



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

DIMENSIONAMIENTO DE LA CAPACIDAD Y CARACTERIZACIÓN DE
LA CALIDAD DE UNA RED GPRS

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
ELECTRICISTA

JAIME IGNACIO ESPINOZA ARMIJO

PROFESOR GUÍA:
NICOLÁS BELTRÁN MATURANA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
HELMUTH THIEMER WILCKENS
JAIME ROJAS VALDIVIA

SANTIAGO DE CHILE
ENERO 2007

RESUMEN DE LA MEMORIA
PARA OPTAR AL TÍTULO
DE INGENIERO CIVIL ELECTRICISTA
POR: JAIME IGNACIO ESPINOZA ARMIJO
FECHA: ENERO 2007
PROF. GUÍA: SR. NICOLÁS BELTRÁN MATURANA

“DIMENSIONAMIENTO DE LA CAPACIDAD Y CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DE UNA RED GPRS”

El objetivo del presente trabajo de título es entender el funcionamiento de una red GPRS, identificando cada uno de sus componentes e interfaces, para luego proponer un modelo teórico simple que permita dimensionar la capacidad y caracterizar la calidad de una red GPRS. El trabajo se enmarca en la iniciativa de la empresa de telefonía celular Movistar Chile, en realizar este tema en conjunto con el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Chile, para sentar las bases de un intercambio de conocimiento tecnológico.

Para plantear el modelo teórico simple, se caracteriza y modela cada uno de los componentes e interfaces que forman parte de una red GPRS, y que son relevantes para el dimensionamiento de la capacidad y la caracterización de la calidad de la misma. Además, se realiza un estudio y monitoreo de los indicadores que muestran el desempeño de la red de datos GPRS, con la finalidad de obtener un conjunto de valores para ser asignados a los distintos factores que conforman el modelo propuesto, tomando como referencia el desempeño de la red GPRS de Movistar Chile y un conjunto de servicios de datos.

Finalmente se evalúa el modelo propuesto a nivel de la interfaz de aire o de radio de la red GPRS, obteniendo como resultado distintas consideraciones con respecto al impacto de la variación de los diferentes factores que conforman el modelo, sobre la capacidad de una determinada celda para transferir bits de información útil para el usuario en una sesión de datos GPRS.

Se concluye, que el modelo propuesto y los estudios realizados, permiten tener una perspectiva de dimensionamiento y de caracterización de calidad, haciendo así un uso más efectivo y eficiente de los recursos, con una planificación adecuada de la red GPRS, con el fin de evitar posibles degradaciones en la calidad de servicio que aprecia el usuario final.

*Dedicado a mi Madre Leonor, fallecida el día Viernes 12 de Noviembre de 1993, a mi
Hermano Guillermo y a la Terraza.*

Agradecimientos

Agradezco a mi Padre Guillermo y a mis Hermanos Guillermo y Hans, por todo el amor y cariño que me han entregado, y por el apoyo emocional dado cuando lo he necesitado. Gracias por entenderme y aceptarme tal como soy, con todas mis virtudes y vicios; cualidades que siempre se muestran en conflicto y definen mi personalidad. Gracias por todos sus consejos y palabras de ánimo, que me permitieron no dar pie atrás y terminar con esta última prueba para titularme como Ingeniero Civil Electricista.

Agradezco al profesor guía de este trabajo, Nicolás Beltrán, un gran mentor y amigo, por todos sus consejos que permitieron que este trabajo de título y esta publicación, se realizaran de la mejor manera y llegaran a buen término.

Agradezco a toda la gente de la empresa patrocinadora de este trabajo, entre los que se encuentran: Jaime Rojas, gestor y supervisor de este trabajo en la empresa Movistar Chile, Cristián Almonacid, gran compañero de puesto, Chito Deliz, Christian Feliu, Ronny Garay, Rodolfo Hurtado, Patricio Larrondo, Antonio Meneses, César Reyes, Mauricio Veliz, Gonzalo Vergara, y a toda la gente que ayudó y apoyó la realización de este trabajo.

Finalmente agradezco a todos mis compañeros y amigos que hicieron que mi paso por la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Chile, fuera más agradable, lleno de risas y de buenos momentos. Gracias Alex, Marco, Pablo, León (Luís), Brutal (Claudio), Magia (Arnaldo), Serios (Sebastián), Eduardo, Guille, Hombre PS; y mis más cordiales saludos y buenos deseos, a toda la gente que me acompañó en los carretes terraceros y en muchos otros, y que fueron mis cómplices en más de alguna andanza de perdición y redención.

Índice general

RESUMEN	i
Agradecimientos	iii
Índice de figuras	vi
Índice de tablas	viii
Capítulo 1 Introducción	1
1.1. Motivación	1
1.2. Alcances	2
1.3. Objetivos	2
1.4. Estructura de la memoria	3
Capítulo 2 Sistema GSM/GPRS/EDGE	4
2.1. Introducción	4
2.2. Sistema GSM	6
2.3. Sistema GPRS	10
2.4. Sistema EDGE	30
Capítulo 3 Dimensionamiento de la capacidad y caracterización de la calidad de una red GPRS	34
3.1. Introducción	34
3.2. Identificación de los componentes e interfaces relevantes	40
3.3. Modelamiento de los componentes e interfaces identificadas	47
3.4. Modelo general	50

Capítulo 4	Resultados y análisis	51
4.1.	Introducción	51
4.2.	Indicadores y/o estadísticas de desempeño	52
4.3.	Evaluación del modelo propuesto	56
Capítulo 5	Discusión y conclusiones	62
5.1.	Introducción	62
5.2.	Conclusiones y recomendaciones	63
5.3.	Trabajo futuro	66
Referencias		68
Apéndice A	Lista de acrónimos	70
Apéndice B	Tablas de datos	75
Apéndice C	Razón portadora a interferencia (C/I)	78

Índice de figuras

Figura 2.1: Evolución de estándares de 2G a 3G.	5
Figura 2.2: Evolución de GSM (2G) hacia UMTS (3G).....	6
Figura 2.3: Estructura FDMA y TDMA en GSM.	7
Figura 2.4: Composición de un TRX.	7
Figura 2.5: Arquitectura básica del sistema GSM.	8
Figura 2.6: Arquitectura de una red GPRS.	11
Figura 2.7: Capacidad <i>multislot</i> GPRS.	12
Figura 2.8: Plano de transmisión.....	16
Figura 2.9: Túnel GTP.	18
Figura 2.10: Encapsulado GTP.	18
Figura 2.11: Estados de gestión de movilidad.	19
Figura 2.12: Territorio GPRS.....	22
Figura 2.13: Canales lógicos de GPRS.	23
Figura 2.14: Estructura <i>multiframe</i>	25
Figura 2.15: Radio bloque.....	26
Figura 2.16: Flujo de datos en GPRS.....	26
Figura 2.17: Identidad de flujo temporal.....	28
Figura 2.18: Diagrama de constelación de modulación 8-PSK.	31
Figura 2.19: Segmentación y relleno entre las tres familias de MCSs.....	33
Figura 2.20: Adaptación de enlace con modelo TU3.....	33
Figura 3.1: Esquema de una red GPRS.	40
Figura 3.2: Porcentaje de RTSLS requeridos en el DL.	40
Figura 3.3: Nivel de C/I en la ciudad de Santiago de Chile.....	42

Figura 3.4: Esquema de conexión Abis-PCU-Gb.	43
Figura 3.5: Canales y sub-canales PCM.	43
Figura 3.6: Enlace punto a punto entre PCUs y SGSN.....	45
Figura 3.7: Sistema de canales portadores entre PCUs y SGSN.....	45
Figura 3.8: Red FR entre PCUs y SGSN.	46
Figura 4.1: Variación de RTSLs asignados a un TBF.	57
Figura 4.2: Cambio de (M)CS utilizado en un TBF en el UL.....	58
Figura 4.3: Cambio de (M)CS utilizado en un TBF en el DL.....	58
Figura 4.4: Variación de TBFs que comparten un RTSL.	59

Índice de tablas

Tabla 2.1: Clases <i>multislot</i>	12
Tabla 2.2: Esquemas de codificación en GPRS.	27
Tabla 2.3: Características de la modulación GMSK.	27
Tabla 2.4: Multiplexado de radio bloques.....	29
Tabla 2.5: Características de la modulación 8-PSK.....	31
Tabla 2.6: Esquemas de codificación en EDGE.	32
Tabla 3.1: Factor de reducción con respecto al número de TBFs multiplexados.	48
Tabla 3.2: Capacidad $RLC_{C/RB}$ con respecto al esquema de codificación utilizado.	49

Capítulo 1

Introducción

1.1. Motivación

Después de muchos años de increíble (y de alguna manera inesperado) éxito, los operadores de redes de telecomunicaciones inalámbricas (móviles o celulares) están ahora enfrentando un periodo difícil. Si se consideran los eventos de los años recientes, se puede apreciar el enorme éxito de GSM, en Europa y en todo el mundo, lo que está motivando a los operadores a considerar grandes inversiones en licencias para el sistema de 3G, denominado UMTS. Sin embargo, el aumento de la competencia en el sector ha provocado que los precios de las tarifas bajen, poniendo a los operadores de redes móviles en una situación económica desfavorable. Lo anterior implica el retraso de inversiones para el despliegue de nuevas redes.

Una solución al problema de los operadores móviles, es hacer un uso eficiente de las redes actuales, con una utilización efectiva de los recursos y con una planificación adecuada, con el fin de evitar posibles degradaciones en la calidad de servicio (QoS) que aprecia el usuario final. En el caso particular de los sistemas inalámbricos 2G y 3G, GSM y UMTS en especial, un uso eficiente de los recursos implica un cauteloso diseño a nivel de celda (o sector), y una distribución adecuada de los recursos entre los servicios de voz y datos. En efecto, mientras el servicio de voz (llamadas telefónicas) aún genera la mayor parte de las ganancias para los operadores de redes inalámbricas, se tiene gran expectativa en los servicios de datos basados en acceso inalámbrico a Internet. Es por lo tanto necesario poder dimensionar la capacidad y caracterizar la calidad de la red, para mantener a los usuarios de voz satisfechos y al mismo tiempo atraer a los usuarios de servicios de datos [4].

1.2. Alcances

Este trabajo se centra en el estudio del sistema portador de datos GPRS¹, que funciona sobre una red de telefonía móvil 2G basada en tecnología GSM, para así proponer un modelo teórico simple que permita el dimensionamiento de la capacidad y la caracterización de la calidad de una red GPRS desde el punto de vista del usuario final, para con esto poder evaluar en real magnitud sus capacidades y posibilidades en el presente.

Para validar el modelo propuesto, se realiza el estudio de los indicadores y estadísticas que muestran el desempeño de la red de datos GPRS presente en la empresa patrocinante de este trabajo, Movistar Chile.

1.3. Objetivos

Los objetivos generales y específicos de este trabajo se plantean a continuación.

1.3.1. Objetivos generales

- 1) Entender el funcionamiento de una red GPRS, identificando cada uno de sus componentes e interfaces.
- 2) Proponer un modelo teórico simple que permita dimensionar la capacidad y caracterizar la calidad de una red GPRS.

1.3.2. Objetivos específicos

- 1) Estudio de las generalidades de una red GPRS y de la evolución del estándar.
- 2) Identificar los componentes e interfaces relevantes para el dimensionamiento de la capacidad y la caracterización de la calidad de una red GPRS.
- 3) Caracterizar y modelar cada componente identificado junto con las interfaces respectivas.
- 4) Integrar los modelos propuestos para obtener un modelo teórico simple que permita dimensionar la capacidad y caracterizar la calidad de una red GPRS.

¹ De manera general, la red GPRS incluye el funcionamiento del sistema EDGE.

- 5) Estudio de indicadores y estadísticas que muestran el desempeño de la red de datos.
- 6) Validar el modelo tomando como referencia el desempeño de la red GPRS de Movistar Chile y un conjunto de servicios de datos.

1.4. Estructura de la memoria

Esta publicación está dividida en 5 capítulos, en los cuales se presenta el trabajo desarrollado en la empresa patrocinadora de este trabajo, Movistar Chile, para posibilitar el dimensionamiento de la capacidad y la caracterización de la calidad de una red GPRS.

En el Capítulo 2 se entregan los conocimientos básicos de los sistemas GSM/GPRS/EDGE, con el propósito de establecer un lenguaje común y un entendimiento del funcionamiento de las redes de telefonía móvil para proveer servicios de voz y datos.

En el Capítulo 3 se presenta el trabajo específico desarrollado, con la finalidad de poder establecer un modelo teórico simple, que permita el dimensionamiento de la capacidad y la caracterización de la calidad de una red GPRS desde el punto de vista del usuario final.

Los resultados obtenidos y el análisis de estos se muestran en el Capítulo 4, en donde se considera un conjunto de distintos indicadores de desempeño para una red GPRS, y se evalúa el modelo propuesto.

Finalmente en el Capítulo 5 se plantean las principales conclusiones del trabajo realizado, verificando el cumplimiento de los objetivos generales y específicos. Se indican las ventajas y desventajas del modelo propuesto, además de entregar algunas recomendaciones para la empresa patrocinadora de este trabajo, Movistar Chile. Por último se menciona el trabajo futuro a desarrollar y en los anexos se entrega información adicional relevante.

Capítulo 2

Sistema GSM/GPRS/EDGE

2.1. Introducción

El sistema de comunicaciones móviles de segunda generación GSM, se ha introducido al mercado comercial por más de una década. El número global de suscriptores GSM supera los 860 millones, que corresponde al 78 % del total de suscriptores de telefonía móvil en el mundo. Antes del año 2001, la mayoría de los servicios de datos suministrados por los operadores móviles GSM estaban basados en conmutación de circuitos (CS), con una tasa de transmisión de información máxima de 9,6 kbps. Con el rápido despliegue de servicios basados en IP, los operadores móviles han introducido servicios de datos basados en técnicas de conmutación de paquetes (PS). El sistema 2.5G GPRS con una tasa máxima teórica de transmisión de información de 160 kbps, y la mejora de GPRS, el sistema 2.75G EDGE (EGPRS) con una tasa máxima teórica de 473,6 kbps, son dos tecnologías bien definidas y maduras, que están siendo actualmente desplegadas. Lo anterior, junto a la evolución hacia un sistema 3G UMTS, pavimentan el camino para la introducción de servicios multimedios de acceso inalámbrico para usuarios móviles, incluyendo voz, datos, videos e imágenes [5].

2.1.1. Evolución del sistema telefónico celular

La evolución del sistema de telefonía celular se puede dividir en generaciones, dependiendo del nivel de desarrollo de las tecnologías, sus respectivas capacidades y el año en que éstas surgieron.

Los sistemas móviles de primera generación (1G) se desplegaron durante los años 80, caracterizándose por estar basados en tecnología analógica (como AMPS), pudiendo proveer sólo servicios de voz. En ese entonces, cada país desarrolló su propio sistema, limitando el uso al interior de las fronteras nacionales y desaprovechando economías de escala.

Los sistemas de segunda generación (2G) estuvieron disponibles hacia los años 90, y a diferencia de los 1G, se basan en tecnología digital. Estos sistemas se utilizan en la actualidad, coexistiendo entre otros GSM, cdmaOne, TDMA y PDC (utilizado en Japón). Los sistemas 2G soportan velocidades de transmisión de información más altas para el servicio de voz, pero limitadas para los servicios de datos, pudiendo sólo proveer servicios auxiliares como mensajería de texto SMS y fax, entre otros.

Existe además una segunda y media generación (2.5G), la cual representa un punto de cruce hacia los sistemas de tercera generación (3G). Las tecnologías de 2.75G como EDGE (EGPRS), permiten alcanzar mayores velocidades de transmisión de información para los servicios de datos, presentándose como una mejora a los sistemas 2.5G (GPRS), permitiendo una mayor capacidad en la entrega de servicios de datos como mensajería multimedios MMS, FTP, navegación Web y WAP, entre otros.

La idea de los sistemas de tercera generación (3G), se hizo evidente con la convergencia de las redes de comunicaciones y las de datos. Estos sistemas surgen por la necesidad de los usuarios de tener un acceso inalámbrico de mayor capacidad, con una determinada calidad de servicio (QoS), para poder presentar texto, imagen, audio y video a una mayor velocidad de transferencia de información para el usuario móvil. La Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) ha reconocido entre las tecnologías contendientes a implementar los sistemas de 3G a UMTS (con el mecanismo HSDPA), CDMA2000, IMT-2000 y ARIB (3GPP), entre otras.

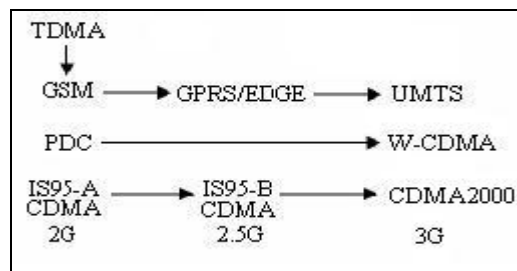


Figura 2.1: Evolución de estándares de 2G a 3G [11].

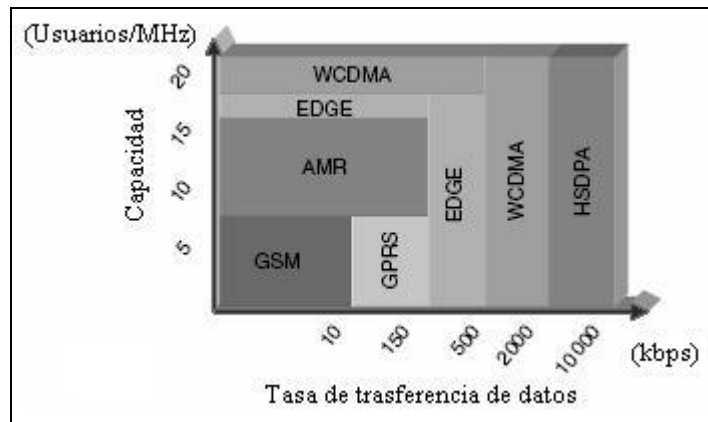


Figura 2.2: Evolución de GSM (2G) hacia UMTS (3G) [2].

La presente y futura evolución de los sistemas de telefonía móvil o celular, convertirán a las empresas operadoras y proveedoras de servicios de telefonía móvil en empresas de comunicaciones móviles, en donde la telefonía de voz (VoIP) constituirá un servicio más dentro de una gama de servicios de datos ya mencionados y otros que aún no existen [10], [11].

2.2. Sistema GSM

El Sistema Global para Comunicaciones Móviles GSM, es un sistema de telefonía móvil digital 2G, estandarizado por ETSI, concebido para sustituir a la telefonía analógica como AMPS. GSM define una red telefónica móvil terrestre (PLMN) que comprende al acceso de radio con estructura celular (en base a celdas o sectores, como unidad básica de división territorial), transmisión, conmutación y señalización; que permiten soportar funciones de movilidad y de seguridad para el establecimiento de las llamadas de voz, y para la protección de la información transmitida durante éstas [10].

GSM está basado en un sistema multi-portadora (MC), de acceso múltiple por división en el tiempo (TDMA) y de acceso múltiple por división en la frecuencia (FDMA). La portadora FDMA tiene un ancho de banda de 200 kHz, sobre la cual se aplica TDMA. Un *frame* TDMA dura aproximadamente 4,615 ms y hospeda a 8 ranuras de tiempo (TSL), también conocidas como radio TSL (RTSL), los cuales tienen una duración aproximada de 577 μ s. En la Figura 2.3 se puede apreciar la estructura del *frame* TDMA y la división en frecuencia FDMA [6].

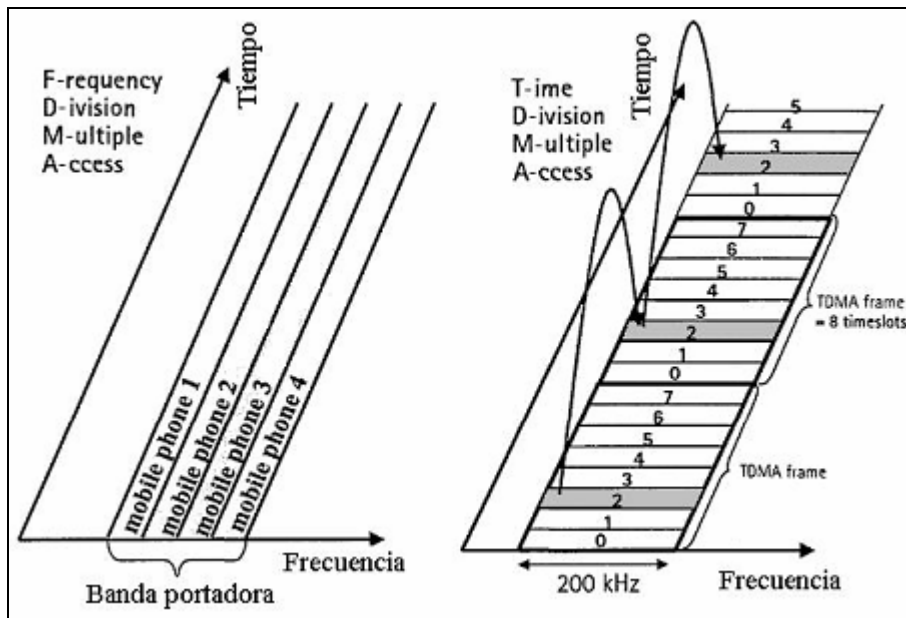


Figura 2.3: Estructura FDMA y TDMA en GSM [6].

En Europa, Australia, la mayor parte de Asia y en América del Sur, están disponibles los sistemas GSM 900 y GSM 1800. En América del Norte, algunas partes de Asia y América del Sur, se utiliza GSM 1900. Los números 900, 1800 y 1900, se refieren a la banda de frecuencia en MHz utilizada. Por estándar GSM, la banda de frecuencia se divide en frecuencias para el enlace de subida o de transmisión (UL) y en frecuencias para el enlace de bajada o de recepción (DL), con una separación de 45 u 80 MHz entre éstas. Un par de frecuencias UL y DL constituyen un trans-receptor (TRX) y sobre éste se definen 8 RTSLS, que corresponderán a la unión de los TSLs del *frame* TDMA de la frecuencia UL con los TSLs del *frame* TDMA de la frecuencia DL.

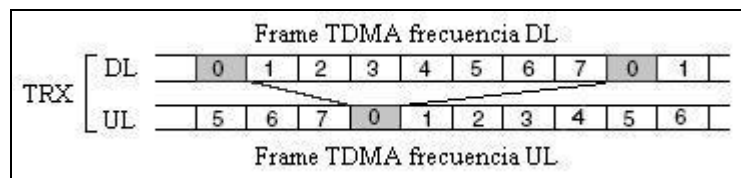


Figura 2.4: Composición de un TRX.

2.2.1. Arquitectura de una red GSM

El sistema GSM está dividido en 4 unidades principales: La estación móvil (MS), el subsistema de estación base (BSS), el subsistema de conmutación de red (NSS) y el subsistema de administración y/o gestión de red (NMS). Mientras que el NMS es un sistema

de soporte, cuyo alcance es ayudar en la configuración de la red, así como en la solución de problemas; el BSS y el NSS tratan con la transmisión y la conmutación de las conexiones, y son particularmente importantes en el análisis del desempeño de los diferentes servicios. Las principales unidades a destacar en un sistema GSM básico (servicios de conmutación de circuitos), se muestran en la Figura 2.5.

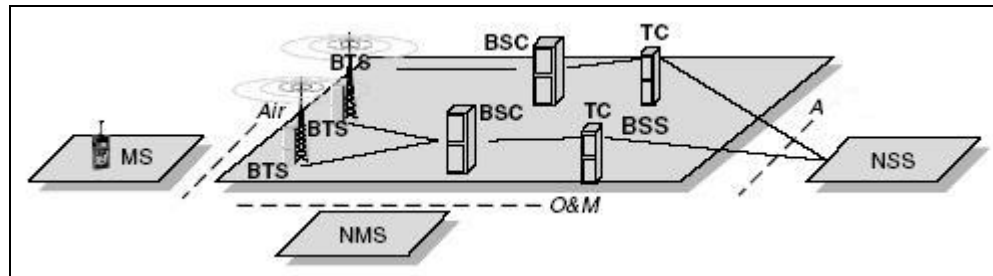


Figura 2.5: Arquitectura básica del sistema GSM [3].

2.2.1.1. Estación móvil (MS)

La estación móvil consta de dos elementos básicos: El terminal móvil (MT) y el módulo de identificación del suscriptor (SIM). El terminal móvil es el equipo mediante el cual se realiza la comunicación. La SIM es una tarjeta inserta en el MT, la cual permite identificar las características del perfil del usuario móvil, pudiendo así acceder a los servicios suministrados por el operador de red, que estén habilitados en el perfil del usuario. A la vez, la SIM independiza la suscripción del terminal móvil, permitiendo el uso de ésta en otro MT GSM, a falta de energía en la batería u otro percance [10].

2.2.1.2. Subsistema de estación base (BSS)

El subsistema de estación base está constituido por los siguientes elementos:

- **Estación base trans-receptora (BTS):** Es el elemento de red que mantiene la interfaz de aire o de radio, y se hace cargo de la señalización, del cifrado de la interfaz de radio y del procesamiento de la voz. En este contexto, el procesamiento de la voz se refiere a todas las funciones que debe realizar la BTS para garantizar una conexión libre de errores entre el MS y la BTS. La BTS define físicamente a una celda (o sector), la cual puede contener varios TRXs. Al conjunto de 3 celdas (ó 3 BTSs) se le conoce como sitio.

- **Controlador de estación base (BSC):** Es el elemento de red central del BSS y controla la red de radio. Entre las principales responsabilidades del BSC se encuentran el establecimiento de la conexión entre el MS y el NSS, la gestión de la movilidad del usuario, la recolección de estadísticas de datos en bruto (sin previo filtrado ni procesamiento) y el soporte de señalización para las interfaces A y de aire.
- **Trans-codificador y unidad de adaptación de tasa (TC-TRAU):** Es el elemento del BSS que se ocupa de la trans-codificación de la voz, es decir, es capaz de convertir la voz de un formato de codificación digital a otro y viceversa, posibilitando así la maximización del uso de los recursos de radio [3], [6], [10].

2.2.1.3.Subsistema de conmutación de red (NSS)

El subsistema de conmutación de red está constituido principalmente por 3 elementos: El centro de conmutación de servicios móviles (MSC), el registro de ubicación de usuario visitante (VLR) y el registro de ubicación de usuario doméstico (HLR). El MSC es el responsable de controlar las llamadas en la red móvil, identificando el origen y el destino de una llamada, así como el tipo de llamada. Un MSC que actúa como puente entre una red móvil y una red fija, es denominado MSC pasarela (GMSC). El MSC está normalmente junto con el VLR, el cual es una base de datos que mantiene información relacionada a los suscriptores que están, en un determinado momento, en el área de servicio del MSC. El VLR procede con los registros de ubicación de los MSs y la actualización de los mismos. La base de datos del VLR es siempre temporal, en el sentido que la información es mantenida mientras el suscriptor esté dentro del área de servicio; en tanto que el HLR mantiene, en su base de datos, un registro permanente de los suscriptores. En adición a la información fija, el HLR también mantiene una base de datos temporal, la cual contiene la ubicación actualizada de los clientes. Esta información es necesaria para el encaminamiento de las llamadas.

Adicionalmente, existen dos elementos más en el NSS: El centro de autenticación (AuC) y el registro de identidad del equipo (EIR). Estos son usados con el propósito de proveer seguridad, y están usualmente implementados como parte del HLR. El suscriptor y el MS deben ser autenticados y autorizados antes de acceder al servicio de la red móvil [6].

2.2.1.4. Subsistema de administración y/o gestión de red (NMS)

El subsistema de administración y/o gestión de red tiene como propósito monitorear varias funciones y elementos de la red móvil. En general se preocupa de la administración y/o gestión de fallas, de la configuración de la red y del desempeño de la misma, permitiendo además la captura de estadísticas. Con el NMS se cubren todos los elementos de la red, desde las BTSs hasta los MSCs/VLRs y HLRs/AuC/EIRs [10].

2.3. Sistema GPRS

El Servicio de Paquetes Generales de Información por Radio GPRS, se presenta como un sistema portador de datos, que agrega un servicio de conmutación de paquetes a la existente red GSM. Mediante GPRS un usuario puede acceder directamente a una red pública de datos, usando direcciones de protocolos estandarizados (como IP o X.25), las cuales pueden ser activadas cuando el MS está adjuntado a la red GPRS. Un MS con capacidad GPRS, puede usar entre 1 y 8 canales sobre la interfaz de aire (RTSL), dependiendo de la clase de MS; y esos canales son dinámicamente asignados a un MS cuando existen paquetes de datos por enviar o por recibir. En la red GPRS, los canales para el UL y el DL son independientes entre sí, y por lo tanto son reservados separadamente, haciendo posible que existan MSs con variadas capacidades tanto para el UL como para el DL. Como se mencionó anteriormente, la asignación de los recursos en la red GPRS es dinámica, por lo que ésta depende tanto de la demanda como de la disponibilidad de recursos.

2.3.1. Arquitectura de una red GPRS

En la Figura 2.6 se aprecia la arquitectura de la red GPRS, en la cual se pueden identificar sus componentes e interfaces. El sistema GPRS agrega muy pocos elementos nuevos a la existente red GSM, siendo los más importantes el nodo de soporte servidor de GPRS (SGSN) y el nodo de soporte pasarela de GPRS (GGSN). Las interfaces Gn y Gp, representan las redes vertebrales (basadas en IP) Intra-PLMN e Inter-PLMN respectivamente, las cuales también constituyen nuevos elementos. Los puntos R y Gi constituyen puntos de referencia, marcando en un caso la conexión del MS con un equipo terminal (como un computador) y en el otro, la conexión de la red GPRS con una red pública de datos.

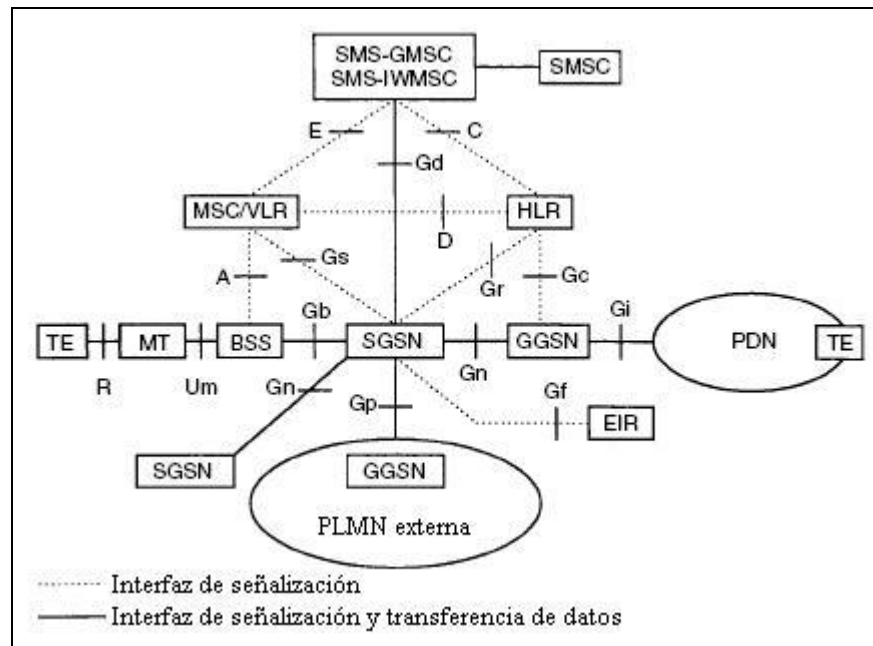


Figura 2.6: Arquitectura de una red GPRS [2].

El principal objetivo de GPRS es brindar a sus usuarios acceso a redes de datos estandarizadas tales como las basadas en los protocolos TCP/IP y X.25. Estas otras redes consideran a la red GPRS como una sub-red normal, y el GGSN se comporta como un enrutador, ocultando a la red externa las características específicas de GPRS.

2.3.1.1. Terminales móviles GPRS

Los MSs GPRS pueden operar en 1 de 3 modos, dependiendo del tipo de terminal.

- **Modo de operación clase A.** El MS está adjuntado simultáneamente a la red GPRS y a la red GSM, pudiendo hacer y/o recibir llamadas de ambos servicios (de voz y/o datos), sujeto a los requerimientos de QoS. Por ejemplo, tener una llamada de voz (GSM) y recibir paquetes de datos GPRS al mismo tiempo.
- **Modo de operación clase B.** El MS está adjuntado simultáneamente a la red GPRS y a la red GSM, pero sólo puede operar un servicio a la vez. Durante una llamada de voz, la conexión GPRS se mostrará como ocupada o tomada.
- **Modo de operación clase C.** El MS sólo puede estar adjuntado a la red GSM o a la red GPRS. La selección es realizada en forma manual, no existiendo operación simultánea de los servicios.

En GSM, el MS utiliza un canal físico (RTSL) para el tráfico UL y un canal para el tráfico DL. En GPRS es posible que el MS utilice múltiples TSLs por enlace, pudiendo tener capacidades diferentes (asimétricas) para el UL y el DL. Cuando un MS soporta el uso de múltiples TSLs, éste pertenece a una clase *multislot*. En la Tabla 2.1 se pueden apreciar las distintas clases *multislot*.

Tabla 2.1: Clases *multislot* [10].

Clase <i>multislot</i>	RTSLs en DL	RTSLs en UL	Suma de RTSLs activos
1	1	1	2
2	2	1	3
3	2	2	3
4	3	1	4
5	2	2	4
6	3	2	4
7	3	3	4
8	4	1	5
9	3	2	5
10	4	2	5
11	4	3	5
12	4	4	5

Además de que el MS soporte distintas capacidades para el UL y el DL, éste debe ser capaz de manejar los instantes de recepción y transmisión de los datos. Existen dos tipos de MSs en este aspecto. El MS tipo I no puede recibir y enviar paquetes de datos al mismo tiempo, pues posee un sólo transpondedor; mientras que el MS tipo II sí puede hacerlo.

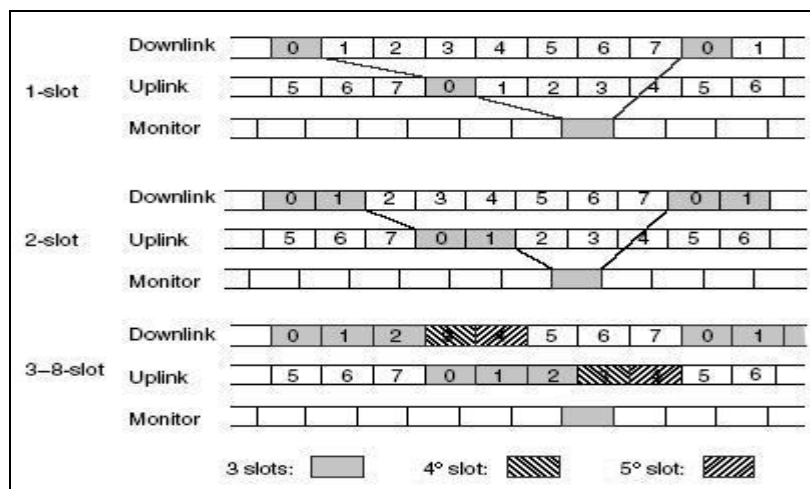


Figura 2.7: Capacidad *multislot* GPRS [2].

Como se visualiza en la Figura 2.7, el sistema GPRS difiere temporalmente en 3 TSLs al *frame* TDMA correspondiente al UL con respecto al *frame* TDMA DL, permitiendo así el funcionamiento de un MS tipo I. Finalmente, el número máximo de canales físicos asignados a un determinado MS está limitado a 8 RTSLs, pues estos deben pertenecer a un mismo TRX.

2.3.1.2.Unidad de control de paquetes (PCU)

La unidad de control de paquetes PCU es el elemento de la red GPRS que se preocupa de separar el tráfico de voz o GSM (conmutado por circuitos) del tráfico de datos o GPRS (conmutado por paquetes) generado por los usuarios, enviándolos a las redes GSM y GPRS según corresponda. Además la PCU desempeña la mayoría de las funciones de administración de los recursos de radio de la red (selección de esquema de codificación, asignación de recursos de radio, establecimiento de la conexión de radio, transferencia de datos, etc.), pudiendo ésta estar ubicada en la BTS, en el BSC, o en algún otro punto entre el MS y el MSC. Debe haber al menos una PCU que sirva a una celda (o sector), en la cual los servicios GPRS están disponibles. En el presente está siendo usada tecnología FR para interconectar la PCU con el núcleo de red GPRS, pensando para el futuro la utilización de tecnología IP [6].

2.3.1.3.Nodo de soporte servidor de GPRS (SGSN)

El SGSN es el componente principal de la red GPRS, el cual se preocupa por ejemplo de la gestión de movilidad y de la autenticación, teniendo además funciones de registro. El SGSN está conectado al BSC y representa, para el MS GPRS, el punto de acceso a los servicios de la red GPRS. Además, el SGSN está conectado al GGSN mediante una red vertebral basada en IP, por lo que debe manejar la conversión de protocolos desde IP a SMDCP y a LLC, y viceversa; que corresponden a los protocolos usados entre el SGSN y el MS. Como se mencionó anteriormente, el SGSN maneja la autenticación de los móviles GPRS, y cuando ésta es exitosa, realiza el registro del MS a la red GPRS, preocupándose de la gestión de movilidad del mismo. Cuando un MS desea enviar (o recibir) información hacia (o desde) redes externas, el SGSN transfiere esta información al GGSN relevante (y viceversa).

2.3.1.3.1.Unidad de procesamiento de paquetes (PAPU)

Uno de los componentes principales del SGSN es la PAPU, cuyo propósito primordial es procesar la información del usuario y la conversión de protocolo entre el BSS y la red vertebral GPRS. La unidad de procesamiento de paquetes maneja los procedimientos de gestión de movilidad GPRS (GMM), tales como el adjuntado y desadjuntado GPRS, y la gestión de la ubicación del MS (LM). También es responsable de la gestión de sesión (SM), incluyendo la activación, modificación y desactivación del contexto PDP; así como es responsable de la entrega de SMSs sobre GPRS. La PAPU además se preocupa del cifrado y compresión de la información entre el MS y el SGSN [6].

2.3.1.4.Nodo de soporte pasarela de GPRS (GGSN)

El GGSN está conectado a redes externas basadas en protocolos IP y X.25. Desde el punto de vista de las redes externas, el GGSN es un enrutador a una sub-red, porque éste esconde la infraestructura GPRS. Cuando el GGSN recibe información de datos dirigida a un usuario específico, revisa si la dirección (IP) está activa. Si lo está, el GGSN envía la información al SGSN que está sirviendo al MS, pero si la dirección está inactiva, la información es descartada. Los paquetes de datos originados por el MS son encaminados hacia la red correcta por el GGSN. El GGSN rastrea al MS hasta el nivel de SGSN.

2.3.2. Interfaces de GPRS

El sistema GPRS introduce nuevas interfaces a la arquitectura de la red GSM, las cuales se pueden apreciar en la Figura 2.6. Es importante entender la función de cada interfaz y punto de referencia, pues entrega una visión interna del sistema GPRS y de su consecuente evolución. Las conexiones del sistema GPRS al NSS de la red GSM (Gc, Gd, Gf, Gr y Gs) están implementadas mediante una red basada en el sistema de señalización número 7 (SS7), mientras que las otras interfaces y puntos de referencia están implementados mediante una red vertebral Intra-PLMN (Gn), una red vertebral Inter-PLMN (Gp) o a través de una red externa (Gi).

A continuación se describen las distintas interfaces y puntos de referencia presentes en GPRS.

- **Gb entre el SGSN y el BSS.** La interfaz Gb es la portadora del tráfico GPRS y de la señalización entre la red de radio GSM (BSS) y la parte GPRS. Esta interfaz está basada actualmente en tecnología FR, pensando para el futuro la utilización de tecnología IP.
- **Gc entre el GGSN y el HLR.** Sólo por esta interfaz opcional el GGSN puede solicitar información de ubicación del MS para una activación de un contexto PDP requerida por la red.
- **Gd entre el SMS-GMSC y el SGSN, y entre el SMS-IW MSC y el SGSN.** La interfaz Gd permite un uso más eficiente del servicio SMS.
- **Gf entre el SGSN y el EIR.** La interfaz Gf permite que el SGSN tenga acceso a la información de los equipos. En el EIR los MSs están divididos en 3 listas: La lista negra para los móviles robados, la lista gris para los móviles bajo observación y la lista blanca para los que operan válidamente.
- **Gi entre el GGSN y una red externa.** La red GPRS es conectada a una red de datos externa mediante este punto de referencia. La red GPRS debe soportar una variedad de tipos de redes de datos.
- **Gn entre 2 GSN dentro de la misma PLMN.** Esta interfaz proporciona transferencia de datos y señalización mediante la red vertebral Intra-PLMN. El protocolo GTP es utilizado en la interfaz Gn (y en la Gp) sobre la red vertebral basada en IP.
- **Gp entre 2 GSN en varias PLMNs.** La interfaz Gp proporciona las mismas funcionalidades que la Gn, pero también proporciona funciones de seguridad y enrutamiento, entre otras, que garantizan un correcto funcionamiento Inter-PLMN.
- **Gr entre el SGSN y el HLR.** Esta interfaz le da al SGSN acceso a la información de los suscriptores presente en el HLR, el cual puede estar ubicado en una PLMN diferente a la del SGSN.
- **Gs entre el SGSN y el MSC.** Mediante esta interfaz opcional, el SGSN puede enviar al MSC datos de la ubicación de los MSs o recibir desde el MSC peticiones para contactar a un determinado MS. La interfaz Gs permite mejorar de gran manera el uso efectivo de los recursos tanto de radio como de red, en la red GSM/GPRS combinada.
- **R entre el MT y un equipo terminal (TE).** Este punto de referencia conecta al MT con el TE, permitiendo de esta manera que por ejemplo un computador se conecte a una red de datos por el MS.

- **Um entre el MS y la parte fija de la red GPRS.** Um es la interfaz de acceso del MS a la red GPRS. El MS tiene una interfaz de radio con la BTS, la cual es compartida entre la red GSM y la red GPRS, con algunos cambios específicos [2].

2.3.3. Arquitectura de protocolos GPRS

El sistema GPRS introduce un completo conjunto de nuevos protocolos a la red GSM, los cuales posibilitan el inter-funcionamiento de los elementos GPRS. En la Figura 2.8 se muestra el plano de transmisión usado en el sistema GPRS.

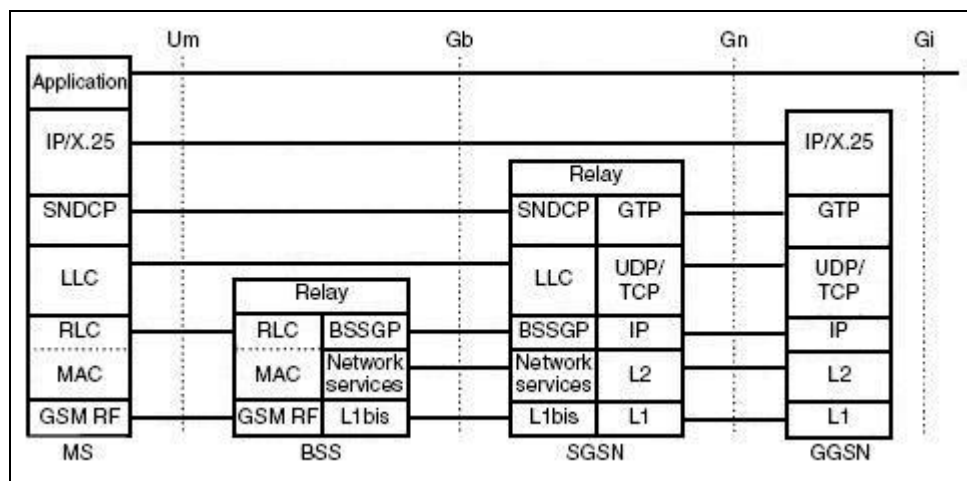


Figura 2.8: Plano de transmisión [2].

2.3.3.1. Capa física (PHY-GSM RF)

La capa física ha sido separada en dos sub-capas, la capa física de radio frecuencia RF y la capa física de enlace.

La capa física RF realiza la modulación de las formas de ondas físicas basada en una secuencia de bits que recibe de la capa física de enlace. La capa física RF también realiza la demodulación de las formas de ondas recibidas, traduciéndolas en secuencias de bits que son transferidas a la capa física de enlace para su interpretación.

La capa física de enlace proporciona servicios para la transferencia de información sobre un canal físico entre el MS y la red. La capa física de enlace opera sobre la capa física RF, realizando funciones de codificación de datos y de tanto detección como corrección de errores

en el medio de transmisión físico. El propósito de esta sub-capa es transmitir información a través de la interfaz de radio (compartida por GSM y GPRS), pudiendo soportar que múltiples MSs compartan el mismo canal físico.

2.3.3.2. Capa de control del enlace de radio y del acceso al medio (RLC/MAC)

La capa RLC/MAC proporciona servicios para la transferencia de información sobre la capa física de la interfaz de radio GPRS. Estas funciones incluyen un procedimiento de corrección de errores hacia atrás, que es posible gracias a la retransmisión selectiva de los bloques RLC erróneos. La función RLC ofrece un radio enlace confiable a las capas superiores. La capa RLC/MAC equivale a la capa 2 del modelo OSI.

2.3.3.3. Capa de control del enlace lógico (LLC)

La capa LLC ofrece a las capas superiores un enlace lógico seguro y confiable entre el MS y el SGSN. Esta capa tiene 2 modos de transferencia, con acuse de recibo (ACK) y sin acuse de recibo (UNACK), transmitiendo señalización, SMSs y paquetes SNDPCP. La capa LLC es independiente de las capas inferiores.

2.3.3.4. Capa de protocolo de convergencia dependiente de la sub-red (SNDPCP)

EL protocolo SNDPCP constituye una función de mapeo y compresión entre la capa de red (del modelo OSI) y las capas inferiores. También realiza segmentación, reensamblado y multiplexado de los paquetes de datos.

2.3.3.5. Capa de protocolo de tunelización GPRS (GTP)

El protocolo GTP es usado para encapsular tanto la información del usuario como la señalización, para así ser transmitidas entre los GSNs. El procedimiento de encapsular la información de datos dentro de una red se denomina túnel, y es totalmente transparente para el usuario, permitiendo una mayor seguridad y confidencialidad de la información, ocultando a las redes de datos externas características propias de la red GPRS. El protocolo GTP se utiliza

para transmitir PDP PDUs entre las interfaces Gb y Gn. En las Figuras 2.9 y 2.10 se puede apreciar de manera gráfica el concepto de túnel y el concepto de encapsulado GTP.

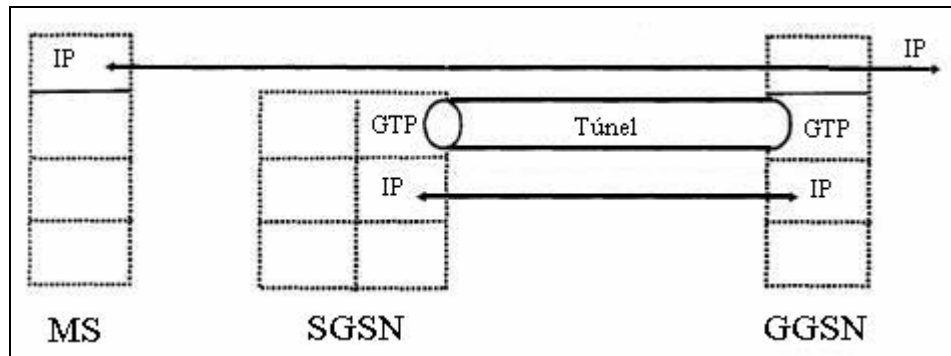


Figura 2.9: Túnel GTP [6].

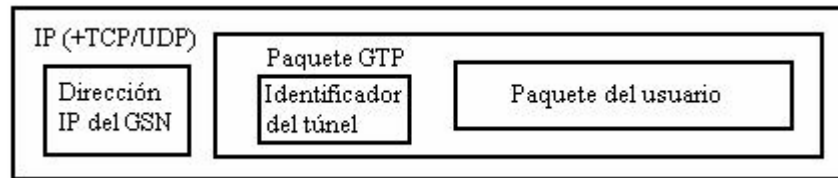


Figura 2.10: Encapsulado GTP [6].

2.3.4. Gestión de movilidad GPRS (GMM)

La gestión de movilidad en la red GPRS se maneja casi de la misma manera que en el sistema GSM. Una o más celdas constituyen un área de enrutamiento (RA), la cual es un subconjunto de un área de ubicación (LA). Cada RA es servida por un SGSN. El rastreo de la ubicación del MS depende del estado de gestión de movilidad en el que se encuentre. Cuando un MS se encuentra en estado EN ESPERA, su ubicación se conoce a nivel de RA, y cuando el MS está en estado LISTO, su ubicación se conoce a nivel de celda (o sector).

2.3.4.1. Estados de gestión de movilidad

Existen 3 estados GMM, el estado LIBRE, el estado EN ESPERA y el estado LISTO. El estado LIBRE se asigna cuando el suscriptor (MS) está pasivo (no adjuntado a GPRS). El estado EN ESPERA es asignado cuando el suscriptor ha terminado una fase activa. Un MS se encuentra en una fase activa (estado LISTO) cuando está transmitiendo información o recién ha dejado de hacerlo. El cambio entre estados ocurre en base a actividad o cuando un tiempo

determinado expira. En la Figura 2.11 se muestran los distintos estados de gestión de movilidad y las transiciones entre estos.

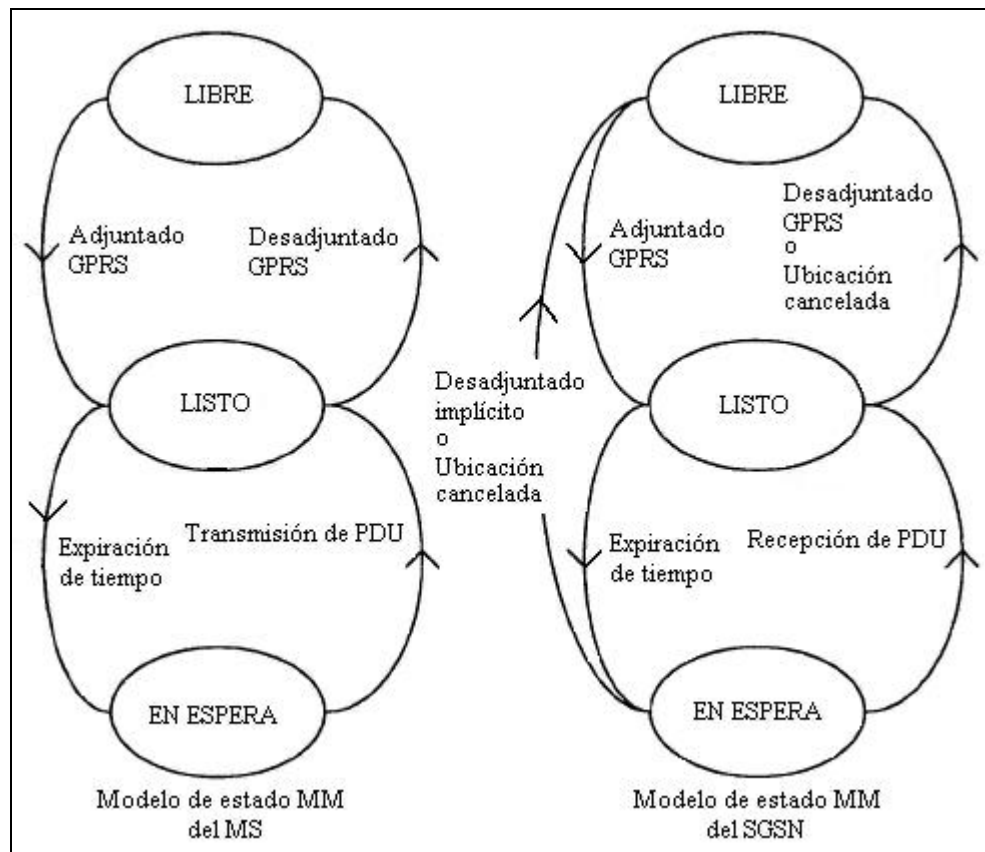


Figura 2.11: Estados de gestión de movilidad [2].

2.3.4.2. Adjuntado y desadjuntado GPRS

El adjuntado y desadjuntado GPRS son funciones del GMM para establecer y terminar respectivamente una conexión a la red GPRS. El SGSN recibe las peticiones y las procesa. Con el adjuntado el MS pasa del estado LIBRE al estado LISTO, se establece un contexto MM, el MS es autenticado, las llaves de cifrado son generadas, se establece un enlace cifrado y se le asigna al MS una identidad de enlace lógico temporal (TLLI), que identifica de manera inequívoca el enlace lógico entre el MS y el SGSN. EL SGSN busca la información del suscriptor desde el HLR. En estas condiciones el MS puede enviar y recibir SMSs, pero no otro tipo de información de datos, para lo cual se debe tener un contexto PDP activo. Cuando el suscriptor desea terminar su conexión con la red GPRS, se utiliza el desadjuntado GPRS, mediante el cual el MS pasa al estado LIBRE y el contexto MM es removido.

2.3.5. Gestión de sesión (SM)

La gestión de sesión colectivamente se refiere al conjunto de procedimientos para la activación, modificación y desactivación de una sesión de transferencia de datos entre el MS y una red de datos externa. Para iniciar una sesión de datos, el sistema GPRS cuenta con un grupo de funciones para asociar a un MS con una dirección (típicamente una dirección IP) y para liberar esta asociación. Lo anterior se denomina contexto PDP [6].

2.3.5.1.Contexto de protocolo de paquete de dato (PDP)

Las funciones del contexto PDP son funciones a nivel de red, usadas para vincular a un MS con varias direcciones PDP y posteriormente usadas para desvincular al MS de esas direcciones. Cuando el MS está adjuntado a la red GPRS, éste debe activar todas las direcciones que desea utilizar para traficar datos con las redes externas. Varios contextos PDP deben ser activados pues estos incluyen dirección, atributos de QoS, etc. Después que el suscriptor ha terminado de usar las direcciones activadas, éstas deben ser desactivadas. También a veces se deben realizar cambios en los atributos específicos de una determinada dirección. El MS puede usar estas funciones cuando se encuentra en estado EN ESPERA o LISTO. El GGSN también puede hacer uso de estas funciones, pero es el SGSN el responsable de realizarlas. Finalmente el MS puede elegir un GGSN en particular para acceder a un determinado servicio, pudiendo activar anónimamente un contexto PDP, sin utilizar ningún tipo de identificación.

2.3.5.1.1.Direcciones PDP estáticas y dinámicas

Un suscriptor puede usar varios tipos de direcciones PDP. Una dirección PDP estática es permanentemente asignada a un MS por el HPLMN. También el HPLMN puede asignar una dirección PDP dinámica a un MS, cuando éste realiza la activación de un contexto PDP. Por último cuando el MS activa un contexto PDP en una VPLMN también se le asigna una dirección PDP dinámica. Se indica en la suscripción del MS si es que éste puede tener una dirección estática o dinámica.

2.3.5.1.2.Activación del contexto PDP

La activación del contexto PDP puede ser llevada a cabo por el MS (enviar paquetes de datos) o por la red (recibir paquetes de datos). La petición de la activación del contexto es enviada al SGSN cuando una determinada dirección requiere de activación. Opcionalmente la petición también puede ser realizada por el GGSN, si es que éste ha recibido paquetes de datos para una dirección sin contexto PDP activo y el MS está adjuntado a la red GPRS. La petición contiene parámetros para el contexto, como el TLLI, el tipo de protocolo a utilizar, el tipo de dirección a usar, atributos de QoS, el GGSN elegido, etc.

2.3.5.1.3.Modificación del contexto PDP

El contexto PDP puede ser modificado por el SGSN. Sólo los parámetros de QoS negociada y la prioridad en los recursos de radio pueden ser modificados. El SGSN envía la petición de modificación al MS, pudiendo éste aceptarla o rechazarla.

2.3.5.1.4.Desactivación del contexto PDP

El contexto PDP puede ser desactivado por el MS o por la red. Cada dirección puede ser desactivada separadamente, pero cuando se realiza un desadjuntado GPRS, la red automáticamente remueve todos los contextos PDP.

2.3.6. Gestión de ubicación (LM)

Los procedimientos de gestión de ubicación son utilizados para manejar los cambios de una celda y/o de una RA, y las actualizaciones periódicas de las RA. Si un MS pasa un tiempo prolongado en un mismo lugar, la red debe recibir una indicación de que el MS está aún alcanzable. Esa es la razón de que se realicen actualizaciones de las RA (RAU) de manera periódica. Todos los MSs adjuntados a la red GPRS realizaran un RAU periódico, salvo un MS en modo de operación clase B que se encuentre realizando una llamada de voz (CS). Un MS en estado LISTO, realiza una actualización de celda, cuando éste cambia de celda dentro de una misma RA. Cuando un MS cambia de celda entre RA diferentes, realiza un RAU. Existen 2 tipos de RAU, el RAU Intra-SGSN y el RAU Inter-SGSN (IRAU). El SGSN puede manejar varias RA y si la nueva RA pertenece a otro SGSN, se realiza un IRAU. En este caso,

el SGSN antiguo reenvía los paquetes de datos del usuario al nuevo SGSN. Si la nueva RA pertenece al mismo SGSN al cual pertenecía la antigua RA, se realiza un Intra-SGSN RAU.

2.3.7. Interfaz de aire o de radio GPRS (Um)

Todas las comunicaciones entre el MS y la red GSM/GPRS se llevan a cabo sobre la interfaz de aire. Es la interfaz más importante de la red móvil, pues es la causa del cuello de botella en el desempeño actual de GPRS.

La interfaz de radio GPRS consiste en canales asignados al DL y al UL, de manera asimétrica e independiente. La capacidad GPRS es asimétrica porque los recursos de radio asignados a un MS en el DL y UL pueden ser diferentes. El DL porta datos desde la red hacia múltiples MSs y no requiere de arbitraje por disputa de recursos. Los recursos UL son compartidos entre múltiples MSs y requiere de resolución de disputas, para usar los recursos de radio de manera ordenada [6].

2.3.7.1. Territorio GPRS

En la red GSM/GPRS los RTSLs son utilizados tanto para el tráfico CS (voz) como para el tráfico PS (datos). Al ser el servicio estrella de la actual red móvil, el tráfico de voz tiene prioridad por sobre el tráfico de datos; sin embargo cuando algún TSL no está siendo usado por el tráfico de voz, éste puede ser asignado dinámicamente al territorio GPRS para el envío de datos. En la Figura 2.12 se pueden apreciar los distintos tipos de capacidades asignadas a la red GPRS, las cuales en conjunto constituyen el territorio GPRS.

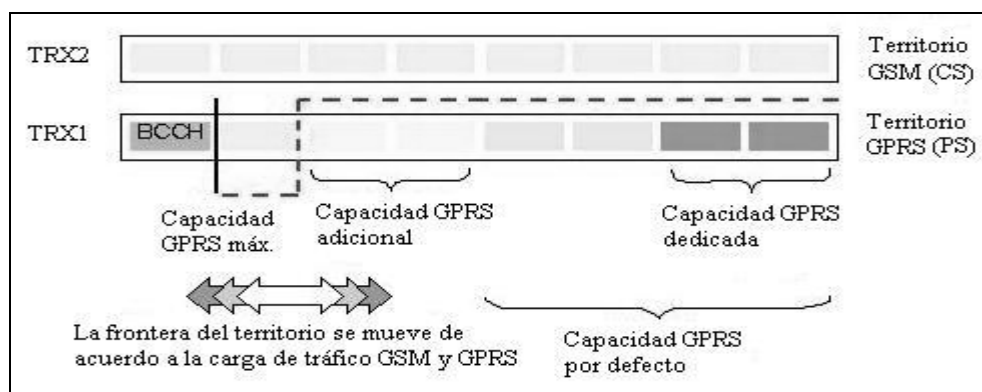


Figura 2.12: Territorio GPRS [7].

- **Capacidad GPRS dedicada (CDED).** Los RTSLS asignados son de uso exclusivo para el tráfico de datos, y aunque exista congestión en el tráfico de voz, los TSLs seguirán siendo parte del territorio GPRS.
- **Capacidad GPRS por defecto (CDEF).** Los TSLs son asignados por defecto al tráfico de datos, pero si el tráfico de voz lo amerita, los RTSLS serán liberados del territorio GPRS y reasignados a GSM. En este caso las llamadas de voz tienen prioridad por sobre las llamadas de datos.
- **Capacidad GPRS adicional.** Los RTSLS están asignados por defecto al tráfico GSM, pero en el caso de que éste sea bajo, los TSLs pueden ser reasignados dinámicamente al territorio GPRS.
- **Capacidad GPRS máxima.** Constituye la máxima cantidad de RTSLS que pueden ser asignados al territorio GPRS. La frontera del territorio GPRS se moverá entre la CDEF y la capacidad máxima de acuerdo al tráfico GSM/GPRS.

2.3.7.2. Canales lógicos de paquetes de datos GPRS

Los canales lógicos de paquetes de datos son mapeados sobre los canales físicos (RTSLs) que están dedicados a la transmisión de paquetes de datos. El canal físico dedicado al tráfico de paquetes de datos se denomina canal de paquete de dato (PDCH). Los canales lógicos de paquetes de datos pueden ser agrupados en diferentes categorías, las cuales se muestran en la Figura 2.13.

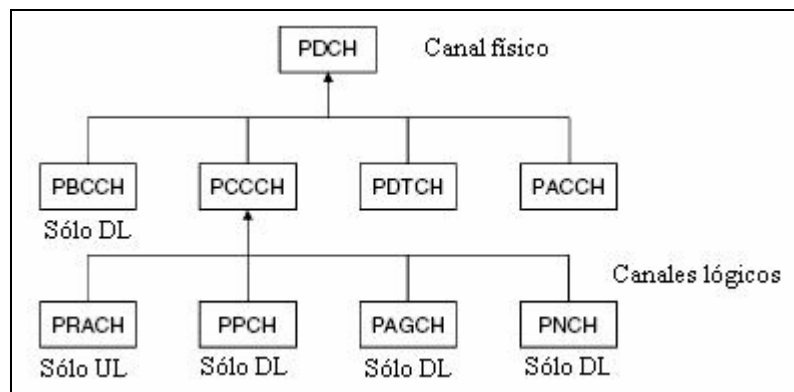


Figura 2.13: Canales lógicos de GPRS [2].

- **Canal de paquete de control común (PCCCH).** El PCCCH consta de canales lógicos para la señalización de control común usada por los paquetes de datos:

- 1) **Canal de paquete de acceso aleatorio (PRACH) – sólo en el UL.** El PRACH es utilizado por el MS para iniciar una transferencia UL, pudiendo enviar datos o información de señalización.
 - 2) **Canal de paquete de contacto (PPCH) – sólo en el DL.** El PPCH es usado para contactar al MS previo a una transferencia de paquetes DL.
 - 3) **Canal de paquete de acceso concedido (PAGCH) – sólo en el DL.** El PAGCH es utilizado en la fase de establecimiento de la transferencia de paquetes, para enviar al MS la asignación de recursos previo a la transferencia de paquetes.
 - 4) **Canal de paquete de notificación (PNCH) – sólo en el DL.** El PNCH es usado para enviar notificaciones a un grupo de MSs previo a una transferencia de paquetes punto a multipunto (PTM-M).
- **Canal de paquete de control de emisión (PBCCH) – sólo en el DL.** El PBCCH emite información específica del sistema de paquetes de datos. Si el PBCCH no está asignado, la información específica del sistema de paquetes de datos es emitida sobre el BCCH (canal de control de GSM).
 - **Canal de paquete de tráfico de dato (PDTCH).** El PDTCH es el canal asignado para transferencia de datos. Éste está temporalmente dedicado a un MS. En la operación *multislot* el MS puede utilizar múltiples PDTCH en paralelo para una transferencia individual de paquetes.
 - **Canal de paquete de control asociado (PACCH).** El PACCH transmite la información de señalización relativa a un determinado MS. La información de señalización puede incluir acuses de recibo, información de control de potencia, asignación de recursos o mensajes de reasignación de capacidad para los PDTCHs.

2.3.7.3. Estructura *multiframe*

Los *frames* TDMA son transmitidos uno después del otro. A cada *frame* TDMA se le asigna un número de *frame*. Los números de *frames* son emitidos por la BTS por el canal de sincronización (SCH), y son usados para la sincronización a nivel de *frame* entre el MS y el BSS. La numeración se repite cada *hyperframe*, el cual tiene una duración de 3 horas, 28 minutos, 53 segundos, y 760 milisegundos. Los números de los *frames* también son usados

para el cifrado, dificultando de esta manera la decodificación de los mensajes que están siendo transmitidos.

En GSM, 51 *multiframes* de 26 *frames* constituyen un *superframe*, que tiene una duración de 6,12 segundos. 2.048 *superframes* forman el *hyperframe*. Hay 2.662.400 *frames* en un *hyperframe*. Éste representa el valor máximo que puede tener un número de *frame* dado que se repite cada *hyperframe*. En la Figura 2.14 se puede ver la estructura de un *multiframe* de 26 *frames* [6].

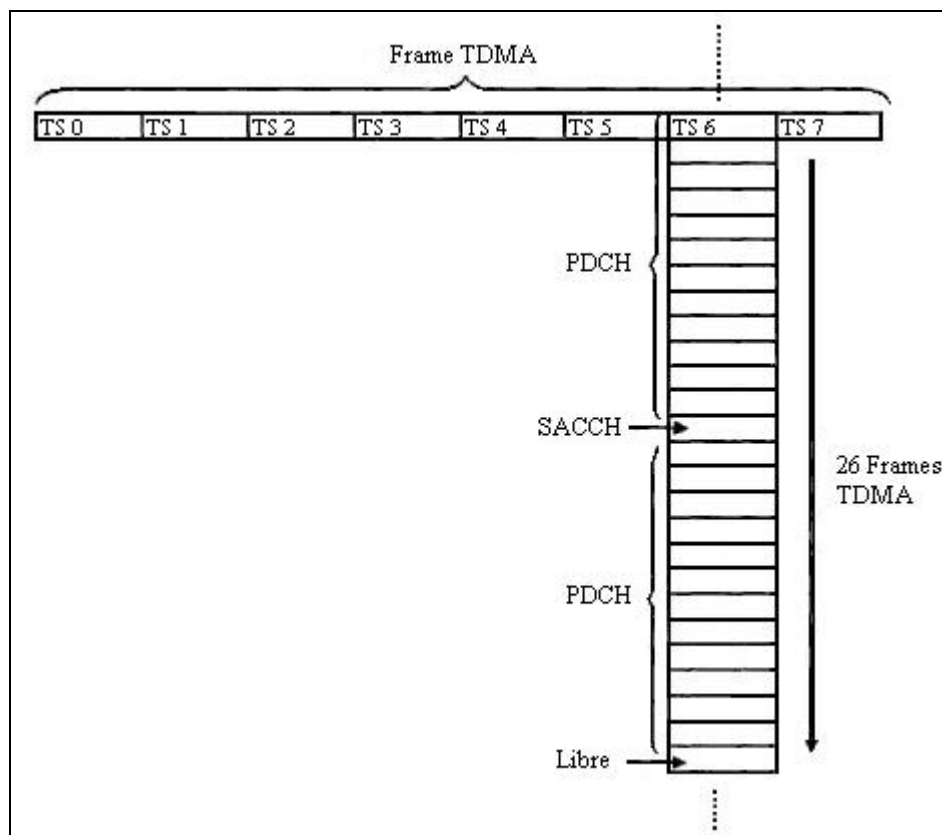


Figura 2.14: Estructura *multiframe* [6].

2.3.7.4. Definición de radio bloque

GPRS utiliza al radio bloque como unidad elemental de información enviada por la interfaz de aire. Un radio bloque es transmitido vía 4 ráfagas de bits, las cuales son transportadas en 4 *frames* TDMA consecutivos, y por el mismo RTSL. Como cada *frame* TDMA dura aproximadamente 5 ms, el proceso de transferencia del radio bloque demora 20 ms. En la Figura 2.15 se muestra la definición de un radio bloque.

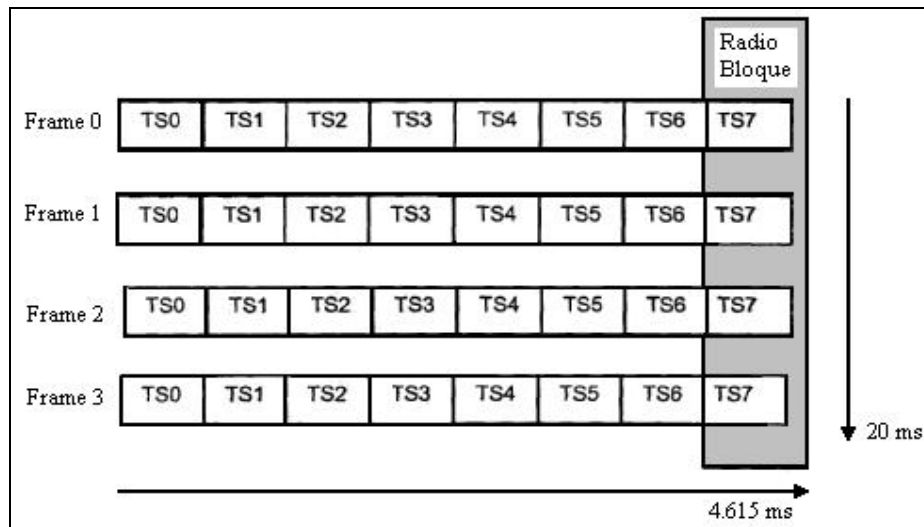


Figura 2.15: Radio bloque.

En un radio bloque se puede enviar información tanto de señalización como de datos, cuya capacidad de 456 bits es transmitida en ráfagas de 114 bits cada una. Como se puede apreciar en la Figura 2.16 los paquetes de datos son segmentados en *frames* LLC (1520 octetos), siendo estos a la vez segmentados en radio bloques.

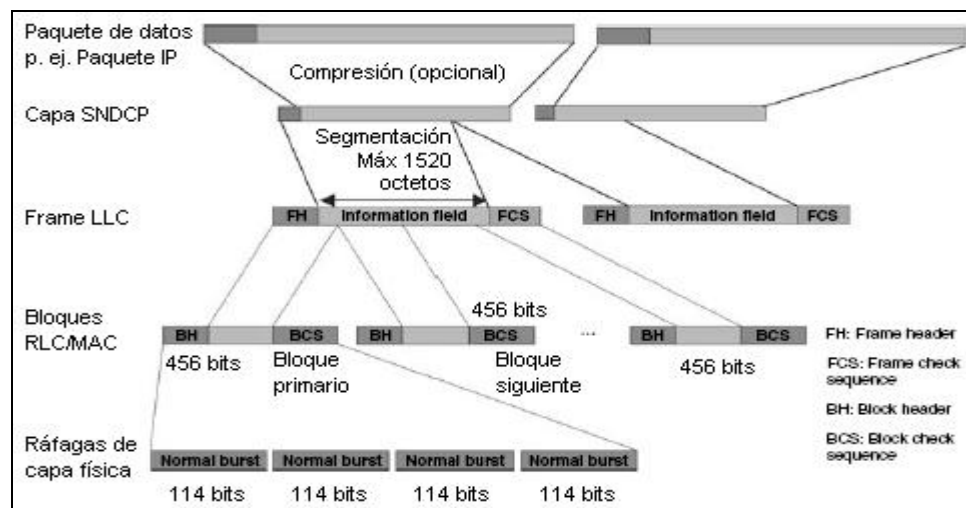


Figura 2.16: Flujo de datos en GPRS [2].

2.3.7.5. Codificación de canal para un PDTCH

En el estándar GPRS existen 4 esquemas de codificación denominados CS-1, CS-2, CS-3 y CS-4. El esquema de codificación CS-1 tiene la corrección de errores más alta y la menor tasa de transmisión de datos efectiva, mientras que el CS-4 no tiene corrección de errores pero

tiene la tasa de transmisión de información más alta. De esta manera, los esquemas de codificación CS-2 a CS-4 ofrecen una mayor tasa de transmisión de datos, con el costo de tener una menor protección contra los errores de transmisión. En la Tabla 2.2 se muestran en detalle los distintos esquemas de codificación [6].

Tabla 2.2: Esquemas de codificación en GPRS [2].

Características de los esquemas de codificación GPRS para un BLER < 10 % y un modelo TU3							
Sistema	Esquema de codificación	Modulación	Bloques RLC / radio bloque	Tasa de código FEC	bits usuario / 20 ms	Tasa de bits / TSL [kbps]	C/I ² [dB]
GPRS	CS-1	GMSK	1	0,45	160	08,0	13
	CS-2		1	0,65	240	12,0	15
	CS-3		1	0,75	288	14,4	16
	CS-4		1	1,00	400	20,0	19

2.3.7.5.1. Modulación GMSK

El esquema de modulación GMSK es usado tanto en GSM como en GPRS, dado que proporciona requerimientos espectrales mínimos y una potencia de salida constante. En este esquema cada bit es representado por un símbolo. En la Tabla 2.3 se resumen las principales características de la modulación GMSK [6].

Tabla 2.3: Características de la modulación GMSK.

	GMSK
Tasa de símbolo	270,833 ksps
bits / símbolo	1
bits usuario / ráfaga	114
Tasa bruta / TSL	22,8 kbps

2.3.7.6. Flujo temporal de bloques (TBF)

Un TBF es una conexión temporal entre el MS y la red GPRS, para soportar la transferencia unidireccional de LLC PDUs sobre los canales físicos asignados a transportar paquetes de datos. Un TBF puede usar los recursos de radio de uno o más PDCHs, sobre los cuales se transmiten radio bloques RLC/MAC que transportan uno o más LLC PDUs. El TBF es temporal y se mantiene sólo por la duración de la transferencia de los datos.

² Ver Apéndice C.

2.3.7.6.1. Identidad de flujo temporal (TFI)

La red asigna a cada TBF un TFI. La asignación de la identidad de flujo temporal es única entre los TBFs concurrentes en cada dirección, y se prefiere en vez de la identidad del MS en la capa RLC/MAC. El mismo valor de TFI puede ser usado concurrentemente para TBFs en direcciones opuestas. El TFI es asignado en un mensaje de asignación que precede a la transferencia de los *frames* LLC pertenecientes a un TBF hacia/desde el MS. El mismo TFI es incluido en cada cabecera RLC perteneciente a un TBF en particular. Mientras más a menudo se asigne un TFI a un usuario específico, mayor será su tasa de bits. En la Figura 2.7 se pueden ver varios TBFs, identificados con distintos TFIs, pertenecientes a distintos usuarios.

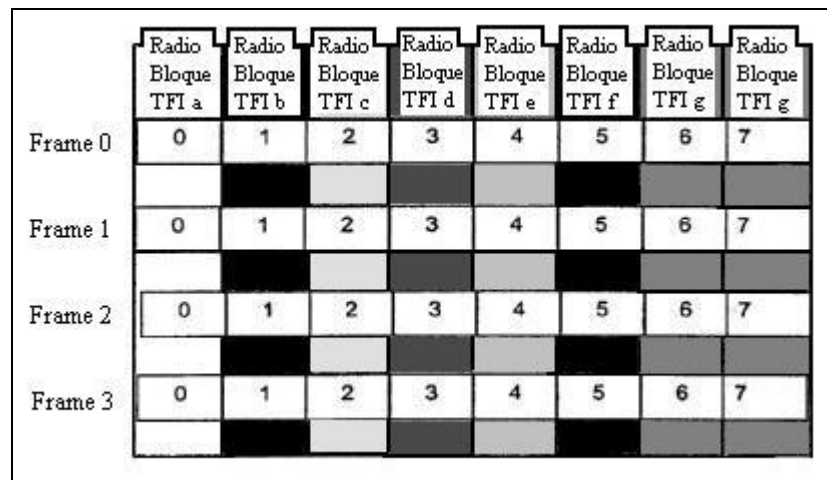


Figura 2.17: Identidad de flujo temporal [6].

2.3.7.6.2. Multiplexado de radio bloques

Con la finalidad de hacer posible el multiplexado de varios MSs en un mismo PDCH, se introduce el concepto de bandera de estado UL (USF). Durante el establecimiento del TBF UL, una USF es asignada a cada MS, la cual es usada por la red para indicar cuál terminal tiene permitido transmitir en el siguiente radio bloque UL. Para esto, cada bloque DL debe ser decodificado por todos los MSs asignados al PDCH, con el objetivo de obtener la USF y el TFI. Además, si no existe información disponible en el DL, la red envía un radio bloque falso para poder transmitir la USF. La USF es una bandera de 3 bits, por lo que cada PDCH puede manejar hasta 8 MSs excepto sobre el PCCCH, donde el valor "111" (USF = LIBRE) indica que el radio bloque UL correspondiente está reservado para el PRACH. En la BTS hay sólo 16 índices que permiten mantener a los MSs sincronizados con el *frame* TDMA. Si el número

máximo de TBFs multiplexados en el UL es 7, el máximo número de TBFs multiplexados en el DL está limitado a 9, en el caso extremo de que 16 TBFs, pertenecientes a MSs diferentes, estuviesen multiplexados en el mismo PDCH. En la Tabla 2.4 se puede contemplar un ejemplo de multiplexado de radio bloques [2].

Tabla 2.4: Multiplexado de radio bloques.

RTSL	0	1	2	3	4	5	6	7
UL							MS1	MS1
							MS2	MS2
DL						MS1	MS1	MS1
						MS2	MS2	MS2

2.3.8. Calidad de servicio en GPRS (QoS)

La información de la calidad de servicio para un usuario GPRS está contenida en el HLR. Durante el establecimiento del contexto PDP, la red GPRS y el MS deben negociar el perfil de QoS.

El perfil de QoS está basado en términos de los siguientes atributos:

- **Clase de prioridad.** Indica la prioridad que debe ser dada a los paquetes del usuario, con el fin de mantener un determinado servicio bajo condiciones anormales de funcionamiento (por ejemplo congestión). Los paquetes de algunos usuarios serán descartados para así poder cumplir con las exigencias de los usuarios de mayor clase de prioridad.
- **Clase de retardo.** Indica el retardo asociado a los paquetes de datos en su paso por la red GPRS. El operador de red debe adecuar sus recursos de transmisión de radio y de red, para que se pueda soportar el número esperado de usuarios por celda (o sector).
- **Clase de fiabilidad.** Indica la cantidad de servicios de control de errores a ser proporcionado a los datos del usuario. La fiabilidad se define en términos de la probabilidad de que se pierdan los datos, la probabilidad de que los datos se entreguen fuera de secuencia, la probabilidad de que se entreguen datos duplicados y la probabilidad de que se entreguen datos corruptos.
- **Clase de tasa de transferencia máxima.** Es la máxima tasa de transferencia a la que se espera que los datos sean transmitidos a través de la red GPRS para un determinado

contexto PDP. No existen garantías de que la tasa máxima se pueda alcanzar o mantener durante la sesión del usuario, ya que dependerá de los recursos de radio disponibles y de la capacidad del terminal.

- **Clase de tasa de transferencia media.** Es la tasa de transferencia media a la que se espera que los datos sean transmitidos a través de la red GPRS para un determinado contexto PDP, durante el tiempo que éste esté activo.

Los parámetros de QoS no son una descripción exacta para cada uno de los contextos PDP. Las especificaciones definen un conjunto de reglas para diferentes clases de servicio. Cada operador de red debe decidir cómo y cuándo va a satisfacer los requerimientos de los suscriptores. Por último cabe decir que cada perfil de QoS se considera como un único parámetro con varios atributos que hacen referencia a la transferencia de datos, y es a partir de estos que el operador de red puede establecer tarifas diferenciadas de acuerdo a la QoS requerida y contratada por el usuario móvil [6], [10].

2.4. Sistema EDGE

La Tasa de Transmisión de Datos Enriquecida para la Evolución Global EDGE, o también conocida como GPRS Enriquecido EGPRS, es una tecnología de 2.75G que representa una considerable mejora a la red GPRS. EDGE aumenta la capacidad y las tasas de transmisión de datos tanto para GSM (CS) como para GPRS (PS), requiriendo de canales de transmisión de mayor capacidad. EGPRS está diseñado para mejorar la eficiencia espectral a través del control de calidad del enlace; y aunque EDGE le da un nuevo impulso a las redes GSM y GPRS, éstas no necesitan mayores cambios, representando un impacto mínimo desde el punto de vista técnico. De esta manera, los operadores no tienen que hacer cambios en la estructura de la red GSM/GPRS ni invertir en nuevas licencias regulatorias [2].

2.4.1. Modulación 8-PSK

La utilización de un esquema de modulación 8-PSK es una de las mejoras que EDGE introduce, dado que la tasa de transferencia de datos es tres veces mayor con respecto a GMSK. En este nuevo esquema, los símbolos transmitidos son 1 de 8 sinusoides, las cuales

tienen la misma amplitud y frecuencia pero difieren en fase. Los bits de datos digitales están combinados en grupos de 3 bits, por lo que existen 8 combinaciones posibles. Cada uno de estos patrones de 3 bits es igualado a uno de los símbolos 8-PSK. En la Figura 2.18 se puede observar la distribución de los símbolos del esquema de modulación 8-PSK.

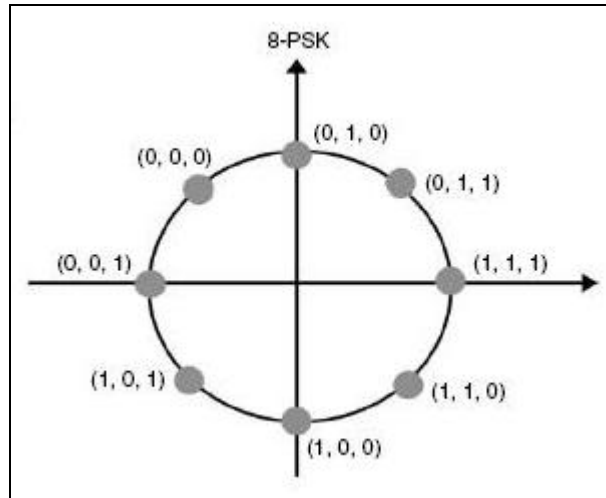


Figura 2.18: Diagrama de constelación de modulación 8-PSK [2].

Los símbolos de 8-PSK están continuamente rotando con $3\pi/8$ radianes. En la Tabla 2.5 se resumen las principales características de la modulación 8-PSK [6].

Tabla 2.5: Características de la modulación 8-PSK.

	8-PSK
Tasa de símbolo	270,833 ksps
bits / símbolo	3
bits usuario / ráfaga	342
Tasa bruta / TSL	68,4 kbps

2.4.2. Esquema de codificación EDGE

Nueve modulaciones y esquemas de codificación, de MCS-1 a MCS-9, son definidos para los canales de tráfico de paquetes de datos EGPRS. En este caso se vuelve a tener la relación mayor tasa de transmisión de datos, con el desmedro de tener una menor protección contra los errores de transmisión. En la Tabla 2.6 se muestran en detalle los distintos esquemas de codificación para EDGE [6].

Tabla 2.6: Esquemas de codificación en EDGE [2].

Características de los esquemas de codificación EDGE para un BLER < 10 % y un modelo TU3								
Sistema	Esquema de codificación	Familia	Modulación	Bloques RLC / Radio bloque	Tasa de código FEC	bits usuario / 20 ms	Tasa de bits / TSL [kbps]	C/I [dB]
EDGE	MCS-1	C	GMSK	1	0,53	176	08,8	13,0
	MCS-2	B		1	0,66	224	11,2	15,0
	MCS-3	A		1	0,85	296	14,8	16,0
	MCS-4	C		1	1,00	352	17,6	21,0
	MCS-5	B	8-PSK	1	0,38	448	22,4	18,0
	MCS-6	A		1	0,49	592	29,6	20,0
	MCS-7	B		2	0,76	448 + 448	44,8	23,5
	MCS-8	A		2	0,92	544 + 544	54,4	28,5
	MCS-9	A		2	1,00	592 + 592	59,2	30,0

2.4.3. Redundancia incremental y adaptación de enlace (IR/LA)

La redundancia incremental (IR) es una combinación efectiva de 2 técnicas, la petición de repetición automática (ARQ) y la corrección de errores hacia adelante (FEC). En el método ARQ, cuando el receptor detecta la presencia de errores en el radio bloque recibido, pide y recibe del transmisor una retransmisión del mismo radio bloque. Este proceso continúa hasta que una copia no corrupta llegue a destino. El método FEC agrega información redundante a los datos del usuario en el extremo transmisor, y el receptor usa esta información para corregir los errores causados por las perturbaciones en el canal de radio. En el mecanismo IR, toda la redundancia no es enviada de inmediato. En vez de eso, sólo una pequeña parte es enviada al principio, lo que da paso a una mayor velocidad de transferencia de datos para el usuario si es que la decodificación es exitosa. De no ser así, se envía más información de redundancia teniendo ahora mayor probabilidad de una decodificación exitosa.

El mecanismo de adaptación de enlace (LA) trata de proporcionar la mayor tasa de transferencia de datos y los menores retardos, disponibles por la adaptación de la protección de la información a enviar de acuerdo a la calidad del enlace. Habilitar el LA requiere de un conjunto de MCSs con diferentes grados de protección. Por ejemplo, si el MCS inicial seleccionado de acuerdo a la calidad del enlace es el 9, y si por alguna razón un radio bloque llega corrupto, el sistema cambia el esquema de codificación a MCS-6, pues pertenece a la misma familia que el MCS-9 y posee mayor protección contra errores, disminuyendo así la probabilidad que el radio bloque vuelva a llegar corrupto [6].

En la Figura 2.19 se pueden apreciar las distintas familias de MCSs, en donde pertenecer a una misma familia implica que las codificaciones son múltiplos y submúltiplos entre sí.

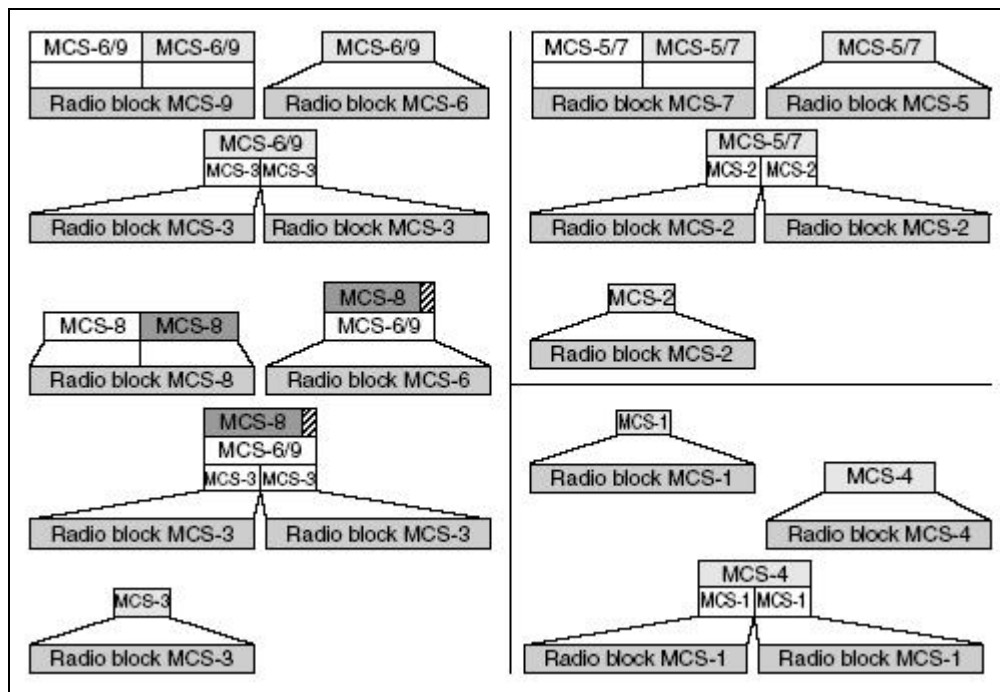


Figura 2.19: Segmentación y relleno entre las tres familias de MCSs [2].

Finalmente en la Figura 2.20 se puede observar el mecanismo LA, en donde la envolvente representa la tasa de transferencia de información óptima para las distintas condiciones de C/I presentes en el enlace de radio.

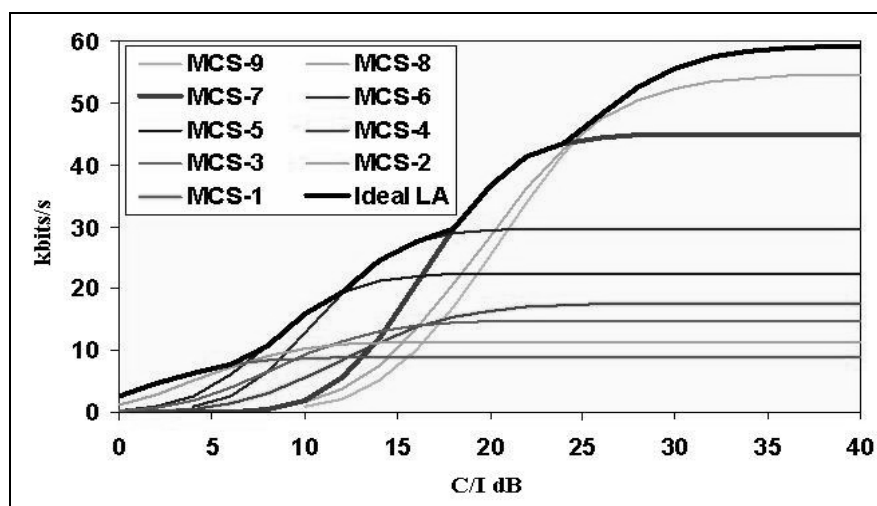


Figura 2.20: Adaptación de enlace con modelo TU3.

Capítulo 3

Dimensionamiento de la capacidad y caracterización de la calidad de una red GPRS

3.1. Introducción

Con la finalidad de establecer un dimensionamiento de capacidad y una caracterización de calidad para una determinada red GPRS, es preciso mencionar los distintos tipos de servicios que pueden ser ofrecidos (por el operador de la red móvil) y/o accedidos (por los usuarios móviles) a través de una red de datos de acceso inalámbrico, como lo constituye GPRS. Entre los servicios de datos más destacables se encuentran la mensajería de texto SMS (sobre GPRS), la mensajería multimedios MMS, la navegación WAP, la navegación Web, la descarga en tiempo real de archivos de video y audio, la conexión a redes públicas y/o privadas (Internet, LAN, VPN, etc.), la transferencia de archivos de datos (FTP), el correo electrónico, y el servicio “presione para hablar por celular” PTT (PoC) [3].

- **Mensajería de texto (SMS):** El propósito de la mensajería de texto, es proveer los medios para transmitir un mensaje de texto (máximo 160 caracteres) desde un dispositivo móvil a otro o a un dispositivo conectado a una red de datos fija, mediante un centro de SMS (SMSC). De esta manera, los SMSs no son enviados directamente de remitente a destinatario, sino a través del SMSC, lo cual significa que cada red de telefonía móvil que soporte el servicio SMS, debe tener uno o más centros de mensajería para manejar y administrar los mensajes.

- **Mensajería multimedios (MMS):** El MMS es la evolución natural del SMS, y permite tanto a usuarios como a máquinas, enviar y recibir mensajes que aprovechan toda la gama de medios disponibles en la actualidad, como por ejemplo, texto, imagen, audio y video. Todos estos tipos de medios pueden ser enviados juntos dentro de un mismo mensaje, así como también puede soportar nuevos tipos de contenidos, a medida que estos estén disponibles. Es posible enviar MMSs a otro teléfono móvil que soporte MMS, a una dirección de correo electrónico, e incluso a un teléfono móvil que no soporte MMS, al cual se le envía una notificación por SMS, en donde se especifica una dirección de Internet en la cual el mensaje puede ser recuperado.
- **Navegación WAP:** El protocolo de aplicación inalámbrica WAP, define no sólo uno sino varios protocolos (o servicios suministrados por estos), que interactúan juntos para permitir el desarrollo de aplicaciones de servicios para terminales inalámbricos. El objetivo de WAP es reunir a los servicios de telefonía, de transmisión inalámbrica de datos y de Internet, los cuales representan tecnologías convergentes que crecen rápidamente. Cada servicio WAP puede ser suministrado por varios protocolos, abriendo la puerta a distintas configuraciones WAP, dependiendo del protocolo escogido para implementar cada servicio. WAP también define los tipos de contenidos y formatos a ser usados, proveyendo de esta manera, una completa plataforma para el desarrollo de aplicaciones de servicios con interoperabilidad.
- **Navegación Web:** El término Web es normalmente utilizado para referirse a las millones de páginas HTML disponibles en los servidores Web alrededor del mundo. El servicio de navegación Web permite acceder a estas páginas a través del MS, pero por motivos de resolución de imagen (tamaño de la pantalla del MS), se prefiere el uso de este servicio en un equipo terminal (por ejemplo un computador), utilizando al MS como un *modem* para lograr acceder a Internet.
- **Correo electrónico:** Consiste en la capacidad de recibir y enviar mensajes de correo electrónico a través de la estación móvil (MS), para lo cual se requiere de un servidor de correo integrado a la red de datos GPRS. La implementación de este servicio requiere la definición de un nuevo formato de mensaje y un número de envío (dirección de correo electrónico), en el cual se reciben y envían los correos electrónicos desde y hacia el MS.
- **“Presione para hablar por celular” (PTT-PoC):** PTT introduce a la red de telefonía celular un servicio de comunicación vocal directa en tiempo real, en modalidad uno a uno

(sesión de 2 usuarios) y uno a muchos (sesión grupal). Desde el punto de vista funcional, PTT es un servicio tipo “*walkie-talkie*”, dado que está basado en una comunicación *half-duplex*, en donde cada usuario necesita reservar el canal físico antes de transmitir la información de voz (VoIP). El canal se reserva presionando el botón PTT, en donde un usuario puede hablar a la vez. PTT constituye un servicio de voz basado en conmutación de paquetes (PS).

Los servicios anteriormente mencionados se pueden clasificar según sus características y requerimientos de tasa de transferencia mínima y de retardo máximo que se espera experimenten los paquetes de datos al ser transmitidos a través de la red GPRS.

- **Servicios conversacionales y de descarga en tiempo real.** Los servicios conversacionales en tiempo real, como por ejemplo VoIP (PTT), video conferencia sobre IP o plataformas de juego en tiempo real, son las aplicaciones más sensibles al retardo que sufren los paquetes de datos en su paso a través de la red. La descarga en tiempo real de archivos de video y audio también es sensible al retardo, pero a diferencia de las aplicaciones conversacionales, ésta puede compensar parte de la variación del retardo, mediante mecanismos de encolamiento integrados en el terminal del cliente. La principal diferencia de la descarga en tiempo real con las aplicaciones conversacionales, es la naturaleza unidireccional de las descargas, lo que lo hace un servicio menos interactivo.
- **Servicios interactivos y de descarga de fondo.** Estos servicios no tienen las restricciones de retardo que tienen los servicios de tiempo real, pero a diferencia de los últimos, los servicios interactivos y de descarga de fondo, como la navegación Web o WAP, los MMSs y el correo electrónico, no toleran errores en la información, por lo que de existir paquetes de datos erróneos, estos deben ser retransmitidos. Lo anterior es posible gracias a los requerimientos más holgados de retardo. La principal diferencia de los servicios interactivos con los de descarga de fondo, radica en que los primeros requieren un mejor tiempo de ida y vuelta de los paquetes (RTT), para patrones de solicitud/respuesta entre dos entidades, como se da en el caso de la navegación Web o WAP. En el caso de los servicios de descarga de fondo, como lo son el correo electrónico y la transferencia de archivos de datos (FTP), se tienen requerimientos de retardos no tan estrictos, por lo que pueden ser satisfechos con un esquema básico de mejor esfuerzo (BE) [3].

En una red de datos de acceso inalámbrico como GPRS, es difícil garantizar una determinada tasa de transferencia de paquetes de datos, y un determinado retardo experimentado por estos. Lo anterior se debe a la naturaleza de los protocolos de enrutamiento, como TCP/IP y UDP, y de protocolos de capas superiores, los cuales fueron diseñados para funcionar en una red de datos fija (alámbrica), en donde los paquetes sufren retardos constantes y tasas de transferencias sólo disminuidas por causas de congestión en el canal. Los protocolos anteriores son utilizados, sin modificación, en las redes móviles (inalámbricas), en las cuales fenómenos como la interferencia de canal adyacente y co-canal, y el desvanecimiento de la señal portadora (en la cual se define el canal físico), provocan que los paquetes tengan retardos variables y tasas de transferencias sumamente disminuidas. En [2] y [3] se exploran distintas técnicas para optimizar el desempeño de los servicios de datos en una red GPRS, en las que se introducen ciertas modificaciones a los protocolos como el TCP/IP, para así mejorar su funcionamiento con el propósito de obtener una mayor capacidad y calidad en la red; mejora que es sin lugar a dudas percibida por el usuario móvil.

3.1.1. Dimensionamiento de capacidad

Para efecto de este trabajo, el dimensionamiento de la capacidad de GPRS se enmarca en la capa LLC (establecimiento del TBF), en la capa RLC/MAC (transmisión y retransmisión de radio bloques, junto con el control de acceso a los recursos de radio) y en la capa física (números de canales físicos para la transferencia de datos y esquema de codificación utilizado a partir de la calidad de la interfaz de aire, C/I). Estos recursos funcionan cuando existe un contexto PDP activo, por lo que se tiene una dirección (IP) asignada al MS y se están transfiriendo paquetes (IP) de datos. Las retransmisiones RLC dependen de la calidad de la interfaz de aire (nivel de C/I) o de errores en la asignación del esquema de codificación (CS); luego si la tasa de error en los bloques RLC es muy alta, se debe pasar a un CS de mayor redundancia.

Lo anterior corresponde a un análisis a nivel de la red de acceso de radio, en donde se consideran las capas inferiores del plano de transmisión del sistema GPRS, dejando fuera del alcance de este trabajo el estudio de las capas superiores, en las cuales funcionan protocolos como TCP/IP, UDP, etc.; y en donde se puede hacer una distinción de los diferentes tipos de servicios ofrecidos. En este aspecto, el dimensionamiento de la capacidad de la red GPRS se

limita a una determinada celda (o sector), lugar en que se encuentra una cantidad dada de usuarios móviles accediendo a los distintos servicios de datos antes descritos, a través de la red GPRS.

3.1.2. Caracterización de calidad

En este trabajo la caracterización de la calidad se limita, así como para el dimensionamiento de capacidad, a las capas inferiores, que corresponden a la red de acceso de radio de GPRS, dejando fuera a la capa de red (TCP/IP) y a las capas superiores. De la misma manera, la calidad analizada se refiere al desempeño de la red de datos y no necesariamente a la percibida por el usuario, aunque una buena calidad de red se traducirá inequívocamente en una buena calidad desde la perspectiva del usuario móvil (de los servicios).

A continuación se describen las distintas caracterizaciones de calidad consideradas.

3.1.2.1. Accesibilidad

Es la probabilidad de que un servicio de datos esté disponible cuando el usuario móvil lo requiere. En el caso de una red de datos de acceso inalámbrico como GPRS, ésta dependerá de varios factores, desde la cobertura de la señal hasta la conectividad con las redes externas y los servidores de aplicaciones. El acceso al servicio puede fallar por muchas causas, algunas de ellas dentro de la red del operador, y otras dentro de la misma red externa (por ejemplo Internet). Este trabajo se limita a las causas de fallas dentro de la red GPRS del operador móvil, considerando tanto la accesibilidad a los recursos de radio como la accesibilidad a la sesión de datos [3].

3.1.2.2. Capacidad de retención

Es la probabilidad de que las conexiones sean capaces de terminar exitosamente, sin errores de transmisión que puedan afectar el desempeño de las mismas. Estos errores se pueden deber a múltiples factores, y este trabajo se limita a considerar los problemas generados por el servicio de voz (CS), el cual tiene mayor prioridad que los servicios de datos (PS) al momento de asignar los recursos de radio, causando una degradación en el desempeño

de la conexión, que es percibida por los usuarios móviles. Lo anterior corresponde a la interrupción de la conexión, pero en ningún caso constituye una falla de ésta [3].

3.1.2.3. Calidad de servicio

Es la medida de cuán buena es una conexión o de cómo un servicio de datos se está desempeñando. La forma de medir la calidad dependerá del tipo de servicio y de la disponibilidad de distintas mediciones en la red. Sin embargo, existe una clara limitación para proporcionar una perspectiva de usuario de la calidad, a partir de las mediciones de la red móvil. La idea es proporcionar mayor calidad a una red GPRS, de la manera más simple.

3.1.2.3.1. Tasa de transferencia de información de datos

La tasa de transferencia de información de datos es medida con la cantidad de datos entregados a la capa LLC por unidad de tiempo. La velocidad de transferencia es sólo relevante cuando la cantidad de datos que están siendo transmitidos, es suficientemente grande y puede ser fácilmente medida por la red, sobre la duración de un TBF. De esta manera, se puede definir una muestra de medida de tasa de transferencia para cada TBF, pero en vez de usar una teoría completa y compleja de distribución de probabilidad, es más práctico calcular valores promedios de tasa de transferencia por TBF [2].

3.1.2.3.2. Fiabilidad

Describe la máxima probabilidad de entregar radio bloques RLC erróneos a la capa LLC. La fiabilidad depende principalmente del modo de operación de la capa RLC. En la mayoría de los casos, las aplicaciones de datos no toleran errores en estos, por lo que se necesitan retransmisiones. Para evitar mayores retardos en el envío de la información, las retransmisiones son realizadas preferentemente en la capa RLC, a través del modo de operación con acuse de recibo (ACK). Existen algunos servicios de datos que son sensibles al retardo y que pueden manejar un cierto número de radio bloques RLC erróneos, como los servicios conversacionales y de descarga en tiempo real. En estos casos se considera operar en el modo sin acuse de recibo (UNACK), donde los bloques erróneos no son retransmitidos, evitando así aumentar el retardo experimentado por los paquetes de datos [2].

3.2. Identificación de los componentes e interfaces relevantes

En la Figura 3.1 se muestran, de manera simplificada, los distintos componentes e interfaces que pertenecen a una red GPRS.

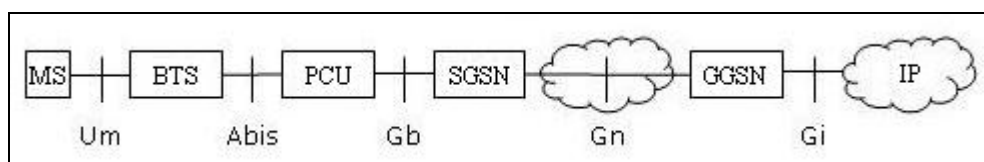


Figura 3.1: Esquema de una red GPRS.

A continuación se describen los elementos relevantes para el dimensionamiento de la capacidad y caracterización de la calidad de una red GPRS.

3.2.1. MS

La clase *multislot* del MS determina la cantidad de canales físicos que éste puede utilizar tanto para la transmisión (UL) como para la recepción (DL) de la información de datos, los cuales representan dos enlaces independientes, por lo que utilizan una cantidad de RTSLs distinta (ver Tabla 2.1).

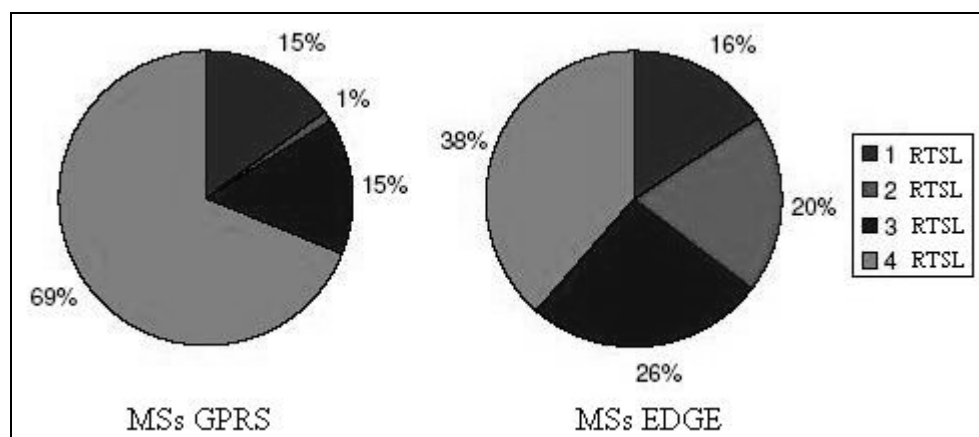


Figura 3.2: Porcentaje de RTSLs requeridos en el DL.

En la Figura 3.2 se puede apreciar que la mayoría de los MSs disponibles en el mercado Chileno actual, tanto GPRS como EDGE, requieren de 4 RTSLs en el DL, correspondiendo a

las clases *multislot* 8 ó 10, lo cual implica el respectivo requerimiento de 1 ó 2 RTSLs en el UL. Se debe tener en cuenta que la cantidad de RTSLs asignados a cada MS, depende de la disponibilidad de recursos en una determinada celda (tamaño del territorio GPRS), los cuales son compartidos por los MSs concurrentes en la misma.

Otro factor importante es la movilidad de los MSs, la cual implica que estos cambien de lugar, moviéndose de una celda a otra con una determinada velocidad. Para un usuario de servicios de datos, el cual accede a la red GPRS, se asume una condición estacionaria, en donde el MS permanece en una única celda mientras dure su sesión de datos GPRS (TBF).

3.2.2. Um

La interfaz de aire o de radio es el eslabón débil de la red GPRS, y representa el principal cuello de botella con respecto a la capacidad y calidad percibida por el usuario móvil. En esta interfaz se definen las capacidades CDED, CDEF y CMAX, que corresponden al territorio GPRS. Éstas se definen a nivel de BTS (celda), y el número de RTSLs asignados a cada capacidad está dado como un porcentaje del número total de RTSLs disponibles en el sector en cuestión. Este porcentaje va de 0 % a 100 %, siendo redondeado al entero más cercano de RTSLs. Por ejemplo una configuración de 0,001 % implica 1 RTSL, así como para una configuración de 20 % en una celda con 1 TRX [13]. Por lo anterior, las distintas capacidades dependerán del número de TRXs presentes en una determinada celda, teniendo en cuenta que sobre cada TRX se definen 8 RTSLs (canales físicos) para ser utilizados por los usuarios; con excepción del TRX de control, en donde se pueden usar 6 ó 7 RTSLs.

Además, se prefiere que el territorio GPRS se ubique en el TRX de control, donde se transmite el canal PBCCH. Generalmente el canal de control PBCCH no se utiliza, por lo que la señalización asociada al sistema GPRS se transmite por el canal BCCH, definido para el sistema GSM. El TRX de control se transmite a potencia máxima, para que así todos los MSs que se encuentren en una determinada celda lo puedan captar y por esta razón este TRX no está sometido a mecanismos de distribución de frecuencia (que reducen el desvanecimiento de la señal portadora, y la interferencia de canal adyacente y co-canal), ya que todos los MSs deben saber en qué frecuencia está siendo transmitido el canal de control. Esta configuración,

según [2], permite obtener un mejor resultado de tasa de transferencia de datos en el sistema GPRS.

Por otro lado, se encuentra el nivel de interferencia presente en la interfaz de aire caracterizado por la razón portadora a interferencia (C/I), que limita la capacidad (en kbits) del sistema GPRS. El C/I medido para el servicio de voz es una aproximación para caracterizar la calidad de la interfaz de aire para los servicios de datos, en donde se prefiere al TRX de control, cuyo par de frecuencias tiene una menor tasa de re-uso a nivel geográfico. Esta aproximación hace que se subestime la calidad de la interfaz de radio para GPRS, pudiendo tener mejores resultados de tasa de transferencia de datos, en relación al esquema de codificación utilizado gracias al nivel de C/I (ver Tablas 2.2 y 2.6).

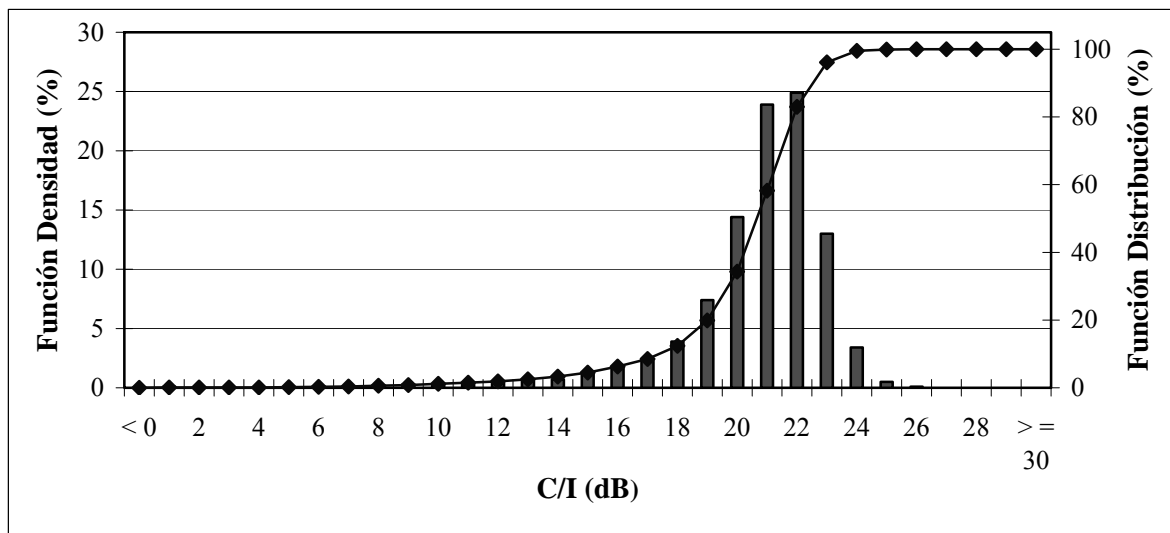


Figura 3.3: Nivel de C/I en la ciudad de Santiago de Chile³.

En la Figura 3.3 se puede ver que la media del nivel de C/I se encuentra alrededor de 21 dB, lo que permite la utilización del esquema de codificación CS-4 para GPRS, con una tasa de transferencia de 20 kbps por canal; y la utilización del esquema de codificación MCS-6 para EDGE, con una tasa de transferencia de 29,6 kbps por canal.

Finalmente, en esta interfaz se debe tener en cuenta el multiplexado de radio bloques en un mismo canal físico (RTSL). Esto último provoca la reducción de la tasa de transferencia de datos a nivel de TBF, debido a que los radio bloques pertenecientes a cada TBF, se turnan para

³ Tabla de datos en Apéndice B. Muestras de C/I obtenidas para el servicio de voz.

ser transmitidos por la interfaz de aire. Para un *frame* TDMA, puede haber hasta 7 MSs en un mismo RTSL para el UL y hasta 9 para el DL.

3.2.3. Abis-PCU-Gb

En la Figura 3.4 se muestra el esquema de conexión de las interfaces Abis y Gb, con el elemento de red PCU.

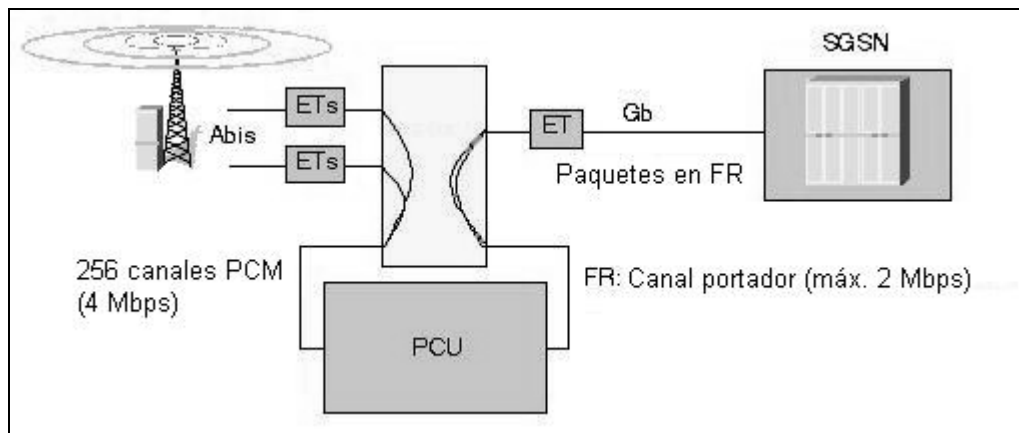


Figura 3.4: Esquema de conexión Abis-PCU-Gb [7].

Como se puede apreciar, en el sistema GSM/GPRS los RTSLs definidos en los TRXs de un determinado sitio (formado por 3 celdas), están conectados mediante un enlace de hasta 4 Mbps (2 enlaces E1 de 2 Mbps) dependiendo de la cantidad de TRXs en el sitio en cuestión, lo cual constituye la interfaz Abis. Sobre este enlace se pueden mapear hasta 256 sub-canales PCM, de una capacidad de 16 kbps cada uno, los cuales son asignados uno a uno con cada RTSL disponible en los TRXs. El conjunto de 4 sub-canales PCM se conoce como un canal PCM, con una capacidad total de 64 kbps; por lo que se puede tener hasta 64 canales PCM en la interfaz Abis.

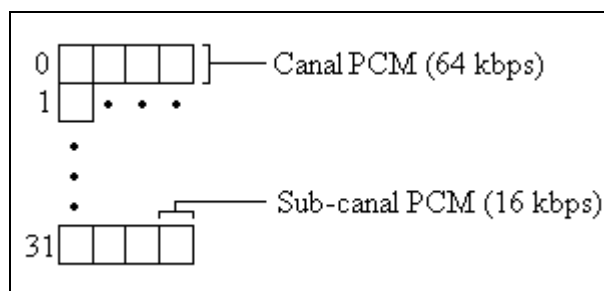


Figura 3.5: Canales y sub-canales PCM.

En la Figura 3.5 se observa la constitución lógica de los canales y sub-canales PCM, los cuales se definen dentro de la PCU, pudiendo existir en ésta hasta 2 pilas de 32 canales PCM cada una. En cada pila de canales PCM, se pueden utilizar 31 de estos, dejando un canal PCM de control.

La información de voz, propia del sistema GSM, relativa a un TRX, en el cual se definen 8 RTSLs, puede ser transportada por 2 canales PCM, a través de la interfaz Abis. Esto se debe a que la tasa de codificación de la voz es menor que la capacidad que tiene un sub-canal PCM (16 kbps) para transportarla. Ahora, si se considera el sistema GPRS/EDGE, se tiene que los esquemas de codificación de la información de datos, permiten distintas tasas de transferencia de la misma para un RTSL; por lo que salvo en los esquemas (M)CS-1 y (M)CS-2, el mapeo de un sub-canal PCM por RTSL, con una capacidad de transmisión de 16 kbps, no es suficiente. Por lo anterior se considera la implementación de una EDAP. Con la EDAP, lo que se tiene es un conjunto de sub-canales PCM de 16 kbps, que pueden ser dinámicamente asignados a un RTSL para un determinado MS, cuando éste requiera mayor capacidad de transmisión en la interfaz Abis (debido a la utilización de (M)CSs de menor redundancia), haciendo así un uso más eficiente de los recursos. El tamaño de una EDAP se define a partir del número de canales PCM asignados a ésta, cuya cantidad varía dependiendo del número de TRXs presentes en el sitio, los cuales limitan el tamaño de la EDAP desde 4 hasta 1 canal PCM. Una EDAP puede manejar 32 TRXs como máximo, y su tamaño puede alcanzar hasta 12 canales PCM.

La capacidad de la PCU está limitada a 2 Mbps (2.048 kbps), la cual puede ser configurada en escalones de 2 a 31 canales PCM (64 kbps). Dependiendo de la versión, la PCU puede manejar 256 RTSLs (canales GSM/GPRS), los cuales representan los canales de 32 TRXs. Además la PCU puede ser conectada a un máximo de 64 BTSs. La asignación de las distintas BTSs a una misma PCU se realiza mediante el identificador de entidad de servicio de red (NSEI), el cual permite discriminar al conjunto de BTSs que han sido asignadas a una PCU en particular, la cual es diferenciada inequívocamente del resto de las PCUs presentes en la red GPRS. En una PCU se pueden definir hasta 16 EDAPs, ya que ésta cuenta con 16 procesadores digitales de señal (DSP), los cuales pueden manejar hasta 5 canales PCM, los que constituyen 20 sub-canales PCM. A la vez, un DSP puede atender a sólo una EDAP, pero una EDAP puede ser atendida por varios DSPs [15].

La interfaz Gb está basada en tecnología FR, y puede ser implementada de distintas maneras, entre las cuales las más comunes son a través de un enlace punto a punto de 2 Mbps entre un conjunto de PCUs y el SGSN, o a través de una red de paquetes de datos FR, la cual interconecta varios conjuntos de PCUs con un SGSN.

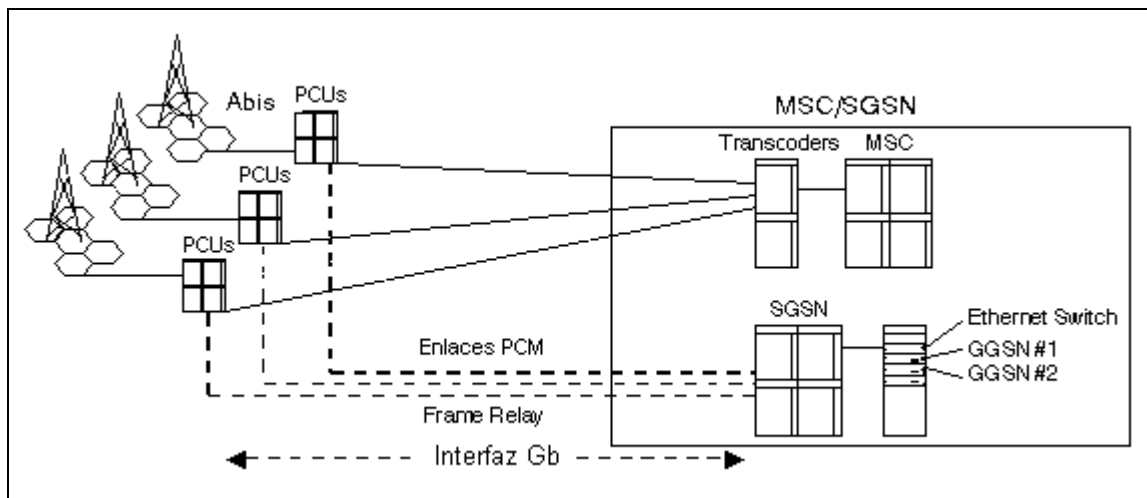


Figura 3.6: Enlace punto a punto entre PCUs y SGSN [7], [12].

En la Figura 3.6 se visualiza la conexión de un conjunto de PCUs con el SGSN, mediante un enlace E1 de 2,048 Mbps, sobre el cual se montan las tramas FR. A un determinado SGSN pueden llegar hasta 32 PCUs, pues una PAPU puede manejar como máximo 2 PCUs, identificadas con sus respectivos NSEIs.

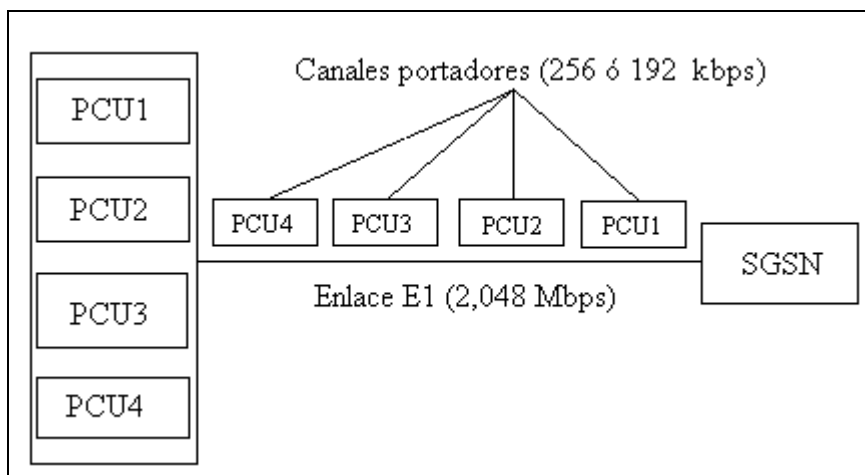


Figura 3.7: Sistema de canales portadores entre PCUs y SGSN.

Como se ve en la Figura 3.7, a cada PCU se le asigna un canal portador, multiplexado temporalmente, para hacer un uso más eficiente de la capacidad disponible en el enlace E1 (de 2,048 Mbps) presente entre un conjunto de PCUs y un SGSN. Un enlace E1 se divide en 31 canales de 64 kbps, más un canal de control de la misma capacidad, dejando 1,984 Mbps a ser utilizados por las PCUs. Si se considera canales portadores de 256 kbps cada uno, pueden existir 7 de estos, dejando un canal portador con una capacidad de 192 kbps para completar la trama. Además, si es que una PCU no estuviera haciendo uso de su canal portador, éste puede ser asignado a otra PCU que así lo requiera de acuerdo a la cantidad de tráfico (en kbps) que esté manejando.

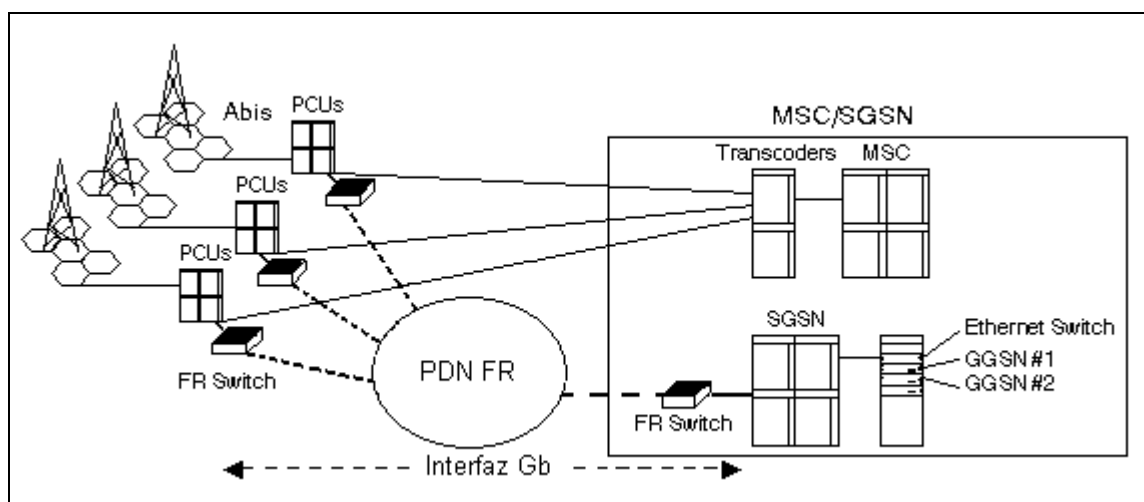


Figura 3.8: Red FR entre PCUs y SGSN [7], [12].

En la Figura 3.8 se aprecia la conexión de varios conjuntos de PCUs con el SGSN, mediante una red de paquetes de datos FR. En la red FR se define una tasa (de transmisión) de información comprometida (CIR), la cual garantiza una capacidad (en kbps) determinada en los troncales que constituyen la red en cuestión. Lo anterior considera mecanismos de compresión de la información de datos, lo cual se puede dar gracias a los beneficios de la tecnología FR.

El sistema compuesto por las interfaces Abis y Gb, con la PCU, no representa una limitante importante en el dimensionamiento de la capacidad de la red GPRS; pero sí lo es para la caracterización de la calidad, pues éste debe estar presente.

3.2.4. SGSN

Dentro del SGSN se encuentra un elemento importante como lo es la PAPU, que permite dimensionar la capacidad del SGSN mediante el número de suscriptores (MSs) que ésta puede manejar, y mediante el número de PAPUs que puede haber en el SGSN. En un SGSN pueden haber hasta 16 PAPUs (más 1 PAPU adicional por redundancia), y dependiendo de la versión del SGSN, una PAPU puede manejar entre 20 y 40 mil suscriptores. Aunque el SGSN no representa un componente crítico para el dimensionamiento de la capacidad de la red GPRS, sí lo es para la caracterización de la calidad, pues éste debe estar disponible.

3.2.5. Gn

Es una red vertebral basada en tecnología IP, con una capacidad de más de 100 Mbps. Aunque no es una interfaz crítica para el dimensionamiento de la capacidad de la red GPRS, sí lo es para la caracterización de la calidad, pues la interfaz Gn se debe encontrar operante.

3.2.6. GGSN

Dependiendo de la versión del GGSN, éste puede soportar hasta un millón de contextos PDP activos, hasta 50 mil túneles GTP, y hasta 250 puntos de accesos a distintos servidores de aplicaciones. Estos últimos son diferenciados por un nombre de punto de acceso (APN). Aunque el GGSN no constituye un componente crítico para el dimensionamiento de la capacidad de la red GPRS, sí lo es para la caracterización de la calidad, pues éste debe estar disponible.

3.3. Modelamiento de los componentes e interfaces identificadas

En general, el modelamiento de los distintos componentes e interfaces presentes en una red GPRS, tiene por objetivo dimensionar la capacidad y caracterizar la calidad de ésta. A continuación se presentan los distintos factores a ser considerados en el modelo general del funcionamiento de una red GPRS.

3.3.1. Interfaz de aire o de radio TBF_C (Um)

El factor TBF_C representa la capacidad de una determinada celda para transferir bits de información útil para el usuario en una sesión GPRS, definida por el establecimiento de un TBF. En este caso, se debe considerar tanto el enlace de transmisión de datos UL como el enlace de recepción de datos DL. Esto se debe a que un determinado MS puede tener capacidades diferentes (asimétricas) para el UL y el DL, utilizando uno o más RTSLs en cada enlace, dependiendo de su clase *multislot*.

El factor TBF_C puede ser modelado como:

$$TBF_C = RTSL_{TBF} \cdot RB_{TBF/RTSL} \cdot RLC_{C/RB} \cdot RF_{BTS}$$

Donde:

$RTSL_{TBF}$: representa el número de RTSLs asignados a un TBF.

$RB_{TBF/RTSL}$: representa el número de radio bloques transmitidos por TBF y por RTSL.

$RLC_{C/RB}$: representa la capacidad de un radio bloque para transportar bits de información útil para el usuario.

RF_{BTS} : representa el factor de reducción de capacidad, debido al multiplexado temporal de radio bloques, pertenecientes a distintos TBFs (MSs), en un mismo canal (RTSL).

Si se realiza un análisis dimensional del factor TBF_C , se llega a la conclusión de que la unidad de éste es bits/TBF, teniendo en cuenta que el factor de reducción es adimensional.

Tabla 3.1: Factor de reducción con respecto al número de TBFs multiplexados.

# TBFs en un RTSL	RF_{BTS}	Enlace
1	1,00	UL/DL
2	0,50	UL/DL
3	0,33	UL/DL
4	0,25	UL/DL
5	0,20	UL/DL
6	0,17	UL/DL
7	0,14	UL/DL
8	0,13	DL
9	0,11	DL

En la Tabla 3.1 se ven los distintos valores que toma el factor RF_{BTS} , dependiendo del número de TBFs multiplexados en mismo RTSL. El factor RF_{BTS} se define como $1/(\text{el número de TBFs que comparten un mismo RTSL})$, lo cual constituye una simplificación de la realidad, dado que asume que cada TBF posee un turno equitativo para enviar sus radio bloques, lo que no es siempre cierto, ya que depende de la forma en que los radio bloques estén encolados en la red de acceso de radio, esperando ser transmitidos.

Tabla 3.2: Capacidad $RLC_{C/RB}$ con respecto al esquema de codificación utilizado.

Sistema	Esquema de codificación	$RLC_{C/RB}$ [bits/RB]
GPRS	CS-1	160
	CS-2	240
	CS-3	288
	CS-4	400
EDGE	MCS-1	176
	MCS-2	224
	MCS-3	296
	MCS-4	352
	MCS-5	448
	MCS-6	592
	MCS-7	896
	MCS-8	1.088
	MCS-9	1.184

En la Tabla 3.2 se pueden observar las distintas cantidades de bits que un radio bloque puede transportar por la interfaz de aire, dependiendo del esquema de codificación utilizado en el TBF. Por simplicidad se asume que durante un TBF se usa un sólo tipo de codificación, lo cual no es necesariamente cierto, ya que mediante el mecanismo LA se pueden optar a distintos (M)CSs, dependiendo de las condiciones de C/I presentes en una celda.

Por último, la cantidad de canales físicos, o RTSLs, asignados a un TBF en particular, se considera constante mientras dure éste.

El factor TBF_C constituye el elemento clave para el dimensionamiento de la capacidad, sobre la interfaz U_m , de una red GPRS.

3.3.2. Interfaces de transmisión IT₁₀ (Abis, Gb y Gn)

El correcto funcionamiento y/o la disponibilidad de las interfaces de transmisión Abis, Gb y Gn, es caracterizado por el factor IT₁₀. El factor IT₁₀ será igual a 1 si todas las interfaces de transmisión están disponibles. De no contar con una de éstas, el factor IT₁₀ será igual a 0.

3.3.3. Componentes de red CR₁₀ (PCU, SGSN y GGSN)

El correcto funcionamiento y/o la disponibilidad de los componentes de red PCU, SGSN y GGSN, es caracterizado por el factor CR₁₀. El factor CR₁₀ será igual a 1 si todos los componentes de red están disponibles. De no contar con uno de estos, el factor CR₁₀ será igual a 0.

3.4. Modelo general

Finalmente se plantea el modelo general del funcionamiento de una red GPRS, el cual pretende dimensionar la capacidad y caracterizar la calidad presentes en ésta (CC_{GPRS}).

$$CC_{GPRS} = TBF_C \cdot IT_{10} \cdot CR_{10}$$

Como se puede apreciar, el modelo general considera tanto a la capacidad en la interfaz de aire como a la disponibilidad de los distintos componentes de red e interfaces de transmisión pertenecientes al sistema GPRS.

Capítulo 4

Resultados y análisis

4.1. Introducción

En el mundo de las telecomunicaciones, las mediciones de desempeño son usualmente definidas en términos de accesibilidad, capacidad de retención y calidad de servicio, como se aprecia en el punto 3.1.2. Estos términos funcionan bien para redes basadas en conmutación de circuitos (CS), en donde es fácil identificar a los eventos en la red que pueden y deben ser medidos para cada categoría, con sus respectivos indicadores. Sin embargo, para los servicios de datos (conmutación de paquetes, PS), la correlación entre las métricas de la red y el desempeño percibido por el usuario, no es tan directa con lo es en el caso de CS. Es mucho más difícil definir indicadores en el BSS o en otros niveles de la red, que sean capaces de capturar la percepción de la calidad de servicio. Para lo anterior, existen dos razones principales: Primero, los sistemas de datos poseen varias capas de protocolos, lo que implica que una sesión puede tener problemas de accesibilidad, pero para las capas superiores, esto sólo se presenta como un aumento en el retardo para acceder al servicio de datos; y segundo, los portadores de datos a nivel de acceso de radio, son típicamente compartidos entre varias aplicaciones, por lo que se mezcla la información proveniente de fuentes muy diferentes; es decir, en un determinado sector pueden coexistir servicios como la navegación Web, que puede estar muy degradado por los retardos, mientras que los mismos no son tan importantes para el correo electrónico. No obstante, los indicadores de datos son cifras que proporcionan un entendimiento significativo del desempeño de una determinada red de comunicaciones móviles, especialmente para un análisis estadístico y para una evaluación de la evolución de la misma en el largo plazo, por lo que es importante definir indicadores apropiados [3].

4.2. Indicadores y/o estadísticas de desempeño

Los indicadores y/o estadísticas de desempeño (KPI) de una red de datos como GPRS, permiten apreciar cuán bien o cuán mal la red está operando. Los indicadores pueden estar constituidos por una fórmula (compuesta por estadísticos o contadores), por un conjunto de éstas o por un simple contador. Existen diferentes formas de clasificar a los indicadores de desempeño, basados en la manera en que estos son capturados, a qué nivel son monitoreados y cada cuánto tiempo los datos son adquiridos y mostrados.

- **KPIs pasivos:** Son calculados directamente por el NMS de la correspondiente red de comunicaciones móviles, sin la necesidad de alguna acción activa por parte del operador de red. Usualmente los KPIs pasivos son calculados en periodos de una hora.
- **KPIs activos:** Son medidos en terreno por un operador humano con diferentes herramientas de monitoreo disponibles en el mercado, tales como analizadores de protocolos, analizadores de interfaces, pruebas conducidas, etc. Estas herramientas permiten tener un alto nivel de detalle (o granularidad) en las mediciones, pero son costosas y limitadas en información estadística. Con respecto a esto último, muchas repeticiones de las pruebas son normalmente necesarias, para así obtener una muestra representativa de un determinado indicador.

Los indicadores pueden clasificarse aún más, dependiendo si estos se enfocan en el desempeño de la red de datos o en el desempeño de los servicios.

- **KPIs de red:** Estos indicadores proporcionan un entendimiento de cómo la red móvil se está desempeñando desde la perspectiva del sistema, es decir, de cómo los recursos de radio están siendo asignados, de cómo las interfaces están siendo utilizadas y de cómo las señalizaciones, asociadas a los procedimientos de gestión de movilidad, se están comportando. Usualmente estos KPIs son pasivos y se utilizan para monitorear a la red, con el objetivo de identificar posibles cuellos de botellas y aspectos de dimensionamiento de ésta. De acuerdo al área de interés, los KPIs de red se pueden agrupar en:
 - 1) **KPIs de acceso de radio.** Estos KPIs permiten medir el nivel de accesibilidad y de capacidad de retención de la red de datos inalámbrica, los cuales indican cuán bien el usuario puede acceder y retener los recursos de radio.

- 2) **KPIs de núcleo.** Estos indicadores están usualmente enfocados en medir el nivel de carga de las interfaces de transporte y de los elementos de red, permitiendo asegurar que el núcleo de la red sea capaz de soportar la demanda de recursos proveniente de la red de acceso de radio.
 - 3) **KPIs de señalización.** Tales KPIs permiten monitorear, en diferentes áreas, la carga de señalización asociada a los procedimientos de gestión de movilidad; información que puede ser usada para analizar la distribución de carga en la red, y optimizar la topología de ésta, para así minimizar el impacto de la señalización.
- **KPIs basados en los servicios:** Estos indicadores proporcionan un entendimiento de cómo cada servicio específico se está desempeñando desde la perspectiva del usuario final. En general, esta clase de KPIs entregan cifras dirigidas a medir aspectos que tienen un impacto relevante en la experiencia del usuario móvil. Usualmente, los indicadores basados en los servicios son activos, y se utilizan para evaluar si una determinada red de comunicaciones móviles es adecuada para soportar y proveer un determinado servicio de datos.

Finalmente se definen dos tipos diferentes de agregaciones que pueden ser típicamente consideradas para el monitoreo de cada indicador.

- **Agregación espacial:** Permite la diferenciación entre los distintos niveles de la topología de una red móvil, entregando información específica de cada elemento de la misma. Desde el nivel por celda, hasta niveles por región o de la red completa, la agregación espacial posibilita, de manera genérica, el análisis y la verificación del desempeño de la red.
- **Agregación temporal:** Proporciona diferentes niveles de detalles cuando se analiza el comportamiento de un determinado elemento de la red. Desde el nivel por hora, hasta el nivel semanal o mensual, la agregación temporal permite obtener una visión de la evolución del comportamiento de la red de datos en el tiempo, frente a distintas condiciones de la misma [3].

Los distintos KPIs, que permiten tener una visión de desempeño al operador de la red móvil, unidos a la perspectiva del usuario final, que está haciendo uso de los diferentes servicios de datos, conforman lo que se conoce como indicadores de calidad (KQI), los cuales están fuera del alcance de este trabajo.

4.2.1. Conjunto de indicadores considerados

Para efecto de este trabajo se analizan indicadores del tipo pasivo y enfocados en la red de acceso de radio, capturados a nivel de celda (permitiendo así enfocarse en el desempeño de un determinado sector) y mostrados para cada hora del día (apreciando la evolución de las estadísticas con distinta carga de tráfico de datos). Como en GPRS los enlaces UL y DL son independientes, cada indicador debe estar definido para ambos casos. La consideración de este conjunto de indicadores permite de cierta manera dimensionar la capacidad y caracterizar la calidad de la red GPRS.

- **Tasa de transferencia media que percibe el usuario a nivel de radio bloque RLC:** Este indicador muestra la cantidad de bits de información del usuario, que está siendo transportada por radio bloque RLC. La tasa de transferencia, expresada en kbps, depende del esquema de codificación utilizado en la capa física.
- **Tasa de error de radio bloques RLC (BLER):** Este indicador permite caracterizar la calidad de la interfaz de radio de la red GPRS. Un radio bloque se recibe erróneo, si es que el esquema de codificación (CS) utilizado no coincide con el nivel de C/I adecuado para éste. El BLER se calcula como la tasa de radio bloques retransmitidos con respecto al total (transmitidos y retransmitidos). Dada la utilización de un determinado CS, si el BLER es superior al 10 %⁴, se debe pasar a un esquema de codificación de mayor redundancia.
- **Rechazo a los requerimientos de recursos de radio o Bloqueo TBF:** Este indicador muestra cuán cerca está una determinada celda a su nivel de saturación. Cuando el límite de bloqueo de establecimiento de TBF es alcanzado, los paquetes deben ser descartados en el núcleo de la red GPRS (interfaces Gn y/o Gp), por no existir canales físicos disponibles en la interfaz de aire o de radio. El bloqueo varía exponencialmente con la carga de la red, por lo que una vez que la red experimente bloqueos, un pequeño incremento en la carga ofrecida a ésta, se traduce en una mayor probabilidad de bloqueo. Con una tasa de bloqueo TBF alta, el desempeño colapsa, y el retardo a nivel de la capa LLC se incrementa exponencialmente. Este concepto de bloqueo, es similar al bloqueo considerado en los servicios de voz (Erlang B), por lo que el número de canales físicos (RTSLs) de la red GPRS debe ser dimensionado para alcanzar un bloqueo TBF inferior al 2 %⁴. A pesar de lo

⁴ Valores establecidos de acuerdo a recomendaciones entregadas en [2], [3].

anterior, desde la perspectiva de usuario final, el efecto del bloqueo TBF se traduce sólo en una baja de la tasa de transferencia de información que percibe el servicio de datos (PS) en cuestión, por lo que no es tan significativo como en el caso de un servicio de voz (CS), en donde el bloqueo implica que el usuario no puede acceder a la comunicación [2].

- **Porcentaje de liberaciones de TBFs debido al tráfico CS de voz:** Muestra el impacto del tráfico de voz (CS) en el tráfico de datos (PS), debido a la prioridad del primero en la utilización de los recursos de radio. Si el valor de este indicador es elevado, debe considerarse el aumento de la capacidad CDED.
- **Duración media de TBFs normalmente liberados:** Este indicador permite apreciar la cantidad de segundos que dura un TBF en condiciones normales, para una determinada sesión de datos GPRS.
- **Porcentaje de éxito de sesiones TBF:** Este indicador es usado para medir la capacidad de retención de las sesiones TBF, en una determinada celda; y representa la probabilidad de que las conexiones sean capaces de terminar exitosamente, sin errores de transmisión que puedan afectar el desempeño de las mismas.
- **Porcentaje de utilización de la EDAP:** Este indicador permite ver el nivel de ocupación de la EDAP definida en la PCU. Si la utilización de la EDAP es alta, implica un cierto grado de congestión a nivel de transmisión de la interfaz Abis, por lo que disminuye la calidad de servicio percibida por el usuario.
- **Distribución de los esquemas de codificación:** Este indicador proporciona información estadística de cuán frecuente cada esquema de codificación está siendo utilizado, tanto en GPRS como en EDGE, por lo que permite apreciar la calidad de la interfaz de aire (con respecto al nivel de C/I).
- **Número de conexiones o de establecimientos de TBFs:** Este indicador provee información acerca del número de sesiones GPRS que están siendo servidas por la red de acceso de radio. Este indicador se puede obtener a nivel de celda y/o a nivel de RTSL. Este último nivel permite contabilizar la reducción de la tasa de transferencia de datos, debido al multiplexado de los usuarios en un mismo canal, provocando que los radio bloques pertenecientes a cada TBF en el RTSL, se turnen para ser transmitidos por la interfaz de aire.

- **Requerimiento medio de recursos de radio:** Indica el número medio de RTSLs requeridos para un determinado TBF. Este indicador proporciona información acerca de la clase *multislot* a la que pertenecen los MSs servidos en una celda.
- **Asignación media de recursos de radio:** Indica el número medio de RTSLs asignados a un determinado TBF. El valor de este indicador pone al descubierto la disponibilidad de recursos de radio (RTSLs) en el territorio GPRS, para una determinada celda.
- **Tamaño medio del territorio GPRS:** Indica en promedio cuántos RTSLs están asignados al territorio GPRS (CDED + CDEF + capacidad adicional). Este indicador permite visualizar si el tráfico de voz en una determinada celda, reduce al territorio GPRS a la capacidad dedicada CDED. De ser así, debe considerarse el aumento de la capacidad CDED.
- **Porcentaje de utilización del territorio GPRS:** Este indicador permite apreciar cuán congestionado está el territorio GPRS. Si la utilización es alta, debe considerarse el aumento de la capacidad CDEF.

4.3. Evaluación del modelo propuesto

La evaluación del modelo teórico simple propuesto se basa en el desempeño de la red GPRS de Movistar Chile, en la cual los usuarios móviles acceden a un conjunto de servicios de datos. Se analiza el tráfico PS de 3 celdas ubicadas en la ciudad de Santiago de Chile, para el día Miércoles 11 de Octubre de 2006, entre las 9 y 23 hrs; con la finalidad de obtener un conjunto de valores para ser asignados a los distintos factores que conforman el modelo propuesto. Éste es evaluado para los enlaces UL y DL, utilizando los esquemas de codificación definidos tanto para GPRS como para EDGE.

El modelo se evalúa a nivel de la interfaz de aire, considerando sólo el factor TBF_C del modelo general propuesto, el cual permite estimar la capacidad de una determinada celda para transferir bits de información útil para el usuario en una sesión GPRS, definida por el establecimiento de un TBF.

Se asume que por cada TBF se transmite un número fijo de radio bloques, los cuales tienen un sólo esquema de codificación (es decir, no se toma en cuenta el mecanismo LA).

Para obtener el número de radio bloques por TBF y por canal, se toma en cuenta la duración promedio del TBF; el número medio de TBFs por hora; y el número medio de radio bloques de datos por hora. Todos los valores anteriores se tienen tanto para el UL como para el DL.

- TBF UL:
 - 1) Una duración media de 0,4 segundos (TBFs normalmente liberados).
 - 2) Un promedio de 1.373,5 TBFs exitosos por hora.
 - 3) Un promedio de 11.394,3 RBs de datos por hora.
 - 4) Un promedio de 1 RTSL asignado.
 - 5) Un promedio de 8 RBs por TBF por RTSL = $RB_{TBF/RTSL}$.
- TBF DL:
 - 1) Una duración media de 2,8 segundos (TBFs normalmente liberados).
 - 2) Un promedio de 555,7 TBFs exitosos por hora.
 - 3) Un promedio de 15.384,3 RBs de datos por hora.
 - 4) Un promedio de 3,7 RTSLs asignados.
 - 5) Un promedio de 8 RBs por TBF por RTSL = $RB_{TBF/RTSL}$.

Las distintas gráficas⁵ muestran en cada caso, la variación aislada de un determinado factor, y como ésta influye en la fórmula del estimador planteado (TBF_C). En la Figura 4.1 se aprecia el impacto de la variación del factor $RTSL_{TBF}$ para cada TBF, lo cual implica el cambio del número de RTSLs por TBF.

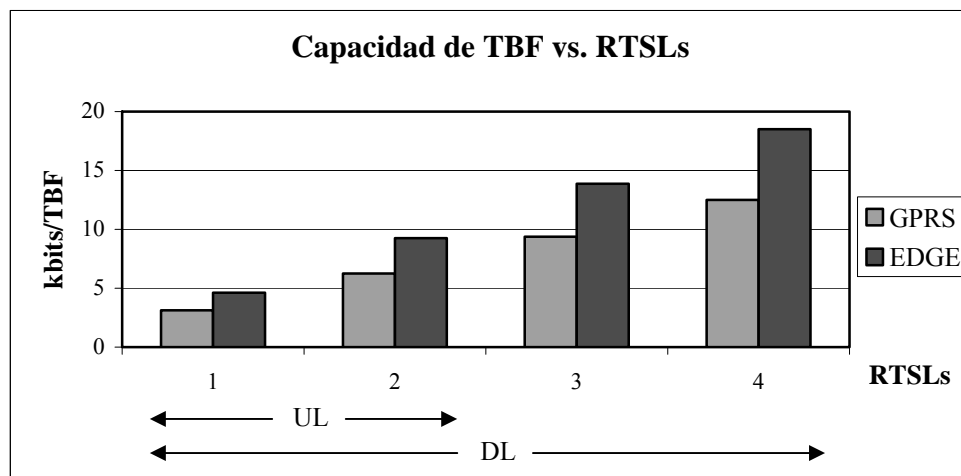


Figura 4.1: Variación de RTSLs asignados a un TBF.

⁵ Tablas de datos en Apéndice B.

Los demás componentes del factor TBF_C se dejan fijos en:

- $RB_{TBF/RTSL} = 8$.
- $RLC_{C/RB} = 400$ bits (CS-4) para GPRS y 592 bits (MCS-6) para EDGE.
- $RF_{BTS} = 1$.

En las Figuras 4.2 y 4.3 se muestra el impacto de la variación del factor $RLC_{C/RB}$ para cada TBF, lo cual implica el cambio del esquema de codificación utilizado en éste.

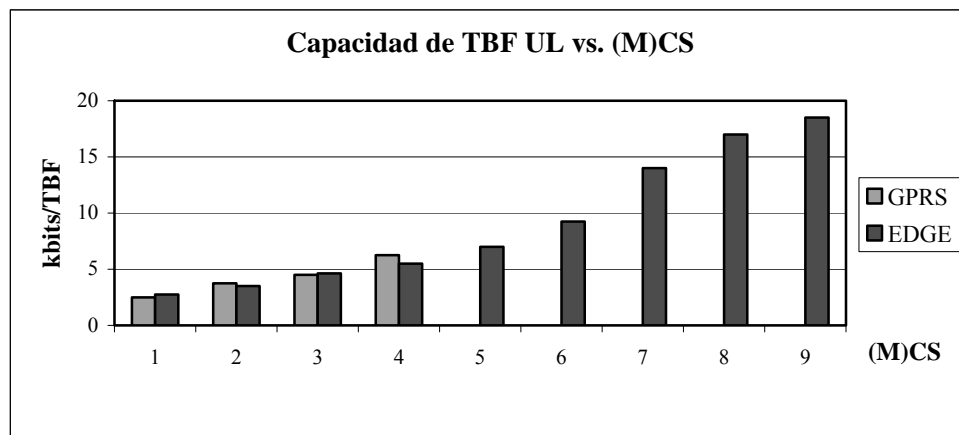


Figura 4.2: Cambio de (M)CS utilizado en un TBF en el UL.

Los demás componentes del factor TBF_C se dejan fijos en:

- $RTSL_{TBF} = 2$.
- $RB_{TBF/RTSL} = 8$.
- $RF_{BTS} = 1$.

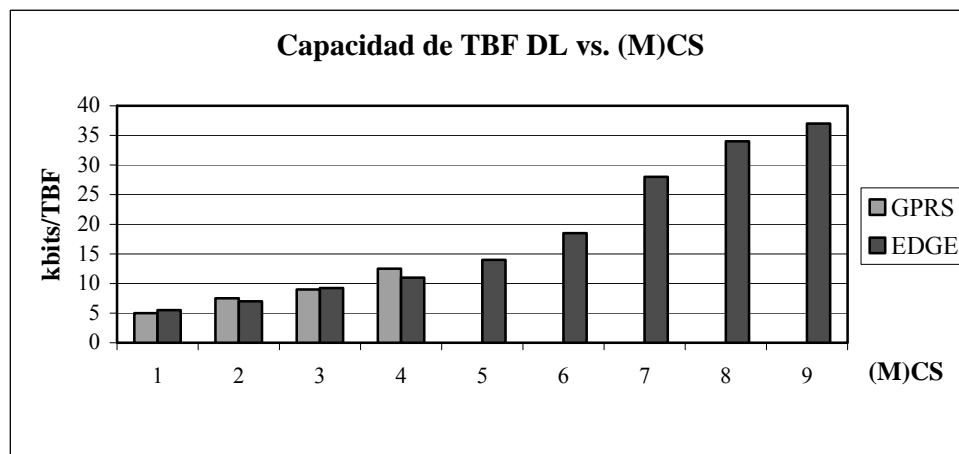


Figura 4.3: Cambio de (M)CS utilizado en un TBF en el DL.

Los demás componentes del factor TBF_C se dejan fijos en:

- $RTSL_{TBF} = 4$.
- $RB_{TBF/RTSL} = 8$.
- $RF_{BTS} = 1$.

En la Figura 4.4 se puede ver el impacto de la variación del factor RF_{BTS} para cada TBF, lo cual implica el cambio del número de TBFs que comparten un mismo RTSL.

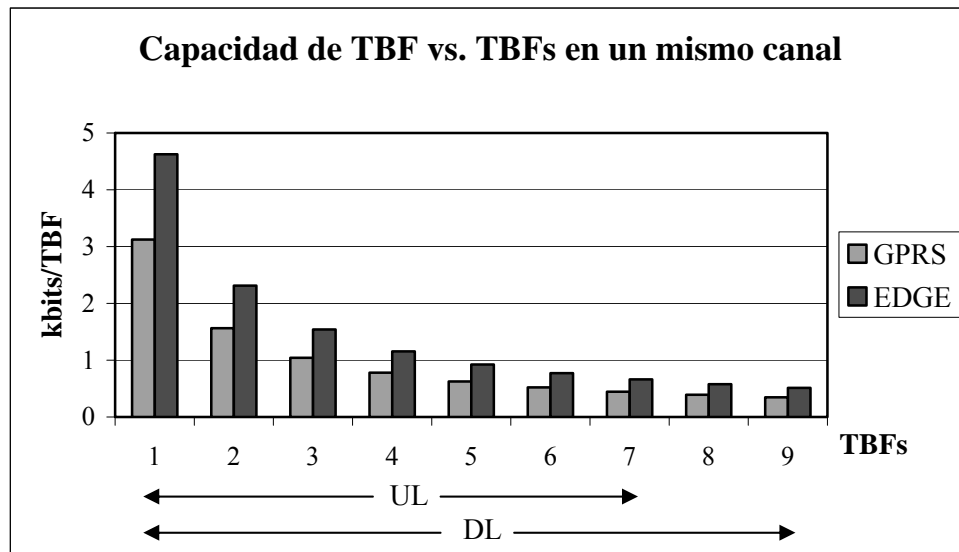


Figura 4.4: Variación de TBFs que comparten un RTSL.

Los demás componentes del factor TBF_C se dejan fijos en:

- $RTSL_{TBF} = 1$.
- $RB_{TBF/RTSL} = 8$.
- $RLC_{C/RB} = 400$ bits (CS-4) para GPRS y 592 bits (MCS-6) para EDGE.

4.3.1. Análisis de resultados

Como se puede contemplar en las Figuras anteriores, la variación de los distintos componentes del factor TBF_C , tiene un impacto significativo, por no decir crítico, en la capacidad de una determinada celda para transportar bits de información del usuario.

Si se considera el número de RTSLs asignados a una sesión TBF, aunque parezca evidente, a mayor cantidad de RTSLs, el TBF tiene una mayor capacidad para transferir bits. Lo relevante en este caso, es tener en cuenta que por muy grande que sea el tamaño del territorio GPRS, los actuales MSs sólo podrán utilizar hasta 4 RTSLs en el DL y hasta 2 RTSLs en el UL, debido a la clase *multislot* a la pertenecen; por lo que en este sentido, un mayor número de RTSLs asignados al territorio GPRS (mayor a 4 RTSLs), disminuye el número de MSs (TBFs) multiplexados en un mismo canal.

Con respecto a la variación del número de TBFs multiplexados en un mismo canal, la cual está considerada en el factor de reducción RF_{BTS} , cabe mencionar que la degradación de la capacidad TBF_C se vuelve masiva a medida que más y más TBFs se encuentran concurrentemente en un RTSL. Además, si se tienen 2 MSs en una misma celda compartiendo 4 RTSLs asignados a sus respectivos TBFs, se observa una utilización efectiva de 2 RTSLs para cada MS, por lo que definir al factor RF_{BTS} como $1/(\text{el número de TBFs que comparten un mismo RTSL})$, tiene sentido para la capacidad TBF_C . Una forma de reducir el impacto del factor RF_{BTS} , es asignar una mayor cantidad de RTSLs al territorio GPRS (ya sea a la capacidad CDED o CDEF), de modo que a los MSs presentes en la celda, se le distribuyan de mejor manera los RTSLs asignados a sus respectivos TBFs, evitando así el multiplexado de estos. Otra forma de disminuir este impacto, es limitar la cantidad de MSs que pueden ser multiplexados en un mismo canal, tanto para el DL como para el UL, lo cual mejora considerablemente la experiencia del usuario móvil, con respecto a la tasa de transferencia de información de datos a la cual estos acceden; pero implica que una menor cantidad de usuarios de servicios de datos puedan tener accesibilidad a estos, en una determinada celda.

Otro factor que tiene un rol importante en la capacidad TBF_C , es el esquema de codificación utilizado en la interfaz de radio, lo cual determina la capacidad de un radio bloque para transportar bits de información útil para el usuario. Aunque la variación en el uso de los distintos (M)CSs no está en control del operador de la red móvil, ya que depende del nivel de C/I (el cual caracteriza la calidad del aire), estos deben estar disponibles tanto para GPRS (CS-1..4) como para EDGE (MCS-1..9). Como se observa en las gráficas anteriores, la utilización de esquemas de codificación más altos (de menor redundancia), permite el transporte de una mayor cantidad de bits por sesión de datos. Además, se puede ver claramente los beneficios de EDGE con respecto a GPRS, debido a su mayor capacidad en la

interfaz de aire, gracias a la nueva modulación introducida por éste; por lo que un MS EDGE tiene una mayor tasa de transferencia de información de datos por TBF, que un MS GPRS.

Cabe mencionar que cuando el factor $RLC_{C/RB}$ se mantiene constante en las distintas evaluaciones anteriores, se utiliza los esquemas de codificación CS-4 para GPRS y MCS-6 para EDGE, debido a la media de 21 dB de C/I presente en la ciudad de Santiago de Chile.

Además, el hecho de que la duración promedio de un TBF DL sea mayor a la duración promedio de un TBF UL, no sólo se debe a la característica asimétrica del tráfico de datos, en donde generalmente se recibe más información de la que se envía, sino que también se debe al funcionamiento del modo TBF DL retrasado, que está basado en la idea de no liberar los recursos de radio una vez que no haya más información a transmitir. En su lugar, se fija un tiempo determinado en el cual el TBF se mantiene activo hasta que el tiempo expira.

Finalmente, si se toma en cuenta la cantidad de radio bloques transmitidos por cada TBF y por cada RTSL (canal), representada por el factor $RB_{TBF/RTSL}$, 8 radio bloques puede parecer muy poco. Si se considera que un radio bloque es transmitido en 20 ms, se pueden tener hasta 50 de estos en un segundo, que es menor a la duración promedio de un TBF en el DL. Esta discrepancia se explica dado a que en la evaluación del estimador TBF_C , sólo se incluyen los radio bloques de datos (con información del usuario) efectivamente transmitidos por la interfaz de radio, sin contar a los posibles radio bloque retransmitidos debido a su arribo con errores; ni a los radio bloques de control para asignar los recursos durante el establecimiento de un TBF en el UL; y tampoco a los radio bloques de control transportando los acuses de recibos para la información del UL. La suma de todos los radio bloques anteriormente mencionados, puede ser comparable con la cantidad de estos transmitidos en un segundo; pero lo que realmente interesa son los radio bloques de datos, que permiten dar una perspectiva del usuario al dimensionamiento de la capacidad y a la caracterización de la calidad de la red GPRS; y como se puede apreciar, la cantidad de información de datos transmitida es relativamente pequeña comparada con la información de señalización y control, propia del funcionamiento de una red de datos de acceso inalámbrico.

Capítulo 5

Discusión y conclusiones

5.1. Introducción

Durante el desarrollo de este trabajo, se ha estudiado al sistema de telefonía móvil o celular basado en tecnología GSM, y en particular se ha analizado el funcionamiento de la red de datos de acceso inalámbrico GPRS. Esta última opera en forma paralela a la red GSM, sin significar mayores modificaciones. Finalmente se revisan los cambios introducidos por el sistema EDGE, que mejora la capacidad y las tasas de transmisión de datos tanto para GSM como para GPRS.

En base a lo anterior, se propone un modelo teórico simple, que permite dimensionar la capacidad y caracterizar la calidad de una red GPRS a nivel de una sesión de datos, determinada por el establecimiento de un TBF. Se caracteriza y modela cada componente e interfaz relevante en la red de datos.

Para validar el modelo propuesto, se realiza el estudio de los indicadores y estadísticas que muestran el desempeño de la red de datos GPRS de la empresa de telefonía celular patrocinante de este trabajo, Movistar Chile. Sin embargo lo anterior no permite la validación del modelo, ya que el nivel de dimensionamiento de capacidad que se plantea no está siendo monitoreado actualmente. Por lo tanto no se dispone de información real para comparar la capacidad predictiva del modelo pero que sin embargo mantiene su importancia, debido a su enfoque en la perspectiva del usuario final de los servicios de datos, lo que no ha sido tomado en cuenta hasta ahora. Estos últimos puntos, constituyen respectivamente tanto la desventaja como la ventaja del modelo teórico simple que se propone.

Finalmente se evalúa el modelo planteado a nivel de la interfaz de aire o de radio de la red GPRS, monitoreando el tráfico de datos (PS) de 3 celdas ubicadas en la ciudad de Santiago de Chile, en las cuales los usuarios móviles acceden a un conjunto de servicios de datos. El objetivo de esta evaluación es obtener un conjunto de valores para ser asignados a los distintos factores que conforman el modelo, verificándose el impacto de la variación de estos sobre la capacidad de una determinada celda para transferir bits de información útil para el usuario en una sesión de datos GPRS.

Los resultados muestran que los objetivos generales de este trabajo fueron cumplidos, demostrándose que es posible desarrollar un modelo predictivo del comportamiento de la interfaz de aire.

5.2. Conclusiones y recomendaciones

El modelo general propuesto es una aproximación del funcionamiento real del sistema GPRS, cuyo aporte más significativo es poner al descubierto los elementos relevantes para el dimensionamiento de la capacidad y la caracterización de la calidad en una red de datos de acceso inalámbrico, en particular para el dimensionamiento de la capacidad que tiene una determinada celda para transferir bits de información útil para el usuario móvil, a través de la interfaz de radio; junto con develar el impacto de la variación de los factores que componen el modelo planteado, y la importancia de los mismo.

El estudio de los distintos indicadores de desempeño considerados (y su futura implementación y monitoreo), proporciona un entendimiento de cómo se está comportando la red móvil, de cómo los recursos de radio están siendo asignados, de cómo las interfaces están siendo utilizadas y de cómo las señalizaciones, asociadas a los procedimientos de gestión de movilidad, se están desempeñando; con el objetivo último de evaluar si una determinada red de comunicaciones móviles es adecuada para soportar y proveer un determinado servicio de datos.

Con respecto al dimensionamiento de las capacidades de transmisión de las interfaces Abis y Gb, se deben tener en cuenta los siguientes casos:

Un MS EDGE con una sesión de datos activa, que utiliza un esquema de codificación MCS-9 (tasa de transferencia de 59,2 kbps por cada RTSL), necesita un canal PCM por cada RTSL asignado al TBF; por lo tanto, para el DL el tamaño de una EDAP debe ser como mínimo 4 canales PCM, de acuerdo a las clases *multislot* a las que pertenecen los MSs existentes en la actualidad. En el mismo caso anterior, si la EDAP tiene un tamaño de 3 canales PCM, la red se ve forzada, por restricción en la interfaz Abis, a cambiar el esquema de codificación a MCS-7 (tasa de transmisión de 44,8 kbps por cada RTSL), reduciendo el desempeño de la red y no entregando al usuario toda la potencialidad del sistema GPRS, por lo que este aspecto debe tenerse en consideración al momento de fijar el tamaño de una EDAP.

En el caso de que 2 MSs EDGE estén en una misma celda utilizando un esquema de codificación MCS-9 y con 4 RTSLs asignados a sus respectivos TBFs, considerando la capacidad de los canales portadores definidos en la interfaz Gb (de 256 ó 192 kbps) y asumiendo que no se tienen restricciones en la interfaz Abis, la descarga de archivos provoca que el desempeño de la red se vea disminuido debido a las limitaciones de transmisión de la interfaz Gb, por lo que debe considerarse el aumento de la capacidad de los canales portadores en ésta.

5.2.1. Tamaño del territorio GPRS

Sobre la interfaz de aire o de radio se definen las capacidades CDED, CDEF y CMAX, que corresponden al territorio GPRS. La ubicación y el tamaño del mismo (número de RTSLs), determinan en gran parte el desempeño de la red de datos, con respecto a la capacidad y a la calidad presente en ésta.

Lo primero que se recomienda es preferir emplazar al territorio GPRS, para cada celda del sistema GSM/GPRS, en el TRX de control debido a los beneficios que se comentan en el punto 3.2.2.

No se establece consideración alguna sobre limitaciones al valor CMAX, el cual indica hasta donde puede llegar a crecer (en RTSLs) el territorio GPRS en una determinada celda. Se aconseja que ésta sea ajustada al 100 % de los RTSLs presentes en un sector.

Si el porcentaje de utilización del territorio GPRS es mayor al 80 %⁶, debe considerarse aumentar la capacidad CDEF en 1 RTSL; de no ser así, la capacidad CDEF debe ser igual a la máxima cantidad de RTSLs que un MS pueda utilizar en el DL, es decir 4 RTSLs por el momento. La idea es que la asignación de recursos de radio (RTSL) sea igual a los recursos requeridos, de no ser así se debe considerar aumentar la capacidad CDEF en 1 RTSL en primera instancia y aumentar la capacidad CDED en 1 RTSL en segunda, de no ser efectiva la primera aproximación.

Si el porcentaje de liberaciones de TBFs debido al tráfico CS de voz es mayor al 20 %⁶, o el tamaño medio del territorio GPRS es igual a la capacidad CDED, debe considerarse aumentar la misma en 1 RTSL.

Es importante mencionar que en las celdas con pocos TRXs, es difícil tomar la decisión de aumentar el tamaño del territorio GPRS (capacidades CDED y CDEF), dado que el impacto en el servicio de voz es considerable. De encontrarse en esta situación, se recomienda limitar al territorio GPRS a 1 RTSL. Esto es, para que los usuarios de servicios de datos puedan tener por lo menos accesibilidad a estos.

En [14] se plantean distintas estrategias de dimensionamiento de las capacidades CDED y CDEF, y su impacto en la tasa de transferencia de paquetes de datos que percibe el usuario final. Para lo anterior se utiliza un modelo de cadena de Markov de tiempo continuo, con el que se modela y analiza (en estado estacionario) la cantidad de RTSLs que deben ser asignados al territorio GPRS para una cantidad de tráfico de voz y de datos determinada, con la finalidad de garantizar un nivel de QoS apropiado para el usuario móvil. Los resultados de las simulaciones indican que es preferible contar con la mayor cantidad de capacidad CDEF disponible en una celda, pues aumenta considerablemente el uso efectivo de los RTSLs (por lo que se tiene una mayor capacidad para transportar bits de información del usuario) con respecto a una estrategia de utilización de capacidad CDED solamente. Todo esto con el costo del aumento marginal de los bloqueos de las llamadas de voz.

En la realidad, el aumento de la capacidad CDEF está limitado a la cantidad de DSPs (presentes en las PCUs) reservada para la misma, por lo que el dimensionamiento tanto de la

⁶ Valores establecidos de acuerdo a criterio operacional de ampliación de capacidad para una red GSM. Estos deben ser estudiados y analizados con una mayor detención.

capacidad CDEF como CDED para una determinada celda, dependerá en gran parte de las características topológicas de la red móvil en cuestión y de la cantidad de tráfico de voz y de datos presentes en ésta.

5.2.2. Otras recomendaciones

Debido a la naturaleza del tráfico de datos, se pueden tener establecimientos y liberaciones de TBFs en forma continua, lo cual se traduce en una degradación del desempeño experimentado por el usuario final. Esto se debe a que se agrega un retardo a los paquetes de datos en su paso por la red GPRS. Con el objetivo de disminuir la latencia (RTT) inherente de la red, se recomienda la implementación de mejoras tales como el modo de TBF UL extendido, que al igual que el modo TBF DL retrasado, está basado en la idea de no liberar los recursos de radio una vez que no haya más información a transmitir. En su lugar, se fija un tiempo determinado en el cual el TBF se mantiene activo hasta que el tiempo expira. Lo anterior implica una mejora significativa, por ejemplo, en la entrega de voz (VoIP) en el servicio PTT.

Otro aspecto importante es el relacionado a las retransmisiones en la capa RLC. Dependiendo de los requerimientos de fiabilidad en la entrega de la información por parte de una determinada aplicación, se pueden usar los modos de operación RLC con o sin acuse de recibo. Se recomienda considerar el envío de radio bloques RLC en modo sin acuse de recibo, para proveer servicios que son sensibles al retardo y que pueden manejar un cierto número de bloques erróneos, como es el caso de los servicios conversacionales y de descarga en tiempo real. De la misma manera, se sugiere la transferencia de radio bloques RLC en modo con acuse de recibo, para entregar servicios interactivos y de descarga de fondo, en donde no se toleran errores en la información, por lo que de existir paquetes de datos erróneos, estos deben ser retransmitidos [3].

5.3. Trabajo futuro

Un trabajo a realizarse en el futuro puede ser la aplicación del método de programación lineal simplex para la optimización (maximización) de la capacidad TBF_C (transporte de bits

en una celda), sujeto a las restricciones de transmisión de las interfaces Abis y Gb. Lo anterior no es muy importante en la actualidad, debido al poco tráfico PS y al relativamente pequeño territorio GPRS presentes en la red de datos de Movistar Chile, por lo que las interfaces Abis y Gb no representan un cuello de botella significativo. De llevarse a cabo este trabajo, se recomienda modificar los factores IT_{10} y CR_{10} , pertenecientes al modelo general CC_{GPRS} propuesto, para que tomen en cuenta el nivel de congestión de las respectivas interfaces y componentes de la red GPRS, asignándoles a estos, valores en un intervalo entre 0 y 1, los cuales deben ser estudiados y analizados con una mayor detención.

Además es interesante considerar, de manera más directa, el impacto de la información de señalización y de control en el modelo propuesto para el dimensionamiento de la capacidad de una red GPRS (TBF_C). Los radio bloques RLC de control usados para la señalización en el DL, comparten los mismo recursos de radio (RTSLs) utilizados para transmitir los radio bloques RLC de datos (con información del usuario), por lo que tienen un impacto en reducir la tasa de transferencia de datos para el usuario en el DL (lo mismo aplica para el UL). En GPRS, distintos procedimientos pueden requerir la transmisión de radio bloques de control en el DL. El caso más común es la transmisión de datos en el UL, la cual requiere a lo menos de un radio bloque de control para asignar los recursos durante el establecimiento de un TBF en el UL. Si el TBF UL se establece cuando ya existe un TBF DL activo (para un mismo MS), esta asignación es enviada por el canal PACCH, el cual es multiplexado en el PDTCH DL. En el caso del modo de operación RLC con acuse de recibo (ACK), también se requiere del envío periódico de radio bloques de control, transmitidos en el PACCH, transportando los acuses de recibos para la información del UL. De la descripción anterior, se puede derivar que este efecto es altamente dependiente no sólo de las características del tráfico de datos, sino que también del esquema de codificación que está siendo utilizado. Con esquemas de codificación más altos (de menor información redundante), cada radio bloque de control implica una mayor pérdida de bits a ser transmitidos potencialmente [3].

Finalmente se tiene como trabajo futuro la implementación de los distintos KPIs pasivos considerados en este trabajo, con el objetivo de establecer umbrales de funcionamiento adecuados para estos y poder monitorear el desempeño de la red; así como el estudio, identificación, evaluación e implementación de KPIs activos, para obtener un monitoreo más fidedigno del funcionamiento de la red de datos GPRS.

Referencias

- [1] MPIRICAL Companion, Free Telecommunications Terms Encyclopedia [en Internet] <http://www.mpirical.com/companion/mpirical_companion.html>, [última consulta: 01 de Diciembre de 2006].
- [2] TIMO Halonen, JAVIER Romero, JUAN Melero, GSM, GPRS, and EDGE Performance: Evolution Towards 3G/UMTS, 2º ed. 2003.
- [3] G. GÓMEZ and R. SÁNCHEZ, End-to-End Quality of Service over Cellular Networks: Data Services Performance and Optimization in 2G/3G, 2005.
- [4] MARCO Ajmone, PAOLA Laface, MICHELA Meo, Packet Delay Analysis in GPRS Systems, Dipartimento di Elettronica, Politecnico di Torino, 2003.
- [5] XIAOYAN Fang and DIPAK Ghosal, Performance Modelling and QoS Evaluation of MAC/RLC Layer in GSM/GPRS Networks, Department of Electrical and Computer Engineering, University of California, 2003.
- [6] NOKIA, 2G SYSTRA, System Training Document, 2004 [publicación confidencial].
- [7] NOKIA, NED, Nokia Electronic Documentation, [en Intranet de Movistar Chile], [última consulta: 01 de Diciembre de 2006].
- [8] PROTOCOLS.COM, Data Communications Protocols, [en Internet] <<http://www.protocols.com/>>, [última consulta: 01 de Diciembre de 2006].
- [9] WORDREFERENCE .COM, English-Spanish Dictionary, [en Internet] <<http://www.wordreference.com/>>, [última consulta: 01 de Diciembre de 2006].
- [10] HUENCHULLÁN San Martín, Carlos Alberto, Estudio y Optimización del Core GPRS, Tesis (Ingeniero Civil Electricista)-Universidad de Chile, 2005.
- [11] DE VRIENDT, Johan “et al”, Evolución de las Redes Móviles: Una Revolución en Marcha, IEEE Communications Magazine, 2002.

- [12] NOKIA, GPRS Rel.1, Planning and Performance Management Guidelines, 2002 [publicación confidencial].
- [13] NOKIA, BSSPAR, GPRS & EDGE Training Document, 2003 [publicación confidencial].
- [14] CHRISTOPH Lindemann and AXEL Thümmler, Performance Analysis of the General Packet Radio Service, University of Dortmund, Department of Computer Science, s.a.
- [15] NOKIA, BSC Dynamic Abis Configuration, 2005 [publicación confidencial].

Apéndice A

Lista de acrónimos

1G	First Generation
2G	Second Generation
3G	Third Generation
3GPP	3rd Generation Partnership Project
8-PSK	Octagonal Phase Shift Keying
A	
ACK	Acknowledge
AMPS	American Mobile Phone System
AMR	Adaptive Multi-Rate codec
APN	Access Point Name
ARIB	Association of Radio Industries and Business in Japan
ARQ	Automatic Repeat Request
AuC	Authentication Center
B	
BE	Best Effort
BCCH	Broadcast Control Channel
BLER	Block Error Rate
BSS	Base Station Subsystem
BSSGP	Base Station Subsystem GPRS Protocol
BSC	Base Station Controller
BTS	Base Transceiver Station
C	
CDMA	Code Division Multiple Access
C/I	Carrier/Interference
CIR	Committed Information Rate
CS	Circuit Switched
CS	Coding Scheme

D	
DAP	Dynamic Abis Pool
DL	Downlink
DSP	Digital Signal Processor
E	
EDAP	EGPRS Dynamic Abis Pool
EDGE	Enhanced Data Rates for Global Evolution
EGPRS	Enhanced General Packet Radio Service
EIR	Equipment Identity Register
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
F	
FEC	Forward Error Correction
FH	Frequency Hopping
FR	Frame Relay
FTP	File Transfer Protocol
G	
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GMM	GPRS Mobility Management
GMSC	Gateway Mobile Services Switching Centre
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile communications
GSN	GPRS Support Node
GTP	GPRS Tunnelling Protocol
H	
HLR	Home Location Register
HPLMN	Home Public Land Mobile Network
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HTML	HyperText Mark-up Language
I	
IMT	International Mobile Telephony
IP	Internet Protocol
IR	Incremental Redundancy
IRAU	Inter-SGSN RAU
IS-95	cdmaOne, one of 2nd generation systems, in Americas and Korea
ITU	International Telecommunication Union
IWMSC	Inter-Working MSC
K	
KPI	Key Performance Indicator
KQI	Key Quality Indicator

L	
LA	Link Adaptation
LA	Location Area
LAN	Local Area Network
LLC	Logical Link Control
LM	Location Management
M	
MAC	Medium Access Control
MC	Multi-Carrier
MCS	Modulation and Coding Scheme
MM	Mobility Management
MMS	Multimedia Messaging Service
MS	Mobile Station
MSC	Mobile Services Switching Centre
MT	Mobile Terminal
N	
NMS	Network Management Subsystem
NSEI	Network Service Entity Identifier
NSS	Network and Switching Subsystem
O	
O&M	Operations and Maintenance
OSI	Open System Interconnection
P	
PACCH	Packet Associated Control Channel
PAGCH	Packet Access Granted Channel
PAPU	Packet Processing Unit
PBCCH	Packet Broadcast Control Channel
PCCCH	Packet Common Control Channel
PCM	Pulse Code Modulation
PCU	Packet Control Unit
PDC	Personal Digital Communications
PDCH	Packet Data Channel
PDN	Packet Data Network
PDN	Public Data Network
PDP	Packet Data Protocol
PDU	Protocol Data Unit
PDTCH	Packet Data Traffic Channel
PHY	Physical Layer
PLMN	Public Land Mobile Network
PNCH	Packet Notification Channel
PoC	Push to talk over Cellular
PPCH	Packet Paging Channel
PRACH	Packet Random Access Channel
PS	Packet Switched

PTM	Point-To-Multipoint
PTM-M	PTM Multicast
PTP	Point-To-Point
PTT	Push To Talk
Q	
QoS	Quality of Service
R	
RA	Routing Area
RAU	Routing Area Update
RF	Radio Frequency
RF	Reduction Factor
RLC	Radio Link Control
RTSL	Radio Timeslot
RTT	Round Trip Time
S	
SCH	Synchronisation Channel
SGSN	Serving GPRS Support Node
SIM	Subscriber Identity Module
SM	Session Management
SMS	Short Message Service
SMSC	Short Message Service Center
SMS-GMSC	Short Message Service Gateway MSC
SMS-IWMSC	Short Message Service Inter-Working MSC
SNDCP	Sub Network Dependent Convergence Protocol
SS7	Signalling System number 7
T	
TBF	Temporary Block Flow
TC	Transcoder
TCP	Transport Control Protocol
TDMA	Time Division Multiple Access
TE	Terminal Equipment
TFI	Temporary Flow Identity
TLLI	Temporary Logical Link Identity
TRAU	Transcoder/Rate Adapter Unit
TRX	Transceiver
TSL	Timeslot
TU3	Typical Urban 3 km/h
U	
UNACK	Unacknowledged
UDP	User Datagram Protocol
UL	Uplink
UMTS	Universal Mobile Telecommunication Services
USF	Uplink State Flag

V

VPN Virtual Private Network
VoIP Voice over IP
VLR Visitor Location Register
VPLMN Visited Public Land Mobile Network

W

WAP Wireless Application Protocol
WCDMA Wideband CDMA

X

X.25 An ITU-T Protocol for Packet Switched Network

Apéndice B

Tablas de datos

Tabla B.1: Muestras de C/I tomadas en la ciudad de Santiago de Chile.

C/I (dB)	Muestras	Densidad (%)	Distribución (%)
< 0	12	0,0	0,0
1	186	0,1	0,1
2	20	0,0	0,1
3	30	0,0	0,1
4	75	0,0	0,1
5	103	0,0	0,2
6	170	0,1	0,3
7	286	0,1	0,4
8	422	0,2	0,6
9	601	0,3	0,8
10	773	0,3	1,2
11	754	0,3	1,5
12	1.024	0,4	1,9
13	1.294	0,6	2,5
14	1.718	0,7	3,3
15	2.950	1,3	4,5
16	3.909	1,7	6,3
17	5.208	2,3	8,5
18	8.886	3,9	12,4
19	17.065	7,4	19,9
20	33.053	14,4	34,3
21	54.725	23,9	58,2
22	57.004	24,9	83,0
23	29.897	13,0	96,1
24	7.771	3,4	99,5
25	1.073	0,5	99,9
26	115	0,1	100,0

27	14	0,0	100,0
28	0	0,0	100,0
29	0	0,0	100,0
> = 30	0	0,0	100,0

Tabla B.2: Capacidad de TBF vs. RTSLs.

Sistema	Esquema de codificación	$RB_{TBF/RTSL}$	RF_{BTS}	$RTSL_{TBF}$	TBF_C [kbits/TBF]	Enlace
GPRS	CS-4	8	1	1	3,13	UL/DL
				2	6,25	UL/DL
				3	9,38	DL
				4	12,50	DL
EDGE	MCS-6	8	1	1	4,63	UL/DL
				2	9,25	UL/DL
				3	13,88	DL
				4	18,50	DL

Tabla B.3: Capacidad de TBF vs. (M)CS.

Sistema	Esquema de codificación	$RB_{TBF/RTSL}$	RF_{BTS}	$RTSL_{TBF}$	TBF_C [kbits/TBF]	Enlace
GPRS	CS-1	8	1	2	2,50	UL
	CS-2				3,75	
	CS-3				4,50	
	CS-4				6,25	
EDGE	MCS-1	8	1	2	2,75	UL
	MCS-2				3,50	
	MCS-3				4,63	
	MCS-4				5,50	
	MCS-5				7,00	
	MCS-6				9,25	
	MCS-7				14,00	
	MCS-8				17,00	
	MCS-9				18,50	
GPRS	CS-1	8	1	4	5,00	DL
	CS-2				7,50	
	CS-3				9,00	
	CS-4				12,50	
EDGE	MCS-1	8	1	4	5,50	DL
	MCS-2				7,00	
	MCS-3				9,25	
	MCS-4				11,00	
	MCS-5				14,00	
	MCS-6				18,50	

	MCS-7			28,00
	MCS-8			34,00
	MCS-9			37,00

Tabla B.4: Capacidad de TBF vs. TBFs en un mismo canal.

Sistema	Esquema de codificación	$RB_{TBF/RTSL}$	RF_{BTS}	$RTSL_{TBF}$	TBF_C [kbits/TBF]	Enlace
GPRS	CS-4	8	1,00	1	3,13	UL/DL
			0,50		1,56	UL/DL
			0,33		1,04	UL/DL
			0,25		0,78	UL/DL
			0,20		0,63	UL/DL
			0,17		0,52	UL/DL
			0,14		0,45	UL/DL
			0,13		0,39	DL
			0,11		0,35	DL
EDGE	MCS-6	8	1,00	1	4,63	UL/DL
			0,50		2,31	UL/DL
			0,33		1,54	UL/DL
			0,25		1,16	UL/DL
			0,20		0,93	UL/DL
			0,17		0,77	UL/DL
			0,14		0,66	UL/DL
			0,13		0,58	DL
			0,11		0,51	DL

Apéndice C

Razón portadora a interferencia (C/I)

La razón C/I permite caracterizar la calidad de la interfaz de aire o de radio en una determinada celda, pues constituye una limitante de la capacidad que posee la señal portadora (en donde se define un canal físico), para transportar bits de información útil para el usuario. El nivel de C/I determina el esquema de codificación a utilizar en la capa física de la red GPRS, en el cual se agrega mayor o menor cantidad de información redundante (que protege los datos del usuario), dependiendo del nivel de interferencia presente en el sector en cuestión. A mayor C/I, mejor es la calidad del aire, pues se tiene un menor nivel de interferencia con respecto al nivel de la señal portadora.

No se debe confundir interferencia con ruido, pues este último determina la capacidad de la señal portadora para propagarse a través de la interfaz de aire; concepto que se conoce como cobertura.

La razón portadora a interferencia se calcula comparando el nivel (potencia) de señal del enlace de recepción de información (DL) de la celda servidora, con el nivel de señal de las celdas adyacentes (vecinas) más potentes (con mayor potencia de señal en el DL), las cuales utilizan las mismas frecuencias subyacentes que provocan las interferencias de canal adyacente y co-canal. Estos niveles de potencias son capturados por el MS y reportados a la red, en la cual se calcula la razón C/I de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\frac{C}{I} = \frac{P_{\text{celda_propia}}}{\sum_{i=1}^n P_{i_BCCH}}$$

En donde $P_{\text{celda_propia}}$ es la potencia de la señal portadora medida en la celda servidora, y P_{i_BCCH} es la potencia medida en el TRX de control (en donde se transmite el canal de control (P)BCCH a potencia máxima) en la celda interferente i [2].