packet Broadcast Control Channel (PBCCH)

El canal PBCCH transmite información del sistema a todos los terminales GPRS en una célula.

#### 2.11.1.2 Packet Common Control Channel (PRACH)

*Packet Random Acces Channel (PRACH)*

Usado por el móvil para iniciar transferencia de paquetes o responder a mensajes de paging.

*Packet Paging Channel (PCH)*

Se usa para avisar al terminal móvil antes de una transferencia de paquetes en el enlace de bajada.

#### *Packet Access Grant Channel (PAGCH)*

Se usa en la fase de establecimiento de transferencia para asignar recursos al terminal móvil.

#### *Packet Notificación Channel (PNCH)*

Se usa para enviar una notificación de multidifusión a un grupo de móviles antes de la transferencia de paquetes.

#### **2.11.1.3 Packet Traffic Channels (PTCH)**

##### *Packet Data Traffic Channel (PDTCH)*

Se usa para la transferencia de datos. Un móvil puede emplear más de un canal en paralelo (operación en multislot).

##### *Packet Associated Control Channel (PACCH)*

Se usa para transportar información de señalización relacionada con un móvil determinado.

#### **2.11.2 Estructura de trama y multitrama en GPRS**

En el sistema GPRS el acceso al medio se lleva a cabo mediante *Slotted Aloha*. La estructura de trama TDMA la podemos observar en la siguiente imagen:

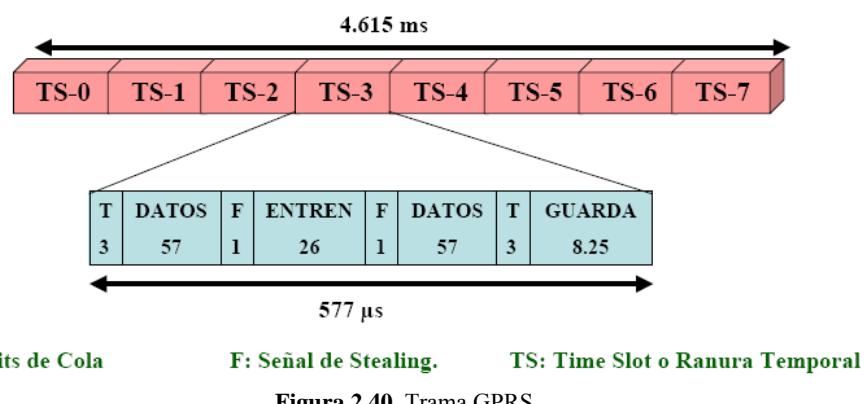


Figura 2.40. Trama GPRS.

A diferencia del sistema GSM, los bits de stealing se utilizan para identificar el código corrector de errores utilizado. El sistema permite diferenciar entre cuatro correctores de errores, denominados CS1, CS2, CS3 y CS4.

La multitrama GPRS está formada por 52 tramas TDMA. Al mismo tiempo está formada por 12 radiobloques.

Se reservan 2 tramas TDMA para el *Timing Advance Control* y otras 2 para medidas de interferencia. La asignación de recursos tanto en sentido ascendente como en sentido descendente se realiza a nivel de bloque.

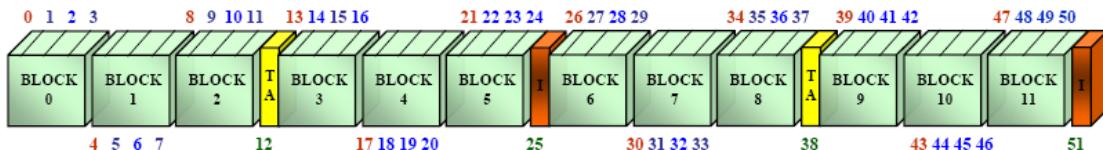


Figura 2.41. Multitrama GPRS.

La duración de la multitrama es de 240 mseg. Por lo tanto (en promedio), se transmite un radiobloque cada 20 mseg.

Como se observa en el gráfico, en cada radiobloque multiplexamos los canales lógicos tanto para el downlink como para el uplink.

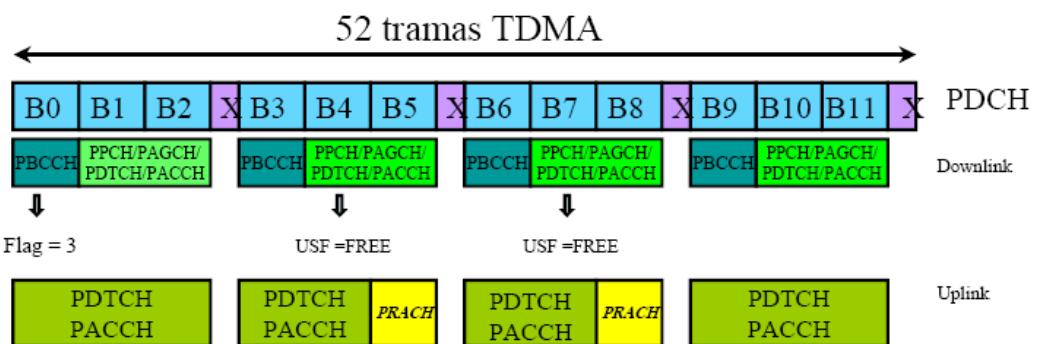


Figura 2.42. Multiplexación de canales lógicos en la multitrama GPRS.

## 2.12 Calidad de servicio en el sistema GPRS

En GPRS (Release 97) la calidad del servicio se mide en función de los siguientes parámetros:

### 2.12.1 Prioridad del servicio

Bajo condiciones normales, todos los usuarios son servidos de la misma forma. En caso de congestión habrá usuarios que serán servidos con mayor prioridad.

### 2.12.2 Fiabilidad

Mide la probabilidad de pérdida, corrupción o entrega fuera de la secuencia de los paquetes de datos.

Clase	Modo GTP	Trama LLC	Protección Datos LLC	Radio Bloque	Ejemplos
1	ACK	ACK	Protegido	ACK	Tráfico diferido (non-real time), aplicaciones susceptibles a error que no pueden hacer frente a pérdidas de datos.
2	Sin ACK	ACK	Protegido	ACK	Tráfico diferido (non-real time), aplicaciones susceptibles a error que pueden hacer frente a pérdidas de datos poco frecuentes.
3	Sin ACK	Sin ACK	Protegido	ACK	Tráfico diferido (non-real time), aplicaciones susceptibles a error que pueden hacer frente a pérdidas de datos.
4	Sin	Sin	Protegido	Sin	Tráfico en tiempo real aplicaciones

	ACK	ACK		ACK	susceptibles a error que pueden hacer frente a pérdidas de datos.
5	Sin ACK	Sin ACK	No protegido	Sin ACK	Tráfico en tiempo real aplicaciones no susceptibles a error que no pueden hacer frente a pérdidas de datos.

Tabla 2.12. Clases de fiabilidad en GPRS.

### 2.12.3 Retardo medio y en porcentaje

Mide el retardo que sufre un paquete de datos mientras es transportado a través de la red GPRS.

El retardo se define como el tiempo de transmisión “*end to end*” entre dos terminales móviles que comunican entre si, o bien entre un terminal móvil y el interfaz de la red GPRS (interfaz Gi) con la red externa de datos.

Este valor incluye todos los retardos de la red GPRS (por ejemplo el retardo para la petición y asignación de recursos radio y los retardos asociados al transito del paquete a través de la red backbone GPRS). Los retardos asociados al transito de paquetes fuera de la red GPRS no se contabilizan en este retardo.

### 2.12.4 Caudal de pico

Mide el número de octetos por segundo máximos que puede soportar el sistema.

Clase	Flujo datos (octetos/segundo)
1	≤ 1000 octetos (8 Kbits)
2	≤ 2000 octetos (16 Kbits)
3	≤ 4000 octetos (32 Kbits)
4	≤ 8000 octetos (64 Kbits)
5	≤ 16000 octetos (128 Kbits)
6	≤ 32000 octetos (256 Kbits)
7	≤ 64000 octetos (512 Kbits)
8	≤ 128000 octetos (1024 Kbits)
9	≤ 256000 octetos (2048 Kbits)

Tabla 2.13. Clases de caudal de pico en GPRS.

### 2.12.5 Caudal medio

Es una media del número de octetos por hora del sistema.

Clase	Tráfico
1	Best Effort
2	100 (~ 0,22 bit/s)
3	200 (~ 0,44 bit/s)
4	500 (~ 1,11 bit/s)
5	1000 (~ 2,2 bit/s)
6	2000 (~ 4,4 bit/s)
7	5000 (~ 11,1 bit/s)
8	10000 (~ 22 bit/s)
9	20000 (~ 44 bit/s)

## Conceptos de redes GSM/GPRS

10	50000 ( $\sim 111$ bit/s)
11	100000 ( $\sim 0,22$ Kbit/s)
12	200000 ( $\sim 0,44$ Kbit/s)
13	500000 ( $\sim 1,11$ Kbit/s)
14	1000000 ( $\sim 2,2$ Kbit/s)
15	2000000 ( $\sim 4,4$ Kbit/s)
16	5000000 ( $\sim 11,1$ Kbit/s)
17	10000000 ( $\sim 22$ Kbit/s)
18	20000000 ( $\sim 44$ Kbit/s)
19	50000000 ( $\sim 111$ Kbit/s)

**Tabla 2.14.** Clases de caudal medio en GPRS.

### 3 Estudio de implantación de una red celular GSM/GPRS

#### 3.1 Prefacio

El objetivo de este apartado del proyecto es diseñar un sistema de comunicaciones móviles GSM/GPRS, siguiendo un proceso similar al que seguiría un operador de telefonía móvil, evaluando las prestaciones ofrecidas por éste tanto en la interfaz radio como en la red fija. Se ha podido desarrollar la primera parte de este estudio gracias a la utilización de la herramienta de planificación celular *Atoll*. Dicho software es propiedad de Vodafone y desde aquí agradezco profundamente su colaboración para la consecución del presente estudio. *Atoll* permite optimizar el cálculo de la cobertura, elegir diferentes configuraciones y equipos para las estaciones base, así como realizar una asignación de frecuencias minimizando el efecto de las interferencias y considerando la densidad de tráfico prevista en la zona. De esta manera la primera parte del estudio queda resuelta.

Una vez conocidas las posiciones reales de las BTS y la población a la que dan cobertura (garantizada, como ya se ha dicho, con los datos que desprenden *Atoll* y que se analizarán en las siguientes páginas) se pasará a analizar el dimensionado del interfaz radio de la red GSM/GPRS gracias a la utilización de la herramienta desarrollada en el proyecto del alumno de esta Universidad, **Borja Serra Escario**, llamado “*Estudio, parametrización y desarrollo de herramientas software para el diseño de redes de telefonía móvil*”.

#### 3.2 Introducción al estudio de coberturas

En primer lugar se debe escoger una zona de estudio, encontrándose esta decisión limitada a la orografía de la Península Ibérica (los mapas incluidos en *Atoll* no permiten escoger otra área de estudio). Se ha decidido que la extensión cubierta debe ser de aproximadamente 40x40 Km y contener alguna población de alrededor de 200.000 habitantes.

Una vez escogida el área de estudio, se procederá al estudio preliminar del tráfico de la zona y al posterior diseño del sistema, cuyas restricciones de diseño se detallan a continuación:

- Potencia transmitida por el móvil 33 dBm.
- Pérdidas en conectores 3 dB.
- Factor de ruido en el receptor: 8 dB en la estación base y 12 dB en el móvil.
- Sensibilidad: -105 dBm en la estación base y -101 dBm en el móvil.
- Relación señal a ruido necesaria 8 dB.
- Ganancia de diversidad en el enlace ascendente 5 dB.
- Atenuación por penetración en edificios 15 dB.
- Margen de la lognormal 11 dB.
- Atenuación producida por el usuario 2 dB.
- Número máximo de portadoras por sector 4.
- Número de portadoras disponibles 40 (consecutivas). Este no es un parámetro totalmente restrictivo.

Dichas restricciones están basadas en medidas realistas y perfectamente realizables.

### 3.3 Zona de trabajo

La zona escogida para realizar el estudio de planificación GSM tiene una superficie aproximada de 1600 Km<sup>2</sup> (40 Km. x 40 Km.). Tiene forma cuadrangular, cuyos vértices son:

Población	C1 UTM (x,y)
Tarragona	351795, 4553194
Cubelles	388782, 4562918
Santa Maria de Miralles	377034, 4597520
Vimbodí	337072, 4585250

Tabla 3.1. Vértices del área de trabajo y sus coordenadas UTM (*Universal Transverse Mercator*).

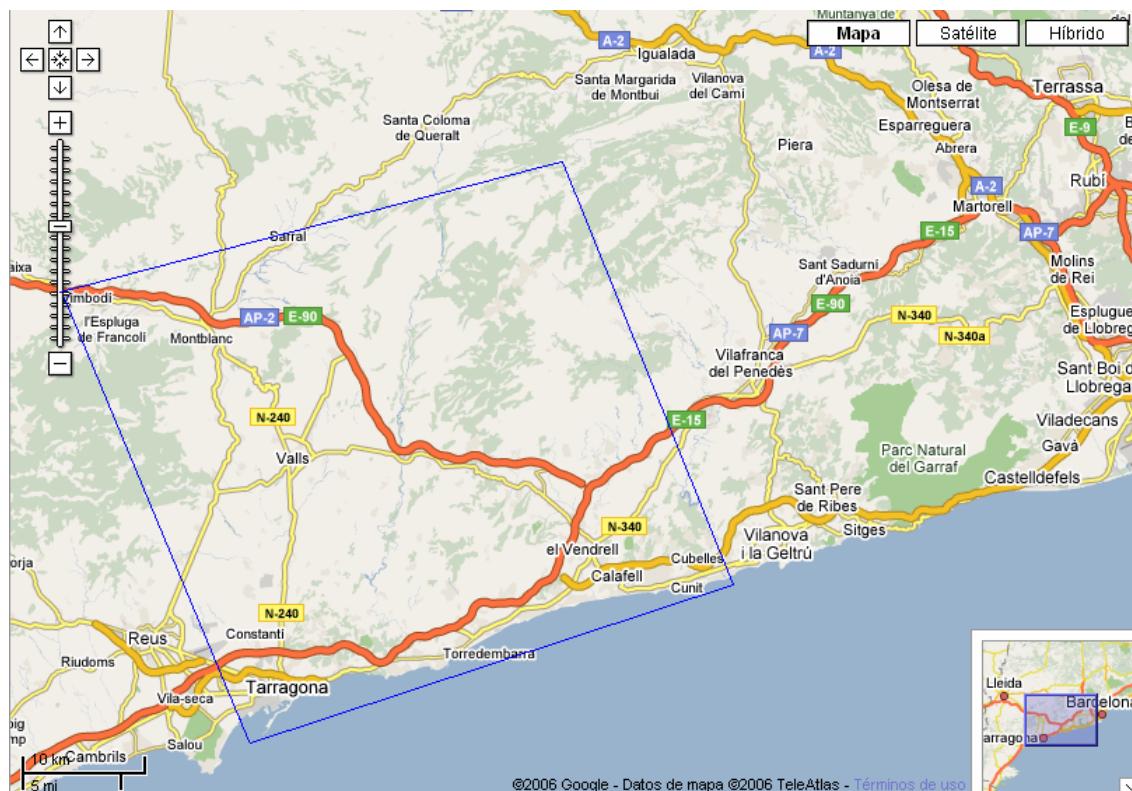


Figura 3.1. Zona de trabajo.

### 3.4 Estudio preliminar sobre el tráfico de la zona

#### 3.4.1 Coordenadas UTM del término municipal de las poblaciones pertenecientes a la zona del estudio

<b>Alió</b>	356789 4575133	361771 4572473	355941 4572685	
<b>Altafulla</b>	362487 4555747	364914 4554936	365485 4558865	363983 4559203
<b>Altafulla</b>	363032 4554888	364952 4554911	365492 4558943	363992 4559237

Estudio de implantación de una red celular GSM/GPRS

<b>La Bisbal del Penedès</b>	368784 4571611	371384 4567540	376728 4570297	376046 4575038
<b>La Gornal</b>	380452 4568638	385154 4564590	390440 4570742	384960 4573482
<b>La Masó</b>	351476 4568279	350502 4568107	350033 4565918	351677 4565689
<b>La Nou de Gaià</b>	362843 4560268	364292 4559348	365501 4562756	-----
<b>La Pobla de Mafumet</b>	347202 4562267	351727 4561457	351939 4559349	-----
<b>La Pobla de Montornès</b>	364324 4559547	367556 4557946	366940 4563867	-----
<b>La Riba</b>	348677 4575653	347279 4572739	347346 4576235	344684 4574591
<b>La Riera de Gaià</b>	364033 4559233	361941 4559980	359876 4558485	362771 4556487
<b>La Secuita</b>	352824 4565096	355301 4559917	358192 4563846	355879 4566677
<b>Llorenç del Penedès</b>	377686 4573080	376631 4570487	380084 4571356	-----
<b>Masllorenç</b>	366712 4570717	365907 4569411	370086 4567547	370574 4568585
<b>Montblanc</b>	365501 4562740	362904 4560271	364046 4559224	-----
<b>Montferri</b>	362504 4571958	363278 4567093	368846 4568456	-----
<b>Mont-ral</b>	338072 4577004	344676 4574832	344681 4570834	336962 4570571
<b>Nulles</b>	355199 4570065	354914 4566348	358902 4568660	358046 4570372
<b>Perafort</b>	352000 4563111	354052 4562692	351916 4559362	353424 4559195
<b>Pira</b>	348954 4584529	347758 4588968	350951 4587273	-----
<b>Pontons</b>	372824 4587860	372812 4582676	377699 4582802	378614 4588547
<b>Puigpelat</b>	356127 4572646	359880 4572323	360042 4570614	355790 4570083
<b>Querol</b>	362254 4587670	372274 4582412	373185 4592866	-----
<b>Renau</b>	357156 4567022	361179 4563639	359648 4562421	-----
<b>Roda de Barà</b>	368536 4562260	370804 4558239	373883 4559329	372339 4563289
<b>Rodonyà</b>	365801 4572642	365301 4569367	369272 4570490	369076 4571968
<b>Salomó</b>	362308 4568395	360774 4565693	365843 4564782	366892 4566950
<b>Sant Jaume dels Domenys</b>	379418 4577980	376302 4571577	381981 4572215	-----

<b>Santa Oliva</b>	375130	377247	379988	
	4570086	4565110	4568448	
<b>Santes Creus (Aiguamúrcia)</b>	366503	360938	377382	
	4585052	4576516	4582785	
<b>Sarral</b>	359663	350870	350410	356416
	4595289	4593043	4590081	4586631
<b>Tarragona</b>	363460	359808	346055	348663
	4555152	4558496	4555959	4551003
<b>Torredembarra</b>	369182	365490	364928	
	4557392	4558876	4554900	
<b>Vallmoll</b>	352516	354788	354222	351827
	4570102	4571223	4565239	4564550
<b>Valls</b>	349342	356309	351875	
	4578324	4578128	4567429	
<b>Vespella de Gaià</b>	361996	365911	360873	
	4565257	4564312	4559541	
<b>Vilabella</b>	358068	362538	360995	357233
	4570472	4568949	4564138	4566982
<b>Vilallonga del Camp</b>	348122	350813	348631	347136
	4566339	4564415	4562054	4562338
<b>Vila-rodona</b>	358703	364336	368081	360352
	4574317	4571494	4574192	4577323
<b>Vilaverd</b>	345446	348016	344397	
	4580216	4576093	456101	
<b>Vimbodí</b>	337186	338033	332808	
	4590107	4577053	4577194	

Tabla 3.2. Coordenadas UTM de las poblaciones de estudio.

### 3.4.2 Estudio de la distribución de la población en pueblos, ciudades y principales vías de comunicación (censo 2005)<sup>1</sup>

Población	nº hab. (2005)	S. (Km <sup>2</sup> )	D. (h/km <sup>2</sup> ) (2005)
<b>Albinyana</b>	2036	20	102
<b>Alcover</b>	4405	46	96
<b>Alió</b>	384	7	55
<b>Altafulla</b>	3993	7	571
<b>Banyeres del Penedès</b>	2303	12	192
<b>Barberà de la Conca</b>	488	26	19
<b>Bellvei</b>	1643	8	206
<b>Bonastre</b>	494	25	20
<b>Bràfim</b>	636	6	106
<b>Cabra del Camp</b>	859	27	32
<b>Calafell</b>	18905	20	946
<b>Conesa</b>	133	29	5
<b>Constantí</b>	5608	31	181
<b>Creixell</b>	2441	10	245

<sup>1</sup> Todas las aproximaciones se han realizado por exceso, para sobredimensionar el estudio de forma correcta.

Estudio de implantación de una red celular GSM/GPRS

<b>Cubelles</b>	10617	13	817
<b>Cunit</b>	9017	10	902
<b>El Catllar</b>	3221	26	124
<b>El Milà</b>	177	4	45
<b>El Montmell</b>	1065	72	15
<b>El Morell</b>	2606	6	435
<b>El Pla de Santa Maria</b>	1903	35	55
<b>El Pont d'Armentera</b>	596	28	22
<b>El Rourell</b>	313	2	157
<b>El Vendrell</b>	30225	37	817
<b>Els Garidells</b>	189	3	63
<b>Els Pallaresos</b>	3144	5	629
<b>Figuerala del Camp</b>	318	23	14
<b>L'Arboç</b>	4562	14	326
<b>L'espluga de Francolí</b>	3814	57	70
<b>La Bisbal del Penedès</b>	2680	33	82
<b>La Gornal</b>	1798	47	39
<b>La Masó</b>	285	4	72
<b>La Nou de Gaià</b>	440	4	110
<b>La Pobla de Mafumet</b>	1389	6	232
<b>La Pobla de Montornès</b>	2123	12	177
<b>La Riba</b>	679	8	85
<b>La Riera de Gaià</b>	1277	9	142
<b>La Secuita</b>	1240	18	69
<b>Llorenç del Penedès</b>	1997	5	400
<b>Masllorenç</b>	463	6	78
<b>Montblanc</b>	6632	90	74
<b>Montferri</b>	225	19	12
<b>Mont-ral</b>	180	35	6
<b>Nulles</b>	369	11	34
<b>Perafort</b>	802	10	81
<b>Pira</b>	478	8	60
<b>Pontons</b>	482	25	20
<b>Puigpelat</b>	789	10	79
<b>Querol</b>	359	72	5
<b>Renau</b>	88	8	11
<b>Roda de Barà</b>	4547	16	285
<b>Rodonyà</b>	462	8	58
<b>Salomó</b>	432	12	36
<b>Sant Jaume dels Domenys</b>	1877	23	82
<b>Santa Oliva</b>	2700	9	300
<b>Santes Creus (Aiguamúrcia)</b>	719	73	10
<b>Sarral</b>	1503	52	29
<b>Tarragona</b>	128152	62	2067
<b>Torredembarra</b>	13280	9	1476
<b>Vallmoll</b>	1413	17	84
<b>Valls</b>	22851	55	416
<b>Vespella de Gaià</b>	298	18	17
<b>Vilabella</b>	789	18	44
<b>Vilallonga del Camp</b>	1425	9	159

<b>Vila-rodona</b>	1117	33	34
<b>Vilaverd</b>	437	13	34
<b>Vimbodí</b>	1054	66	16

Tabla 3.3. Distribución de la población en pueblos y ciudades.

Carretera/Autovía/ Autopista	IMD (Intensidad Media Diaria) (nº vehículos)	Longitud (Km)	Densidad (usuarios/Km)
<b>AP-7</b>	67000	36	1861,11
<b>C-32</b>	37000	14	2642,86
<b>AP-2</b>	20000	48	416,67
<b>N-240</b>	10000	52	192,31
<b>N-340</b>	40000	40	1000,00
<b>C-37</b>	3000	38	78,95
<b>C-14</b>	10000	23	434,78
<b>C-51</b>	3000	31	96,77

Tabla 3.4. Distribución de la población en términos de IMD en las principales vías de comunicación.

### 3.4.3 Factores de crecimiento, distribución, movilidad y variación

Una vez hallada la densidad total, calculada en habitantes/km<sup>2</sup>, se deben tener en cuenta los siguientes factores:

- Población estacional (movimiento turístico):

Municipio	Población estacional (movimiento turístico) en términos de equivalencia a tiempo completo anual (ETCA) (pobl. + 5000 hab.)
<b>Calafell</b>	6275 hab.
<b>Constantí</b>	-200 hab.
<b>Cubelles</b>	482 hab.
<b>Cunit</b>	2759 hab.
<b>El Vendrell</b>	6343 hab.
<b>Montblanc</b>	392 hab.
<b>Tarragona</b>	4663 hab.
<b>Torredembarra</b>	2973 hab.
<b>Valls</b>	-257 hab.

Tabla 3.5. Población estacional.

- Estimación del crecimiento de las poblaciones más importantes en cuanto a número de habitantes (previsión a 10 años):

Municipio	Estimación del aumento de población postcensal (previsión a 10 años)
<b>Alcover</b>	441 hab.
<b>Altafulla</b>	400 hab.
<b>Calafell</b>	11311 hab.
<b>Constantí</b>	842 hab.
<b>Cubelles</b>	2702 hab.
<b>Cunit</b>	5114 hab.

<b>El Catllar</b>	644 hab.
<b>El Vendrell</b>	13657 hab.
<b>L'Arboç</b>	912 hab.
<b>L'Espluga de Francolí</b>	382 hab.
<b>La Bisbal del Penedès</b>	536 hab.
<b>Montblanc</b>	995 hab.
<b>Roda de Barà</b>	909 hab.
<b>Santa Oliva</b>	540 hab.
<b>Tarragona</b>	23812 hab.
<b>Torredembarra</b>	1992 hab.
<b>Valls</b>	3428 hab.

Tabla 3.6. Estimación de crecimiento.

- Número de trabajadores en zonas industriales en roaming con nuestro operador (estimación):

Municipio	Clientes en roaming
<b>Tarragona</b>	20
<b>Constantí</b>	10
<b>La Pobla de Mafumet</b>	30

Tabla 3.7. Trabajadores en roaming con nuestro operador.

- Porcentaje de penetración de la telefonía móvil automática en España por encima del 97%.
- Cuota de mercado de nuestro operador en previsión: 25%.
- Tráfico generado por usuario: 23 mE.

### 3.5 Estudio final de la densidad en términos de tráfico (Erlangs/ Km<sup>2</sup>)<sup>2</sup>

Teniendo en cuenta la información recopilada anteriormente, la Tabla 3.8 muestra los datos finales referidos al tráfico que deberá soportar nuestra red. Estos datos serán necesarios para el posterior análisis de coberturas y asignación de recursos:

Población	Densidad TOTAL operador (hab./Km <sup>2</sup> )	Densidad TOTAL operador (Erlangs/Km <sup>2</sup> )
<b>Albinyana</b>	25	0,6
<b>Alcover</b>	26	0,6
<b>Alió</b>	14	0,3
<b>Altafulla</b>	166	3,8
<b>Banyeres del Penedès</b>	47	1,1
<b>Barberà de la Conca</b>	5	0,1
<b>Bellvei</b>	50	1,1
<b>Bonastre</b>	5	0,1
<b>Bràfim</b>	26	0,6
<b>Cabra del Camp</b>	8	0,2
<b>Calafell</b>	367	8,4
<b>Comarruga<sup>3</sup></b>		4

<sup>2</sup> Todos los redondeos se han realizado por exceso para sobredimensionar el estudio de forma correcta.

## Estudio de implantación de una red celular GSM/GPRS

<b>Conesa</b>	2	0
<b>Constantí</b>	50	1
<b>Creixell</b>	60	1,4
<b>Cubelles</b>	249	5,7
<b>Cunit</b>	343	7,9
<b>El Catllar</b>	36	0,8
<b>El Milà</b>	11	0,3
<b>El Montmell</b>	4	0,1
<b>El Morell</b>	106	2,4
<b>El Pla de Santa Maria</b>	14	0,3
<b>El Pont d'Armentera</b>	6	0,1
<b>El Rourell</b>	38	0,9
<b>El Vendrell</b>	288	6,6
<b>Els Garidells</b>	16	0,4
<b>Els Pallaresos</b>	153	3,6
<b>Figuerola del Camp</b>	4	0,1
<b>L'Arboç</b>	95	2,2
<b>L'espluga de Francolí</b>	18	0,4
<b>La Bisbal del Penedès</b>	24	0,5
<b>La Gornal</b>	10	0,2
<b>La Masó</b>	18	0,4
<b>La Nou de Gaià</b>	27	0,6
<b>La Pobla de Mafumet</b>	58	1,3
<b>La Pobla de Montornès</b>	43	1
<b>La Riba</b>	21	0,5
<b>La Riera de Gaià</b>	35	0,8
<b>La Secuita</b>	17	0,4
<b>Llorenç del Penedès</b>	97	2,2
<b>Masllorenç</b>	19	0,4
<b>Montblanc</b>	22	0,5
<b>Montferri</b>	3	0,1
<b>Mont-rat</b>	2	0,1
<b>Nulles</b>	9	0,2
<b>Perafort</b>	20	0,5
<b>Pira</b>	15	0,3
<b>Pontons</b>	5	0,1
<b>Puigpelat</b>	20	0,5
<b>Querol</b>	2	0
<b>Renau</b>	3	0,1
<b>Roda de Barà</b>	83	1,9
<b>Rodonyà</b>	14	0,3
<b>Salomó</b>	9	0,2
<b>Sant Jaume dels Domenys</b>	20	0,5
<b>Santa Oliva</b>	88	2

<sup>3</sup> Pese a no aparecer como núcleo de población importante, se ha tenido en cuenta Comarruga como digno de mención en el estudio y se ha tenido en cuenta en el posterior análisis, ya que es un importante núcleo turístico. El criterio de tráfico otorgado ha sido el siguiente:

- Comarruga: 4 Erlangs/Km<sup>2</sup> (misma densidad de tráfico que Altafulla).

<b>Santes Creus (Aiguamúrcia)</b>	3	0,1
<b>Sarral</b>	8	0,2
<b>Tamarit<sup>4</sup></b>		0,2
<b>Tarragona</b>	617	14,2
<b>Torredembarra</b>	526	12,1
<b>Vallmoll</b>	21	0,5
<b>Valls</b>	116	2,7
<b>Vespella de Gaià</b>	5	0,1
<b>Vilabella</b>	11	0,3
<b>Vilabella</b>	11	0,2
<b>Vilallonga del Camp</b>	39	0,9
<b>Vila-rodona</b>	9	0,2
<b>Vilaverd</b>	9	0,2
<b>Vimbodí</b>	4	0,1

Tabla 3.8. Densidad total de nuestro operador en las poblaciones de estudio.

### 3.6 Planificación radio GSM

La planificación y el dimensionamiento del acceso radio debe ser tratada como un aspecto muy importante en el despliegue de una red móvil. Antes de empezar se ha realizado un esfuerzo en la definición del escenario. Mediante la herramienta *Atoll*, se ha obtenido la localización de los emplazamientos de la red, así como su configuración para garantizar los criterios de capacidad, cobertura y calidad de servicio en el área seleccionada. Una vez desplegada la red radio, la fase de optimización complementa las labores de planificación, comprobando que en todo momento la red está dando las mejores prestaciones posibles en función del tráfico ofrecido.

El proceso de planificación se puede dividir en tres fases:

1. Planificación inicial o de dimensionado.
2. Planificación con mayor nivel de detalle de la red.
3. Etapa de optimización.

El objetivo de la fase de dimensionado es la estimación del número aproximado de emplazamientos necesarios y su configuración para cumplir los requisitos de capacidad y cobertura en la zona de interés. Esta planificación inicial proporciona una rápida evaluación de los elementos de red y permite obtener una indicación a priori de los costes asociados y de la inversión necesaria.

Como soporte a esta fase, se requieren informaciones previas y unos cálculos previos como son:

- La elección de las antenas a usar (omnidireccional, bisectorial y trisectorial), explicadas en el *Apéndice 6.1*.

---

<sup>4</sup> Pese a no aparecer como núcleo de población importante, se ha tenido en cuenta Tamarit como digno de mención en el estudio y se ha tenido en cuenta en el posterior análisis, ya que es un importante núcleo turístico. El criterio de tráfico otorgado ha sido el siguiente:

- Tamarit: 0,2 Erlangs/Km<sup>2</sup> (zona de playas).

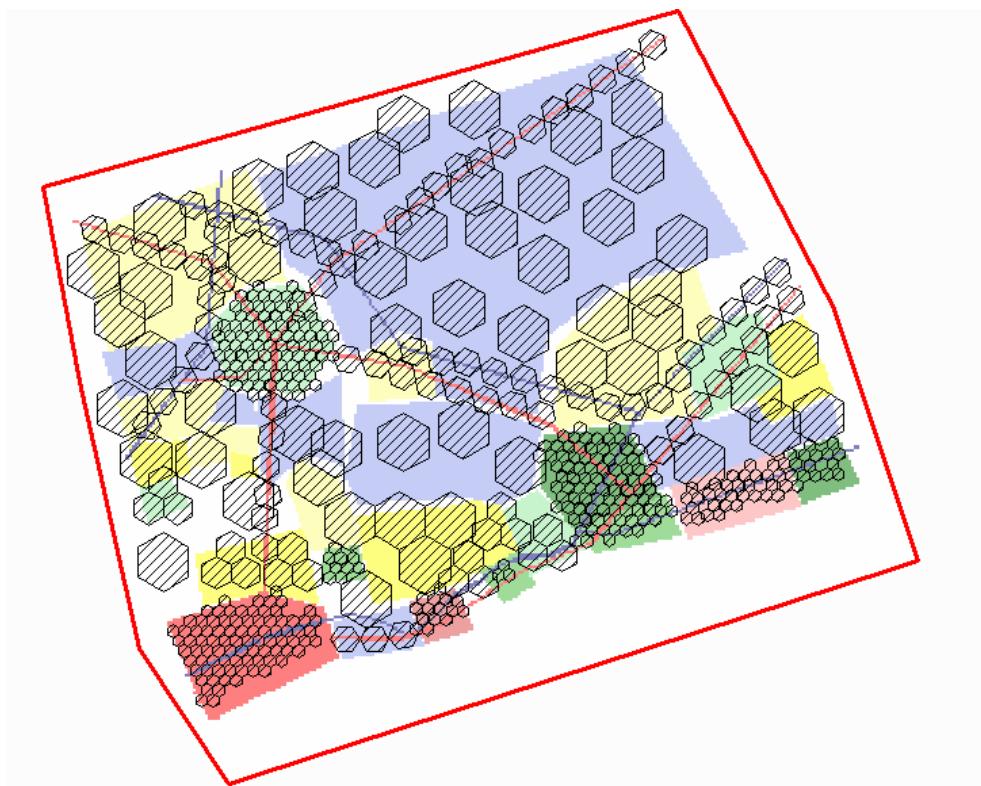
- Información sobre la distribución de usuarios para cada uno de los servicios, la densidad de tráfico y estimaciones de crecimiento anual de la demanda.
- Requisitos relativos a la calidad del servicio esperada (probabilidad de bloqueo y probabilidad de cobertura)
- Con los datos previos, se calculan los radios de coberturas usando el modelo de propagación de Okumura-Hata, en función del tráfico soportado por las celdas o mediante el balanceo del enlace.

Con esta información, se inicia la planificación detallada de la red, que tiene en cuenta la ubicación real de los emplazamientos, las condiciones de propagación y una distribución de los usuarios lo mas fidedigna posible. Para ello, se define el mapa de tráfico en *Atoll* en función de los estudios demográficos y se ubican las estaciones bases en el territorio con los datos de configuración explicados anteriormente:

- Trisectionales en zonas urbanas y suburbanas.
- Bisectoriales en vías de comunicación importantes (carreteras, vías de tren, etc.).
- Omnidireccionales en zonas rurales.

### 3.6.1 Planificación inicial

Así, la distribución de emplazamientos en el área de estudio puede observarse en la Figura 3.2.



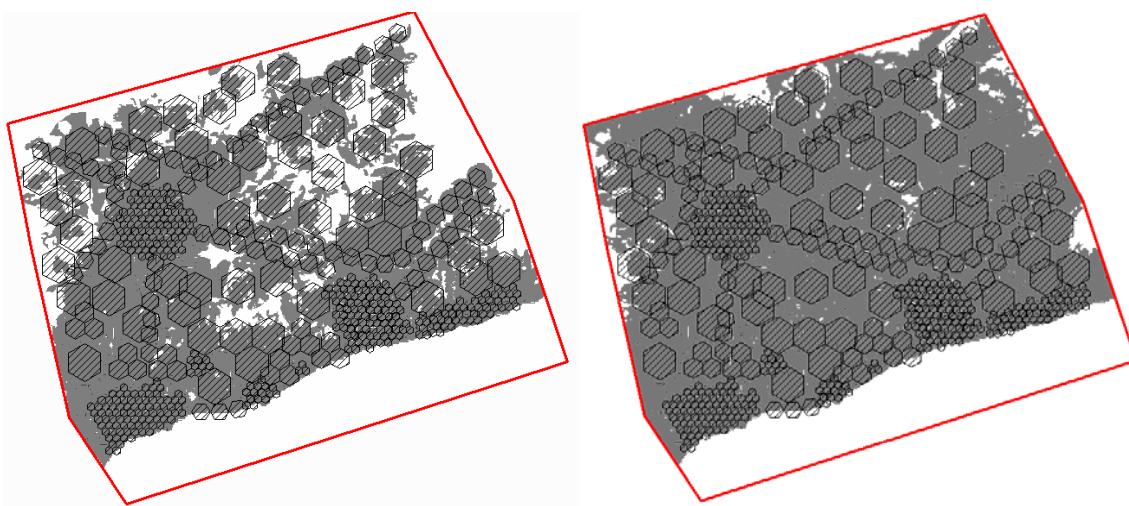
**Figura 3.2.** Distribución de emplazamientos de las BTS.

Una vez las estaciones base están situadas en la zona a cubrir, se analiza la cobertura mediante *Atoll*. Se crea un estudio de cobertura por transmisor con el umbral correspondiente a una sensibilidad de -75 dBm en zona urbana [-101(SM) + 11 (MF)]

+15 (atenuación de edificios)], y -90 dBm en zona rural [-101 (SM) + 11 (MF)]. Consideramos una antena móvil isotrópica con *adjacent channel protection level* de 18dB.

### 3.6.2 Optimización del sistema

A continuación se lleva a cabo una optimización de la red desde el punto de vista de cobertura, intentando conseguir la máxima cobertura con el menor índice de solapamiento. Para ello se cambian las ubicaciones de las antenas, situándolas en zonas más altas. En concreto, hay dos zonas delicadas, debido a la orografía del terreno (zona superior a la derecha y a la izquierda). Algunas ubicaciones en estas zonas no tienen cobertura, es inviable debido a que es una zona muy montañosa, pero se asegura que damos cobertura a las zonas con carreteras. El resultado final de cobertura en la zona de estudio urbano y rural puede observarse en las Figuras 3.3 y 3.4, respectivamente



**Figura 3.3.** Cobertura urbana.

**Figura 3.4.** Cobertura rural.

Una vez hecho esto, se pasa a dimensionar las diferentes estaciones base, distribuidas por el terreno estudiado, de manera que asignen el número de portadoras que el algoritmo de optimización de *Atoll* crea más conveniente. Llegados a este punto, se presentan dos estudios diferentes: uno realizado usando las 40 portadoras de las que se disponen como máximo según las especificaciones y un segundo estudio donde se intenta optimizar el sistema usando menos canales, concretamente 35.

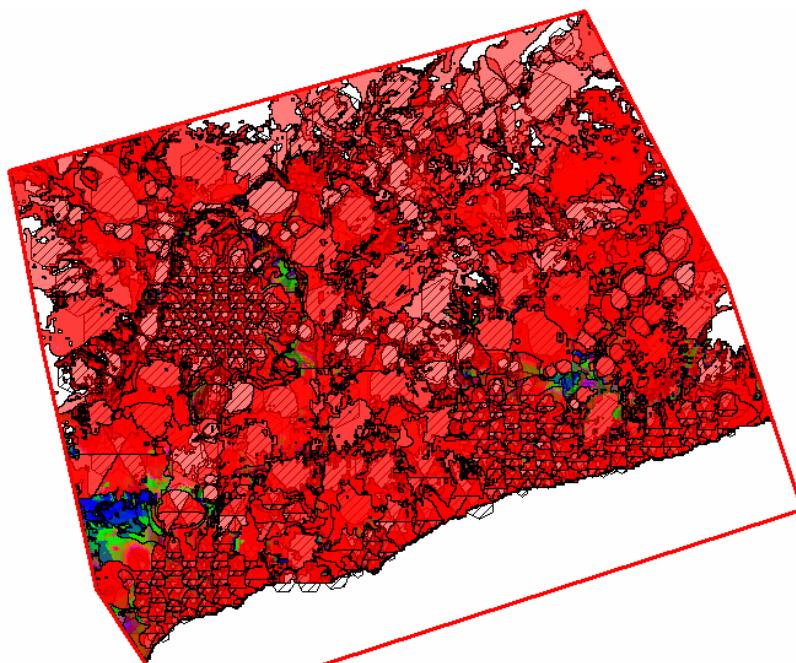
Una vez *Atoll* asigna el número de portadoras necesarias para cada antena o sector, se deben asignar las frecuencias, de manera que se intenten respetar los requisitos mínimos de C/I para portadoras BCCH y de tráfico. En este caso, se creyó conveniente un valor de 13 dB para las diferentes portadoras. También hay que tener en cuenta la separación mínima de las diferentes frecuencias dentro de un mismo transmisor, emplazamiento y entre celdas vecinas. Concretamente, los valores fijados son:

- Separación mínima de canales dentro de un sector: 3
- Separación mínima de canales en sectores contiguos: 2
- Separación mínima de canales entre celdas contiguas: 1.

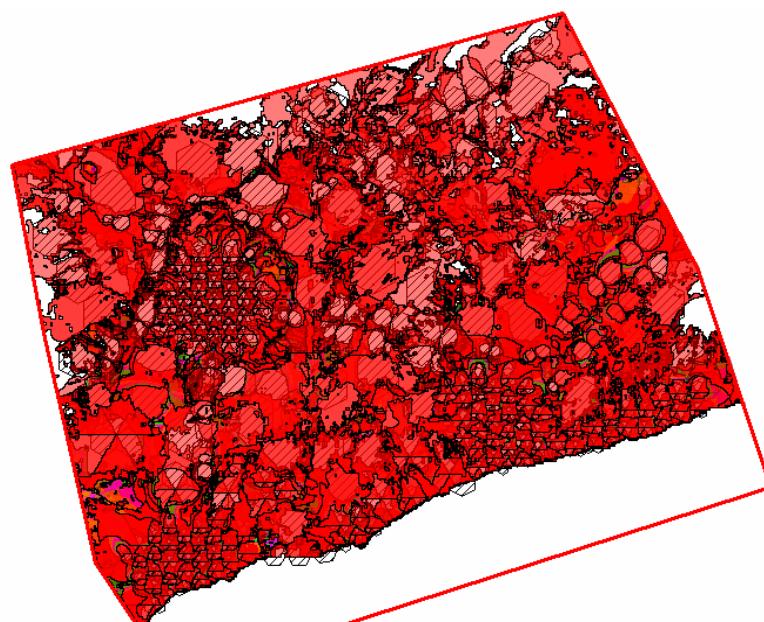
### 3.6.3 Estudios de interferencia

Una vez *Atoll* ha asignado físicamente la frecuencia a cada canal, se pueden realizar dos estudios por nivel de interferencia, uno que incluya solo los transmisores cocanal y otro que incluya únicamente los transmisores adyacentes. Como se ha comentado anteriormente, se han realizado sendos estudios tanto para el caso de 40 canales, como para el caso de 35 canales. El resultado de dichos estudios se presenta a continuación:

Caso 40 canales



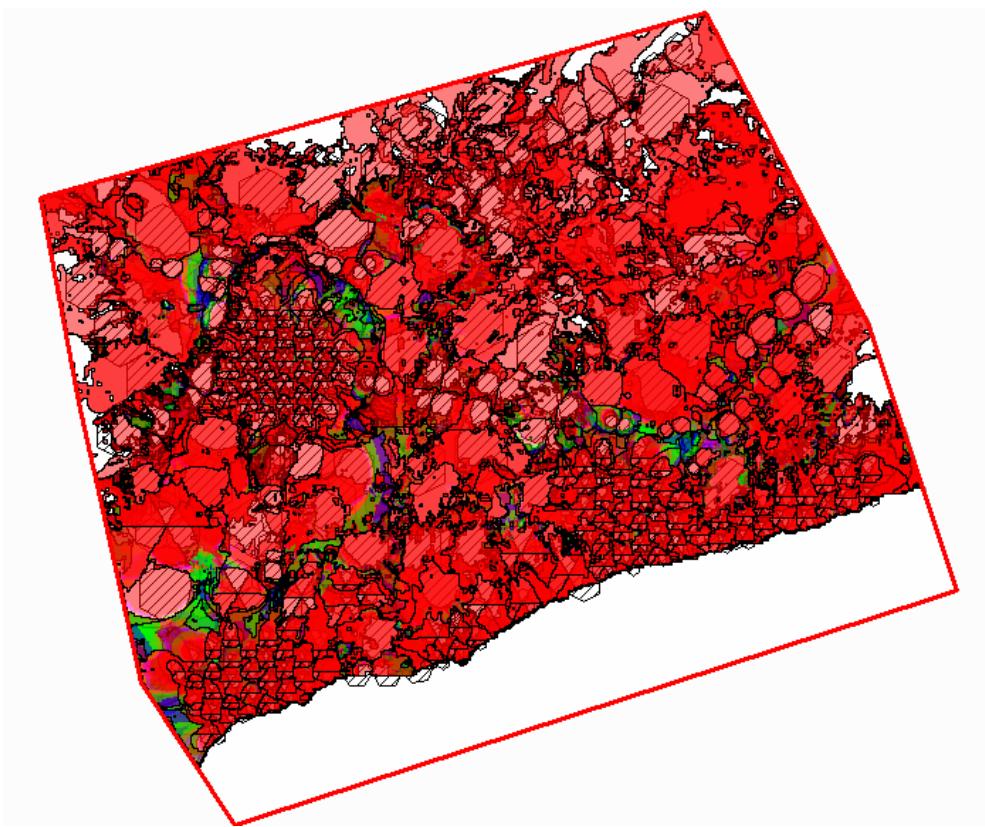
**Figura 3.5.** Coverage by interference level (cochannel).



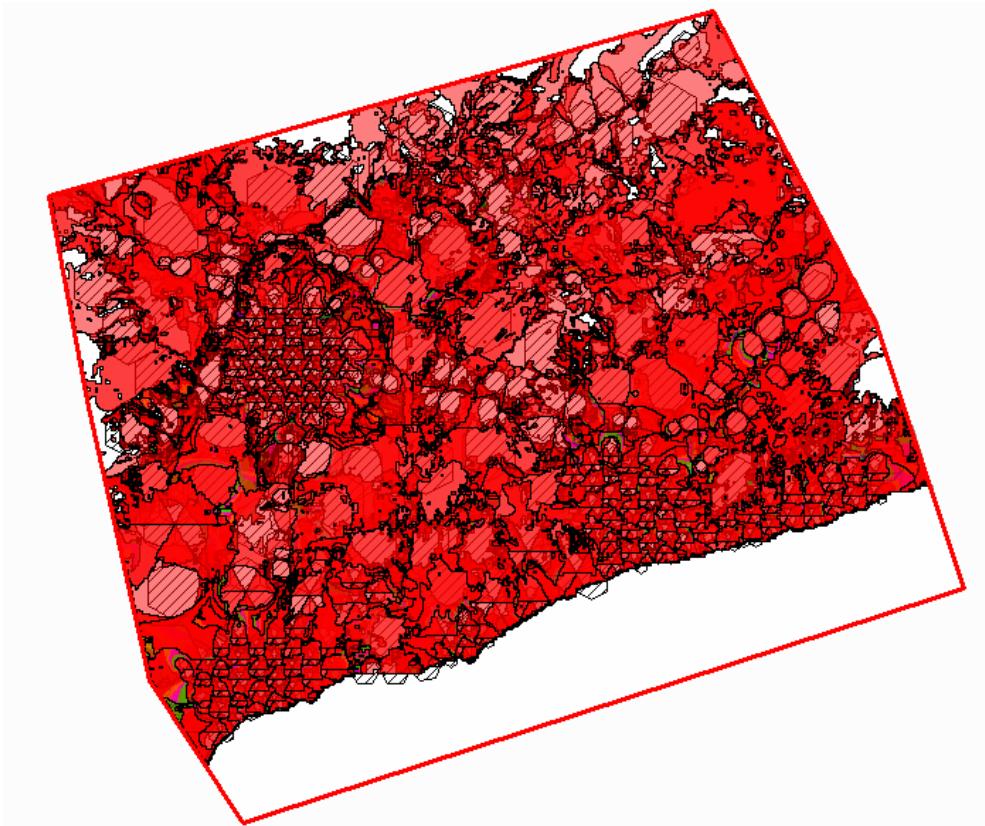
**Figura 3.6.** Coverage by interference level (adjacent).

Caso 35 canales

## Estudio de implantación de una red celular GSM/GPRS



**Figura 3.7.** Coverage by interference level (cochannel).



**Figura 3.8.** Coverage by interference level (adjacent).

Se puede observar que, aunque se disponga de menos canales, no se acrecenta la interferencia. Así pues, se elige como mejor opción la de 35 portadoras, por los aspectos obvios de optimización, tanto técnica como económica.

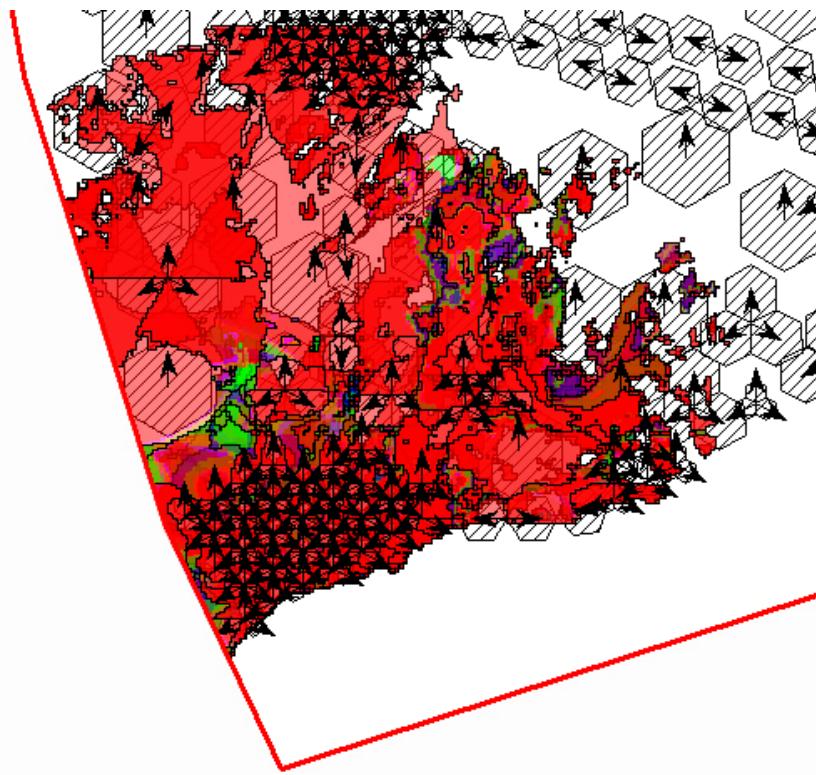
### **3.6.4 Posibles mejoras del sistema**

Ahora que se tiene totalmente diseñada la planificación radio GSM, es el momento de detectar posibles mejoras a realizar. La más obvia de todas corresponde a intentar mejorar la interferencia cocanal en ciertas zonas fácilmente detectables en la Figura 3.7 (con color verde y azul). Estas zonas corresponden a zonas limítrofes de ciudades y son achacables a la cantidad de portadoras necesarias en dichas áreas, en consecuencia a la cantidad de potencia transmitida por estas. Para mejorar estas interferencias, se intentan varias cosas, que a priori, serían todas válidas.

La primera de ellas fue intentar cambiar manualmente las frecuencias asignadas por *Atoll* de manera que no interfirieran con las frecuencias de estas zonas limítrofes. Con esta técnica no se consiguió ninguna mejora susceptible debido a que, como se ha comentado anteriormente, en zonas urbanas están presentes la gran mayoría de las frecuencias, y si se intenta mejorar una en concreto, este hecho afecta al resto.

También se planteó cambiar el azimut de las antenas, pero quedó visto que esta técnica solo es útil en zonas de difícil acceso debido a la orografía, no siendo este el caso. Aún así se intentó pero los resultados fueron inapreciables.

Como solución optima, se decidió finalmente bajar la potencia de las antenas transmisoras, de manera que el nivel de interferencia entre diferentes frecuencias bajase. Esta propuesta se aplicó en la zona de Tarragona (parte inferior izquierda del mapa) y es extrapolable al resto de zonas conflictivas. Así pues, se bajó la PIRE necesaria en estas zonas urbanas de 56 dBm a 50 dBm y se comprobó que la cobertura en esta zona en concreto no se veía afectada por este cambio. Efectivamente, a pesar del cambio, se sigue dando cobertura a la práctica totalidad del área de estudio sin degradar la QoS. El resultado de la optimización del estudio por nivel de interferencia cocanal en esta zona se puede observar en la Figura 3.9, donde se ve que las mejoras son evidentes.



**Figura 3.9.** Coverage by interference level (cochannel) optimizada.

En los *Apéndices 6.2 y 6.3* se incluyen los resultados obtenidos para el caso de 35 portadoras.

### 3.6.5 Conclusiones del estudio de planificación radio GSM

Respetando las restricciones de diseño del modelo propuesto inicialmente y gracias a la flexibilidad otorgada a nuestro favor se ha comprobado que se consigue mejorar el factor económico y de planificación previsto inicialmente. Gracias a las medidas seguidas y a las soluciones que se han detallado, se consigue respetar al máximo el diseño de la red y proveer a esta de suficientes recursos que se utilizarán en un futuro próximo para la expansión, mejora o descongestión de la misma. Se entiende que la configuración perfecta no existe, pero si una solución óptima que aúne calidad, sencillez, previsión y sobretodo baratura económica.

## 3.7 Radio de cobertura

En la planificación del sistema GSM es importante el cálculo del área de cobertura de cada una de las estaciones base que forman la red, es decir, la región en la que es posible la conexión vía radio entre la red y el terminal móvil. Para el cálculo de estas áreas se recurre a un análisis del balance de potencia que existe entre la Estación Base y el terminal. El radio teórico de la célula vendrá dado por la distancia máxima ( $R_{\max}$ ) para la cual la potencia recibida tanto en el terminal como en la estación base son mayores que un cierto umbral llamado sensibilidad. Una vez tengamos este radio teórico, se tendrá que calcular el radio necesario para dar la calidad de servicio deseada en función de la densidad de tráfico; el más restrictivo de los dos será el que tendremos en cuenta.

### 3.7.1 Balance de potencias

Se calcula la potencia transmitida por la base:

$$P_{TBS} = P_{TM} + G_{div} + P_{SM} - P_{SB} \quad (3.1)$$

$$P_{TM} = 33 \text{ dBm}$$

$$G_{div} = 5 \text{ dB}$$

$$P_{SM} = -101 \text{ dB}$$

$$P_{SB} = -105 \text{ dB}$$

$$P_{TBS} = 42 \text{ dBm}$$

A continuación se calcula el máximo Path Loss:

$$L_{p,max} = P_{TM} + G_{BS} + G_M - L_a + G_{div} - P_{SB} - MF \quad (3.2)$$

$$P_{TM} = 33 \text{ dBm}$$

$$\text{Omnidireccional: } G_{BS} = 11,25 \text{ dB}$$

$$\text{Bisectorial: } G_{BS} = 15,24 \text{ dB}$$

$$\text{Trisectorial: } G_{BS} = 14 \text{ dB}$$

$$G_M = 0$$

$L_a = 20 \text{ dB}$  (Perdidas de conectores + Atenuación producida por el usuario + Atenuación por penetración en edificios)

$$G_{div} = 5 \text{ dB}$$

$$P_{SB} = -105 \text{ dB}$$

$$MF = 11 \text{ dB}$$

$$\text{Omnidireccional} \rightarrow L_{p,max} = 123,25 \text{ dB}$$

$$\text{Bisectorial} \rightarrow L_{p,max} = 127,24 \text{ dB}$$

$$\text{Trisectorial} \rightarrow L_{p,max} = 126 \text{ dB}$$

Se calcula el radio de cobertura con el modelo de propagación de Okumura-Hata para los tres tipos de antena seleccionados a partir de la siguiente formula:

$$\log d = \frac{L_b - 69,55 - 26,16 \cdot \log(f) + 13,82 \cdot \log(h_t) + a(h_m)}{44,9 - 6,55 \cdot \log(h_t)} \quad (3.3)$$

$$f = 900 \text{ MHz} ; h_t = 30 \text{ m} ; a(h_m = 1,5) = 0$$

*Antena Omnidireccional*

Para zona urbana se tiene que  $L_b = L_p$ , así que se obtiene de radio de cobertura:

## Estudio de implantación de una red celular GSM/GPRS

Radio de cobertura = 0,75155 Km.

Para zona suburbana (edificios de 3 o 4 plantas y calles anchas) se tiene que  $L_{bs} = L_b - 2 \cdot \log^2(f / 28) - 5,4$ , por lo tanto  $L_b = 133,193dB$  y el radio de cobertura:

Radio de cobertura = 1,84123 Km.

Para zona rural (edificios de 3 o 4 plantas y calles anchas) se tiene que  $L_{bs} = L_b - 4,78 \cdot \log^2(f) + 18,33 \cdot \log(f) - 40,94$ , por lo tanto  $L_b = 151,756dB$  y el radio de cobertura:

Radio de cobertura = 9,81035 Km.

### *Antena Bisectorial*

Para zona urbana se tiene que  $L_b = L_p$ , así que obtenemos de radio de cobertura:

Radio de cobertura = 1,07678 Km.

Para zona suburbana (edificios de 3 o 4 plantas y calles anchas) se tiene que  $L_{bs} = L_b - 2 \cdot \log^2(f / 28) - 5,4$ , por lo tanto  $L_b = 137,183dB$  y el radio de cobertura:

Radio de cobertura = 2,638 Km.

Para zona rural (edificios de 3 o 4 plantas y calles anchas) se tiene que  $L_{bs} = L_b - 4,78 \cdot \log^2(f) + 18,33 \cdot \log(f) - 40,94$ , por lo tanto  $L_b = 155,746dB$  y el radio de cobertura:

Radio de cobertura = 14,0556 Km.

### *Antena Trisectorial*

Para zona urbana tenemos que  $L_b = L_p$ , así que se obtiene de radio de cobertura:

Radio de cobertura = 0,96293 Km.

Para zona suburbana (edificios de 3 o 4 plantas y calles anchas) se tiene que  $L_{bs} = L_b - 2 \cdot \log^2(f / 28) - 5,4$ , por lo tanto  $L_b = 135,943dB$  y el radio de cobertura:

Radio de cobertura = 2,35907 Km.

Para zona rural (edificios de 3 o 4 plantas y calles anchas) se tiene que  $L_{bs} = L_b - 4,78 \cdot \log^2(f) + 18,33 \cdot \log(f) - 40,94$ , por lo tanto  $L_b = 154,506dB$  y el radio de cobertura:

Radio de cobertura = 12,5695 Km.

### **3.7.2 Radio de cobertura en función de la QoS**

Para el dimensionamiento es necesario conocer la previsión de tráfico por celda, así como la densidad de tráfico. A partir de un análisis poblacional estos valores han sido previamente estimados. A partir de estos valores y de la probabilidad de bloqueo requerida para nuestro sistema, se calcula el radio máximo de cobertura en función del número de canales que pueda tener una celda. El valor del radio que se escogerá para la planificación en *Atoll* será el mínimo entre el calculado en función de la QoS y el calculado mediante el balance de potencias.

Para entorno urbano, en el que se situarán antenas trisectionales, el número de portadoras máxima por sector será de 4. A partir de estos datos, juntamente con la probabilidad de bloqueo, se encuentran los Erlangs por sector. Con la fórmula del cálculo del radio:

$$R = \sqrt{\frac{m_1 \cdot n_s}{\pi \cdot A}}, \quad (3.4)$$

Donde  $m_1$  son los Erlangs por sector,  $n_s$  son el numero de sectores, y  $A$  es el trafico por  $km^2$  estimado.

En Tarragona se estima un trafico de 14 Erlangs/ $km^2$  y se obtiene un radio de 1,17 km. Por lo tanto, en zona urbana, el radio de celda más restrictivo es el calculado a partir del balance de potencias  $\rightarrow R = 0,96293km$ .

En entorno suburbano se tiene un trafico máximo de 2,5 Erlangs/ $km^2$  y suponiendo dos portadoras por sector en antenas trisectionales, se obtiene como resultado un radio de aproximadamente 2 km. Por lo tanto, en zona suburbana, el radio de celda más restrictivo es el calculado ahora.

En entorno rural se tiene un trafico máximo de 0,2 Erlangs/ $km^2$  y suponiendo una portadora por antena omnidireccional, se obtiene como resultado un radio aproximado de 2 Km., que en este caso es el más restrictivo.

## **3.8 Dimensionado de la red GSM/GPRS: Conceptos teóricos**

### **3.8.1 Introducción**

Una vez se han obtenido los resultados del estudio de coberturas para el presente escenario, es la hora de estudiar la carga de señalización implícita. Se debe estimar la carga de señalización entre elementos de red, la cadencia con la que lo hacen y la longitud en bits de cada uno de los mensajes. Se debe de tener en cuenta también que el dimensionado y la planificación de red implican el uso de modelos. Para aplicar un modelo se deben realizar hipótesis y conocer el alcance de las mismas en los resultados obtenidos.

El sistema GSM/GPRS es -son, en realidad- un estándar muy complejo con gran cantidad de opciones. En la práctica, para este proyecto, por limitaciones en las implementaciones sólo se actúan sobre algunas de las opciones. Sería con la revisión de los productos comerciales, entre otros, como se podrían presentar estas particularizaciones de la implementación y las dimensiones prácticas de los equipos.

### **3.8.2 Parámetros generales**

En este apartado se especifican los parámetros generales que servirán de base para el diseño de las redes.

### **3.8.2.1 Datos de población bajo la celda**

Los datos de la población bajo el área de cobertura de una celda son los datos obtenidos gracias a la herramienta de planificación *Atoll*, que se detallan a continuación:

			310	503	310				
1320	1320	1320	1320	503	310				
1320	1320	1320	1320	2320	1320				
1320	1320	1320	1320	2320					
2320	2320	2320	2320	2320	2320	2320			
1320	1320	1320	1320	1320	1320	1320	2961	2961	2961

**Tabla 3.9.** Población bajo celda en el área de Tarragona.

Cabe destacar que estos datos son aproximaciones teóricas que realiza el programa, ya que para conocer con certeza los datos de población bajo el área de cada celda deberíamos poder implementar el sistema de forma real.

Se centrará a partir de ahora el estudio de dimensionado en el área de Tarragona, ya que tanto por su peso poblacional como por la redundancia de los cálculos es suficiente para la consecución del estudio.

Los parámetros a evaluar para GSM se detallan en la Tabla 3.10:

Parámetro	Valor
Penetración en el mercado	97%
Cuota de mercado de nuevo operador	25%
Movilidad de los usuarios	Modelo propio

**Tabla 3.10.** Parámetros GSM.

### **3.8.2.2 Datos de tráfico por servicio**

Determinados los aspectos genéricos del comportamiento de la población el siguiente paso consiste en determinar para el conjunto de abonados del operador móvil el conjunto de servicios que se desean ofrecer. Se parte de diferentes datos y servicios

para que se cree un entorno suficientemente flexible para contemplar la posibilidad de tener diferentes escenarios con datos de partida de distinta índole.

Como primer paso, se deberá especificar el tráfico por servicio. Para GSM los servicios principales son el tráfico de voz y los mensajes cortos (SMS); para ellos habrá que especificar los parámetros más importantes que sirven para caracterizarlos. Para el primero de ellos uno de los parámetros más importantes será el considerar el tráfico medio realizado por un usuario en la Hora Cargada<sup>5</sup> y el porcentaje de llamadas originadas por un usuario móvil con relación al total de llamadas. Para el servicio SMS habrá que considerar como parámetro principal la cantidad de SMS enviados/recibidos por un abonado.

Para el servicio GPRS, que básicamente está dedicado al tráfico de datos, se consideran dos servicios como los más destacados. Estos son el tráfico de datos WAP y los mensajes multimedia MMS. El servicio WAP se considera que genera un tráfico a ráfagas, por lo que habrá un efecto de sobrecarga en la señalización debido a distintas peticiones realizadas en cada ráfaga. Todos los parámetros son:

Servicio	Parámetro	Valor
<b>Voz</b>	<b>Penetración del servicio</b>	<b>100 %</b>
	Tráfico voz por usuario	0.023 Erl.
	Duración media de la llamada	90 seg.
	Relación de llamadas entrantes respecto al total	40 %
<b>SMS</b>	<b>Penetración del servicio</b>	<b>100 %</b>
	SMS por usuario y mes	30 SMS
	Relación de SMS entrantes respecto al total	50 %
<b>MMS</b>	<b>Penetración del servicio</b>	<b>50 %</b>
	Relación de MMS entrantes respecto al total	50 %
<b>WAP</b>	Capacidad de un MMS	30 Kbytes
	<b>Penetración del servicio</b>	<b>30 %</b>
	Duración de una sesión	1 hora
	Número de sesiones por día y abonado	3
	Número de paquetes por sesión	50
	Modelo de tráfico a ráfagas de longitud	2,1 paquetes
	Factor de asimetría	8 en DL y 3 en UL
	Longitud media de paquete	500 bytes

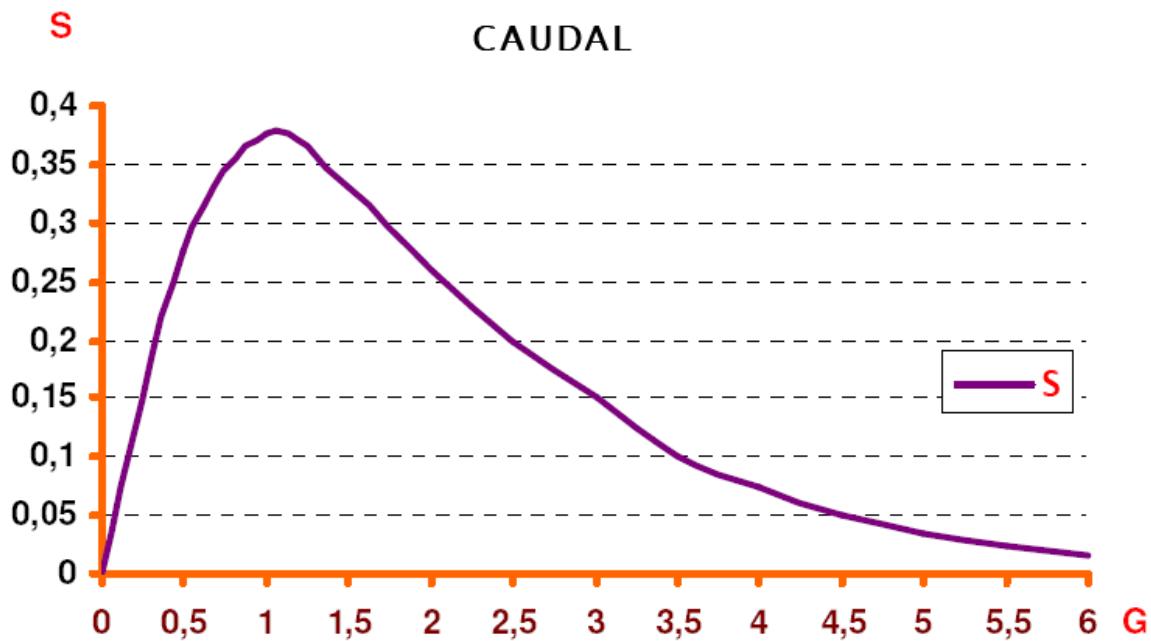
Tabla 3.11. Parámetros de tráfico GSM/GPRS.

### 3.8.2.3 Acceso aleatorio a móviles en GSM/GPRS

Un primer criterio es limitar la utilización del canal RACH. En teoría un acceso aleatorio ALOHA ranurado puede ofrecer un caudal efectivo teórico máximo del **36 %**. Considerando que el número de usuarios de la celda es limitado y que el sistema GSM incorpora mecanismos de estabilización, con una utilización máxima de diseño del **20 %** resulta razonable. Esto significa que de un hipotético canal de 100 Kbps sólo se puede usar de forma efectiva en un 20 %, es decir, 20 Kbps.

---

<sup>5</sup> Se define la Hora Cargada o Busy Tour como el período continuo de una hora de duración comprendido enteramente en el intervalo de tiempo en cuestión, en que el volumen de tráfico o el número de intentos de llamada son máximos.



Si en una primera tentativa el usuario móvil no consigue un canal de señalización en el interfaz radio, se debe utilizar un procedimiento de back-off que permita posibles reintentos. Estos reintentos son aleatorios y por consiguiente de esta forma se minimizan las nuevas colisiones entre idénticos terminales. Para garantizar la estabilidad del mecanismo de acceso, el sistema GSM limita el número de accesos. En este caso se va a limitar el número de reintentos a un máximo de 3 en el canal RACH.

#### 3.8.2.4 Canales de control

Una vez la petición de un determinado servicio ha llegado a la red, esta contesta asignando un canal SDCCH para que el terminal móvil siga la comunicación. Se puede tratar de una localización, una llamada, un mensaje corto, attach/detach. Los canales de control se usan durante un tiempo pequeño (del orden de segundos, 4 segundos en nuestro caso) y requieren pocos recursos radio. Para asegurar que el sistema no consume todos los canales de control se dimensionan de forma holgada y por ello se usa una probabilidad de bloque muy restrictiva (0,001). Algunos modelos consideran la asignación de los canales SDCCH con un mecanismo de pérdida (se usa Erlang-B), como uno de espera (se usa Erlang-C) o con pérdidas y repetición. En el presente proyecto se asumirá un modelo de pérdidas puro.

#### 3.8.2.5 Canales de búsqueda de abonado móvil

Para el dimensionado de los canales de paging se asume que el tiempo máximo de envío de un mensaje de paging en la red es de 2 segundos. Se sabe además que este tipo de mensajes usan una disciplina de espera y que el número de subcanales de paging puede variar entre 8 y 12.

El tiempo medio entre repeticiones de un mensaje de paging en caso de producirse un error es de 3 segundos y una MSC cualquiera de la red a dimensionar retransmitirá

una petición de búsqueda hasta un máximo de **3** veces con una probabilidad de éxito del **90 %.**

Por otro lado, en cada uno de los mensajes de búsqueda enviados por la red hacia los móviles se utilizará el TMSI. De esta forma, al ser el TMSI mucho menor en longitud que el IMSI, se podrá señalizar con un único mensaje hasta a **4** móviles simultáneamente.

### **3.8.2.6 Attach/Detach de los terminales móviles**

Se considera que antes de realizar cualquier procedimiento el terminal móvil tiene que registrarse en la red. Esto solo tiene lugar en el procedimiento de attach, con ello ya queda validado para siguientes accesos. Además se debe suponer que el terminal móvil por día realiza **1,1** attach/detach con un período de utilización del terminal diario de **12** horas.

### **3.8.2.7 Localización de la posición del terminal móvil**

Se considera que los terminales móviles además de las actualizaciones de localización por cambio de área de localización realizan actualizaciones periódicas para informar al sistema en todo momento de su estado. De esta forma se ha asumido que los terminales móviles de este operador actualizan periódicamente su posición cada 2 horas.

### **3.8.2.8 Interfaz radio GPRS**

El servicio GPRS, dado que no está siendo un sistema masivo de uso por los clientes móviles, utilizará para la señalización en el interfaz radio los mismos canales que el sistema GSM, añadiéndose recursos extra en caso necesario. Ahora bien, nunca se colocará una portadora dedicada exclusiva a GPRS.

Además se ha decidido que no se realizarán actualizaciones de software/hardware en las estaciones base, en consecuencia, los códigos que los terminales móviles podrán soportar no irán más allá del **CS-2**. Para evitar saturación en las portadoras el algoritmo de gestión de recursos radio asignará como máximo a un terminal móvil **4** TS dentro de una portadora.

### **3.8.2.9 Calidad en el interfaz radio**

Como es conocido, los recursos radio son escasos y cada operador debe establecer un plan de frecuencias lo más óptimo posible para asegurar una calidad de servicio elevada en toda su área de influencia. En este interfaz el bloqueo de una llamada por falta de canal asociado a tráfico TCH o PDCH debe ser inferior al **2 %.**

#### *Calidad enlaces internos de red*

Una vez dentro de la red fija del sistema GSM se deben dimensionar los enlaces de unión entre las GMSC y la red telefónica convencional. Para este cálculo asumimos que el bloqueo máximo tolerado en este caso es del **0,5 %.**

#### *QoS en la red de transmisión GPRS*

Para el dimensionado de la red de paquetes sólo se considerará el retardo en el canal de bajada del sistema GPRS ya que es de esperar que este sea la fuente principal de retardo en el tráfico de paquetes. Para el presente diseño se supondrá que como máximo un paquete tiene un tiempo máximo de tránsito por la red GPRS de **1** segundo.

### *Retransmisiones*

Así como en el sistema GSM no son posibles las retransmisiones ya que se trata de un servicio de voz en tiempo real, en GPRS al ser dedicado principalmente a datos si existe la posibilidad de retransmisión de paquetes, tramas o bloques. Por tanto se tendrán en cuenta el efecto de las retransmisiones con los siguientes valores:

Parámetro	Valor
Número máximo de retransmisiones de una trama LLC	3
Número máximo de retransmisiones de una trama RLC	3
Tasa de error por radiobloque	10 %

Tabla 3.12. Parámetros de retransmisión GPRS.

### *QoS en la red FR*

En la estandarización de GPRS se definió que la técnica de transmisión utilizada entre la PCU y el nodo SGSN era sobre Frame Relay. Esta es una red de conmutación de paquetes orientada a conexión; por tanto para que la comunicación sea posible es necesario que antes se establezca un circuito virtual entre dos nodos de la red. Los circuitos virtuales pueden ser permanentes o conmutados y se identifican mediante los denominados DLCI (*Data Link Connection Identifier*) que desempeñan en Frame Relay un papel similar a los VPI/VCI (*Virtual Path Identifier / Virtual Channel Identifier*) en ATM. Para este diseño se supondrá que como máximo un paquete tiene un tiempo máximo de tránsito por la red GPRS de **0,5** segundos.

### **3.8.3 Diseño de la red GSM**

El primer paso en el diseño de la red GSM consiste en la definición de un modelo de demanda correspondiente al tráfico de usuario que implicará a su señalización asociada. Para el tráfico de usuario se deben considerar las duraciones de las llamadas en modo circuito y la cantidad de datos transferidos en modo paquete. Para el modelo de demanda de señalización se deben considerar la carga del sistema debido a las invocaciones del servicio (establecimiento de llamada, liberación, etc.) o por gestión de la movilidad (traspaso, localización, etc.) entre otros mecanismos.

Con la caracterización del usuario se procede a la definición del modelo de demanda de la celda. Esta se calculará como la superposición de los modelos de demanda de los usuarios que se puedan encontrar en la celda. Debe recordarse que tanto la posición, así como el número de estaciones y el número de usuarios bajo cada estación son ya conocidos gracias al estudio previo.

#### **3.8.3.1 Dimensionado del Interfaz Radio**

El dimensionado del interfaz radio es una actividad fundamental en toda red GSM por su gran influencia en la consecución de objetivos tales como cobertura, capacidad y

## Estudio de implantación de una red celular GSM/GPRS

calidad de servicio para satisfacer a sus clientes. En este apartado no se pretende realizar un estudio detallado sobre la planificación radio sino que se pretende centrarse tan solo en el dimensionado de los recursos de voz y señalización necesarios en este interfaz.

### *Dimensionado de los canales de señalización*

Para dimensionar los canales de señalización en el interfaz radio hay que tener en cuenta la Figura 3.11, donde se presenta una descripción detallada de los diferentes bloques que forman una multitrama y su estructuración. Están divididos según se trate de una estructura de la multitrama en modo combinado o no.

Estructura MF51	BS_AG_BLKRES	Nº PAGING BLOCKS por MF51	BLOQUES RACH	BLOQUES SDCCH	BLOQUES PAGING
<b>No Combinada</b>					
	0	9	B0,B1...B50	0	B0, B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8
	1	8	B0,B1...B50	0	B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8
	2	7	B0,B1...B50	0	B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8
	3	6	B0,B1...B50	0	B3, B4, B5, B6, B7, B8
	4	5	B0,B1...B50	0	B4, B5, B6, B7, B8
	5	4	B0,B1...B50	0	B5, B6, B7, B8
	6	3	B0,B1...B50	0	B6, B7, B8
	7	2	B0,B1...B50	0	B7, B8
<b>Combinada</b>					
	0	3	B4,B5,B14,B15 ... B36,B45,B46	B0,B1,B2,B3	B0, B1, B2
	1	2	B4,B5,B14,B15 ... B36,B45,B46	B0,B1,B2,B3	B1, B2
	2	1	B4,B5,B14,B15 ... B36,B45,B46	B0,B1,B2,B3	B2
<b>Multitrama de canales de señalización dedicados</b>					
					B0,B1 ... B7

Figura 3.11. Estructuras de Multitrama.

Para el cálculo de la demanda de señalización se considera la carga del sistema debido a las invocaciones o procedimientos del servicio GSM (establecimientos de llamada, liberaciones, envío de SMS, recepción, etc.) y por la gestión de la movilidad (traspasos, localizaciones, etc.) para cada tipo de usuario.

Como es conocido los canales lógicos se clasifican en dos grandes grupos: canales comunes y canales dedicados. Los canales comunes son aquellos que transmiten información de señalización común a todos los móviles que se encuentran localizados en una determinada celda. Por su parte, los canales dedicados son aquellos que transmiten información correspondiente a una conexión establecida entre una estación móvil y la red, es decir, son canales punto a punto.

Lo primero que hay que hacer es evaluar las diferentes combinaciones de canales comunes y dedicados de señalización mediante las posibles estructuras de multitrama. Se tienen únicamente dos posibilidades:

- Modo combinado: En la multitrama de señalización común se multiplexan los canales BCCH, FCCH, SCH, PCH, AGCH y SDCCH/4.
- Modo no combinado: En la multitrama se multiplexan sólo los canales comunes y se multiplexa en otros canales la señalización dedicada en modo SDCCH/8.

Un canal completo SDCCH/8 señala o puede atender a 8 terminales móviles simultáneamente y un SDCCH/4 a 4 terminales móviles en la multitrama de señalización combinada.

El grupo de paging viene determinado por la asignación de un bloque de paging particular dentro de la multitrama de señalización. En modo combinado cada multitrama contiene **3** bloques de paging y en el modo no combinado **9** bloques de paging.

Los dos principales parámetros que determinan el número de grupos de paging por celda son los siguientes:

- AGBLK: Determina si se reserva o no un bloque de paging por multitrama para el canal AGCH. Si AGBLK=0 no se reserva, en caso contrario si que se reserva. Si se trata del modo no combinado se pueden reservar hasta 7 y si es en modo combinado como máximo son 2.
- MFRSM: Es el período de multitrama y define el intervalo de transmisión de los mensajes de paging para un mismo grupo de paging. Por ejemplo, si MFRSM=9, el intervalo de transmisión de los mensajes de paging para un grupo de paging es igual a  $9 \times 235,4$  mseg.

Existe una relación directa entre AGBLK, MFRSM y el número de grupos de paging que es la siguiente para los diferentes modos:

- Modo combinado: Número de grupos de paging =  $(3 - AGBLK) * MFRMS$ .
- Modo no combinado: Número de grupos de paging =  $(3 - AGBLK) * MFRMS$ .

El dimensionado de las áreas de localización es el resultado de un compromiso entre la cantidad de mensajes de búsqueda en el área de localización y la cantidad de localizaciones que los abonados deben realizar al cruzar la frontera del área de localización. En el diseño, el operador debe valorar su coste para una localización y para una búsqueda. En función de la movilidad de los abonados y de las llamadas que reciban se puede estimar el tamaño del área de localización. Para poder percibir este compromiso se ha pretendido proponer una configuración de áreas de localización y se ha estimado, para cada caso, la cantidad de localizaciones y pagings. Obtenidos unos valores razonables se ha utilizado una de las configuraciones posibles, detallada más adelante.

Para obtener la mejor solución en el dimensionado de las áreas de localización hay que minimizar la siguiente función de coste por área de localización:

$$C = A * \text{Carga\_localización} + B * \text{Carga\_paging} \quad (3.5)$$

En donde los coeficientes **A** y **B** tienen la misión de ponderar las componentes de la función de coste dependiendo del tiempo de ocupación de los recursos de la red fija en cada proceso, paging y localización y de la importancia relativa de ambos:

- La carga de señalización en la red que implica un procedimiento de location update es bastante superior a la que genera un proceso de paging.
- El procedimiento de location update implica realizar una modificación en la base de datos del HLR, mientras que la búsqueda únicamente implica una consulta.

Así pues, con los siguientes datos se debe proporcionar una relación entre **A** y **B** para ponderar las componentes de la función de coste que se pretende minimizar.

## Estudio de implantación de una red celular GSM/GPRS

Posteriormente se deben calcular las diferentes tasas de cada uno de los mensajes de señalización para decidir cual de las estructuras presentadas anteriormente es la más adecuada para la configuración de cada una de las BTS de este estudio. Las tasas se pueden dividir en tres grandes grupos:

- Señalización necesaria para el establecimiento y liberación de llamadas, que utiliza los canales RACH, AGCH y SDCCH.
- Señalización asociada a las funciones de movilidad que hace uso de los anteriores y además del PCH.
- Señalización para los SMS originados y terminados en el MS; RACH y SDCCH.

En el primer grupo se consideran las siguientes tasas de mensajes de señalización por usuario para las invocaciones de servicio que a continuación se describen:

- Conexión o desconexión GSM (IMSI Attach/Detach).
- Llamadas originadas en la estación móvil.
- Llamadas terminadas en la estación móvil.

En el segundo grupo de señalización asociada entre las funciones de movilidad se tiene:

- Actualización periódica de la localización del terminal móvil.
- Actualización por traspasos.
- Avisos de mensajes de paging.

Finalmente para el tercer grupo se tienen en cuenta las siguientes tasas:

- SMS originados en la estación móvil.
- SMS terminados en la estación móvil.

### *Dimensionado de los canales de tráfico*

Para el cálculo del número de canales de tráfico (TCH) en el interfaz radio se tiene que considerar el tráfico generado por todos los usuarios que se encuentren dentro del área de cobertura de las BTS de nuestro diseño. Para ello, se debe calcular el tráfico total generado por todos los abonados en un determinado sector y posteriormente, mediante el uso de Erlang B, calcular el número de TS dedicados en el interfaz radio a TCH para una determinada probabilidad de bloqueo.

### *Número de portadoras*

Con los datos de los dos apartados anteriores, es decir, el número de canales dedicados a tráfico junto con el número de canales dedicados a señalización se debe calcular para cada uno de los sectores de las diferentes BTS del diseño el número de portadoras o TRX necesarios. Para ello se recuerda que cada TRX son **8** TS en el interfaz radio.

#### *Dimensionado del interfaz Abis*

El dimensionado del interfaz Abis depende del suministrador que se escoja. Por lo tanto todo lo que se exponga a continuación es meramente informativo de cómo debería procederse. Tanto este dimensionado como el resto que se detallan a continuación no son de la índole de este proyecto y por tanto no se han ejecutado.

La interfaz física del interfaz Abis se realiza a través de circuitos canalizados de 64 Kbps, ya sean E1 o nx64 Kbps. En este interfaz cada transmisor precisa de 2 TS de 64 Kbps para tráfico de usuario. Para la señalización de este interfaz se pueden implementar dos estrategias: **sin concentración LAPD** (cada portadora/TRX necesita un TS adicional de 64 Kbps para señalización) o **con concentración LAPD** (un TS de 64 está compartido por 4 portadoras/TRX).

En una red GSM, el coste económico de este interfaz es uno de los más importantes, por lo que desde el punto de vista de ahorro económico, la solución óptima sería la de hacer cadenas de largas de estaciones base. Así mismo y desde el punto de vista de robustez, lo óptimo sería hacer una configuración en estrella de todas las estaciones base hacia la BSC, así una caída de un enlace sólo afectaría a una única BTS y por lo tanto a una zona muy reducida.

La ideal sería llegar a un equilibrio entre coste y robustez de la red de transmisión, para lo cual, habría que combinar de forma optimizada y amoldándose a las particularidades del terreno los distintos tipos de topología, estrella y cadena. Incluso se debería diseñar una topología en anillo para aquellos nodos o áreas de cobertura especialmente críticas.

#### *Dimensionado BSC*

La BSC es el equipo que aglutina todo el tráfico procedente del interfaz radio y controla a las estaciones base. Para su dimensionado se tendrán que considerar las limitaciones principales del suministrador. Estas son básicamente el número de TRX que pueda soportar, la carga máxima de tráfico en Erlang y por supuesto el número de interfaces hacia el interfaz radio y hacia el núcleo de la red. La ubicación de estos equipos depende de la capacidad que gestionan. Entonces si la capacidad es pequeña se suele disponer en lugares remotos; en cambio si son de gran capacidad se colocan junto a la MSC a la que están conectadas.

#### *TRAU*

Otro tema importante en el diseño de la red GSM es la elección de donde situar la TRAU dentro de la arquitectura de red. Existen diferentes opciones:

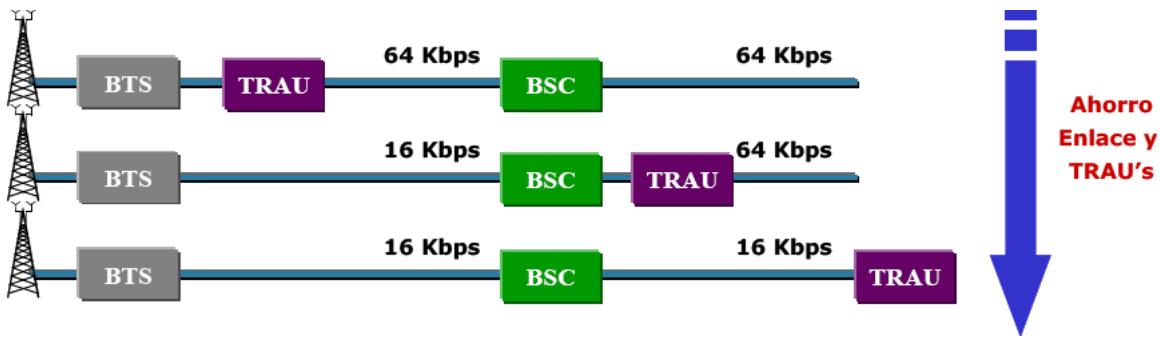


Figura 3.12. Posicionamiento de la TRAU en el sistema GSM.

En función de la solución que se adopte los resultados en los cálculos de los diferentes interfaces donde esta interviene variarán sustancialmente.

### 3.8.3.2 Dimensionado del núcleo de red

En este apartado se presenta la forma de modelar los equipos e interfaces más importantes del núcleo de red de GSM. La arquitectura de la red se debería dejar a libre elección del diseñador ya que las posibilidades dependen de múltiples factores.

#### *Interfaz A*

La interfaz A es la interfaz entre la MSC y la BSC y se ha especificado de forma que pueda configurarse de manera distinta en función de la localización física de la TRAU. Por tanto, según como se configure resultan más o menos enlaces de transmisión.

#### *Dimensionado de las MSC/VLR*

A partir de los datos calculados en el Interfaz A y considerándose las limitaciones propias de las MSC/VLR específicas de cada fabricante se puede determinar la cantidad necesaria de estos equipos en la red a dimensionar. El mínimo número de MSC/VLR por operador será fijado en 2 por razones de seguridad. Una vez determinada la cantidad de estos equipos, se debe decidir su ubicación física dentro de la red GSM. Normalmente se suelen emplazar en función del tráfico máximo de voz.

#### *Dimensionado de los HLR/AUC*

El dimensionado del HLR/AUC se realiza conjuntamente puesto que estos equipos suelen emplazarse juntos. Para determinar el nº de HLR/AUC se realizará en función del número de clientes que disponga nuestro operador móvil. No se consideran para este dimensionado los clientes de roaming que puedan estar registrados en la red.

#### *Interconexión con PSTN y otro móviles*

Por motivos de simplicidad se asume que existe en cada una de nuestras MSC una interconexión hacia las otras MSC de nuestra red, una interconexión hacia otro operador móvil y por último una conexión hacia una red PSTN.

## Estudio de implantación de una red celular GSM/GPRS

Del total de tráfico gestionado por nuestro operador se asume que un **35 %** tiene como destino la red PSTN, un **40 %** hacia el resto de operadores móviles y el tráfico restante, es decir, un **25 %** se considera destino hacia los usuarios de la propia red a dimensionar.

### *Dimensionado de los enlaces de señalización SS7*

La estructura básica de señalización se basa en la red SS7. Se supone que la señalización que se ofrece está asociada entre dos equipos **A** y **B**. Será por esto que habrá que dimensionar los enlaces SS7 para GSM entre las diferentes parejas de equipos que utilicen dicha señalización. En la Tabla 3.13 se muestran los mensajes intercambiados en cada sentido de la transmisión para cada uno de los interfaces para el servicio GSM.

Servicio	Procedimiento	Interfaz	Suma de nº bytes TX	Suma de nº bytes RX
GSM	Basic Handover	MSC	217	168
	IMSI Attach/Detach	D	139	338
		H	59	72
	Incoming Call	MSC	116	32
		PSTN	58	32
	Location Update	D	133	338
		H	59	72
	Location Update out-VLR	D	114	321
		MSC	159	70
	Outgoing Call	MSC	58	32
		PSTN	58	32
	Release Mobile-Initiated	D	40	16
		MSC	16	16
		PSTN	16	16
	Release Mobile-Terminated	D	40	16
		MSC	16	16
		PSTN	16	16
	Routing Info for Incoming Call	D	114	138
	Señalización buzones voz	BUZON	74	48
	SMS in a PLMN	C	40	40
		E	200	20
	Subseqüent HO MSC-B to MSC-A	MSC	159	108
	Subseqüent HO	MSC	287	318

**MSC-B to  
MSC-BB**

**Tabla 3.13.** Mensajes de los interfaces GSM en SS7.

Con la siguiente definición del sentido de los interfaces:

Interfaces	Definición
A	BSC---MSC/VLR
E	SMS/GMSC---MSC/VLR
C	SMS---HLR
D	MSC/VLR---HLR
H	HLR---AuC
PSTN	PSTN---MSC/VLR
RI	MSC/VLR---SCP
BUZON	MSC/VLR---BUZON
MSC	MSC---MSC
Gd	SMS/GMSC---SGSN
Gs	MSC/VLR---SGSN
Gr	SGSN-HLR
Gn	SGSN-GGSN
Gc	GGSN-HLR
Gf	SGSN-EIR
Gp	GGSN-GGSN

**Tabla 3.14.** Sentido de los interfaces GSM en SS7.

El tráfico de señalización SS7 en un interfaz determinado y un sentido específico se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{Tráfico SS7} = \sum \text{Num}_{\text{OPI}} \times \text{LM}_{\text{OPI}} \text{ (bytes/seg)} \quad (3.6)$$

Donde  $\text{Num}_{\text{OPI}}$  es el número de operaciones que se realizan en un segundo o tasa en un determinado interfaz, mientras que  $\text{LM}_{\text{OPI}}$  es la longitud media de una determinada operación en bytes.

El tamaño de la operación  $\text{LM}_{\text{OPI}}$  (bytes) se ha mostrado en la Tabla 3.13 para cada uno de los sentidos de transferencia de señalización. Para calcular el número de enlaces de señalización necesarios de 64 Kbps se aplica la siguiente expresión:

$$S_{\text{link}} = \text{Tráfico SS7} / (\text{B} \times \text{L}) \quad (3.7)$$

En donde B es el ancho de banda de un enlace de señalización medido en octetos/seg y L es la carga del enlace de señalización. Un valor típico de carga para los enlaces de señalización es de un 20 % aproximadamente.

Entonces del valor que se obtiene de la expresión anterior para ambos sentidos de transmisión se debe escoger el máximo. Este máximo debe redondearse a una potencia de 2 para, de esta forma, asegurar un correcto funcionamiento de la red de señalización en el intercambio de mensajes. Es decir, si por ejemplo se obtiene que  $S_{\text{link}}$  es igual a 3 se optará por colocar 4 enlaces de señalización.

### 3.8.4 Diseño del servicio GPRS

Para ofrecer servicios de datos, como acceso a Internet, a una Intranet o WAP, el operador que se está diseñando adopta como solución más inmediata el implementar el servicio GPRS<sup>6</sup>. Los servicios que se han decidido implementar en su fase inicial son el MMS y el WAP. En los siguientes apartados se detalla como se calcula la capacidad tanto de la red radio como del núcleo de red (que, como ya se ha comentado, pese a quedar detallado no es competencia de este proyecto y por lo tanto no será implementado).

En los cálculos de capacidad necesarios para GPRS deberá considerarse que este servicio permite la posibilidad de garantizar la calidad de servicio QoS a sus usuarios. La QoS se define en distintos términos tales como retraso medio o máximo de un paquete en el transcurrir por la red GPRS, velocidades medias y máximas asignadas por usuario, fiabilidad en la transmisión y otros. Para este caso, de entre todos los parámetros se tendrá que garantizar el tiempo máximo de tránsito de un paquete en la red.

#### 3.8.4.1 Diseño del acceso radio

El acceso radio GPRS se apoya en GSM utilizando para ello los mismos emplazamientos preexistentes. Al igual que en GSM, las prestaciones de la red GPRS viene determinadas por las condiciones radioeléctricas, principalmente por la relación señal a ruido o interferencia, C/I. Es por ello, que conforme disminuye la relación C/I aumenta la tasa de errores por bloque BLER. Esta se define como la proporción de bloques RLC erróneos que deben ser retransmitidos respecto al total de bloques RLC transmitidos. La longitud y robustez de los bloques RLC está en función del esquema de codificación que se utilice en la transferencia. En la Tabla 3.15 se listan los posibles esquemas de codificación que se definen en el estándar de GPRS, así como sus caudales:

Esquema de codificación	Caudal máximo con cabeceras RLC	Caudal máximo neto
CS-1	9,05 Kbps	8 Kbps
CS-2	13,4 Kbps	12 Kbps
CS-3	15,6 Kbps	14,4 Kbps
CS-4	21,4 Kbps	20 Kbps

Tabla 3.15. Esquemas de codificación de GPRS.

Existe una relación entre el caudal máximo asignado y la relación C/I; esta se obtiene mediante simulaciones para distintos escenarios posibles. Como conclusión de las diferentes simulaciones se puede decir:

- Los esquemas de codificación CS-3 y CS-4 están limitados a zonas de baja interferencia. Además existen problemas, o mejor dicho, deben de realizarse actualizaciones de hardware para poder utilizarlos en el interfaz Abis. Dada esta problemática, entre otras, en nuestro estudio no se utilizarán.
- Los esquemas de codificación CS-1 y CS-2 permiten proporcionar cobertura global de GPRS en toda la zona de cobertura de una BTS. En consecuencia serán

<sup>6</sup> No se implementa EDGE ya que la futura evolución de nuestro operador GSM sería UMTS.

estos los dos posibles candidatos a utilizar en los cálculos que se realicen en esta práctica.

Para calcular la capacidad radio necesaria para los canales PDTCH/PACCH y los canales de señalización existen distintos métodos que pueden utilizarse. En este proyecto se describirá uno de ellos.

#### *Dimensionado de los canales de datos de usuario*

Para la determinación de los canales de datos se tomará como punto de partida los canales calculados en GSM. Para ello se distinguirán dos tipos de canales:

- Canales estáticos: Se entiende por canal estático al nº de canales sobrantes en el interfaz radio del dimensionado para GSM.
- Canales dinámicos: Se entiende por canales dinámicos al nº de canales en el interfaz radio como la diferencia entre los circuitos obtenidos según Erlang B para una determinada probabilidad de bloqueo, menos el tráfico calculado a partir de las previsiones. Debe recordarse que en estos, la prioridad de uso será para GSM. Por tanto habrá que considerar que no pueden cargarse en exceso de tráfico de datos.

Con estos datos ya se pueden estimar las capacidades excedentes del tráfico GSM. Lo siguiente que se debe realizar es determinar el tráfico generado por los servicios de datos. Para ello se calcula a partir de los datos por servicio la cantidad de Kbps que generan las diferentes aplicaciones en un instante determinado<sup>7</sup>. Además hay que tener en cuenta el esquema de codificación a utilizar, ya que nos servirá para hallar el número de canales. Por otro lado, como el canal radio no es ideal se producirán retransmisiones. En consecuencia se deberá considerar el efecto producido por las retransmisiones de bloques LLC y de las tramas RLC.

Con todos estos datos se calculará la cantidad de PDCH necesarios para proporcionar los servicios de datos sobre GPRS. Si esta cantidad se ve que es insuficiente con los recursos sobrantes de GSM, es decir con los canales estáticos y dinámicos, se deberá activar una nueva portadora dedicada para los servicios de GPRS.

#### *Señalización radio*

De igual forma como se ha operado con el cálculo de los canales radio dedicados al usuario se debe realizar para determinar la señalización GPRS, ya que se supone que los canales de señalización común son comunes a GSM y a GPRS. Para obtener la carga extra de los canales de señalización se tiene que considerar que el tráfico de datos es a ráfagas. Una ráfaga consiste en el intercambio de tráfico solicitado a partir de una señalización previa realizada por un usuario. Mirar el ejemplo de la figura inferior (Figura 3.13) para el caso del enlace descendente.

---

<sup>7</sup> Este instante será en el tiempo en que se produzca el pico máximo de tráfico. Normalmente se suele considerar en el dimensionado la hora en la cual se produce el máximo de tráfico.

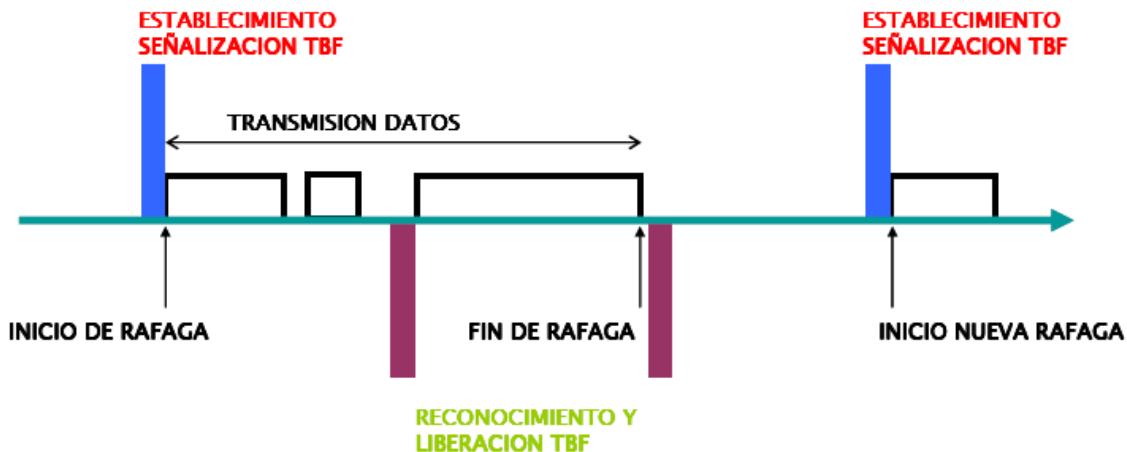


Figura 3.13. Ejemplo de ráfaga de GPRS.

Como es bien sabido y se ha comentado, las aplicaciones de datos son a ráfagas y asimétricas, esto quiere decir que durante un período concreto se transmite un determinado volumen de tráfico mientras que en otros instantes no se transmite nada y con una cantidad distinta en ambos sentidos de la comunicación, debido a la asimetría. Es por ello que para su transmisión no se establece una conexión de circuitos sino que es una conexión de paquetes que solo se utilizará en los instantes determinados en los que se quiera transmitir, mientras que en los otros instantes se compartirá con otros usuarios. Por esta razón, entre ráfaga y ráfaga dentro de una misma transferencia se liberan los canales PDCH de datos<sup>8</sup> y si estos son necesarios para nuevas transferencias dentro de una sesión se solicitan mediante canales de señalización, un(os) nuevo(s) canal(es) para la transferencia de tráfico de usuario.

Es por ello, que se deben calcular los incrementos de señalización al introducir GPRS en GSM en los canales comunes CCCH. Los canales a calcular serán los siguientes:

Canal GPRS	Canal GSM	Sentido
PPCH	PCH	DL
PAGCH	AGCH	DL
PRACH	RACH	UL

Tabla 3.16. Canales CCCH a calcular en el dimensionado GPRS.

En el enlace descendente, la capacidad máxima de los CCCH no debe rebasar la suma de las demandas de utilización del canal. Es decir, en la hora cargada para una determinada área de localización se debe cumplir:

$$N_{CCCH} = N_{PCH-GSM} + N_{AGCH-GSM} + N_{PCH-GPRS} + N_{AGCH-GPRS} \quad (3.8)$$

De entre ellos, el que más cargará será el  $N_{AGCH-GPRS}$  ya que en GPRS se hace un uso intensivo del canal AGCH. Esto es debido a que cada apertura de TBF comienza con un mensaje Immediate Assignment enviado en el AGCH.

---

<sup>8</sup> Esta liberación se produce cuando el sistema detecta una “no actividad” que durante un período determinado el usuario no ha transmitido ni recibido dato alguno.

Para los cálculos de señalización se supondrá que las horas cargadas de voz y datos coinciden en la misma hora y día semanal, aunque en un caso real esto no tiene porque suceder.

#### *Interfaz Abis*

Para el dimensionamiento del interfaz Abis sí se añaden nuevas portadoras se procederá de la misma manera que en el diseño para GSM. Como ya se comentó en el caso de GSM, desde el interfaz Abis en adelante se detallará la forma de proceder, sin haber sido incluida en la implementación del presente proyecto por sobrepasar la índole del mismo.

#### *Dimensionado de la PCU*

El siguiente paso en el dimensionado de GPRS es determinar el equipamiento necesario a proveer de PCU, que atienden a un determinado número de BTS. En general, las implementaciones son independientes de los suministradores, es decir, el dimensionado tiene características y valores distintos según el suministrador y equipamiento que se escoja. Normalmente se ubica o forma parte de la BSC.

#### **3.8.4.2 Diseño del núcleo de red**

En este apartado se describe el dimensionado del núcleo de red GPRS. Se presentan los criterios para estimar los nodos necesarios junto con los interfaces más característicos.

#### *Interfaz Gb*

Por este interfaz viajan los datos de usuario sobre la tecnología de transmisión Frame Relay. Lo primero que debería realizarse sería calcular el factor de overhead introducido por las cabeceras sobre el tráfico de usuario. Se calcula añadiendo al tamaño del paquete IP ( $P_{IP}$ ) la suma total de las otras cabeceras y se divide por el tamaño total del paquete IP.

$$F.O. = (P_{IP} + \sum_{ohi})/P_{IP} \quad (3.9)$$

El factor de las distintas cabeceras que circulan por este interfaz se muestra en la Tabla 3.17.

Protocolo	Indicador	Overhead (bytes)
SNDCP	oh_SNDCP	4
LLC	oh_LLC	40
BSSGP	oh_BSSGP	53
NS	oh_NS	4
FR	oh_FR	8

Tabla 3.17. Factor de las cabeceras del interfaz Gb.

Cada PCU tiene su propia conexión mediante el interfaz Gb hacia el SGSN. Como se ha comentado, el interfaz Gb se implementa usando conexiones lógicas de Frame Relay con enlaces de capacidad máxima E1 o según características del suministrador.

## Estudio de implantación de una red celular GSM/GPRS

La capacidad de las conexiones FR se puede configurar en pasos de 64 Kbps, desde 1 hasta un máximo de 31 TS si se usa un E1. Se deben determinar dos parámetros para cada uno de los sectores. El primero de ellos es el CIR que se define como el tráfico que debe garantizarse para poder soportar el tráfico generado por los abonados. En segundo lugar, se deben calcular para cada sector los posibles picos de tráfico que se puedan producir (Peak).

Por tanto hay que determinar la cantidad de tráfico que soporta este interfaz y posteriormente calcular la capacidad según los pasos de capacidad de transmisión que especifique el fabricante.

### *Dimensionado de los SGSN*

Los equipos de GPRS en el núcleo de red son totalmente nuevos con relación a GSM. Por eso se tendrán que realizar todo los cálculos necesarios para soportar este nuevo núcleo basado en una red de conmutación de paquetes y poder ofrecer los servicios de datos anteriormente descritos.

Para determinar el número de SGSN se deberá considerar el tráfico del interfaz Gb junto con las condiciones especificadas por los fabricantes en sus limitaciones. Al igual que sucede con las MSC se supondrá que, por razones de seguridad, el número mínimo de SGSN deben de ser 2, aunque en este caso esto no sería obligatorio. La decisión sobre el emplazamiento físico de estos equipos en principio sería junto a las MSC/VLR.

### *Dimensionado de los GGSN*

La conexión entre GGSN y SGSN no se calcularía ya que se supone que son soluciones propietarias de cada uno de los operadores; lo que si sería necesario dimensionar sería el tráfico entrante y saliente en los GGSN.

Dependiendo del tipo de servicios que presten, el cálculo del número de GGSN podría variar sustancialmente. En este caso, para no complicar los cálculos se asumiría que todos los GGSN presentan los mismos servicios en su interconexión con las redes externas de paquetes. En consecuencia, se supondría que un SGSN se conectaría a un solo GGSN que le prestaría todos los servicios de datos.

Además hay que considerar el efecto de las cabeceras de los protocolos que en este caso dependerán del protocolo de nivel 2 utilizado en la transmisión. En la Tabla 3.18 se muestra el overhead para distintos protocolos que se pueden usar:

Protocolo	Indicador	Overhead (bytes)
GTP	oh_GTP	20
UDP	oh_UDP	8
IP	oh_IP	20
Ethernet	oh_Eth	34
Frame Relay	oh_FR	8
LLC/SNAP	oh_SNAP	8
AAL5	oh_AAL5	8

Tabla 3.18. Overhead de las cabeceras.

## Estudio de implantación de una red celular GSM/GPRS

### *Red de señalización SS7*

La estructura básica de señalización se basa en la red SS7. Se supone que en GSM la señalización que se ofrece es asociada entre dos equipos **A** y **B**. Será por esto que habrá que dimensionar los enlaces GSM con las actualizaciones de GPRS y crear nuevos enlaces de señalización entre equipos GPRS y equipos compartidos entre GSM y GPRS. En la Tabla 3.19 se muestran los mensajes intercambiados en cada sentido de la transmisión para cada uno de los interfaces, para el servicio GPRS.

Servicio	Procedimiento	Interfaz	Suma de nº bytes TX	Suma de nº bytes RX
GPRS	Combined IMSI/GPRS Attach	D	244	204
		Gf	82	74
		Gn	59	56
		Gr	475	602
		Gs	150	73
GPRS	Combined Inter SGSN RA/LA Update	D	361	384
		Gn	0	0
		Gr	361	384
		Gs	56	0
GPRS	Combined Intra SGSN RA/LA Update	D	361	384
		Gr	241	302
		Gs	56	0
	GPRS Attach	Gf	82	74
	Gr	390	439	
GPRS Detach	Gn	0	0	
		Gs	154	112
	IMSI Attach	Gs	150	73
ISMI Detach	Gs	77	56	
GPRS	Inter SGSN RA Update	Gf	82	74
		Gn	0	0
		Gr	348	518
		Gs	127	84
Intra LA Update	Gs	150	73	
Mobile Orig. SMS	Gd	269	117	
Mobile Term. SMS	Gd	117	269	
Paging request	Gs	0	92	
PDP Context Activation	Gr	29	55	
PDP Context	Gr	29	55	

### Desactivation

**Tabla 3.19.** Mensajes de los interfaces GPRS en SS7.

Con la siguiente definición del sentido de los interfaces:

Interfaces	Definición
A	BSC---MSC/VLR
E	SMS/GMSC---MSC/VLR
C	SMS---HLR
D	MSC/VLR---HLR
H	HLR---AuC
PSTN	PSTN---MSC/VLR
RI	MSC/VLR---SCP
BUZON	MSC/VLR---BUZON
MSC	MSC---MSC
Gd	SMS/GMSC---SGSN
Gs	MSC/VLR---SGSN
Gr	SGSN-HLR
Gn	SGSN-GGSN
Gc	GGSN-HLR
Gf	SGSN-EIR
Gp	GGSN-GGSN

**Tabla 3.20.** Sentido de los interfaces GPRS en SS7.

El tráfico de señalización SS7 en un interfaz determinado y un sentido específico se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{Tráfico SS7} = \sum \text{Num}_{\text{OPI}} \times \text{LM}_{\text{OPI}} \text{ (bytes/seg)} \quad (3.10)$$

Donde  $\text{Num}_{\text{OPI}}$  es el número de operaciones que se realizan en un segundo o tasa en un determinado interfaz, mientras que  $\text{LM}_{\text{OPI}}$  es la longitud media de una determinada operación en bytes.

El tamaño de la operación  $\text{LM}_{\text{OPI}}$  (bytes) se ha mostrado en la Tabla 3.20 para cada uno de los sentidos de transferencia de señalización. Para calcular el número de enlaces de señalización necesarios de 64 Kbps se aplica la siguiente expresión:

$$S_{\text{link}} = \text{Tráfico SS7} / (\text{B} \times \text{L}) \quad (3.11)$$

En donde  $\text{B}$  es el ancho de banda de un enlace de señalización medido en octetos/seg y  $\text{L}$  es la carga del enlace de señalización. Un valor típico de carga para los enlaces de señalización es de un 20 % aproximadamente.

Entonces, del valor que se obtiene de la expresión anterior para ambos sentidos de transmisión se debe escoger el máximo. Este máximo debe redondearse a una potencia de 2 para, de esta forma, asegurar un correcto funcionamiento de la red de señalización en el intercambio de mensajes. Es decir, si por ejemplo se obtiene que  $S_{\text{link}}$  es igual a 3 se optará por colocar 4 enlaces de señalización.

### 3.8.4.3 Interconexión con redes externas de datos

Se desearía diseñar una red de datos que poseyera una salida de interconexión nacional en cada uno de los GGSN que dispone en su red. Dicha interconexión nacional se utilizaría para el intercambio de tráfico con el resto de operadores o ISP nacionales. Esta interconexión se debe dimensionar al 70 % del tráfico máximo.

Además se definirían un par de salidas internacionales para el intercambio de tráfico hacia fuera del dominio nacional. Se utilizarían dos salidas internacionales por razones de seguridad de tráfico y por razones económicas. Dichas interconexiones se dimensionarían para el caso de caída de una de ellas.

Se asumiría que el porcentaje de tráfico destino nacional o internacional sería el mismo.

### 3.8.4.4 DNS y BG

Si se dispone de datos para estos equipos se pueden calcular las necesidades de estos en la red a dimensionar. Para ello, principalmente, se deberá considerar el tráfico que circula por cada conexión por clientes desplazados de otras PLMN visitando la red y que este tráfico sea igual al generado por los clientes de la red en roaming en otras redes, así como el número de peticiones para conversión de nombres de direcciones.

## 3.9 Dimensionado de la red GSM/GPRS: Zona de trabajo

Como ya se ha indicado con anterioridad, para dimensionar la red de acceso GSM es necesario tener perfectamente caracterizados tanto el tráfico de voz como el de señalización. La necesidad de cubrir los requisitos en cuanto a recursos de señalización, es tan o más importante que la necesidad para satisfacer los recursos de tráfico, pues es a través de los primeros por donde se establece, mantiene y libera una comunicación, y por lo tanto, la falta de éstos impediría totalmente cursar un servicio. Por esta razón, los canales de señalización se suelen dimensionar holgadamente, incluso en perjuicio de ofrecer una mayor capacidad de la celda. Los canales de señalización GSM que se han considerado son:

Canal	Utilización	Sentido
SDCCH	Establecimiento de llamada	UL/DL
	Encendido apagado del móvil	
	Actualización de posición	
	Envío de SMS	
RACH	Acceso a la red	UL
AGCH	Concesión/Denegación de llamada	DL
PCH	Búsqueda para la localización de terminales móviles	DL

Tabla 3.21. Canales de señalización GSM considerados.

El objetivo final es dimensionar el número de portadoras y la configuración de los canales alojados en éstas que permita garantizar una cierta calidad de servicio (QoS), según unos parámetros de servicio preestablecidos.

## Estudio de implantación de una red celular GSM/GPRS

DISTRIBUCIÓN DE POBLACIÓN									
		310	203	310					
1320	1320	1320	503	310					
1320	1320	1320	2320	1320					
1320	1320	1320	2320						
2320	2320	2320	2320	2320	2320				
1320	1320	1320	1320	1320	1320	1320	2961	2961	2961

**Figura 3.14.** Distribución de población bajo las celdas.

INTRODUCIR ÁREAS DE LOCALIZACIÓN:

Introduzca las áreas de localización con númeración consecutiva (Ejemplo: 0,1,2...).

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	2	2	0	0	0	0	0
1	1	1	2	2	0	0	0	0	0
1	1	1	2	2	0	0	0	0	0
1	1	1	2	2	2	0	0	0	0
1	1	1	2	2	2	2	2	2	2

**Figura 3.15.** Áreas de localización.

## Estudio de implantación de una red celular GSM/GPRS

<b>GSM</b>		<b>GPRS</b>	
Tráfico de voz	0.0174 Erlangs	DATOS	0.3
Duración media de una llamada	110 Segundos	Penetración	1 horas)
Porcentaje de llamadas entrantes respecto al total	0.4	Duración de una sesión	3
Cruces de habitantes en una celda frontera del área de localización	7 habitantes/segundo	Número de sesiones por día y abonado	50 paquetes
Cuota de mercado del operador	0.3	Número de paquetes por sesión	2.1 paquetes
Penetración	0.9	Modelo de tráfico a ráfagas de longitud	
Número medio de SMS en un mes	20	Factor de asimetría en el Downlink	8
Número de attach por día	3	Factor de asimetría en el Uplink	3
Número de detach por día	3	Longitud media de paquete	4000 bytes
Localizaciones periódicas cada 2 horas	1	PDCH	12000 bits
Tasa de llamadas de voz		Caudal máximo del PDCH según codificación	
Tasa de mensajes cortos		Factor de carga	0.3
Tasa de attach/detach		Porcentaje de uso de los canales comunitables GSM/GPRS	0
<b>ESTABLECIMIENTO DE LLAMADA</b>		MMS	
Tasa de localización periódica		Penetración	0.5
Tasa de localización por cruces		MMS por usuario y mes	28
Celda frontera		Relación de MMS entrantes respecto al total	0.5
Celda normal		Capacidad de un MMS	30000 bytes
Probabilidad de bloqueo por falta de SDCCH	0.001	Tasa de accesos PCH combinada	
Tráfico SDCCH en la celda frontera		AGCH	
Número de SDCCH	28	Tasa de accesos AGCH combinada	
Subcanales de paging	8	Accesos AGCH1	
TMSI por canal de paging	4	Accesos AGCH2	
Tiempo entre retransmisiones	3 segundos		
Probabilidad de recibir correctamente el paging	0.9		
Slots de señalización común	1		
		Calcular	Atrás

**Figura 3.16.** Parámetros iniciales de configuración para GSM/GPRS.

### **3.9.1 Demanda de Time Slots en GSM**

El tráfico ofrecido en cada celda estará directamente relacionado con el número de usuarios de los que disponga el operador:

$$TO_{CELDA} = POBLACIÓN_{CELDA} \cdot CUOTA\_OPERADOR \cdot PENETRACIÓN \cdot TRÁFICO\_VOZ$$

(3.12)

**Figura 3.17.** Tráfico por celda.

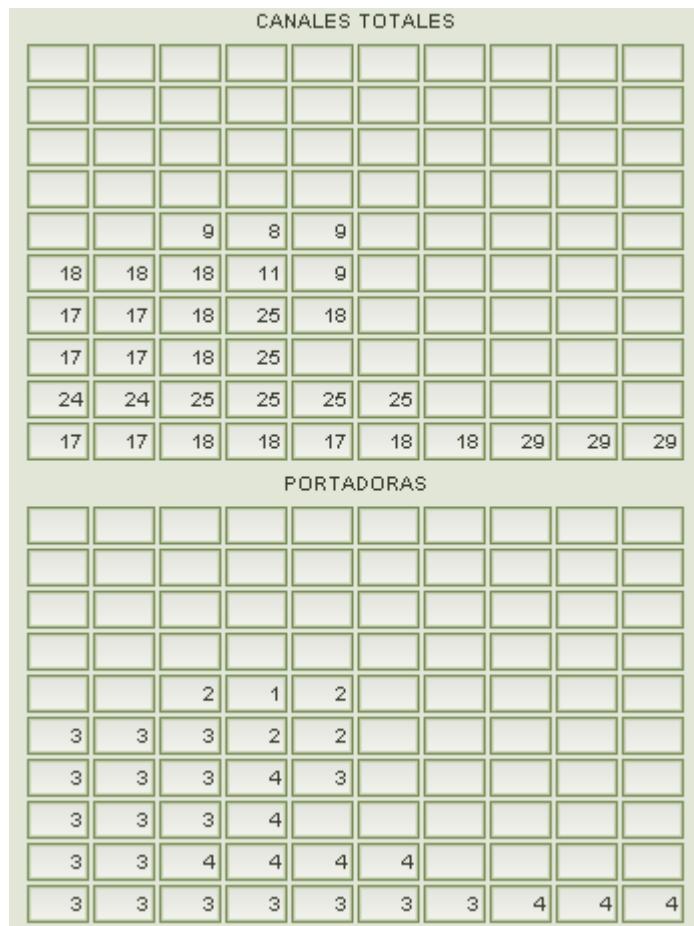
La calidad de servicio considerada para el tráfico de voz se mide en la probabilidad de que una llamada no se pueda atender como consecuencia de que todos los recursos estén ocupados. Para ofrecer una cierta calidad de servicio, se ha considerado una probabilidad de 0.001 (Probabilidad Bloqueo (PB) = 0.001), por lo que el número de circuitos necesarios puede deducirse de:

$$N_{circuitos} = Erlang\_B^{-1}(TO_{CELEDA}, PB) \quad (3.13)$$

Para el caso de GSM, el número de circuitos es equivalente al número de time slots (TS) requeridos. A continuación se presenta una figura (Figura 3.18) en la que se detalla los TS requeridos en cada una de las celdas, según la distribución de población.

**Figura 3.18.** Número de circuitos.

Los TS requeridos se traducirán en portadoras a ubicar en cada emplazamiento, teniendo en cuenta que en cada portadora se alojan un total de 8 TS.



**Figura 3.19.** Portadoras.

### **3.9.2 Demanda de señalización**

Antes de calcular la demanda de señalización, es importante definir la estructura de la multitrama de señalización escogida, puesto que muchos de los cálculos realizados dependen de la estructura considerada

La configuración por defecto escogida para los canales de señalización GSM es la siguiente:

- CCCH, canal común de señalización, presente junto al BCCH en el TimeSlot 0 del piloto. El modo de señalización combinada permite menos capacidad de señalización pero optimiza los recursos. Se disponen 3 radiobloques de señalización por MF51 en el enlace descendente, de los cuales se van a dedicar 2 a canales de Paging y 1 al canal de Access Grant. En caso necesario, se puede optar por usar señalización descombinada, en la que se alojarían 7 radiobloques de PCH y 2 de AGCH.
  - SDCCH presente también junto al BCCH, en forma de SDCCH/4; permite menos capacidad de señalización a cambio de dejar más recursos para tráfico. Eventualmente, y en caso de necesitar mayor capacidad del SDCCH, se dedicará un TS a un SDCCH/8.

### 3.9.2.1 Demanda en el SDCCH

Como se presentó anteriormente, el canal SDCCH es uno de los canales a través del cual se transfieren todos los mensajes concernientes al establecimiento de llamada, actualización de posición, etc., por lo que se necesita de una elevada disponibilidad del mismo con el fin de no penalizar en la calidad que perciben los usuarios finales. Nótese que si, por ejemplo, no se lleva a cabo una actualización de posición por falta de canal SDCCH, los mensajes de paging no podrán ser recibidos por un usuario, perdiéndose la llamada que se intentaba establecer con éste. Así pues, se requiere de unas condiciones más estrictas de calidad de servicio que las planteadas para la estimación del número de TS. La señalización SDCCH será la unión de la generada por los siguientes servicios:

- Llamadas de voz.
- Mensajes SMS.
- Attach/detach (conexión/desconexión del móvil).
- Localización periódica.
- Location update (actualización de posición).

Cada uno de los servicios mencionados generará una tasa de demanda de canales SDCCH.

#### *Tasa de llamadas de voz*

La tasa de llamadas de voz (en peticiones por segundo) generada por un usuario puede deducirse del tráfico generado por éste:

$$\lambda_{USER} = \frac{TO_{USER}}{T_{CALL}} \quad (3.14)$$

Siendo  $T_{call}$  la duración media de la llamada.

#### *Tasa de mensajes SMS*

La tasa de mensajes SMS (en peticiones por segundo) se estima de acuerdo con las previsiones de uso del servicio. En este sentido, se tiene:

$$\lambda_{SMS} = \frac{SMS_{PERSONA / MES}}{30 \cdot 8 \cdot 3600} \quad (3.15)$$

Donde se ha considerado un mes de 30 días, con un uso de 8 horas diario.

#### *Tasa de Attach/Detach*

La tasa de Attach/Detach (en peticiones por segundo) de un móvil se calcula:

$$\lambda_{AT / DET} = \frac{ATTACH / DETACH_{persona\_y\_día}}{8 \cdot 3600} \quad (3.16)$$

*Tasa de localización periódica*

La tasa de localización periódica por usuario se calcula tomando como media una localización periódica cada dos horas por usuario. Así, el cálculo por usuario resulta:

$$\lambda_{LOC\_PER} = \frac{1}{2 \cdot 3600} \quad (3.17)$$

*Tasa de localización por cruces*

La tasa de localización por cruces sólo afectará a aquellas celdas que sean fronteras de áreas de localización. El total para una celda frontera se calculará:

$$\lambda_{LOC\_CRUCES} = 2 \cdot Cruces/celda\_segundo \cdot Penetración \cdot cuota \quad (3.18)$$

Teniendo en cuenta que este último factor sólo se sumará en el caso de ser una celda frontera, el cálculo para una celda no fronteriza será:

$$\lambda_{SDCCH\_NF} = (\lambda_{USER} + \lambda_{SMS} + \lambda_{AT/DET} + \lambda_{LOC\_PER}) \cdot pob\_celda \cdot cuota\_mercado \cdot Penetración \quad (3.19)$$

Mientras que para una celda frontera de un área de localización:

$$\lambda_{SDCCH\_F} = \lambda_{SDCCH\_NF} + \lambda_{LOC\_CRUCES} \quad (3.20)$$

Así, se puede ver que la mayor carga de tráfico para el SDCCH se produce en las celdas fronteras debido a las localizaciones por cambio de LAC. Como se ha visto antes, es importante garantizar un grado de servicio elevado a los accesos al SDCCH, por ello se ha definido en los requisitos de calidad una probabilidad de bloqueo del SDCCH de 0.001. De esta manera, se puede utilizar el modelo Erlang-B para calcular los canales necesarios para garantizar esta probabilidad de bloqueo.

Se puede ver en la Figura 3.20 que la mayoría de celdas superan los 4 canales necesarios, por tanto será necesario utilizar un TS adicional para que viaje un SDCCH/8.

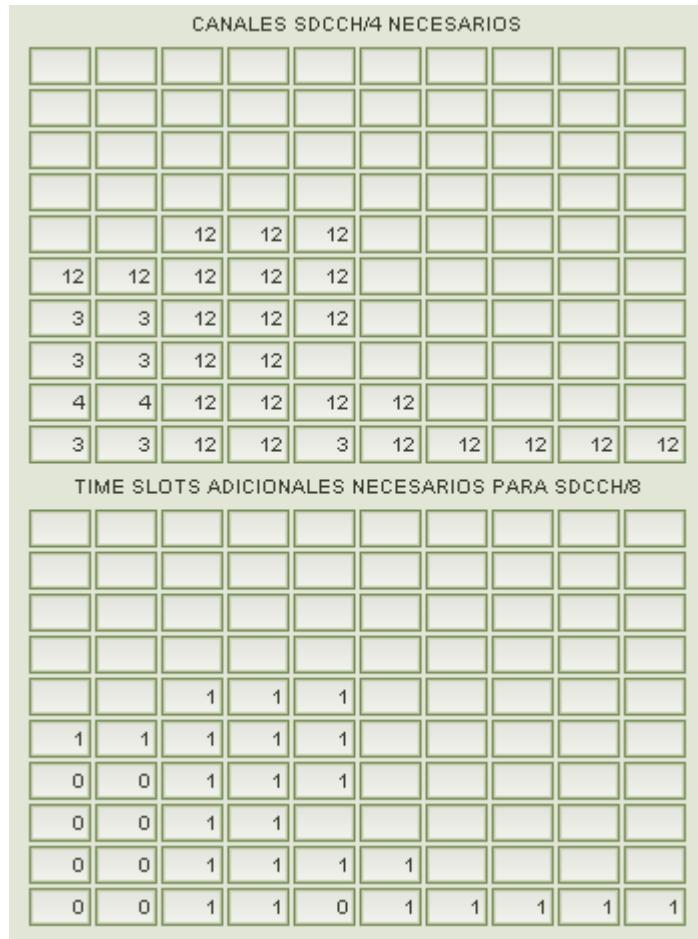


Figura 3.20. Demanda del SDCCH.

### 3.9.2.2 Dimensionado en el RACH

El RACH es el canal lógico empleado por los móviles cuando necesitan acceder a la red, por lo que es necesario un correcto dimensionado para garantizar el acceso a los usuarios. Todos los terminales móviles comparten el mismo canal físico para transmitir.

Para medir el TO al canal RACH se divide el valor obtenido por la ocupación máxima del canal RACH. Como se mencionó anteriormente, la configuración por defecto del canal común es combinada, por tanto la utilización máxima del RACH es de 27 accesos cada 235 mseg. (51 tramas GSM).

Al tratarse de un canal de contienda, en que los usuarios acceden aleatoriamente sin ningún tipo de control, pueden producirse colisiones entre las ráfagas de acceso de diferentes usuarios. La estructura de acceso viene caracterizada por un modelo S-ALOHA (Slotted Aloha), en el cual los usuarios comparten el acceso a cada uno de los slots predefinidos. Para un modelo S-Aloha se cumple:

$$S = G \cdot e^{-G} \quad (3.21)$$

Donde G es el tráfico ofrecido al canal (con retransmisiones) y S el caudal cursado. Así:

## Estudio de implantación de una red celular GSM/GPRS

$$G = \frac{\lambda_{RACH}}{27} \cdot 0.23538s \quad (3.22)$$

Como se usa por defecto señalización combinada, la ocupación máxima del RACH será de 27 accesos en una multitrama 51 (235 mseg.). Se realiza en primer lugar el cálculo de la ocupación del RACH únicamente para GSM, con el objetivo de verificar que está por debajo del 20%. Como se verá más adelante, si es inferior a este valor, se podrá usar el canal de control de GSM para GPRS.

La tasa de accesos al RACH se calcula de forma análoga al caso del SDCCH, distinguiendo entre celdas frontera y celdas normales.

$$\lambda_{RACH\_NF} = (\lambda_{USER} + \lambda_{SMS} + \lambda_{AT/DET} + \lambda_{LOC\_PER}) \cdot pob\_celda \cdot cuota\_mercado \cdot Penetración$$

(3.23)

Y en una celda frontera:

$$\lambda_{RACH\_F} = \lambda_{RACH\_NF} + \lambda_{LOC\_CRUCES} \quad (3.24)$$

Convirtiendo la tasa a tráfico ofrecido y aplicando el modelo *Slotted Aloha*, se obtiene el tráfico cursado por el RACH. Se puede ver que en todas las celdas se cumple holgadamente la condición de estar por debajo del 20% de ocupación -caudal- que se requería como medida de protección para evitar la inestabilidad del canal y por lo tanto una eficiencia pobre.

**Figura 3.21.** Dimensionado del RACH.

### **3.9.2.3 Dimensionado en el ACGH**

El Access Grant Channel se encarga de conceder el acceso a la red de los móviles que quieren iniciar llamadas o demandan servicios de la red. Dado que el AGCH se emplea como respuesta a un RACH, el cálculo de la tasa de peticiones será análogo al del RACH, por lo que se diferencian celdas fronteras y no fronteras:

$$\lambda_{AGCH\_NF} = (\lambda_{USER} + \lambda_{SMS} + \lambda_{AT/DET} + \lambda_{LOC\_PER}) \cdot pob\_celda \cdot cuota\_mercado \cdot Penetración$$

(3.25)

Y para una celda frontera:

$$\lambda_{AGCH\_F} = \lambda_{AGCH\_NF} + \lambda_{LOC\_CRUCES} \quad (3.26)$$

A la hora de calcular la tasa máxima del AGCH se debe considerar, nuevamente, que se está utilizando señalización combinada por defecto, con 1 sólo radiobloque disponible para AGCH (de los 3 totales en ese tipo de señalización para PCH+AGCH). Por tanto la ocupación, en el caso de una celda normal, será:

$$OCUPACIÓN_{AGCH} = \frac{\lambda_{ACGH\_NF}}{4/0\,235} \quad (3.27)$$

A continuación se presenta el cálculo de la ocupación del AGCH sobre el escenario. Se puede ver que la utilización del AGCH es muy baja, habiéndose cumplido incluso con este parámetro tan restrictivo.

**Figura 3.22.** Dimensionado del AGCH.

### 3.9.2.4 Canal PCH: Tiempo de envío del mensaje de paging

A través de los mensajes de paging, la red informa a un terminal móvil sobre la existencia de una llamada entrante dirigida a él. Seguidamente, el móvil activa los mecanismos necesarios para establecer una conexión con la red y recibir ésta. Mediante la recepción de la respuesta del móvil, la red puede afinar en la ubicación del móvil (a nivel de estación base) y confirmar la disponibilidad de éste.

El proceso de paging necesita de muchos recursos, pues cada uno de los mensajes debe difundirse en todas las estaciones base. Para aliviar la carga asociada a esta señalización, se definen las áreas de localización: la red necesitará conocer únicamente en qué área de localización se halla un cierto móvil y enviar a todas las estaciones base que componen ésta los mensajes de paging pertinentes. Por otro lado, el móvil tiene la responsabilidad de informar a la red cuando cambie de área de localización a través de un proceso conocido como *Location Update*. Intuitivamente, puede deducirse que existe un compromiso entre el tamaño del área de localización y la carga de señalización de paging involucrada.

El proceso de paging conlleva que el móvil deba estar constantemente monitorizando el interfaz radio en espera de recibir algún mensaje destinado a él. Esto tiene asociado un elevado consumo de energía y por lo tanto una reducción en la duración de las baterías. Con el fin de evitar este inconveniente, el estándar recoge la subdivisión de este canal en subcanales de paging. De este modo, un móvil puede estar en reposo y despertar únicamente cuando tenga que monitorizar el subgrupo de paging asignado. Los inconvenientes derivados son un incremento del retardo de paging (la red sólo podrá transmitir los mensajes de paging de un subgrupo en ciertos instantes predeterminados) y una menor eficiencia en el uso del canal.

El objetivo de este apartado es mostrar que se satisface que el retardo asociado al envío de un mensaje de paging es inferior a 2 segundos, garantizándose, pues, una cierta calidad de servicio.

El número de mensajes paging que se envían en un área de localización es proporcional al número de usuarios que se encuentran bajo ésta. Por lo tanto, se necesita del conocimiento de éstos para el cálculo de la tasa global de mensajes paging generada en un área de localización:

Location Area	Población media
0	0.0
1	1444.375
2	1871.1177

Figura 3.23. Media de usuarios por LA.

Por otro lado, la tasa de paging generada por la red a un usuario en particular vendrá dada por el tráfico en sentido descendente. A continuación se presenta la fórmula empleada para el cálculo de esta tasa, donde se aprecia la dependencia con el porcentaje de llamadas entrantes respecto al total efectuadas.

$$\lambda_{paging\_user} = \frac{TO_{user} \cdot \%llamadas_{ENTRANTES}}{duracion\ llamada} \quad (3.28)$$

Como se mencionó previamente, la estructura de la multitrama MF51 escogida es para señalización combinada, en donde de los tres canales disponibles para señalización común, dos se dedican a PCH y uno a AGCH. Por otro lado, se han definido un total de ocho subgrupos de paging, por lo que se puede inferir que el periodo de escucha de cada uno de éstos es  $(8/2) * \text{time\_MF51}$ , siendo  $\text{time\_MF51}$  la duración de la multitrama de 51 (0.235 mseg.). La Figura 3.24 recoge la distribución de los diferentes canales de señalización dentro del TS0 de la beacon frequency de acuerdo con la estructura escogida, donde se han marcado los diferentes canales de control común definidos y donde se observa la presencia de canales de control dedicados (Dx).

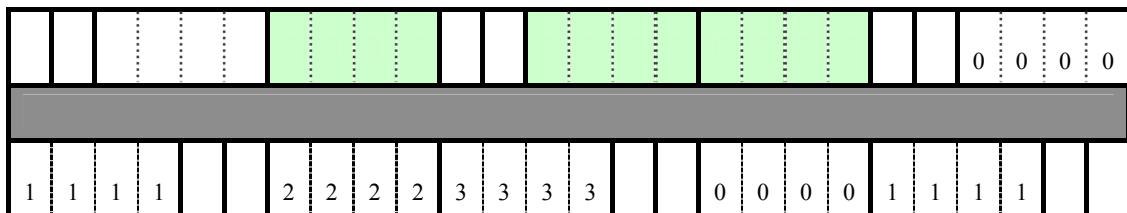


Figura 3.24. Estructura de la multitrama para señalización combinada.

En la siguiente figura (Figura 3.25) se presenta una agrupación de diferentes multitramas de señalización con el fin de poner de manifiesto los intervalos en los cuales tendrá que escuchar un subgrupo de paging, así como el ciclo de escucha asociado al subgrupo.

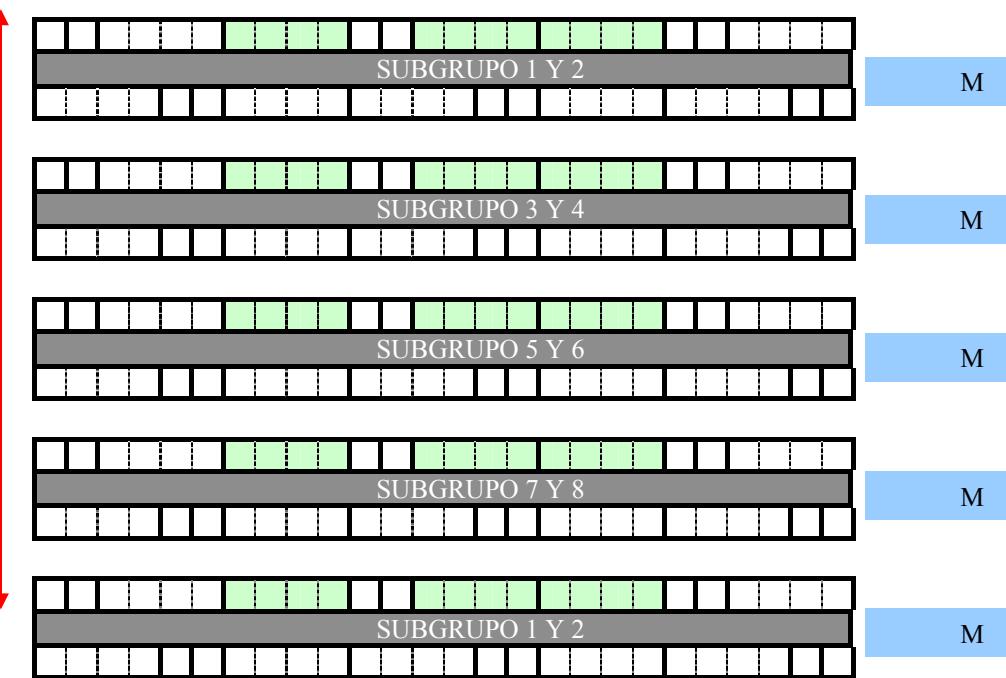
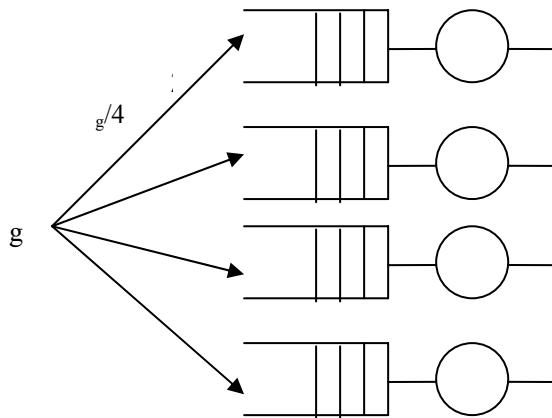


Figura 3.25. Período entre dos escuchas de un mismo subgrupo de paging =  $4 * 0,235$  mseg.

Para poder realizar el cálculo se debe modelar el envío de los mensajes para la estimación de los parámetros de calidad de servicio que se desean (en este caso el retardo en el envío de los mensajes). Un modelo aceptado es el M/G/1, en el que se supone un servidor con una tasa de servicio general y con una tasa de llegadas de Poisson.

Puesto que por cada mensaje de paging permite la señalización de 4 TMSI, se puede considerar un modelo de tasa distribuida:



**Figura 3.26.** Modelo de tasa distribuida.

El tiempo de servicio de cada una de las colas es el tiempo del que se dispone para transmitir los paging de un subgrupo de PCH dentro de cada una de las multitramas de señalización. De este modo:

$$T_{\text{service}} = 576 \mu\text{s} \cdot 8 \text{ TS} \cdot 4 \text{ canales} = 18,4 \text{ mseg.} \quad (3.29)$$

Por otro lado, si un mensaje de paging se desea enviar y encuentra los canales PCH ocupados deberá esperar al próximo radiobloque de paging dedicado al subpaging al cual pertenece. Éste era uno de los inconvenientes del uso de los subgrupos de paging y su modelado se lleva a cabo mediante la cola del servicio.

Con estos datos se puede aplicar el modelo M/G/1 considerando:

- $T_{\text{service}} = 18,4 \text{ mseg.}$
- Tasa de servicio individual = 0,000015 paging/seg.
- Segundo momento servicio<sup>9</sup> =  $(18,4 \text{ mseg})^2$ .

Haciendo uso de los parámetros hallados, se pueden obtener los retardos del envío de los mensajes para paging para cada una de las áreas de localización, tal y como se recoge en la Tabla 3.27.

Tasa de paging	Tiempo de envío paging (sin retr.)
0.0	0.01747584
0.09138955	0.118057504
0.10573618	0.13571408

**Figura 3.27.** Tiempo medio de envío de los mensajes de paging.

Cuando la red detecta que el móvil no responde al mensaje de paging repite el mensaje al cabo de cierto tiempo. Para incorporar este mecanismo al modelo, se ha considerado que la probabilidad que un móvil reciba correctamente un mensaje de paging es de 0,9 y a lo sumo, la red podrá retransmitir un mismo mensaje tres veces. Por

<sup>9</sup> Se considera un tiempo de servicio determinista

otro lado se ha supuesto que el tiempo que espera la MSC entre mensaje y mensaje de paging es de 3 segundos. El tiempo de envío del mensaje de paging puede calcularse:

$$T_{send\_paging\_ret} = 0.9 \cdot T_{send\_paging} + 0.9 \cdot (1 - 0.9) \cdot (3 + T_{send\_paging}) + 0.9 \cdot (1 - 0.9)^2 \cdot (6 + T_{send\_paging}) \quad (3.30)$$

Mediante la fórmula y sustituyendo el valor del tiempo de envío por el hallado anteriormente, se obtiene:

Tiempo de envío paging (con retr.)
0.34145847
0.44193953
0.45957846

Figura 3.28. Tiempo medio de envío de los mensajes de paging con retransmisiones.

Se observa que el tiempo de retransmisión juega un papel capital a la hora de estimar el tiempo medio de envío de paging, por lo que es importante que el móvil reciba correctamente el mensaje en el primer intento o que la red disponga de mecanismos para la optimización del tiempo entre mensaje y mensaje de paging.

### 3.9.3 Dimensionado radio GPRS

El objetivo de este apartado es caracterizar exclusivamente los recursos necesarios para GPRS. Estos recursos se añadirán a los obtenidos anteriormente en el dimensionado GSM, y se evaluarán conjuntamente las prestaciones de la red. Por esta razón se debe obtener los recursos de tráfico y señalización y, adicionalmente, evaluar algún parámetro característico de la red GPRS. De acuerdo con lo expuesto, se procede a obtener en los siguientes apartados:

- Número de PDCH necesarios.
- Tiempo de tránsito de paquete en la red GPRS.
- Ocupación de los canales de señalización.

#### 3.9.3.1 Dimensionado del número de PDCH

Para determinar el número de PDCH necesarios en primer lugar se ha de calcular el tráfico (kbits/s) que se va a ofrecer en cada celda. Para ello se usa la siguiente fórmula:

$$TO\_celda = \frac{users\_cell \cdot penetracion \cdot Cuota\_merc \cdot Sessions\_8h \cdot Paq\_ses \cdot paq\_size}{3600} \quad (3.31)$$

Donde Sessions\_8h representa el número de sesiones de datos en modo paquete que establece un usuario durante 8 horas. Esta fórmula se debe corregir por un factor 3/11 o 8/11, según sea enlace ascendente o descendente. Seguidamente se presenta la matriz de tráfico.

## Estudio de implantación de una red celular GSM/GPRS

**Figura 3.29.** Tráfico por celda.

Una vez calculado el tráfico por celda se procede a determinar la carga por canal, que debe interpretarse como el tráfico máximo admisible en un PDCH para mantener una QoS determinada. Para determinar ésta, se ha de considerar la capacidad física máxima del canal y la carga del canal, que depende de la demanda de recursos por parte de los terminales.

Para calcular el caudal máximo se ha asumido, por simplicidad, que las condiciones radio son ideales. Así, al usar exclusivamente codificación CS2, el caudal máximo será de 12 kbps. La carga por canal se podrá obtener haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$Carga\_por\_canal = Caudal\_{máximo} * Factor\_de\_carga \quad (3.32)$$

Donde “Factor de carga” no es más que un parámetro para ponderar el caudal máximo anteriormente citado y representa el porcentaje de utilización de los canales GPRS; el aumento de la demanda simultánea de recursos se traduce en un descenso del caudal percibido por cada usuario. Se ha asumido un modelo pesimista, por lo que se ha estimado dicho factor en un 30% para así no degradar el servicio.

De esta manera, el número total de PDCH necesarios por celda viene dado por:

$$Num\_PDCH = \frac{Tráfico\_célula\_(kbps)}{Caudal\_máx * Factor\_carga} = \frac{Tráfico\_célula\_(kbps)}{3600} \quad (3.33)$$

El número de canales PDCH requeridos en cada uno de las celdas se presenta en la Figura 3.30.

TIME SLOTS DE PDCH											
			1	1	1						
1	1	1	1	1	1						
1	1	1	1	1	1						
1	1	1	1	1							
1	1	1	1	1	1	1					
1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	

Figura 3.30. TS de PDCH.

Una vez calculados el número de PDCH, se debe comprobar que este valor se puede acomodar en los canales sobrantes de GSM. Podemos distinguir dos tipos de canales:

- Canales estáticos o dedicados: son los únicos que pueden asegurar disponibilidad del servicio GPRS. Su utilización puede requerir instalación de portadoras nuevas.
- Canales conmutables o dinámicos: se trata de canales conmutables entre los servicios GSM y GPRS. Son más eficientes desde el punto de vista del aprovechamiento de recursos pero pueden provocar indisponibilidad o retardo en el servicio.

El número de canales estáticos se calculan a partir de los canales sobrantes de GSM resultantes del dimensionado de las portadoras de éste.

$$\text{Num\_canales\_estáticos} = 8 * \text{Núm\_portadoras} - \text{Time\_Slots\_GSM} \quad (3.34)$$

Por su parte, el cálculo de los canales dinámicos se obtiene de la resta del número medio de TS dedicados a GSM al número de TS dimensionados para GSM (obtenidos para garantizar una cierta probabilidad de bloqueo).

$$\text{Núm\_canales\_dinámicos} = \text{TS\_totales\_GSM} - \text{Núm\_medio\_TS\_utilizados} \quad (3.35)$$

La Figura 3.31 recoge los canales estáticos obtenidos.

## Estudio de implantación de una red celular GSM/GPRS

CANALES GPRS ESTÁTICOS									
			2	3	2				
1	1	1	0	2					
3	3	1	2	1					
3	3	1	2						
3	3	2	2	2	2				
3	3	1	1	3	1	1	6	6	6

Figura 3.31. Canales GPRS estáticos.

Puesto que se ha de garantizar que el número de canales conmutables debe ser inferior al número medio de canales no utilizados por el tráfico de voz de GSM, las comunicaciones de voz tendrán prioridad absoluta sobre las comunicaciones de datos en el uso de canales conmutables.

Se ha comprobado que para la mayor parte de celdas basta con los canales estáticos GPRS para cubrir la demanda de tráfico de datos en modo paquete. Sólo en una celda central se hace uso de canales dinámicos, siendo la utilización de éstos inferior al 40%, en todo caso.

Todo este estudio se ha realizado íntegramente sobre el enlace descendente debido a la clara tendencia del tráfico GPRS a ser asimétrico, siendo éste más utilizado que el ascendente y por lo tanto más problemático en cuanto a su dimensionado.

Las siguientes figuras (Figura 3.32 y Figura 3.33) recogen los canales dinámicos disponibles en cada celda para GPRS y las celdas donde son necesarios el uso de éstos para soportar el tráfico GPRS generado.

CANALES GPRS DINÁMICOS									
			5,5436	5,0463	5,5436				
9,7986	9,7986	9,7986	6,6369	5,5436					
9,7986	9,7986	9,7986	12,1006	9,7986					
9,7986	9,7986	9,7986	12,1006						
12,1006	12,1006	12,1006	12,1006	12,1006	12,1006				
9,7986	9,7986	9,7986	9,7986	9,7986	9,7986	9,7986	13,0892	13,0892	13,0892

Figura 3.32. Canales GPRS dinámicos.

**Figura 3.33.** Celdas donde es necesario el uso de canales commutables GSM/GPRS (símbolo negativo).

### **3.9.3.2 Tiempo de tránsito en red GPRS**

Un criterio para medir la calidad de servicio de una red GPRS es el tiempo de tránsito de un paquete de datos por la red GPRS. De acuerdo con las condiciones de calidad requeridas, se ha estimado que este tiempo debe ser inferior a **1** segundo.

Para el cálculo de este tiempo se ha utilizado un modelo de tráfico a ráfagas, en que los diferentes usuarios comparten el canal de forma multiplexada en tiempo. El modelo de tráfico utilizado es el M/G/R-PS [Referencia 21], donde PS se refiere a *Process-Sharing* (o partición de procesos).

Este modelo se distingue por que los usuarios no son capaces de transmitir a máxima velocidad disponible (esto es,  $n_{\text{canales}} \times 12\text{kbps}$ ) sino que la velocidad de transmisión está limitada. Dado que los terminales sólo pueden manejar 3+1 slots (DL y UL respectivamente), la tasa máxima por usuario será de  $3 \times 12\text{kbps} = 36\text{kbps}$  en el canal descendente (más restrictivo).

Se distinguen los siguientes parámetros:

$$\rho = \lambda \cdot \bar{l} \cdot N / C = r / C \quad (3.36)$$

$$R = C / R_n \quad (3.37)$$

Donde  $\rho$  representa la ocupación del enlace y  $R$  puede ser visto, en el modelo considerado, como el número de procesadores del sistema compartido.

El tiempo en cola será:

$$\frac{\bar{l}}{r_n} \cdot \frac{Er_c(R, \rho R)}{R(1-\rho)} \quad (3.38)$$

Y si se suma al tiempo de transmisión ( $\bar{l}/r_p$ ), se obtiene el tiempo medio de transmisión por paquete en el sistema GPRS.

El tiempo de tránsito se realiza con un número de canales igual al número de PDCH's calculados en el apartado anterior. Una vez simulado, se comprueba que los tiempos medios, en la mayoría de celdas, son inferiores a 1 segundo, exceptuando en algunas donde se supera ligeramente la cota preestablecida. Para estas celdas, se calculan los PDCH que se deberían añadir para garantizar que el tiempo de transmisión sea inferior a 1 segundo. Se ha comprobado que basta con añadir un nuevo PDCH en las celdas conflictivas para satisfacer con las necesidades impuestas.

**Figura 3.34.** Tiempo medio de red en GPRS y PDCH recalculado.

### **3.9.3.3 Ocupación de los canales de señalización**

Una vez estudiado el dimensionado de los canales de tráfico en GPRS, el siguiente punto a considerar hace referencia al dimensionado de los canales de señalización radio.

En este estudio se supone que el sistema GPRS puede usar los canales de señalización de GSM siempre que la ocupación del RACH (en GSM) sea inferior al 20%, lo cual se cumple holgadamente como hemos visto en la sección referente al dimensionado de GSM. El dimensionado de canales de señalización en GPRS comprende 3 tipos de canales: RACH, AGCH y PCH, los cuales se detallan a continuación.

*Canal de acceso aleatorio: RACH*

Lo utiliza el terminal móvil al iniciar una transferencia, ya sea para transmitir datos o información de señalización. El RACH se utiliza principalmente cada vez que el terminal móvil quiere trasmitir un bloque de información a la red. Para el caso en cuestión se han considerado ráfagas de duración **2,1** paquetes en media, por lo tanto la tasa de RACH por usuario al transmitir en el UL en GPRS es:

$$\lambda_{RACH} = \frac{\text{paquetes/sesión} \cdot \text{Sesiones/8horas}}{\text{Tamaño_ráfaga} \cdot 8 \cdot 3600} \cdot \frac{3}{11} \quad (3.39)$$

Donde se multiplica por el factor de asimetría en el enlace ascendente (3/11). Se ha supuesto que los usuarios realizan una media de 3 sesiones al día, repartidas en 8 horas. El estudio del RACH sobre Tarragona ha permitido comprobar que no se supera este valor en ninguna celda y por lo tanto se tiene vía libre para el uso de los canales de señalización GSM en GPRS.

*Canal de aviso de recibo de paquetes: PCH*

Se utiliza básicamente cuando alguien desea enviar datos al terminal sin que éste los haya solicitado (por ejemplo WAP-Push o MMS). Se ha considerado despreciable la tasa de WAP-Push, por lo que únicamente se tendrá en consideración la recepción de MMS. Para ello se parte inicialmente con que cada usuario envía y recibe un total de 28 MMS al mes (previsión a 5 años) con una penetración del servicio del 50%. La ocupación del canal vendrá dado por:

$$\text{Ocupación}_{PCH} = \frac{\text{MMS\_term} \cdot P \cdot C \cdot n}{\text{tasa\_accesos\_PCH\_combinado}} \quad (3.40)$$

Donde:

*MMS\_term*: número medio de MMS terminados en el móvil por segundo.

*P*: Penetración del servicio MMS.

*C*: Cuota de mercado.

*n*: número de usuarios.

La tasa de accesos PCH se corresponde a la tasa máxima de accesos paging que puede emitir la red, de acuerdo con el tipo de señalización empleada (combinada o descombinada) y el número de radiobloques dedicados a paging:

$$\text{tasa_accesos_PCH_combinado}=4*2*4/235\text{ms} \quad (3.41)$$

Según se mencionó anteriormente, se hace uso de señalización combinada, con 2 radiobloques para GPRS. Se comprueba como se esperaba que la ocupación es muy baja.

*Canal de acceso garantizado: AGCH*

Finalmente, este canal se usa en la fase de establecimiento de datos para enviar los mensajes de confirmación de asignación de recursos al terminal móvil antes de que inicie la transmisión. También se utilizan para indicarle al terminal móvil que se disponga para la recepción de una ráfaga, mediante los comandos *Immediate Assignment*.

Para realizar los cálculos, se han empleado nuevamente ráfagas de **2,1** paquetes de longitud tanto en UL como en DL. La tasa de accesos al AGCH viene dada por:

$$\lambda_{AGCH} = \frac{P \cdot C \cdot n \cdot Paq\_ses \cdot Ses\_usuario}{Tamaño\_ráfaga \cdot 8 \cdot 3600} \quad (3.42)$$

Donde:

- P: Penetración del servicio MMS.
  - C: Cuota de mercado.
  - n: número de usuarios.
  - Paq\_ses: Número medio de paquetes por sesión.
  - Ses\_usuario: Sesiones por usuario en un intervalo de 8 horas.
  - Tamaño\_Ráfaga: Tamaño medio de la ráfaga de datos.

Al utilizar señalización combinada, la tasa máxima de accesos al AGCH es de 4/235mseg., debido a que se utiliza un bloque del CCCH para el AGCH.

Calculando la ocupación del AGCH, se observa que se obtiene un correcto dimensionado del canal. En la Figura 3.35 se exponen los resultados obtenidos.

**Figura 3.35.** Ocupación del AGCH en GPRS.

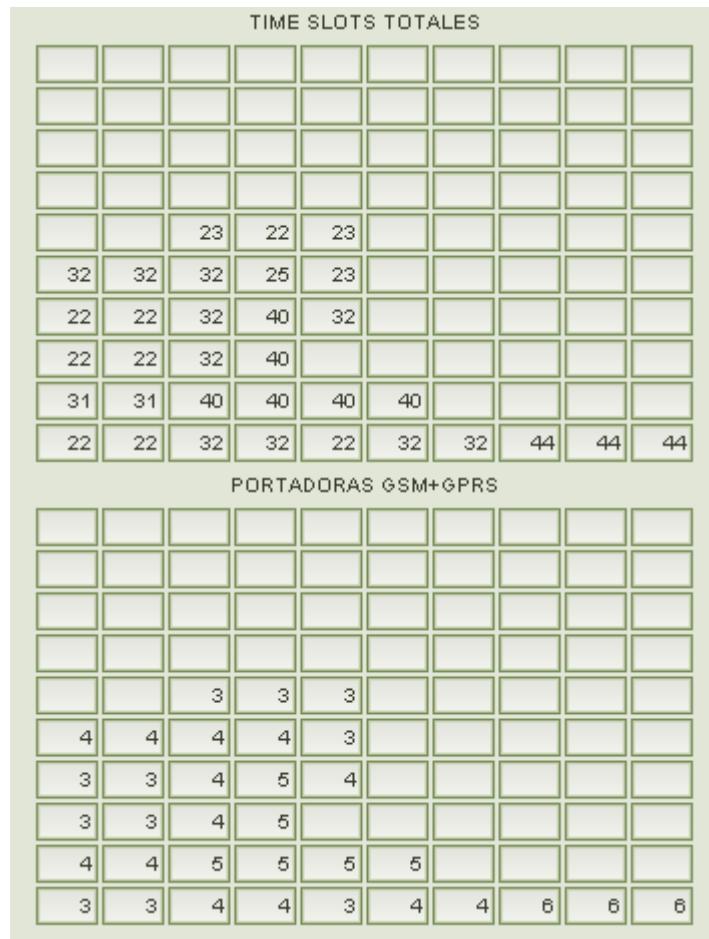
### **3.9.4 Integración GSM/GPRS**

Una vez comprobados por separado los diferentes canales de tráfico y de señalización para GSM y GPRS, y teniendo en cuenta las suposiciones de los dos apartados anteriores, se procede a la integración de los tráficos GSM y los de GPRS tanto para canales de usuario como de señalización, con el fin de verificar si la configuración actual permite soportar ambas tecnologías simultáneamente.

## Estudio de implantación de una red celular GSM/GPRS

El total de Time Slots, necesario para el posterior dimensionado de la red fija, se calcula como la suma de TS necesarios para GSM más los PDCH's necesarios para garantizar el volumen de tráfico requerido con una cierta calidad de servicio.

En la Figura 3.36 se puede ver el número de TS requeridos para GSM y GPRS con las configuraciones presentadas anteriormente y su equivalente en portadoras.



**Figura 3.36.** Totales de GSM/GPRS.

Además del número total de time slots, se ha comprobado que la ocupación del RACH y el AGCH, los dos canales de señalización más susceptibles de tener problemas por la incorporación de tráfico GPRS, continúan estando por debajo de las cotas máximas permitidas.

## Estudio de implantación de una red celular GSM/GPRS

**Figura 3.37.** Ocupación del RACH GSM/GPRS.

**Figura 3.38.** Ocupación del AGCH GSM/GPRS.

## 4 Conclusiones

### 4.1 Consecución de objetivos

Cumplir los objetivos que se marcaron al concebir el presente proyecto ha sido una ardua tarea con una complicada definición. Muchos conceptos, mucha teoría a asimilar por el lector y poco tiempo para dedicarse todo lo que se merece la presente materia. Y sobretodo una labor didáctica para nada fácil de llevar. La tecnología GSM en su globalidad es una virginería y realmente creo que sus creadores merecen mucho más que respeto y elogio.

Sin embargo, se ha conseguido llevar a buen puerto una labor didáctica del sistema GSM/GPRS, sintetizando, condensando y aclarando los puntos más importantes de esta tecnología. Me siento capaz de afirmar que a la finalización de este proyecto el lector es capaz de comprender los factores clave de GSM y su principal funcionamiento. Se quedan varios temas en el tintero, que hubiera sido de mucho agrado su explicación y profundización. Haber entrado en detalles de codificación de canal (explicando los códigos bloque, los códigos convolucionales, el funcionamiento real de la codificación y entrelazado, etc.); en las técnicas básicas de gestión de transmisión de paquetes (como son los esquemas de acceso múltiple con contención, las técnicas ARQ o el control de flujo); en el amplio tema de la señalización SS7; o en la caracterización de las redes Frame Relay para GSM y GPRS. Pero uno de los objetivos de este proyecto era dinamizar el contenido teórico de la materia y se puede afirmar con rotundidad que la cantidad ha sido la exacta. Ni más, ni menos.

Por último y no menos importante, la decisión de crear un estudio concreto para el dimensionado de la red GSM ha sido uno de los puntos más acertados. Gracias a esto se ha conseguido que el lector comprenda profundamente los conceptos teóricos anteriormente explicados. Creo que su extensión y estructuración han sido puntos muy fuertes para no dejar en el aire ninguna pregunta que se pueda hacer al respecto del tema.

Por ello, creo que los objetivos del proyecto se han cumplido de forma holgada, pese a no haberse visto saciada mi ambición por llegar más allá.

### 4.2 Futuras implementaciones

En este apartado, finalmente, se quiere indicar cual sería la línea de actuación para posibles implementaciones del modelo de proyecto que se ha creado.

Como bien sabe el lector, la evolución de las nuevas tecnologías celulares nos ha traído el sistema UMTS. El siguiente paso de implementación sería migrar nuestra red del 2,5G al 3G. de este modo veríamos como una red GSM/GPRS evoluciona hacia una red UMTS en sus aspectos de red fija y de red de acceso, que elementos serían necesarios y como se podrían aprovechar infraestructuras existentes de GSM/GPRS para construir una red de UMTS. El siguiente paso sería ver el impacto que supondría en el interfaz radio de una red UMTS R'99 la introducción de HSDPA y por último que cambios tendrían que realizarse en el núcleo de red para una futura evolución.

De esta manera se cerraría la implementación total de los sistemas celulares operativos hoy en día en nuestro país.

### 5 Bibliografía

- [1] Libro: M. Mouly, M.B. Pautet, “The GSM System For Mobile Communications”, Cell & Sys, 1992.
- [2] Libro: J.M. Hernando (Coordinador), “Comunicaciones Móviles GSM”, Fundación Airtel, 1999.
- [3] Libro: S.M. Redl, M.K. Weber, M.W. Oliphant, “An Introduction To GSM”, Artech House Publishers, Boston-London, 1995.
- [4] Libro: K. Murota, K. Hirade, “GSMK Modulation For Digital Mobile Radio Telephony”, IEEE Trans. Communications, Vol. Com 29, nº 7, 1981.
- [5] Libro: Regis J. Bates, “GPRS – General Packet Radio System”, Mc-Graw Hill Telecom, 2002.
- [6] Libro: T. Halonen, J. Romero, J. Melero, “GSM, GPRS And EDGE Performance”, John Wiley and Sons, 2002.
- [7] Libro: J. Bannister, P. Mather, S. Coope, “Convergence Technologies for 3G Networks”, John Wiley and Sons, 2004.
- [8] Página Web: <http://www.idescat.net>. [CONSULTA] Junio 2007.
- [9] Página Web: <http://www.red.es>. [CONSULTA] Junio 2007.
- [10] Página Web: <http://www.gencat.net>. [CONSULTA] Junio 2007.
- [11] Página Web: <http://www.municat.net> [CONSULTA] Junio 2007.
- [12] Libro: J.M. Hernando Rábanos, “Comunicaciones Móviles GSM”, Fundación Vodafone, 1999.
- [13] Libro: J.M. Hernando Rábanos, C. Lluch Mesquida, “GPRS: Tecnología, Servicios y Negocios”, Telefónica Móviles España, 2002.
- [14] Libro: G. Sanders, L. Thorens, M. Reisky, O. Rulik, S. Deylitz, “GPRS Networks”, John Wiley and Sons, 2003.
- [15] Libro: S. Ni, H. Sven-Gustav, “GPRS Performance Estimation in GSM Circuit Switched Services and GPRS Shared Resource Systems”, Proceedings of IEEE Wireless Communication and Networking Conference, 1999.
- [16] Libro: B. Baynat, P. Eisenmann, “Towards And Erlang-like law for GPRS/EDGE Network Engineering”, IEEE Internacional Conference on Volume 6, 2004.
- [17] Página Web: <http://www.ericsson.com.mx>. [CONSULTA] Agosto 2007.
- [18] ETSI EN 300 908, GSM 05.02 Version 6.4.1, “Digital Cellular Telecommunications System (Phase 2+); Multiplexing and Multiple Access on the Radio Path”, 1997.
- [19] Libro: S. Kaufman, “Blocking in Shared Resource Environment”, IEEE Transactions on Communications, Vol. Com 29, nº 10, 1981.
- [20] Libro: S.A. Berezner, A.E. Kresinski, “An efficient stable recursion to compute multiservice blocking probabilities, Elsevier Science Publishers B.V., 2001.
- [21] Artículo: A.Riedl, T.Bauschert, M. Perske, A. Probst, “Investigation of the M/G/R Processor Sharing Model for Dimensioning of IP Access Networks with Elastic Traffic”, 2000.
- [22] Libro: V.K. Garg, “Principles & Applications of GSM”, Prentice Hall, 1999.
- [23] Libro: F.J. Fente, J.A. Herrera, A.R. Cantera, R. Gómez, “Planificación de la red de interconexión de estaciones base”, Comunicaciones de Telefónica I+D, Vol.8 nº 1 y 2, 1997.
- [24] Libro: R. Thomas, M. Mouly, H. Gilbert, “Performance Evaluation of the Channel Organization of the European Digital Mobile Communication System”, VTC, 1998.
- [25] Artículo: G. Pollini, K.S. Meier-Hellster, D. Goodman, “Signalling Traffic Volume Generated by Mobile and Personal Communications”, Magazine, 1996.

## 6 Anexos

### 6.1 Diagrama de radiación de las antenas escogidas para la planificación radio

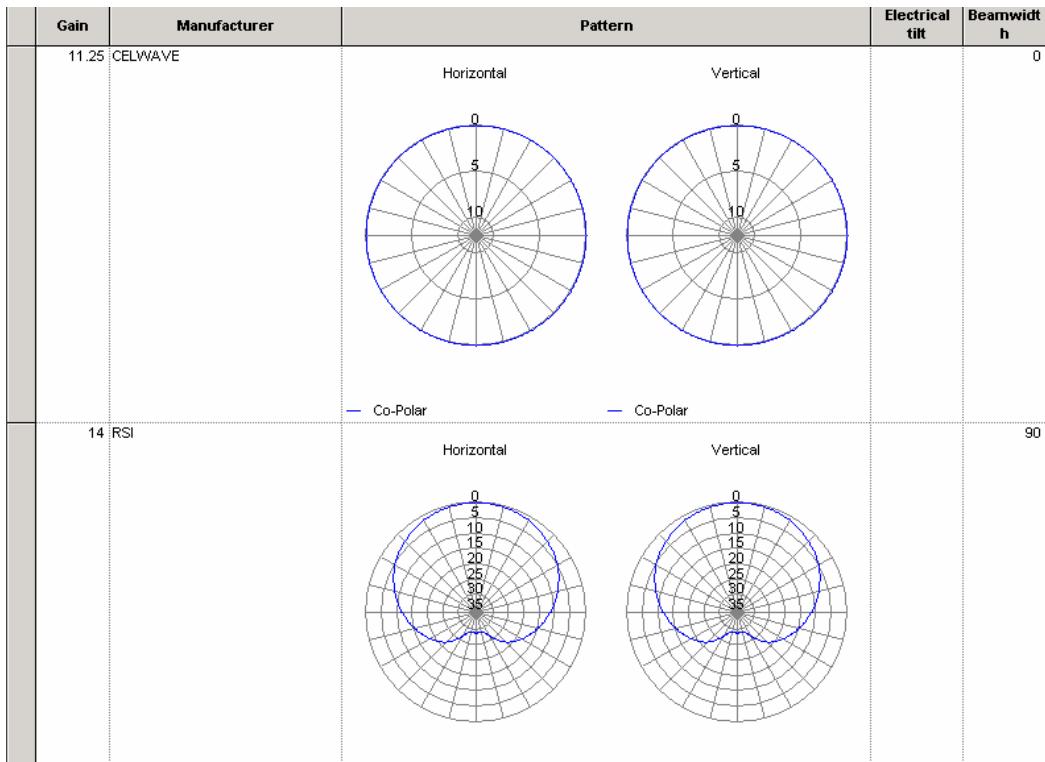


Figura 6.1. Antena omnidireccional (ganancia de 11.25dB) y antena bisectorial (ganancia de 14dB).

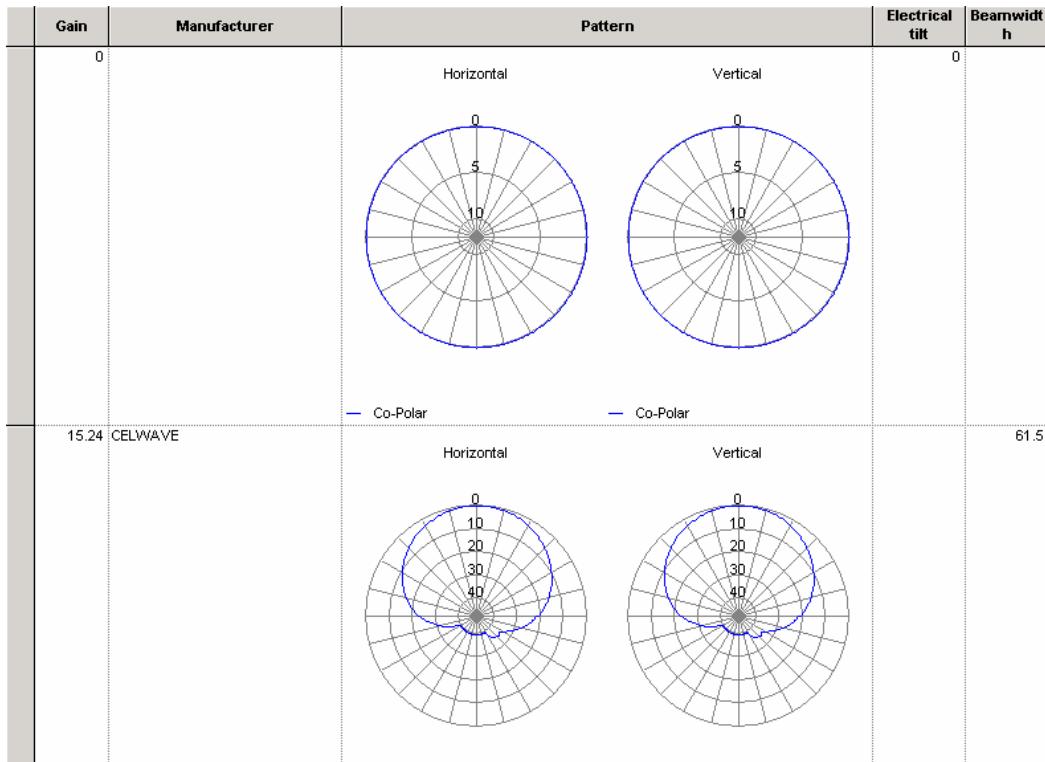


Figura 6.2. Antena isotrópica (sin ganancia) y antena trisectorial (ganancia de 15.24 dB).

## 6.2 Resultados de *Coverage by transmitter urbano con 35 portadoras*

	Surface (km <sup>2</sup> )	Traffic (Erlang)	% Total traffic	Antenna	Height (m)	Downtilt (°)	EIRP (dBm)	Channels	Requested TRXs
Coverage by transmitter (urbano)	1,256.96	2,043.08	87.99						
Site100_0	2.64	1.696	0.07	PD10192(BI)	30	0	48.25	43	1
Site100_1	2.56	1.408	0.06	PD10192(BI)	30	0	48.25	10	1
Site101_0	2.83	1.248	0.05	PD10192(BI)	30	0	48.25	40	1
Site101_1	2.78	1.32	0.06	PD10192(BI)	30	0	48.25	49	1
Site102_0	4.13	1.68	0.07	PD10192(BI)	30	0	48.25	37	1
Site102_1	2.99	1.412	0.06	PD10192(BI)	30	0	48.25	39	1
Site103_0	1.68	1.52	0.07	PD10192(BI)	30	0	48.25	15	1
Site103_1	1.65	1.54	0.07	PD10192(BI)	30	0	48.25	12	1
Site104_0	2.74	1.36	0.06	PD10192(BI)	30	0	48.25	41	1
Site104_1	4.17	1.504	0.06	PD10192(BI)	30	0	48.25	12	1
Site105_0	3.74	0.864	0.04	PD10192(BI)	30	0	48.25	35	1
Site105_1	0.97	0.192	0.01	PD10192(BI)	30	0	48.25	24	1
Site106_0	4.6	1.012	0.04	PD10192(BI)	30	0	48.25	18	1
Site106_1	1.95	0.348	0.01	PD10192(BI)	30	0	48.25	30	1
Site107_0	1.15	0.14	0.01	PD10192(BI)	30	0	48.25	46	1
Site107_1	2.59	1.1	0.05	PD10192(BI)	30	0	48.25	20	1
Site108_0	0.51	0.82	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	50	1
Site108_1	0.53	0.86	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	23	1
Site108_2	0.55	0.76	0.03	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	34	1
Site11_0	0.52	7.84	0.34	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	10 15	2
Site11_1	0.55	7.8	0.34	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	34 43	2
Site11_2	0.54	6.72	0.29	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	19 45	2
Site111_0	2.97	2.36	0.1	PD10192(BI)	30	0	48.25	22	1
Site111_1	0.48	0.6	0.03	PD10192(BI)	30	0	48.25	47	1
Site112_0	2.11	1.76	0.08	PD10192(BI)	30	0	48.25	38	1
Site112_1	1.87	1.54	0.07	PD10192(BI)	30	0	48.25	46	1
Site113_0	3.08	1.848	0.08	PD10192(BI)	30	0	48.25	22	1
Site113_1	1.96	1.224	0.05	PD10192(BI)	30	0	48.25	41	1
Site114_0	3.07	2.308	0.1	PD10192(BI)	30	0	48.25	45	1
Site114_1	1.56	1.68	0.07	PD10192(BI)	30	0	48.25	47	1
Site115_0	0.95	0.512	0.02	PD10192(BI)	30	0	48.25	41	1
Site115_1	2.83	1.076	0.05	PD10192(BI)	30	0	48.25	49	1
Site116_0	0.51	0.82	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	28	1
Site116_1	0.55	1.12	0.05	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	16	1
Site116_2	0.5	0.88	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	35	1
Site118_0	0.5	0.72	0.03	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	31	1
Site118_1	0.52	1.04	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	22	1
Site118_2	0.56	0.92	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	16	1
Site119_0	0.5	0.76	0.03	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	19	1
Site119_1	0.57	0.84	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	11	1
Site119_2	0.53	1.12	0.05	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	50	1
Site12_0	0.44	4.88	0.21	GSMA090-12-6(TRI)	30	4	56	46 48	2
Site12_1	0.58	7.84	0.34	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	26 35	2
Site12_2	0.54	7.72	0.33	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	38 50	2
Site120_0	0.51	1.06	0.05	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	17	1
Site120_1	0.52	0.96	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	50	1
Site120_2	0.58	1.2	0.05	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	32	1
Site121_0	0.49	1.12	0.05	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	18	1

## Anexos

Site121_1	0.54	0.76	0.03	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	28	1
Site121_2	0.54	1.12	0.05	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	33	1
Site122_0	0.52	1.12	0.05	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	49	1
Site122_1	0.55	0.78	0.03	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	10	1
Site122_2	0.51	1.06	0.05	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	28	1
Site123_0	0.51	1.12	0.05	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	16	1
Site123_1	0.56	1.02	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	18	1
Site123_2	0.53	0.7	0.03	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	30	1
Site124_0	0.52	0.96	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	15	1
Site124_1	1.32	1.136	0.05	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	38	1
Site124_2	0.52	1.04	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	36	1
Site125_0	0.52	1.2	0.05	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	29	1
Site125_1	0.55	1.12	0.05	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	39	1
Site125_2	0.53	0.88	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	18	1
Site126_0	0.51	0.96	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	21	1
Site126_1	0.57	1.12	0.05	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	10	1
Site126_2	0.55	1	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	36	1
Site127_0	1.93	1.72	0.07	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	26	1
Site127_1	0.65	1.2	0.05	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	48	1
Site127_2	0.52	0.88	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	29	1
Site128_0	0.5	0.9	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	33	1
Site128_1	0.53	0.96	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	21	1
Site128_2	0.54	1.28	0.06	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	26	1
Site129_0	1.25	1.06	0.05	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	45	1
Site129_1	0.6	0.96	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	32	1
Site129_2	1.32	1.408	0.06	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	42	1
Site13_0	0.69	8.8	0.38	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	36 42 45	3
Site13_2	0.35	4.72	0.2	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	23 48	2
Site130_0	0.75	1.14	0.05	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	20	1
Site130_1	0.57	1.04	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	12	1
Site130_2	0.63	1.28	0.06	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	40	1
Site131_0	0.49	0.96	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	24	1
Site131_1	0.56	1.12	0.05	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	14	1
Site131_2	0.49	1.04	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	39	1
Site132_0	0.52	0.96	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	48	1
Site132_1	0.58	0.94	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	11	1
Site132_2	0.52	1.12	0.05	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	38	1
Site133_0	0.5	0.96	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	12	1
Site133_1	0.54	0.8	0.03	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	40	1
Site133_2	0.65	0.84	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	27	1
Site134_0	0.58	0.88	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	14	1
Site134_1	4.15	0.624	0.03	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	25	1
Site134_2	0.62	0.8	0.03	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	19	1
Site135_0	0.51	0.96	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	13	1
Site135_1	2.43	0.792	0.03	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	44	1
Site135_2	1.72	0.624	0.03	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	17	1
Site136_0	0.5	0.96	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	34	1
Site136_1	1.8	0.72	0.03	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	42	1
Site136_2	3.68	0.7	0.03	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	21	1
Site137_0	0.5	0.62	0.03	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	35	1
Site137_1	0.71	0.976	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	20	1
Site137_2	1.61	1.104	0.05	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	44	1
Site138_0	0.6	0.904	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	37	1
Site138_1	0.59	1.12	0.05	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	43	1

## Anexos

Site138_2	2.62	1.096	0.05	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	23	1
Site139_0	1.09	1.592	0.07	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	38	1
Site139_1	0.57	1.2	0.05	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	15	1
Site139_2	1.95	1.16	0.05	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	24	1
Site140_0	1.81	2.84	0.12	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	10 43	2
Site140_1	0.59	1.12	0.05	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	13	1
Site140_2	1.8	1.92	0.08	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	48	1
Site141_0	3.85	1.84	0.08	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	44	1
Site141_1	0.67	1.12	0.05	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	26	1
Site141_2	0.69	1.18	0.05	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	37	1
Site142_0	1.05	1.66	0.07	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	40	1
Site142_1	0.59	1.2	0.05	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	27	1
Site142_2	0.5	0.8	0.03	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	31	1
Site143_0	0.56	1	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	39	1
Site143_1	0.67	1.32	0.06	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	49	1
Site143_2	0.5	0.92	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	30	1
Site144_0	5.77	1.776	0.08	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	13	1
Site144_1	1.15	1.66	0.07	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	27	1
Site144_2	0.6	1.12	0.05	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	40	1
Site145_0	4.59	0.92	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	50	1
Site145_1	4.31	1.072	0.05	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	24	1
Site145_2	0.54	1.04	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	45	1
Site146_0	0.59	1.04	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	49	1
Site146_1	3.77	0.292	0.01	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	19	1
Site146_2	0.64	0.86	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	46	1
Site147_0	16.66	2.724	0.12	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	29 34	2
Site148_0	15.3	5.328	0.23	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	21 36	2
Site149_0	10	2.212	0.1	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	33	1
Site15_0	0.53	7.28	0.31	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	33 50	2
Site15_1	0.51	7.28	0.31	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	45 47	2
Site15_2	0.57	7.84	0.34	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	11 16	2
Site150_0	7.21	6.12	0.26	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	28 32	2
Site151_0	7.76	6.04	0.26	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	17 25	2
Site152_0	10.06	5.536	0.24	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	19 37	2
Site153_0	13.09	12.92	0.56	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	13 41 50	3
Site154_0	13.38	5.616	0.24	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	10 36	2
Site155_0	5.32	3.832	0.17	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	23 42	2
Site155_1	2.48	4.52	0.19	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	27 38	2
Site155_2	2.63	2.64	0.11	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	30 34	2
Site156_0	4.61	4.72	0.2	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	11 19	2
Site156_1	2.28	7.76	0.33	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	21 29	2
Site156_2	2.1	2.08	0.09	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	27	1
Site157_0	3.18	6.48	0.28	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	40 44	2
Site157_1	1.45	8.36	0.36	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	12 32 42	3
Site157_2	3.31	12.2	0.53	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	10 20 37	3
Site158_0	0.72	4.088	0.18	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	32 41	2
Site158_1	0.41	2.16	0.09	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	49	1
Site158_2	0.89	3.856	0.17	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	11 26	2
Site159_0	0.87	4.8	0.21	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	39 43	2
Site159_1	0.72	4.56	0.2	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	10 36	2
Site159_2	2.67	8.568	0.37	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	32 41 49	3
Site16_0	0.51	6.72	0.29	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	11 20	2
Site16_1	0.57	7.36	0.32	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	31 46	2
Site16_2	0.5	7.84	0.34	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	35 41	2

## Anexos

Site160_0	0.92	5.76	0.25	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	11 44	2
Site160_1	0.55	3.36	0.14	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	33 35	2
Site160_2	0.3	1.68	0.07	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	29	1
Site161_0	0.78	4.56	0.2	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	15 38	2
Site161_1	0.61	3.2	0.14	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	12 35	2
Site161_2	0.55	2.24	0.1	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	46	1
Site162_0	0.6	4.08	0.18	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	14 21	2
Site162_1	0.61	3.36	0.14	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	11 31	2
Site162_2	0.58	3.36	0.14	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	18 45	2
Site163_0	0.65	4.04	0.17	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	13 37	2
Site163_1	0.41	3.84	0.17	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	17 34	2
Site163_2	2.2	8.64	0.37	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	21 26 39	3
Site164_0	9.26	1.84	0.08	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	18	1
Site165_0	9.31	3.248	0.14	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	17 25	2
Site166_0	4.33	12.28	0.53	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	16 25 39	3
Site166_1	1.45	6.8	0.29	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	14 45	2
Site166_2	2.2	9.36	0.4	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	22 35 50	3
Site167_0	0.58	6.56	0.28	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	14 35	2
Site167_2	0.48	6.72	0.29	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	42 50	2
Site169_0	8.95	2.452	0.11	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	49	1
Site17_0	0.47	4.56	0.2	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	16 29	2
Site17_1	0.52	5.72	0.25	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	20 45	2
Site17_2	0.55	7.6	0.33	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	14 41	2
Site170_0	16.82	8.36	0.36	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	23 39 47	3
Site171_0	15.8	8.3	0.36	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	37 40 42	3
Site172_0	10.32	5.38	0.23	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	13 38	2
Site173_0	0.59	7.12	0.31	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	15 17	2
Site173_1	0.33	5.04	0.22	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	32 43	2
Site173_2	3.34	8.32	0.36	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	22 37	3
Site174_0	9.17	7.712	0.33	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	11 20	2
Site176_0	6.53	3.816	0.16	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	22 36	2
Site177_0	9.46	2.432	0.1	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	26	1
Site178_0	0.66	4.68	0.2	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	29 35	2
Site178_1	0.67	2.4	0.1	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	49	1
Site178_2	1.45	7.24	0.31	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	17 24	2
Site179_0	0.61	2.88	0.12	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	19 33	2
Site179_1	0.63	3.76	0.16	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	14 21	2
Site179_2	0.75	4.56	0.2	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	28 47	2
Site18_0	0.5	6.88	0.3	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	44 47	2
Site18_1	0.65	7.28	0.31	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	17 22	2
Site18_2	0.66	8.56	0.37	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	29 37 39	3
Site180_0	0.53	3.32	0.14	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	21 23	2
Site180_1	0.61	5.24	0.23	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	32 38	2
Site180_2	0.5	3.12	0.13	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	10 30	2
Site181_0	0.53	3.68	0.16	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	20 40	2
Site181_1	0.56	3.12	0.13	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	16 18	2
Site181_2	0.62	4.84	0.21	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	27 34	2
Site182_0	0.51	3.2	0.14	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	17 19	2
Site182_1	0.57	2.4	0.1	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	24	1
Site182_2	0.51	2.24	0.1	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	15	1
Site183_0	0.56	3.6	0.16	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	21 41	2
Site183_1	0.67	2.72	0.12	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	10 50	2
Site183_2	0.54	2.32	0.1	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	16	1
Site184_0	0.56	3.28	0.14	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	18 23	2

## Anexos

Site184_1	0.78	3.32	0.14	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	39 45	2
Site184_2	0.58	3.48	0.15	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	30 36	2
Site185_0	0.56	4.04	0.17	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	20 32	2
Site185_2	0.39	3.56	0.15	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	22 48	2
Site186_0	0.55	2.4	0.1	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	26	1
Site186_1	1.17	6.88	0.3	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	33 48	2
Site186_2	0.67	4.04	0.17	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	31 37	2
Site187_0	0.6	3.36	0.14	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	42 48	2
Site187_1	0.77	3.6	0.16	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	27 29	2
Site187_2	0.4	2.08	0.09	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	46	1
Site188_0	0.58	3.36	0.14	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	37 42	2
Site188_1	0.56	3.84	0.17	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	15 22	2
Site188_2	0.5	2.88	0.12	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	10 50	2
Site189_0	0.55	3.96	0.17	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	11 17	2
Site189_1	0.53	2.48	0.11	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	24	1
Site189_2	0.6	2.7	0.12	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	13 36	2
Site19_0	0.47	5.76	0.25	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	10 18	2
Site19_1	0.79	10.64	0.46	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	12 34 37	3
Site19_2	0.73	10.24	0.44	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	15 28 40	3
Site190_0	0.68	2.96	0.13	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	22 24	2
Site190_1	0.64	2.3	0.1	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	18	1
Site190_2	0.49	2.42	0.1	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	48	1
Site191_0	0.43	0.38	0.02	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	50	1
Site191_1	0.36	1.52	0.07	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	34	1
Site191_2	0.22	1.44	0.06	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	28	1
Site192_0	1.56	2.7	0.12	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	15 35	2
Site192_1	0.63	2.26	0.1	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	30	1
Site192_2	0.69	3.84	0.17	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	33 45	2
Site193_0	1.15	3.84	0.17	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	14 34	2
Site193_1	1.03	6	0.26	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	16 22	2
Site193_2	1.38	2.696	0.12	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	20 24	2
Site194_0	1.13	4.9	0.21	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	10 45	2
Site194_1	0.6	3.36	0.14	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	20 26	2
Site194_2	0.56	3.12	0.13	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	38 47	2
Site195_0	4.56	2.46	0.11	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	49	1
Site195_1	0.67	3.84	0.17	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	28 36	2
Site195_2	0.72	4.108	0.18	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	31 43	2
Site196_0	3.52	5.42	0.23	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	12 27	2
Site196_1	0.74	5.56	0.24	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	19 45	2
Site196_2	0.62	3.84	0.17	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	10 41	2
Site197_0	0.55	4.16	0.18	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	25 39	2
Site197_1	0.54	3.56	0.15	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	10 27	2
Site197_2	0.6	4.84	0.21	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	19 50	2
Site198_0	0.6	3.84	0.17	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	21 44	2
Site198_1	0.9	3.392	0.15	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	23 25	2
Site198_2	0.56	3.12	0.13	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	12 35	2
Site199_0	0.61	4.08	0.18	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	19 42	2
Site199_1	0.51	2.64	0.11	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	28 34	2
Site199_2	0.64	2.04	0.09	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	39	1
Site20_0	0.54	8.4	0.36	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	14 24 50	3
Site20_1	1.29	18.64	0.8	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	27 31 39 48	4
Site20_2	0.7	6.88	0.3	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	33 44	2
Site200_0	4.12	6.636	0.29	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	29 35	2
Site200_1	2.28	2.064	0.09	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	46	1

## Anexos

Site200_2	0.56	3.56	0.15	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	37 40	2
Site201_0	0.97	2.896	0.12	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	36 44	2
Site201_1	1.12	7.92	0.34	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	31 47	2
Site201_2	0.7	3.6	0.16	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	11 25	2
Site202_0	2.19	3.208	0.14	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	20 43	2
Site202_1	2.52	3.744	0.16	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	30 40	2
Site202_2	0.62	3.84	0.17	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	22 38	2
Site203_0	0.69	5.96	0.26	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	15 22	2
Site203_1	0.41	4.16	0.18	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	24 33	2
Site203_2	1.12	6.24	0.27	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	27 43	2
Site204_0	0.66	4.8	0.21	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	17 37	2
Site204_1	0.37	4.16	0.18	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	25 32	2
Site204_2	0.42	2.56	0.11	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	23 41	2
Site205_0	0.47	3.8	0.16	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	27 33	2
Site205_1	0.53	3.84	0.17	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	29 43	2
Site205_2	0.64	4.8	0.21	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	35 50	2
Site206_0	0.99	7.376	0.32	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	14 21	2
Site206_1	0.62	5.92	0.25	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	26 34	2
Site206_2	0.91	9.4	0.4	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	10 19 49	3
Site207_0	0.56	5.92	0.25	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	31 35	2
Site207_1	0.92	7.36	0.32	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	19 50	2
Site207_2	0.79	6.4	0.28	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	39 45	2
Site208_0	0.59	4.8	0.21	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	38 43	2
Site208_1	0.74	5.92	0.25	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	10 40	2
Site208_2	0.85	7.04	0.3	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	12 21	2
Site209_0	2.88	10.256	0.44	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	11 13 19	3
Site209_1	0.56	5	0.22	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	28 30	2
Site209_2	0.8	7	0.3	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	38 47	2
Site210_0	0.52	6.56	0.28	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	17 28	2
Site211_1	0.54	7.6	0.33	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	13 15	2
Site211_2	0.64	9.36	0.4	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	39 43 50	3
Site210_1	0.64	5.36	0.23	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	23 36	2
Site210_2	0.46	4.44	0.19	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	13 34	2
Site211_0	3.08	6.232	0.27	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	32 47	2
Site211_1	0.85	8.2	0.35	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	36 39 44	3
Site211_2	0.63	3.568	0.15	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	10 18	2
Site212_0	2.44	9.28	0.4	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	20 35 48	3
Site212_1	0.61	5.84	0.25	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	18 39	2
Site212_2	0.74	7.2	0.31	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	30 45	2
Site213_0	3.06	11.76	0.51	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	10 15 30	3
Site213_1	0.54	7.84	0.34	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	14 46	2
Site213_2	1.85	8.4	0.36	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	19 33 36	3
Site214_0	13.12	17.472	0.75	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	20 24 44 46	4
Site215_0	7.57	6.64	0.29	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	27 33	2
Site216_0	0.62	4.88	0.21	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	17 33	2
Site216_1	0.77	4.08	0.18	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	12 37	2
Site216_2	0.78	6.72	0.29	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	20 42	2
Site217_0	3.52	4.28	0.18	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	14 29	2
Site217_1	0.65	4.56	0.2	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	23 32	2
Site217_2	0.84	5.12	0.22	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	40 46	2
Site218_0	0.62	5.76	0.25	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	21 25	2
Site218_1	1	5.52	0.24	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	28 31	2
Site218_2	0.74	4.32	0.19	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	37 41	2

## Anexos

Site219_0	0.71	4.08	0.18	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	42 50	2
Site219_1	0.79	3.84	0.17	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	13 44	2
Site219_2	0.73	4.56	0.2	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	15 38	2
Site22_0	0.49	4.08	0.18	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	29 32	2
Site22_1	0.49	4.04	0.17	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	11 19	2
Site22_2	0.58	8.4	0.36	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	13 40 43	3
Site220_0	3.12	2.936	0.13	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	22 27	2
Site220_1	0.85	5.88	0.25	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	30 48	2
Site220_2	0.72	3.6	0.16	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	16 34	2
Site221_0	5.17	4.552	0.2	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	10 34	2
Site221_1	5.64	9.72	0.42	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	19 41 46	3
Site221_2	0.73	6	0.26	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	24 49	2
Site222_0	5.4	6.4	0.28	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	13 16	2
Site222_1	7.37	3.76	0.16	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	34 41	2
Site222_2	9.51	5.16	0.22	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	20 43	2
Site223_0	6.65	1.46	0.06	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	15	1
Site224_0	14.26	7.22	0.31	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	22 46	2
Site225_0	2.43	1.12	0.05	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	17	1
Site226_0	9.85	3.224	0.14	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	14 20	2
Site227_0	3.72	1.08	0.05	AO9209(OMNI)	50	0	53.25	28	1
Site228_0	17.89	2.104	0.09	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	37	1
Site229_0	19.06	9.068	0.39	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	35 38 42	3
Site23_0	1.18	13.12	0.57	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	27 39 45	3
Site23_1	0.54	7.84	0.34	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	10 30	2
Site23_2	0.51	7.84	0.34	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	12 42	2
Site230_0	2.98	6.68	0.29	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	25 47	2
Site230_1	0.51	8.4	0.36	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	11 29 50	3
Site230_2	0.58	7.84	0.34	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	34 40	2
Site231_0	14.03	2.828	0.12	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	11 43	2
Site232_0	2.32	6.888	0.3	PD10192(BI)	30	0	48.25	24 30	2
Site232_1	1.2	2.096	0.09	PD10192(BI)	30	0	48.25	48	1
Site233_1	0.25	1.688	0.07	PD10192(BI)	30	0	48.25	26	1
Site234_0	3.05	6.84	0.29	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	12 47	2
Site234_1	0.66	7.2	0.31	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	14 50	2
Site234_2	4.29	10.992	0.47	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	33 36 38	3
Site235_0	1.72	2.28	0.1	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	40	1
Site235_1	0.73	7.08	0.3	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	15 48	2
Site235_2	0.57	5.76	0.25	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	11 44	2
Site236_0	0.56	6.12	0.26	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	10 49	2
Site236_1	0.79	8.16	0.35	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	16 31 36	3
Site236_2	0.65	7.08	0.3	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	34 42	2
Site237_0	0.98	9.064	0.39	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	13 35 46	3
Site237_1	0.3	4.52	0.19	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	33 43	2
Site237_2	1.55	3.456	0.15	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	20 41	2
Site238_0	1.52	8.84	0.38	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	10 23 33	3
Site238_1	0.75	2.88	0.12	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	18 37	2
Site238_2	0.61	6.48	0.28	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	39 45	2
Site239_0	11.41	2.332	0.1	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	33	1
Site24_0	0.76	11.2	0.48	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	12 22 34	3
Site24_1	0.45	5.88	0.25	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	20 42	2
Site24_2	0.48	5	0.22	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	25 27	2
Site240_0	13.22	5.304	0.23	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	31 38	2
Site241_0	3.15	4.1	0.18	PD10192(BI)	30	0	48.25	18 31	2
Site241_1	1.88	3.34	0.14	PD10192(BI)	30	0	48.25	26 48	2

## Anexos

Site242_0	20.09	7.74	0.33	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	27 44	2
Site243_0	7.43	3.08	0.13	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	21 48	2
Site244_0	17.77	4.852	0.21	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	31 33	2
Site245_0	5.36	5.26	0.23	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	19 22	2
Site246_0	8.29	7.16	0.31	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	15 22	2
Site247_0	2.55	5.52	0.24	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	33 38	2
Site247_1	0.6	8.4	0.36	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	10 27 31	3
Site247_2	0.64	6.76	0.29	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	16 48	2
Site248_0	2.36	13.2	0.57	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	32 44 46	3
Site248_1	0.54	4.16	0.18	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	24 28	2
Site248_2	0.58	7.84	0.34	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	13 26	2
Site249_0	1.72	2.28	0.1	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	47	1
Site249_1	0.97	8.72	0.38	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	17 21 23	3
Site249_2	0.68	8.48	0.37	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	12 30 49	3
Site250_0	1.13	15.08	0.65	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	29 36 40 43	4
Site251_1	1.64	18.656	0.8	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	10 23 25 46	4
Site252_0	0.74	8	0.34	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	38 49	2
Site250_0	6.44	11.76	0.51	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	18 23 27	3
Site250_1	0.96	6.72	0.29	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	12 45	2
Site251_0	23.31	0.04	0	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	10	1
Site26_0	3.12	19.92	0.86	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	13 32 35 48	4
Site26_1	2.39	14.704	0.63	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	28 30 41 44	4
Site26_2	0.71	9.16	0.39	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	11 26 46	3
Site27_0	0.91	12.88	0.55	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	10 36 40	3
Site27_1	0.64	8.4	0.36	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	14 16 50	3
Site27_2	0.57	7.88	0.34	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	12 42	2
Site28_0	7	2.48	0.11	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	25	1
Site28_1	4.26	4.28	0.18	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	21 35	2
Site28_2	4.99	4.6	0.2	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	19 37	2
Site29_0	4.97	3.76	0.16	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	15 31	2
Site29_1	1.28	1.36	0.06	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	21	1
Site29_2	2.17	2.08	0.09	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	38	1
Site30_0	1.66	0.24	0.01	PD10192(BI)	30	0	48.25	12	1
Site30_1	2.68	2.16	0.09	PD10192(BI)	30	0	48.25	23	1
Site31_0	3.36	1.248	0.05	PD10192(BI)	30	0	48.25	46	1
Site31_1	1.18	0.408	0.02	PD10192(BI)	30	0	48.25	23	1
Site32_0	0.73	2.9	0.12	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	22 37	2
Site32_1	2.29	2.96	0.13	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	11 16	2
Site32_2	4.08	4.32	0.19	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	18 41	2
Site33_0	3	2.66	0.11	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	26 43	2
Site33_1	0.94	3.2	0.14	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	39 50	2
Site33_2	2.76	3.76	0.16	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	17 19	2
Site34_0	2.64	4.92	0.21	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	34 45	2
Site34_1	3.74	5.8	0.25	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	14 49	2
Site34_2	0.63	2.4	0.1	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	24	1
Site38_0	2.45	0.12	0.01	PD10192(BI)	30	0	48.25	10	1
Site38_1	1.18	0.148	0.01	PD10192(BI)	30	0	48.25	25	1
Site39_0	2.59	0.584	0.03	PD10192(BI)	30	0	48.25	15	1
Site39_1	3.74	0.848	0.04	PD10192(BI)	30	0	48.25	11	1
Site4_0	0.51	6.92	0.3	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	18 42	2
Site4_1	0.58	7.44	0.32	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	24 49	2
Site4_2	2.62	11.2	0.48	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	22 30 36	3
Site40_0	3.73	0.84	0.04	PD10192(BI)	30	0	48.25	45	1
Site40_1	3.27	0.756	0.03	PD10192(BI)	30	0	48.25	15	1

## Anexos

Site41_0	2.41	0.576	0.02	PD10192(BI)	30	0	48.25	13	1
Site41_1	1.13	0.288	0.01	PD10192(BI)	30	0	48.25	50	1
Site42_0	3.66	0.836	0.04	PD10192(BI)	30	0	48.25	20	1
Site42_1	2.94	0.64	0.03	PD10192(BI)	30	0	48.25	47	1
Site43_0	1.99	0.488	0.02	PD10192(BI)	30	0	48.25	13	1
Site43_1	2.52	0.548	0.02	PD10192(BI)	30	0	48.25	46	1
Site44_0	1.96	0.468	0.02	PD10192(BI)	30	0	48.25	11	1
Site44_1	2.55	1.388	0.06	PD10192(BI)	30	0	48.25	23	1
Site45_0	14.3	1.976	0.09	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	47	1
Site47_0	11.37	2.324	0.1	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	35	1
Site49_0	13.43	2.672	0.12	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	19 21	2
Site5_0	0.94	8.96	0.39	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	13 25 27	3
Site5_1	1.02	10.8	0.47	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	29 32 46	3
Site50_0	13.97	2.792	0.12	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	23 39	2
Site51_0	8.74	1.696	0.07	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	17	1
Site54_0	6.77	1.36	0.06	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	41	1
Site56_0	11.5	2.328	0.1	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	28	1
Site6_0	0.52	6.72	0.29	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	17 43	2
Site6_1	0.52	6.68	0.29	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	28 33	2
Site6_2	0.53	7.16	0.31	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	10 20	2
Site60_0	5.37	1.088	0.05	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	34	1
Site63_0	17.9	3.528	0.15	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	31 45	2
Site64_0	10.82	2.392	0.1	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	24	1
Site65_0	19.32	5.12	0.22	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	22 32	2
Site66_0	9.47	1.824	0.08	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	43	1
Site69_0	4.99	0.88	0.04	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	42	1
Site7_0	0.53	6.12	0.26	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	44 49	2
Site7_1	0.55	9.2	0.4	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	22 27 40	3
Site7_2	0.55	7.84	0.34	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	31 47	2
Site70_0	5.8	0.216	0.01	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	30	1
Site71_0	14.33	1.992	0.09	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	35	1
Site73_0	5.69	3.08	0.13	PD10192(BI)	30	0	48.25	41 46	2
Site73_1	3.95	3.52	0.15	PD10192(BI)	30	0	48.25	11 31	2
Site74_0	4.84	5.4	0.23	PD10192(BI)	30	0	48.25	15 25	2
Site74_1	4.54	7.32	0.32	PD10192(BI)	30	0	48.25	46 50	2
Site75_0	4.62	9.22	0.4	PD10192(BI)	30	0	48.25	29 33 44	3
Site75_1	3.56	5.34	0.23	PD10192(BI)	30	0	48.25	14 26	2
Site77_0	3.89	2.16	0.09	PD10192(BI)	30	0	48.25	17	1
Site77_1	3.76	3.64	0.16	PD10192(BI)	30	0	48.25	10 48	2
Site78_0	4.17	9.2	0.4	PD10192(BI)	30	0	48.25	13 27 37	3
Site78_1	3.84	9.28	0.4	PD10192(BI)	30	0	48.25	16 18 20	3
Site79_0	3.79	8.96	0.39	PD10192(BI)	30	0	48.25	38 40 42	3
Site79_1	4.24	7.216	0.31	PD10192(BI)	30	0	48.25	28 36	2
Site8_0	0.54	8.4	0.36	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	14 26 28	3
Site8_1	0.55	7.84	0.34	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	30 41	2
Site8_2	5	8.4	0.36	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	18 21 35	3
Site80_0	3.89	3.668	0.16	PD10192(BI)	30	0	48.25	22 24	2
Site80_1	1.34	1.888	0.08	PD10192(BI)	30	0	48.25	45	1
Site84_0	14.34	2.764	0.12	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	27 33	2
Site86_0	11.71	5.272	0.23	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	21 42	2
Site87_0	17.25	3.48	0.15	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	29 47	2
Site9_0	0.52	6.72	0.29	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	34 41	2
Site9_1	0.55	8.4	0.36	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	44 48 50	3
Site9_2	0.55	7.28	0.31	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	10 24	2

## Anexos

Site90_0	3	0.584	0.03	PD10192(BI)	30	0	48.25	37	1
Site90_1	0.43	0.12	0.01	PD10192(BI)	30	0	48.25	25	1
Site94_0	3.58	2.16	0.09	PD10192(BI)	30	0	48.25	20	1
Site94_1	1.23	1.22	0.05	PD10192(BI)	30	0	48.25	11	1
Site95_0	1.66	1.58	0.07	PD10192(BI)	30	0	48.25	35	1
Site95_1	0.89	0.632	0.03	PD10192(BI)	30	0	48.25	12	1
Site96_0	2	1.1	0.05	PD10192(BI)	30	0	48.25	10	1
Site96_1	3.27	1.8	0.08	PD10192(BI)	30	0	48.25	14	1
Site97_0	3.41	0.98	0.04	PD10192(BI)	30	0	48.25	29	1
Site97_1	2.7	1.5	0.06	PD10192(BI)	30	0	48.25	27	1
Site98_0	3.56	1.848	0.08	PD10192(BI)	30	0	48.25	47	1
Site98_1	2.57	1.216	0.05	PD10192(BI)	30	0	48.25	36	1
Site99_0	3.29	2.68	0.12	PD10192(BI)	30	0	48.25	18 50	2
Site99_1	3.71	3.66	0.16	PD10192(BI)	30	0	48.25	25 41	2

### 6.3 Resultados de *Coverage by transmitter rural con 35 portadoras*

	Surface (km <sup>2</sup> )	Traffic (Erlang)	%Total traffic	Antenna	Height (m)	Downtilt (°)	EIRP (dBm)	Channels	Requested TRXs
Coverage by transmitter (rural)	1,642.49	2,123.34	91.44						
Site100_0	3.04	1.8	0.08	PD10192(BI)	30	0	48.25	43	1
Site100_1	2.72	1.456	0.06	PD10192(BI)	30	0	48.25	10	1
Site101_0	2.91	1.376	0.06	PD10192(BI)	30	0	48.25	40	1
Site101_1	3.58	1.512	0.07	PD10192(BI)	30	0	48.25	49	1
Site102_0	5.77	2.472	0.11	PD10192(BI)	30	0	48.25	37	1
Site102_1	3.39	1.46	0.06	PD10192(BI)	30	0	48.25	39	1
Site103_0	1.71	1.52	0.07	PD10192(BI)	30	0	48.25	15	1
Site103_1	1.65	1.54	0.07	PD10192(BI)	30	0	48.25	12	1
Site104_0	2.93	1.48	0.06	PD10192(BI)	30	0	48.25	41	1
Site104_1	4.3	1.556	0.07	PD10192(BI)	30	0	48.25	12	1
Site105_0	3.95	1.024	0.04	PD10192(BI)	30	0	48.25	35	1
Site105_1	1.39	0.312	0.01	PD10192(BI)	30	0	48.25	24	1
Site106_0	5.91	1.408	0.06	PD10192(BI)	30	0	48.25	18	1
Site106_1	2.53	0.456	0.02	PD10192(BI)	30	0	48.25	30	1
Site107_0	1.15	0.14	0.01	PD10192(BI)	30	0	48.25	46	1
Site107_1	2.88	1.208	0.05	PD10192(BI)	30	0	48.25	20	1
Site108_0	0.53	0.82	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	50	1
Site108_1	0.53	0.86	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	23	1
Site108_2	0.55	0.76	0.03	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	34	1
Site11_0	0.52	7.84	0.34	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	10 15	2
Site11_1	0.55	7.8	0.34	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	34 43	2
Site11_2	0.54	6.72	0.29	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	19 45	2
Site111_0	3.31	2.5	0.11	PD10192(BI)	30	0	48.25	22	1
Site111_1	0.5	0.6	0.03	PD10192(BI)	30	0	48.25	47	1
Site112_0	2.34	1.86	0.08	PD10192(BI)	30	0	48.25	38	1
Site112_1	1.98	1.6	0.07	PD10192(BI)	30	0	48.25	46	1
Site113_0	3.25	1.992	0.09	PD10192(BI)	30	0	48.25	22	1
Site113_1	1.97	1.224	0.05	PD10192(BI)	30	0	48.25	41	1
Site114_0	4.71	2.728	0.12	PD10192(BI)	30	0	48.25	45	1
Site114_1	2.05	1.84	0.08	PD10192(BI)	30	0	48.25	47	1
Site115_0	0.95	0.512	0.02	PD10192(BI)	30	0	48.25	41	1
Site115_1	2.83	1.076	0.05	PD10192(BI)	30	0	48.25	49	1

## Anexos

Site116_0	0.51	0.82	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	28	1
Site116_1	0.55	1.12	0.05	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	16	1
Site116_2	0.5	0.88	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	35	1
Site118_0	0.5	0.72	0.03	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	31	1
Site118_1	0.52	1.04	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	22	1
Site118_2	0.56	0.92	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	16	1
Site119_0	0.51	0.76	0.03	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	19	1
Site119_1	0.57	0.84	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	11	1
Site119_2	0.53	1.12	0.05	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	50	1
Site12_0	0.44	4.88	0.21	GSMA090-12-6(TRI)	30	4	56	46 48	2
Site12_1	0.59	7.84	0.34	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	26 35	2
Site12_2	0.57	8.28	0.36	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	38 50	2
Site120_0	0.51	1.06	0.05	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	17	1
Site120_1	0.52	0.96	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	50	1
Site120_2	0.58	1.2	0.05	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	32	1
Site121_0	0.51	1.12	0.05	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	18	1
Site121_1	0.54	0.76	0.03	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	28	1
Site121_2	0.55	1.12	0.05	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	33	1
Site122_0	0.53	1.12	0.05	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	49	1
Site122_1	0.55	0.78	0.03	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	10	1
Site122_2	0.51	1.06	0.05	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	28	1
Site123_0	0.51	1.12	0.05	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	16	1
Site123_1	0.56	1.02	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	18	1
Site123_2	0.53	0.7	0.03	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	30	1
Site124_0	0.52	0.96	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	15	1
Site124_1	1.32	1.136	0.05	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	38	1
Site124_2	0.52	1.04	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	36	1
Site125_0	0.52	1.2	0.05	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	29	1
Site125_1	0.55	1.12	0.05	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	39	1
Site125_2	0.53	0.88	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	18	1
Site126_0	0.54	0.96	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	21	1
Site126_1	0.57	1.12	0.05	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	10	1
Site126_2	0.55	1	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	36	1
Site127_0	1.93	1.72	0.07	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	26	1
Site127_1	0.66	1.208	0.05	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	48	1
Site127_2	0.52	0.88	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	29	1
Site128_0	0.5	0.9	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	33	1
Site128_1	0.53	0.96	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	21	1
Site128_2	0.56	1.288	0.06	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	26	1
Site129_0	1.54	1.2	0.05	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	45	1
Site129_1	0.6	0.96	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	32	1
Site129_2	1.33	1.408	0.06	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	42	1
Site13_0	0.69	8.8	0.38	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	36 42 45	3
Site13_2	0.38	4.72	0.2	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	23 48	2
Site130_0	0.76	1.14	0.05	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	20	1
Site130_1	0.57	1.04	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	12	1
Site130_2	0.7	1.308	0.06	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	40	1
Site131_0	0.49	0.96	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	24	1
Site131_1	0.56	1.12	0.05	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	14	1
Site131_2	0.59	1.064	0.05	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	39	1
Site132_0	0.52	0.96	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	48	1
Site132_1	0.58	0.94	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	11	1
Site132_2	0.59	1.144	0.05	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	38	1
Site133_0	0.5	0.96	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	12	1
Site133_1	0.54	0.8	0.03	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	40	1
Site133_2	0.65	0.84	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	27	1

## Anexos

Site134_0	0.58	0.88	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	14	1
Site134_1	4.15	0.624	0.03	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	25	1
Site134_2	0.62	0.8	0.03	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	19	1
Site135_0	0.51	0.96	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	13	1
Site135_1	2.43	0.792	0.03	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	44	1
Site135_2	1.72	0.624	0.03	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	17	1
Site136_0	0.5	0.96	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	34	1
Site136_1	1.8	0.72	0.03	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	42	1
Site136_2	3.77	0.708	0.03	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	21	1
Site137_0	0.5	0.62	0.03	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	35	1
Site137_1	0.71	0.976	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	20	1
Site137_2	2.08	1.316	0.06	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	44	1
Site138_0	0.61	0.904	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	37	1
Site138_1	0.59	1.12	0.05	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	43	1
Site138_2	3.69	1.504	0.06	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	23	1
Site139_0	1.12	1.632	0.07	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	38	1
Site139_1	0.57	1.2	0.05	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	15	1
Site139_2	2.75	1.372	0.06	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	24	1
Site140_0	1.82	2.84	0.12	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	10 43	2
Site140_1	0.59	1.12	0.05	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	13	1
Site140_2	2.31	2.028	0.09	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	48	1
Site141_0	4.52	2.2	0.09	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	44	1
Site141_1	0.67	1.12	0.05	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	26	1
Site141_2	0.7	1.18	0.05	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	37	1
Site142_0	1.23	1.72	0.07	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	40	1
Site142_1	0.59	1.2	0.05	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	27	1
Site142_2	0.51	0.8	0.03	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	31	1
Site143_0	0.56	1	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	39	1
Site143_1	0.67	1.32	0.06	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	49	1
Site143_2	0.5	0.92	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	30	1
Site144_0	5.8	1.792	0.08	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	13	1
Site144_1	1.15	1.66	0.07	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	27	1
Site144_2	0.61	1.12	0.05	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	40	1
Site145_0	4.59	0.92	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	50	1
Site145_1	4.37	1.072	0.05	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	24	1
Site145_2	0.54	1.04	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	45	1
Site146_0	0.59	1.04	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	49	1
Site146_1	3.83	0.292	0.01	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	19	1
Site146_2	0.64	0.86	0.04	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	46	1
Site147_0	18.94	3	0.13	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	29 34	2
Site148_0	15.89	5.52	0.24	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	21 36	2
Site149_0	10.02	2.232	0.1	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	33	1
Site15_0	0.54	7.28	0.31	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	33 50	2
Site15_1	0.51	7.28	0.31	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	45 47	2
Site15_2	0.58	7.84	0.34	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	11 16	2
Site150_0	7.94	6.304	0.27	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	28 32	2
Site151_0	8.91	6.296	0.27	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	17 25	2
Site152_0	10.59	5.676	0.24	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	19 37	2
Site153_0	13.6	13.224	0.57	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	13 41 50	3
Site154_0	13.78	5.74	0.25	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	10 36	2
Site155_0	6.65	4.464	0.19	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	23 42	2
Site155_1	2.53	4.52	0.19	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	27 38	2
Site155_2	2.69	2.68	0.12	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	30 34	2
Site156_0	4.73	4.84	0.21	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	11 19	2
Site156_1	2.3	7.84	0.34	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	21 29	2
Site156_2	2.1	2.08	0.09	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	27	1

## Anexos

Site157_0	3.42	7.04	0.3	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	40 44	2
Site157_1	1.46	8.36	0.36	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	12 32 42	3
Site157_2	3.37	12.2	0.53	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	10 20 37	3
Site158_0	1	4.14	0.18	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	32 41	2
Site158_1	0.41	2.16	0.09	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	49	1
Site158_2	0.89	3.856	0.17	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	11 26	2
Site159_0	0.87	4.8	0.21	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	39 43	2
Site159_1	0.72	4.56	0.2	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	10 36	2
Site159_2	2.84	8.968	0.39	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	32 41 49	3
Site16_0	0.51	6.72	0.29	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	11 20	2
Site16_1	0.57	7.36	0.32	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	31 46	2
Site16_2	0.5	7.84	0.34	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	35 41	2
Site160_0	0.92	5.76	0.25	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	11 44	2
Site160_1	0.55	3.36	0.14	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	33 35	2
Site160_2	0.3	1.68	0.07	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	29	1
Site161_0	0.78	4.56	0.2	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	15 38	2
Site161_1	0.61	3.2	0.14	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	12 35	2
Site161_2	0.77	2.8	0.12	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	46	1
Site162_0	0.6	4.08	0.18	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	14 21	2
Site162_1	0.61	3.36	0.14	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	11 31	2
Site162_2	0.58	3.36	0.14	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	18 45	2
Site163_0	0.65	4.04	0.17	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	13 37	2
Site163_1	0.41	3.84	0.17	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	17 34	2
Site163_2	2.27	9.04	0.39	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	21 26 39	3
Site164_0	11.42	2.296	0.1	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	18	1
Site165_0	12.74	4.036	0.17	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	17 25	2
Site166_0	4.91	13.24	0.57	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	16 25 39	3
Site166_1	1.45	6.8	0.29	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	14 45	2
Site166_2	2.21	9.36	0.4	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	22 35 50	3
Site167_0	0.58	6.56	0.28	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	14 35	2
Site167_2	0.48	6.72	0.29	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	42 50	2
Site169_0	13.7	3.416	0.15	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	49	1
Site17_0	0.47	4.56	0.2	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	16 29	2
Site17_1	0.52	5.72	0.25	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	20 45	2
Site17_2	0.55	7.6	0.33	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	14 41	2
Site170_0	19.09	8.928	0.38	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	23 39 47	3
Site171_0	16.34	8.472	0.36	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	37 40 42	3
Site172_0	12.3	5.76	0.25	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	13 38	2
Site173_0	0.59	7.12	0.31	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	15 17	2
Site173_1	0.33	5.04	0.22	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	32 43	2
Site173_2	3.34	8.32	0.36	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	22 37	3
Site174_0	10.11	7.936	0.34	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	11 20	2
Site176_0	9.25	5.904	0.25	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	22 36	2
Site177_0	10.86	3.272	0.14	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	26	1
Site178_0	0.72	4.76	0.2	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	29 35	2
Site178_1	0.67	2.4	0.1	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	49	1
Site178_2	1.53	7.4	0.32	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	17 24	2
Site179_0	0.61	2.88	0.12	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	19 33	2
Site179_1	0.63	3.76	0.16	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	14 21	2
Site179_2	0.77	4.64	0.2	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	28 47	2
Site18_0	0.5	6.88	0.3	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	44 47	2
Site18_1	0.65	7.28	0.31	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	17 22	2
Site18_2	0.66	8.56	0.37	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	29 37 39	3
Site180_0	0.53	3.32	0.14	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	21 23	2
Site180_1	0.61	5.24	0.23	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	32 38	2
Site180_2	0.5	3.12	0.13	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	10 30	2

## Anexos

Site181_0	0.53	3.68	0.16	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	20 40	2
Site181_1	0.56	3.12	0.13	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	16 18	2
Site181_2	0.62	4.84	0.21	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	27 34	2
Site182_0	0.51	3.2	0.14	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	17 19	2
Site182_1	0.57	2.4	0.1	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	24	1
Site182_2	0.53	2.24	0.1	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	15	1
Site183_0	0.56	3.6	0.16	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	21 41	2
Site183_1	0.67	2.72	0.12	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	10 50	2
Site183_2	0.56	2.32	0.1	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	16	1
Site184_0	0.56	3.28	0.14	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	18 23	2
Site184_1	0.78	3.32	0.14	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	39 45	2
Site184_2	0.59	3.48	0.15	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	30 36	2
Site185_0	0.56	4.04	0.17	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	20 32	2
Site185_2	0.43	3.56	0.15	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	22 48	2
Site186_0	0.55	2.4	0.1	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	26	1
Site186_1	1.17	6.88	0.3	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	33 48	2
Site186_2	0.67	4.04	0.17	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	31 37	2
Site187_0	0.6	3.36	0.14	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	42 48	2
Site187_1	0.77	3.6	0.16	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	27 29	2
Site187_2	0.4	2.08	0.09	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	46	1
Site188_0	0.58	3.36	0.14	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	37 42	2
Site188_1	0.56	3.84	0.17	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	15 22	2
Site188_2	0.5	2.88	0.12	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	10 50	2
Site189_0	0.55	3.96	0.17	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	11 17	2
Site189_1	0.53	2.48	0.11	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	24	1
Site189_2	0.6	2.7	0.12	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	13 36	2
Site19_0	0.47	5.76	0.25	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	10 18	2
Site19_1	0.81	10.64	0.46	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	12 34 37	3
Site19_2	0.74	10.24	0.44	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	15 28 40	3
Site190_0	0.68	2.96	0.13	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	22 24	2
Site190_1	0.64	2.3	0.1	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	18	1
Site190_2	0.49	2.42	0.1	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	48	1
Site191_0	0.94	0.436	0.02	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	50	1
Site191_1	0.36	1.52	0.07	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	34	1
Site191_2	0.23	1.44	0.06	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	28	1
Site192_0	3.41	2.976	0.13	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	15 35	2
Site192_1	0.63	2.26	0.1	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	30	1
Site192_2	0.69	3.84	0.17	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	33 45	2
Site193_0	2.2	4.056	0.17	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	14 34	2
Site193_1	1.03	6	0.26	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	16 22	2
Site193_2	1.38	2.696	0.12	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	20 24	2
Site194_0	1.16	4.9	0.21	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	10 45	2
Site194_1	0.6	3.36	0.14	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	20 26	2
Site194_2	0.56	3.12	0.13	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	38 47	2
Site195_0	5.83	2.644	0.11	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	49	1
Site195_1	0.67	3.84	0.17	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	28 36	2
Site195_2	0.72	4.108	0.18	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	31 43	2
Site196_0	3.63	5.5	0.24	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	12 27	2
Site196_1	0.74	5.56	0.24	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	19 45	2
Site196_2	0.62	3.84	0.17	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	10 41	2
Site197_0	0.58	4.16	0.18	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	25 39	2
Site197_1	0.54	3.56	0.15	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	10 27	2
Site197_2	0.6	4.84	0.21	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	19 50	2
Site198_0	0.62	3.84	0.17	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	21 44	2
Site198_1	0.9	3.392	0.15	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	23 25	2
Site198_2	0.56	3.12	0.13	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	12 35	2

## Anexos

Site199_0	0.61	4.08	0.18	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	19 42	2
Site199_1	0.51	2.64	0.11	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	28 34	2
Site199_2	0.64	2.04	0.09	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	39	1
Site20_0	0.54	8.4	0.36	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	14 24 50	3
Site20_1	1.29	18.64	0.8	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	27 31 39 48	4
Site20_2	0.71	6.88	0.3	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	33 44	2
Site200_0	4.13	6.636	0.29	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	29 35	2
Site200_1	2.28	2.064	0.09	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	46	1
Site200_2	0.56	3.56	0.15	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	37 40	2
Site201_0	0.99	2.896	0.12	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	36 44	2
Site201_1	1.12	7.92	0.34	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	31 47	2
Site201_2	0.7	3.6	0.16	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	11 25	2
Site202_0	2.26	3.228	0.14	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	20 43	2
Site202_1	2.56	4.064	0.18	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	30 40	2
Site202_2	0.62	3.84	0.17	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	22 38	2
Site203_0	0.69	5.96	0.26	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	15 22	2
Site203_1	0.41	4.16	0.18	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	24 33	2
Site203_2	1.12	6.24	0.27	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	27 43	2
Site204_0	0.68	5.12	0.22	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	17 37	2
Site204_1	0.37	4.16	0.18	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	25 32	2
Site204_2	0.42	2.56	0.11	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	23 41	2
Site205_0	0.48	3.8	0.16	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	27 33	2
Site205_1	0.54	3.84	0.17	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	29 43	2
Site205_2	0.64	4.8	0.21	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	35 50	2
Site206_0	1.01	7.384	0.32	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	14 21	2
Site206_1	0.62	5.92	0.25	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	26 34	2
Site206_2	0.91	9.4	0.4	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	10 19 49	3
Site207_0	0.58	5.928	0.26	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	31 35	2
Site207_1	0.93	7.36	0.32	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	19 50	2
Site207_2	0.82	6.72	0.29	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	39 45	2
Site208_0	0.59	4.8	0.21	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	38 43	2
Site208_1	0.74	5.92	0.25	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	10 40	2
Site208_2	0.85	7.04	0.3	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	12 21	2
Site209_0	3.33	10.328	0.44	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	11 13 19	3
Site209_1	0.56	5	0.22	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	28 30	2
Site209_2	0.8	7	0.3	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	38 47	2
Site21_0	0.52	6.56	0.28	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	17 28	2
Site21_1	0.54	7.6	0.33	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	13 15	2
Site21_2	0.64	9.36	0.4	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	39 43 50	3
Site210_0	0.79	6.088	0.26	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	16 40	2
Site210_1	0.64	5.36	0.23	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	23 36	2
Site210_2	0.46	4.44	0.19	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	13 34	2
Site211_0	3.24	6.272	0.27	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	32 47	2
Site211_1	0.85	8.2	0.35	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	36 39 44	3
Site211_2	0.68	3.576	0.15	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	10 18	2
Site212_0	2.56	9.304	0.4	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	20 35 48	3
Site212_1	0.61	5.84	0.25	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	18 39	2
Site212_2	0.74	7.2	0.31	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	30 45	2
Site213_0	3.06	11.76	0.51	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	10 15 30	3
Site213_1	0.54	7.84	0.34	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	14 46	2
Site213_2	1.85	8.4	0.36	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	19 33 36	3
Site214_0	15.76	21.128	0.91	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	20 24 44 46	4
Site215_0	15.38	7.856	0.34	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	27 33	2
Site216_0	0.64	4.888	0.21	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	17 33	2
Site216_1	0.78	4.08	0.18	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	12 37	2

## Anexos

Site216_2	0.78	6.72	0.29	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	20 42	2
Site217_0	3.61	4.368	0.19	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	14 29	2
Site217_1	0.67	4.56	0.2	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	23 32	2
Site217_2	0.88	5.12	0.22	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	40 46	2
Site218_0	0.69	5.84	0.25	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	21 25	2
Site218_1	1	5.52	0.24	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	28 31	2
Site218_2	0.74	4.32	0.19	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	37 41	2
Site219_0	1.07	4.08	0.18	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	42 50	2
Site219_1	0.91	3.84	0.17	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	13 44	2
Site219_2	0.73	4.56	0.2	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	15 38	2
Site220_0	0.49	4.08	0.18	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	29 32	2
Site221_0	0.49	4.04	0.17	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	11 19	2
Site221_2	0.58	8.4	0.36	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	13 40 43	3
Site220_0	3.42	3.216	0.14	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	22 27	2
Site220_1	0.86	5.88	0.25	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	30 48	2
Site220_2	0.72	3.6	0.16	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	16 34	2
Site221_0	6	4.672	0.2	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	10 34	2
Site221_1	5.78	9.72	0.42	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	19 41 46	3
Site221_2	0.73	6	0.26	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	24 49	2
Site222_0	7.52	6.416	0.28	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	13 16	2
Site222_1	7.39	3.76	0.16	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	34 41	2
Site222_2	10.75	5.16	0.22	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	20 43	2
Site223_0	14.65	2.208	0.1	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	15	1
Site224_0	20.43	9.612	0.41	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	22 46	2
Site225_0	3.19	1.46	0.06	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	17	1
Site226_0	19.78	5.324	0.23	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	14 20	2
Site227_0	5.72	1.584	0.07	AO9209(OMNI)	50	0	53.25	28	1
Site228_0	18.52	2.284	0.1	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	37	1
Site229_0	20.65	9.596	0.41	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	35 38 42	3
Site23_0	1.34	13.24	0.57	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	27 39 45	3
Site23_1	0.54	7.84	0.34	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	10 30	2
Site23_2	0.51	7.84	0.34	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	12 42	2
Site230_0	2.98	6.68	0.29	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	25 47	2
Site230_1	0.51	8.4	0.36	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	11 29 50	3
Site230_2	0.58	7.84	0.34	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	34 40	2
Site231_0	20.85	4.172	0.18	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	11 43	2
Site232_0	2.38	7.808	0.34	PD10192(BI)	30	0	48.25	24 30	2
Site232_1	1.38	2.096	0.09	PD10192(BI)	30	0	48.25	48	1
Site233_1	0.25	1.688	0.07	PD10192(BI)	30	0	48.25	26	1
Site234_0	3.08	6.848	0.29	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	12 47	2
Site234_1	0.7	7.2	0.31	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	14 50	2
Site234_2	4.29	10.992	0.47	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	33 36 38	3
Site235_0	1.72	2.28	0.1	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	40	1
Site235_1	0.74	7.08	0.3	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	15 48	2
Site235_2	0.57	5.76	0.25	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	11 44	2
Site236_0	0.57	6.12	0.26	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	10 49	2
Site236_1	0.81	8.24	0.35	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	16 31 36	3
Site236_2	0.66	7.08	0.3	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	34 42	2
Site237_0	0.98	9.064	0.39	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	13 35 46	3
Site237_1	0.3	4.52	0.19	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	33 43	2
Site237_2	1.55	3.456	0.15	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	20 41	2
Site238_0	1.52	8.84	0.38	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	10 23 33	3
Site238_1	0.78	3.04	0.13	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	18 37	2
Site238_2	0.64	7.2	0.31	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	39 45	2
Site239_0	11.85	2.388	0.1	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	33	1
Site24_0	0.76	11.2	0.48	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	12 22 34	3

## Anexos

Site24_1	0.46	5.88	0.25	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	20 42	2
Site24_2	0.49	5.56	0.24	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	25 27	2
Site240_0	16.74	6.528	0.28	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	31 38	2
Site241_0	3.18	4.12	0.18	PD10192(BI)	30	0	48.25	18 31	2
Site241_1	1.88	3.34	0.14	PD10192(BI)	30	0	48.25	26 48	2
Site242_0	34.77	9.068	0.39	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	27 44	2
Site243_0	7.78	3.34	0.14	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	21 48	2
Site244_0	29.4	5.612	0.24	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	31 33	2
Site245_0	6.05	5.464	0.24	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	19 22	2
Site246_0	8.5	7.88	0.34	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	15 22	2
Site247_0	2.6	5.56	0.24	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	33 38	2
Site247_1	0.6	8.4	0.36	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	10 27 31	3
Site247_2	0.64	6.76	0.29	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	16 48	2
Site248_0	2.41	13.28	0.57	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	32 44 46	3
Site248_1	0.54	4.16	0.18	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	24 28	2
Site248_2	0.58	7.84	0.34	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	13 26	2
Site249_0	1.72	2.28	0.1	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	47	1
Site249_1	0.97	8.72	0.38	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	17 21 23	3
Site249_2	0.68	8.48	0.37	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	12 30 49	3
Site25_0	1.2	15.08	0.65	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	29 36 40 43	4
Site25_1	1.64	18.656	0.8	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	10 23 25 46	4
Site25_2	0.74	8	0.34	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	38 49	2
Site250_0	6.55	11.76	0.51	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	18 23 27	3
Site250_1	0.96	6.72	0.29	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	12 45	2
Site251_0	24.4	0.04	0	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	10	1
Site26_0	3.14	19.94	0.86	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	13 32 35 48	4
Site26_1	2.44	15.144	0.65	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	28 30 41 44	4
Site26_2	0.71	9.16	0.39	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	11 26 46	3
Site27_0	0.91	12.88	0.55	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	10 36 40	3
Site27_1	0.64	8.4	0.36	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	14 16 50	3
Site27_2	0.57	7.88	0.34	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	12 42	2
Site28_0	7.03	2.48	0.11	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	25	1
Site28_1	4.28	4.36	0.19	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	21 35	2
Site28_2	4.99	4.6	0.2	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	19 37	2
Site29_0	5.43	4	0.17	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	15 31	2
Site29_1	1.28	1.36	0.06	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	21	1
Site29_2	2.17	2.08	0.09	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	38	1
Site30_0	1.66	0.24	0.01	PD10192(BI)	30	0	48.25	12	1
Site30_1	2.88	2.44	0.11	PD10192(BI)	30	0	48.25	23	1
Site31_0	3.39	1.248	0.05	PD10192(BI)	30	0	48.25	46	1
Site31_1	1.19	0.408	0.02	PD10192(BI)	30	0	48.25	23	1
Site32_0	0.81	3.028	0.13	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	22 37	2
Site32_1	2.29	2.96	0.13	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	11 16	2
Site32_2	4.08	4.32	0.19	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	18 41	2
Site33_0	3.17	2.7	0.12	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	26 43	2
Site33_1	0.96	3.2	0.14	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	39 50	2
Site33_2	2.77	3.76	0.16	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	17 19	2
Site34_0	2.98	5.12	0.22	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	34 45	2
Site34_1	3.74	5.8	0.25	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	14 49	2
Site34_2	0.63	2.4	0.1	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	24	1
Site38_0	8.42	0.18	0.01	PD10192(BI)	30	0	48.25	10	1
Site38_1	1.68	0.26	0.01	PD10192(BI)	30	0	48.25	25	1
Site39_0	8.88	0.852	0.04	PD10192(BI)	30	0	48.25	15	1
Site39_1	5.38	1.128	0.05	PD10192(BI)	30	0	48.25	11	1

## Anexos

Site4_0	0.51	6.92	0.3	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	18 42	2
Site4_1	0.59	7.44	0.32	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	24 49	2
Site4_2	2.62	11.2	0.48	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	22 30 36	3
Site40_0	6.27	1.296	0.06	PD10192(BI)	30	0	48.25	45	1
Site40_1	3.7	0.844	0.04	PD10192(BI)	30	0	48.25	15	1
Site41_0	8.6	1.384	0.06	PD10192(BI)	30	0	48.25	13	1
Site41_1	1.28	0.32	0.01	PD10192(BI)	30	0	48.25	50	1
Site42_0	3.9	0.876	0.04	PD10192(BI)	30	0	48.25	20	1
Site42_1	4.77	1.056	0.05	PD10192(BI)	30	0	48.25	47	1
Site43_0	2.38	0.568	0.02	PD10192(BI)	30	0	48.25	13	1
Site43_1	2.83	0.624	0.03	PD10192(BI)	30	0	48.25	46	1
Site44_0	1.97	0.476	0.02	PD10192(BI)	30	0	48.25	11	1
Site44_1	2.55	1.388	0.06	PD10192(BI)	30	0	48.25	23	1
Site45_0	24.78	3.336	0.14	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	47	1
Site47_0	61.62	6.228	0.27	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	35	1
Site49_0	36.39	5.272	0.23	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	19 21	2
Site5_0	0.94	8.96	0.39	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	13 25 27	3
Site5_1	1.02	10.8	0.47	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	29 32 46	3
Site50_0	26.83	5.288	0.23	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	23 39	2
Site51_0	10.27	2.032	0.09	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	17	1
Site54_0	22.44	4.544	0.2	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	41	1
Site56_0	19.18	3.8	0.16	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	28	1
Site6_0	0.52	6.72	0.29	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	17 43	2
Site6_1	0.52	6.68	0.29	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	28 33	2
Site6_2	0.55	7.16	0.31	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	10 20	2
Site60_0	12.65	2.584	0.11	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	34	1
Site63_0	24.07	4.848	0.21	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	31 45	2
Site64_0	13.1	2.912	0.13	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	24	1
Site65_0	23.78	5.992	0.26	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	22 32	2
Site66_0	14.26	2.816	0.12	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	43	1
Site69_0	16.56	3.052	0.13	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	42	1
Site7_0	0.53	6.12	0.26	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	44 49	2
Site7_1	0.55	9.2	0.4	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	22 27 40	3
Site7_2	0.55	7.84	0.34	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	31 47	2
Site70_0	21.33	1.216	0.05	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	30	1
Site71_0	20.92	2.752	0.12	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	35	1
Site73_0	9.23	3.08	0.13	PD10192(BI)	30	0	48.25	41 46	2
Site73_1	5.03	3.52	0.15	PD10192(BI)	30	0	48.25	11 31	2
Site74_0	6.11	5.64	0.24	PD10192(BI)	30	0	48.25	15 25	2
Site74_1	5.24	8.1	0.35	PD10192(BI)	30	0	48.25	46 50	2
Site75_0	4.92	9.56	0.41	PD10192(BI)	30	0	48.25	29 33 44	3
Site75_1	3.68	5.66	0.24	PD10192(BI)	30	0	48.25	14 26	2
Site77_0	5.18	2.28	0.1	PD10192(BI)	30	0	48.25	17	1
Site77_1	4.03	4.12	0.18	PD10192(BI)	30	0	48.25	10 48	2
Site78_0	4.56	9.76	0.42	PD10192(BI)	30	0	48.25	13 27 37	3
Site78_1	4.03	9.688	0.42	PD10192(BI)	30	0	48.25	16 18 20	3
Site79_0	4.21	9.84	0.42	PD10192(BI)	30	0	48.25	38 40 42	3
Site79_1	4.36	7.224	0.31	PD10192(BI)	30	0	48.25	28 36	2
Site8_0	0.54	8.4	0.36	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	14 26 28	3
Site8_1	0.55	7.84	0.34	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	30 41	2
Site8_2	5	8.4	0.36	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	18 21 35	3
Site80_0	3.92	3.688	0.16	PD10192(BI)	30	0	48.25	22 24	2
Site80_1	1.34	1.888	0.08	PD10192(BI)	30	0	48.25	45	1
Site84_0	17.27	3.548	0.15	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	27 33	2
Site86_0	16.05	6.792	0.29	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	21 42	2
Site87_0	34.04	7.02	0.3	AO9209(OMNI)	30	0	53.25	29 47	2

## Anexos

Site9_0	0.52	6.72	0.29	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	34 41	2
Site9_1	0.55	8.4	0.36	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	44 48 50	3
Site9_2	0.55	7.28	0.31	GSMA090-12-6(TRI)	30	0	56	10 24	2
Site90_0	3	0.584	0.03	PD10192(BI)	30	0	48.25	37	1
Site90_1	0.43	0.12	0.01	PD10192(BI)	30	0	48.25	25	1
Site94_0	4.13	2.42	0.1	PD10192(BI)	30	0	48.25	20	1
Site94_1	1.24	1.22	0.05	PD10192(BI)	30	0	48.25	11	1
Site95_0	1.86	1.62	0.07	PD10192(BI)	30	0	48.25	35	1
Site95_1	1.08	0.672	0.03	PD10192(BI)	30	0	48.25	12	1
Site96_0	2.51	1.42	0.06	PD10192(BI)	30	0	48.25	10	1
Site96_1	3.29	1.8	0.08	PD10192(BI)	30	0	48.25	14	1
Site97_0	8.66	1.38	0.06	PD10192(BI)	30	0	48.25	29	1
Site97_1	3.34	1.68	0.07	PD10192(BI)	30	0	48.25	27	1
Site98_0	4.12	2.072	0.09	PD10192(BI)	30	0	48.25	47	1
Site98_1	2.57	1.216	0.05	PD10192(BI)	30	0	48.25	36	1
Site99_0	4.95	2.72	0.12	PD10192(BI)	30	0	48.25	18 50	2
Site99_1	4.37	4.02	0.17	PD10192(BI)	30	0	48.25	25 41	2