

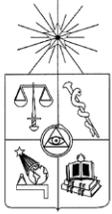
**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA**

**SISTEMA DE PRIORIZACIÓN DE TRÁFICO PARA LA RED CELULAR DE UN
OPERADOR MÓVIL**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL ELECTRICISTA

ANDRÉS LÓPEZ LIZAMA

**SANTIAGO DE CHILE
MARZO 2011**



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA**

**SISTEMA DE PRIORIZACIÓN DE TRÁFICO PARA LA RED CELULAR DE UN
OPERADOR MÓVIL**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL ELECTRICISTA

ANDRÉS LÓPEZ LIZAMA

**PROFESOR GUÍA:
NICOLÁS BELTRÁN MATURANA**

**MIEMBROS DE LA COMISION
PATRICIO VALENZUELA CANO
HÉCTOR AGUSTO ALEGRIA**

**SANTIAGO DE CHILE
MARZO 2011**

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL
TITULO DE INGENIERO CIVIL ELECTRICISTA

POR: ANDRÉS LÓPEZ LIZAMA

FECHA: ENERO 2011

PROF. GUIA: SR. NICOLAS BELTRÁN MATURANA

“SISTEMA DE PRIORIZACIÓN DE TRÁFICO PARA LA RED CELULAR DE UN OPERADOR
MÓVIL”

El objetivo general del presente trabajo de título es entender las necesidades que presentan las redes de emergencia, y las estrategias que se pueden adoptar para permitir que las redes de telefonía móvil presten el servicio de emergencia de forma reducida.

La tecnología predominante en las redes de telefonía móvil es actualmente la “Segunda Generación” o 2G, con una penetración masiva, que sobrepasa el cien por ciento en nuestro país. Aunque la infraestructura de las redes de telefonía móvil no está diseñada para funcionar como red de emergencia, su ubicuidad las hace un objetivo interesante en la búsqueda de tener servicios de respaldo para poder asegurar la coordinación de los esfuerzos de normalización por parte de los diferentes organismos que pudiesen beneficiarse de ella.

Para comprender el funcionamiento que pudiese tener una “red de emergencia móvil”, se realiza una descripción del funcionamiento de las redes de telefonía móvil actualmente implementadas en el país. También se hace una descripción de los requerimientos que debe cumplir una red “telefónica” de emergencia, basado en recomendaciones internacionales, y en un estándar ya implementado.

Se propone una implementación, y una solución para la simulación del sistema utilizando sistemas de código abierto.

Finalmente se evalúa el sistema propuesto mediante simulaciones de desempeño. En estas se ve que el desempeño de la red en termino de las llamadas que no son bloqueadas es superior a no realizar ninguna “administración” de las sobre las llamadas que se aceptan en el sistema, lo que otorga mayores probabilidades de cursar la llamada en el caso de aquellos usuarios que necesitan cursarla, y también permite mejor uso por parte de los usuarios normales

Se concluye que el modelo propuesto permite una mejora cuantitativa en el desempeño de la red telefónica, lo que permite un primer paso en el mejorar la capacidad de comunicación en caso de emergencias.

A mi familia,

A los que me empujaron...

...Y a los que me esperaron.

Índice general

1. Introducción	1
1.1. Fundamentación y Objetivos Generales	1
1.2. Objetivos Específicos	2
1.3. Antecedentes Generales	2
1.4. Antecedentes Específicos	3
1.5. Hipótesis de Trabajo y Metodología	3
2. Telefonía Móvil	4
2.1. GSM	4
2.2. Arquitectura	5
2.2.1. BSS	5
2.2.2. NSS	7
2.2.3. OSS	8
2.3. GPRS	9
2.3.1. SGSN	9
2.3.2. GGSN	10
2.3.3. PCU	10
2.3.4. EDGE	11
2.4. 3G y más	11
2.4.1. UMTS	11
2.4.2. CDMA 2000	12
2.4.3. LTE	12
2.5. SS7	12
2.5.1. MAP	13
2.6. Tráfico en una Red Telefónica	13
2.6.1. Modelo de sistema telefónico	13
2.6.2. Procesos de <i>Poisson</i>	14

2.6.3. Distribución exponencial	14
2.6.4. Erlang B	15
2.7. Servicios de Telecomunicación de Emergencia	16
2.7.1. Principios de una red de emergencia	16
2.7.2. HPC	17
2.7.3. GETS	19
2.7.4. Servicios de Emergencia en Redes Móviles	19
3. Metodología	20
3.1. Introducción	20
3.2. Tráfico en una Celda	20
3.3. OpenBTS	21
3.3.1. GNU Radio	21
3.3.2. Hardware	21
3.3.3. Asterisk	21
3.4. Priorización de Usuarios	22
3.4.1. Implementación	23
4. Resultados	25
4.1. Simulaciones	25
4.1.1. Tráfico normal para una celda	25
4.1.2. Sin priorización	26
4.1.3. Bloqueo terminales no priorizados	26
4.1.4. Llamadas “Cortas”	27
4.1.5. Reservación de Capacidad	27
5. Conclusiones	30
5.1. Trabajo Futuro	31
Bibliografía	32

Índice de figuras

2.1. Estructura de Red GSM	5
2.2. Multiplexión en GSM	6
2.3. BSS en GSM	7
2.4. NSS en GSM	9
2.5. GPRS en GSM	10
2.6. Diagrama de transición de estados para la cola M/M/S/N	15
3.1. Consola de <i>Asterisk</i>	22
3.2. Ejemplo de <i>Dialplan</i> de <i>Asterisk</i>	23
3.3. Ejemplo de definición de terminal en el <i>dialplan</i> de <i>Asterisk</i>	24
4.1. Llamadas no priorizadas limitadas	28
4.2. Canales no priorizados Limitados	28

Índice de tablas

4.1. Simulaciones para Tráfico normal	25
4.2. Simulación para gran aumento de tráfico, sin priorización	26
4.3. Bloqueo no priorizados	26
4.4. Llamadas Cortas para terminales no priorizados	27
4.5. Reserva de Capacidad	29

Capítulo 1

Introducción

1.1. Fundamentación y Objetivos Generales

Comunicarse es una necesidad innata de los seres humanos. A lo largo de la historia hemos utilizado las tecnologías a nuestra disposición para transmitir mensajes e ideas, desde las antiguas Pinturas Rupestres[1] hasta llegar a los tiempos actuales, con muestras como la telefonía y la mensajería instantánea.

La sociedad actual es altamente conectada, donde los individuos tienen internalizada, como una necesidad, la capacidad de poder acceder de manera fácil y casi inmediata, a comunicarnos ya sea con nuestros seres queridos o para otras necesidades como trabajo o placer. Por esto, las redes de telefonía se han convertido en pilares importantísimos para el funcionamiento de las personas, siendo consideradas por algunos como servicios básicos. En este contexto, y gracias a la actual presencia y facilidad de acceso de la telefonía móvil con respecto a su contraparte fija, es que comenzamos a depender de este servicio con mayor fuerza.

La principal red de telefonía en la actualidad es la PSTN (del inglés Public Switched Telephone Network). Esta corresponde al conjunto de redes de conmutación de circuitos que permiten a los equipos de telefonía fija realizar llamadas entre ellos. Junto a la PSTN, ahora coexisten, entre otras redes, las redes de telefonía celular, que otorgan un servicio similar, pero realizando las conexiones a los terminales de manera inalámbrica. Por esta percibida ubicuidad, y debido a la competencia que existe entre los operadores por captar clientes, se ha generado una adopción explosiva de este servicio, teniendo una tasa de penetración superior a la telefonía convencional, y actualmente superior al 100 % [2] dado que algunos usuarios utilizan más de un terminal. Estos patrones de uso ya están interiorizados por la población, desarrollándose dependencia de este servicio.

En casos de alta demanda, como emergencias y días “especiales” (como el año nuevo o el día de la madre), debido al violento aumento de la demanda por servicios de comunicación, y a que las redes están diseñadas para soportar un volumen de tráfico “normal”, se

genera congestión de las redes de comunicaciones, tanto en el acceso como los canales de transmisión. Debido a que hay instituciones para las cuales la comunicación, en particular en casos de emergencia, es una necesidad básica debido a su función como organizaciones coordinadoras de los esfuerzos por restablecer el orden, (e.g. Instituciones de Gobierno en el caso de un Terremoto), es deseable poder otorgarles ciertas facilidades en la utilización de la infraestructura de Telecomunicaciones.

En este trabajo aborda la problemática de otorgar los servicios necesarios de comunicación en las redes de telefonía móvil en caso de situaciones excepcionales que no permitan el funcionamiento normal de la red de telecomunicaciones móviles. El objetivo es generar un sistema que permita dar prioridad a la comunicación desde algunos terminales. Las pruebas del diseño propuesto se realizarán mediante simulaciones.

1.2. Objetivos Específicos

- Realizar una revisión de las capacidades del operador móvil para implementar priorización de tráfico.
- Establecer criterios de priorización de tráfico, y las posibilidades de implementación de estos.
- Evaluar la implementación el sistema propuesto, para el caso de una celda.
- Evaluar el desempeño del sistema propuesto frente a una situación de congestión en la red mediante simulaciones.

1.3. Antecedentes Generales

En la actualidad, no existe un estándar que permita realizar la implementación de las características que se requieren para permitir hacer una administración de las llamadas en caso de emergencias. Por esto, los operadores no cuentan con estrategias definidas para permitir priorizar llamadas desde ciertos terminales. Sólo se cuenta con una recomendación de la ITU[3] (*International Telecommunication Union*).

1.4. Antecedentes Específicos

Para el desarrollo de este trabajo, el enfoque estará dado hacia las tecnologías de telecomunicación conocidas como “2G”, ya que estas son las que predominan en el tráfico de voz en las redes de telecomunicaciones móviles actuales. Las tecnologías “3G” están actualmente proceso de masificación, con nuevos terminales al alcance de más personas, pero debido a que su costo es aún alto (en particular los servicios de datos), no se abordaran estas redes.

1.5. Hipótesis de Trabajo y Metodología

Se busca lograr, a partir de la información de conexión de los terminales a las antenas, y de los tráficos generados, algún criterio que permita priorizar las comunicaciones desde algunos terminales por sobre el resto de los que intentan comunicarse, y alguna estrategia que permita dar servicio al mayor número de personas en caso de congestión en la red, principalmente mediante la restricción de la duración de las llamadas.

Capítulo 2

Telefonía Móvil

La telefonía móvil se ha masificado de manera significativa en la última década, pasando de ser un ítem de lujo y símbolo de estatus social, a un servicio de necesidad casi primaria. Debido a la gran competencia que existe entre los diferentes proveedores de servicios de telefonía móvil, estos se encuentran profundamente masificados, y con un acceso a la gran mayoría de la población, sin importar estrato económico. La Subsecretaría de Telecomunicaciones (SubTel) actualmente estima una tasa de penetración de sobre el cien por ciento en el mercado chileno[2], debido a que un número no menor de usuarios utiliza más de un terminal.

2.1. GSM

Las tecnologías en las que están implementadas las comunicaciones en Chile hoy son mayoritariamente las conocidas como de Segunda Generación o “2G”, basadas en el estándar **GSM** (La Sigla GSM corresponde actualmente a “*Global System for Mobile communications*”, aunque originalmente viene de “*Groupe Spécial Mobile*”). El estándar, publicado en 1990 bajo la ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) define una red móvil terrestre pública (PLMN) que otorga acceso dividiendo el área de cobertura mediante celdas, y que, como diferencia principal con los estándares que ya existían en ese momento, transmite de forma digital tanto la señalización como la señal de voz. Actualmente, se estima que sobre el 80 por ciento del mercado global de telefonía móvil utiliza el estándar GSM[4].

GSM utiliza las bandas de frecuencia de 850 MHz, 900 MHz, 1800 MHz y 1900 MHz, debido a la diferente disponibilidad de espectro en los diferentes países o zonas geográficas donde se ha implementado. En América del Norte se utilizan las bandas de 850 MHz y 1900

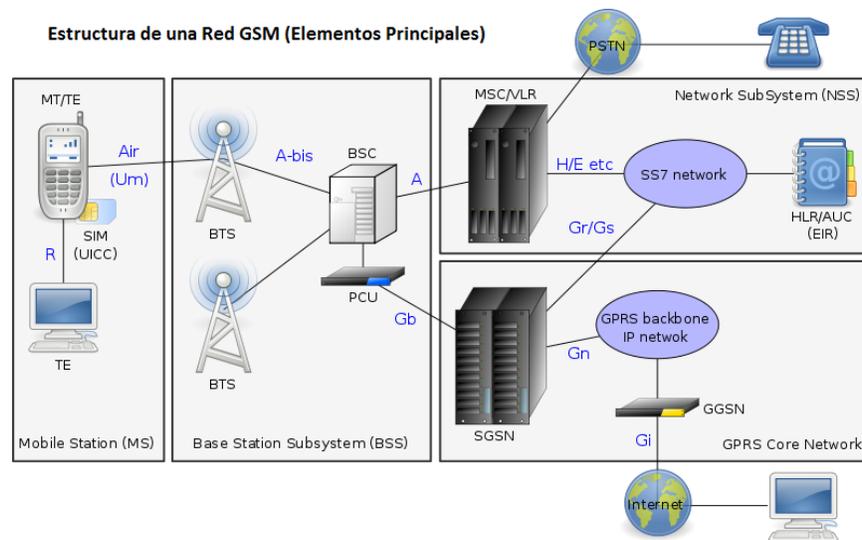


Figura 2.1: Elementos principales de una red GSM/EDGE[5]

MHz, mientras que en Europa y Asia se utiliza principalmente las bandas de 900 MHz y 1800 MHz. En América del Sur se utiliza principalmente la banda de 1900 MHz. Dentro de estas bandas, se separa el uso de frecuencia en “canales” de 200 KHz. Para cada canal, se divide el tiempo en “frames TDMA” de 4.615 ms. Cada *frame* se subdivide en 8 *timeslots*. [6]

2.2. Arquitectura

La arquitectura de una red GSM se puede subdividir en tres unidades principales. El subsistema de estación base (BSC), el subsistema de conmutación y red (NSS), y el subsistema de soporte operacional (OSS).

2.2.1. Subsistema de estación base (BSS)

El subsistema de estación base es el encargado de manejar el tráfico y la señalización desde los terminales móviles hacia el subsistema de conmutación y red. Está compuesto de la estación móvil (MS), la estación transceptora (BTS), y del controlador de estación base (BSC)

Estación móvil (MS) La estación móvil es el quipo comúnmente conocido como “celular” o “teléfono móvil”. Tiene 2 elementos principales. El *Hardware*, que es el que provee

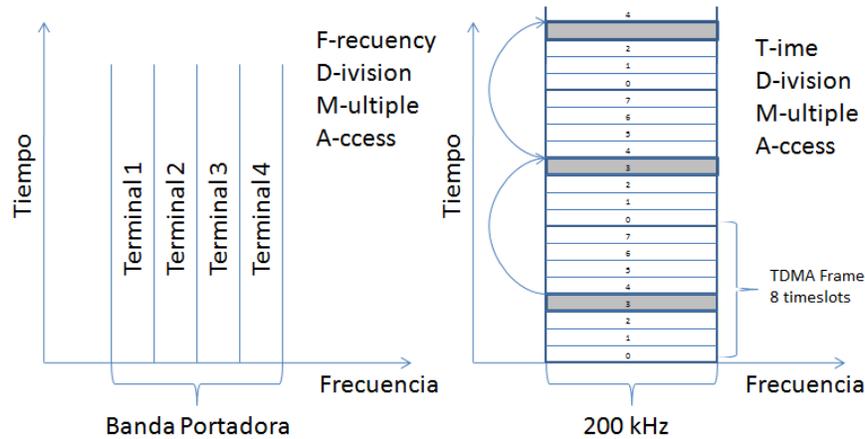


Figura 2.2: Estructura de multiplexión en GSM[6]

las interfaces necesarias para que el usuario interactúe con él (teclado, pantalla, etc.), y la electrónica necesaria para poder acceder a la red celular (antenas, filtros, etc.). Contiene un número único de identificación (IMEI, del inglés *International Mobile Equipment Identity*) que se utiliza al registrarse el equipo en la red. El otro elemento importante es el “modulo de identidad del suscriptor” (SIM - *Suscriber Identity Module*), que contiene información asociada al usuario, incluyendo el “número de identificación del suscriptor” (IMSI - *International Mobile Subscriber Identity*), que es asociado al número telefónico en la red *core*.

Estación base transceptora (BTS) La estación base transceptora está constituida por los transmisores y receptores de radio, las antenas asociadas a ellos, utilizadas para comunicarse con cada estación móvil. La interfaz aire en GSM se conoce como “interfaz Um”. Es el área de cobertura de cada una de las BTS la que define la “célula” de la telefonía móvil GSM.

Estación base controladora (BSC) La estación base controladora provee los sistemas de control para varios BTS. Es en el BSC donde se definen las frecuencias a utilizar por los distintos BTS, dependiendo de las diferentes licencias que tenga el carrier de telefonía móvil. También realiza en control del *handover* que se realiza entre 2 BTS bajo su control.

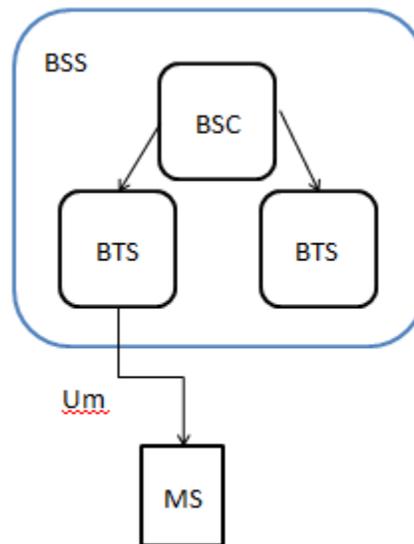


Figura 2.3: Estructura del Subsistema Base de Estación (BSS) en GSM

2.2.2. Subsistema de conmutación y red (NSS)

El subsistema de conmutación y red también se conoce como la red “core” de un sistema GSM. En este se llevan a cabo las funciones de conmutación de las llamadas y administración de las estaciones móviles, para permitir el movimiento de los terminales en los diferentes BST. Originalmente concebido para dar servicios de en una red de conmutación de circuitos, proveyendo la infraestructura necesaria para soportar llamadas de voz, servicio de mensajería corta (SMS - *Short Message Service*) y servicios de enlaces dedicados para datos, actualmente su funcionalidad incluye servicios de conmutación de paquetes, en lo que actualmente se conoce como la *red core GPRS*, permitiendo dar acceso a los MS a servicios como mensajería multimedia (MMS - *Multimedia Messaging Service*), WAP (*Wireless Application Protocol*) e Internet. El BSS está constituido principalmente por tres subsistemas. El centro de conmutación de servicios móviles (MSC - *Mobile Switching Center*), el registro de ubicación para usuarios visitantes (VLR - *Visitor Location Register*), y el registro de ubicación para usuarios domésticos (HLR - *Home Location Register*).

Centro de vonmutación de servicios móviles (MSC) El centro de conmutación de servicios móviles es el responsable de *rotear* las llamadas originadas en los diferentes BSC que están conectados a él. También es el encargado de realizar el *handover* cuando una estación móvil (MS) se mueve entre dos BTS que están bajo administración de BSCs diferentes. Cada MSC cuenta con una registro de las estaciones móviles que están actualmente en su jurisdicción. Una categoría especial dentro de los MSC es la del MSC “pasarela” (*gateway*

MSC), el que tiene la función de determinar bajo que MSC se encuentra la estación móvil al momento de establecer una llamada a este. Además es este el que *rutea* las llamadas que provienen desde los terminales móviles hacia redes externas, como por ejemplo la PSTN.

Registro de ubicación para usuarios visitantes (VLR) El Registro de ubicación para usuarios visitantes es la base de datos con la que cuenta cada MSC, donde se almacenan todas las estaciones móviles que están actualmente bajo la jurisdicción del MSC. Es en la VLR donde se almacena, para cada estación móvil, a qué BSC se encuentra conectado actualmente.

Registro de ubicación para usuarios domésticos (HLR) El Registro de ubicación para usuarios domésticos es el registro central en el que se almacenan los detalles de cada estación móvil que está autorizado para utilizar los servicios de la red *core GSM*. En él se guarda registro de los IMSIs de cada SIM que se encuentra actualmente registrada para un suscriptor de la red, y se asocia a al menos un MSISDN (*Mobile Subscriber Integrated Services Digital Network Number*), que corresponde al número telefónico que normalmente se conoce. Asociado a estos registros, también se almacena información de los suscriptores, como los servicios que estos tienen contratados. En el HLR también se guarda el registro temporal de la ubicación de los suscriptores en la red, utilizada por el *gateway* MSC para rutear las llamadas entre diferentes MSC. Usualmente se conectan al HLR los sistemas de autenticación (AUC - *Authentication Centre*), cuya función es autenticar a cada SIM que se conecta a la red para evitar la copia de SIMs, y el Registro de identidad de equipos (EIR - *Equipment Identity Register*), que mantiene una lista de estaciones móviles que deben ser monitoreados o impedidos de funcionar en la red (por ejemplo, en el caso de móviles robados).

2.2.3. Subsistema de reporte operacional (OSS)

El Subsistema de soporte operacional (OSS - *Operational Support Systems*) engloba los sistemas de telecomunicaciones que no son parte de los BSS o NSS, como los sistemas de redes, sistemas de aprovisionamiento, sistemas de inventario, etc. Los sistemas asociados al negocio de las compañías móviles, como los sistemas de billing, sistemas de ventas, etc. se agrupan en los servicios de soporte de negocio (BSS - *Business Support Services*), y se consideran complementarios a los OSS.

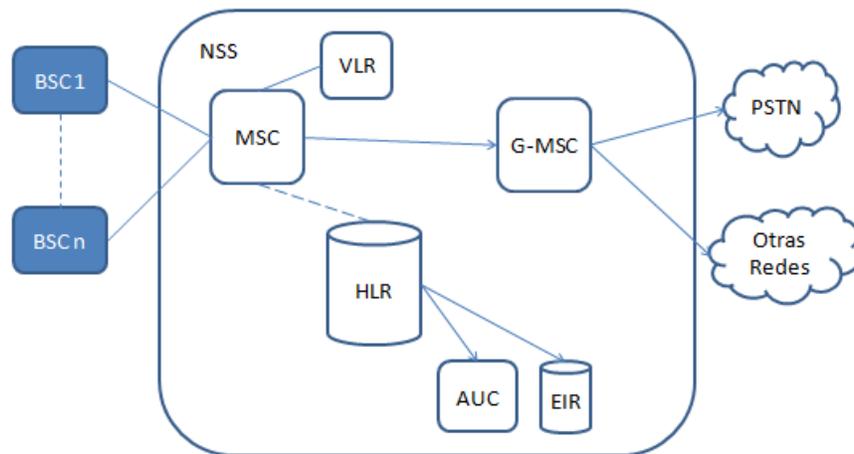


Figura 2.4: Estructura del Subsistema de Conmutación y Red en GSM

2.3. Servicio General de Paquetes para Radio (GPRS)

El Servicio General de Paquetes para Radio (GPRS - *General Packet Radio Service*) es el sistema que agrega conmutación de paquetes a las redes GSM. Utilizando GPRS, los usuarios pueden acceder a servicios como MMS, *Push to Talk* sobre red celular, y WAP, aunque es principalmente utilizado para dar acceso a redes de datos, en especial a Internet. GPRS otorga velocidades bajas de conexión, usando los canales no utilizados de la interfaz de aire para transmitir datos, por esto, depende de la disponibilidad de recursos en la interfaz entre el el BTS y MS. Los canales de *uplink* y *downlink* son independientes, y son reservados en forma separada.

Para dar los servicios, se agregan el nodo de soporte servidor de GPRS (SGSN - *Serving GPRS Support Node*) y el Nodo de Soporte Pasarela para GPRS (GGSN - *Gateway GPRS Support Node*). Estos nodos corresponden a la red “core” GPRS. Para la interfaz de aire se agrega la Unidad de Control de Paquetes (PCU - *Packet Control Unit*), bajo el control del MSC.

2.3.1. Nodo de soporte servidor de GPRS (SGSN)

El SGSN es uno de los componente principales de la red GPRS. Es el responsable del envío de paquetes desde y hacia las estaciones móviles. También provee la autenticación y registro y ubicación de los terminales que acceden a la red GPRS.

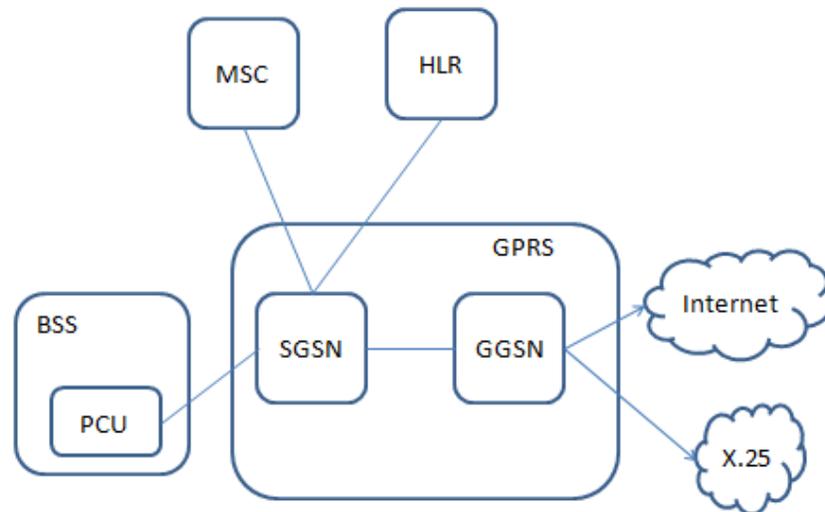


Figura 2.5: Estructura del Sistema de GPRS, y conexión con GSM “2G”

2.3.2. Nodo de soporte pasarela para GPRS (GGSN)

El GGSN es el responsable de la interconexión entre la red GPRS y las redes de paquetes externas (Internet o X.25). Provee el punto fijo de interconexión para las redes externas, ya que “esconde” la red GPRS de estas. Mantiene registro de la ubicación de las estaciones móviles a cada SGSN, y rutea las conexiones hacia estos. El GGSN también maneja la conversión de dirección entre los paquetes de datos (ya sea IP o X.25) y las direcciones de las estaciones móviles utilizadas en la red GPRS.

2.3.3. Unidad de control de paquetes (PCU)

La Unidad de control de paquetes realiza las tareas de control que realiza el BSS, pero para la red de datos. Una vez que se ha designado un canal para datos, la PCU toma el control de este, comunicándose directamente con el SGSN y el BCS.

Los Dispositivos móviles con soporte GPRS se pueden clasificar en tres clases:

Clase A Los dispositivos clase “A” pueden operar simultáneamente en la red GPRS y en GSM.

Clase B Los dispositivos clase “B” pueden operar tanto en la red GPRS como en GSM, pero no al mismo tiempo. El dispositivo debe cambiar entre las 2 redes, pero puede registrarse en la red para ambos servicios.

Clase C Los dispositivos clase “C” puede utilizar sólo servicios GPRS.

2.3.4. *Enhanced Data rates for Global Evolution (EDGE)*

El permitir el acceso a Internet desde los terminales mostró tener un gran potencial de crecimiento, pero las velocidades de transmisión de datos otorgados por *GPRS* se convirtieron rápidamente en una limitante. Para aliviar esta limitante sin necesidad de una modificación completa a la red, se agrega la utilización de modulación mediante desplazamiento de fases de ocho símbolos (8-PSK) para hasta 5 de los 8 canales de frecuencia utilizados por GSM junto con los canales en GSMK. Esto permite triplicar las velocidades de conexión otorgadas por *GPRS*, llegando hasta ancho de banda típico de alrededor de 400kbit/s, lo que la coloca dentro de la de la definición de la *ITU* para redes 3G[7]. Aún así, es considerada ampliamente como una tecnología de transición a 3G.

2.4. Redes 3G y posteriores

Debido a que las redes de segunda generación no estaban pensadas para suplir la demanda que se preveía por servicios de datos móviles, se desarrollaron tecnologías que permitiesen una mayor tasa de transferencias y así permitir expandir el rango de servicios que se otorgan en la red móvil.

2.4.1. *Universal Mobile Telecommunications System (UMTS)*

UMTS es la tecnología móvil de tercera generación sucesora de las redes GSM. Dentro de las modificaciones principales con respecto a GSM, está la utilización de W-CDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*) como tecnología de radio-acceso. Junto con esto el “core” de una red *UMTS* es menos dependiente de las tecnologías con las que otorga acceso a él, lo que permite servicios como el uso de “Pico Celdas” de acceso a datos que se conecten al core de la red mediante Internet.

Gran parte de la red *GSM/EDGE* es reutilizable en una red *UMTS*, cambiando el acceso a la red (Interfaces aéreas) y los equipos de control (*BSC* y *BTS*). A la red se agregan:

Nodo B Corresponde al reemplazo del *BTS*. Las diferencias con estos están en la tecnología (W-CDMA en el Nodo B, en contraste con GSMK y 8-PSK en *GSM/EDGE*)

RNC (*Radio Network Controller*) es el responsable del control de recursos de radio y señalización, junto con controlar en *handoff* de las celdas a su cargo. Es el equivalente al *BSC* en *GSM*.

Media Gateway (*MGW*) Realiza las labores de codificación de los datos que se envían a las redes a las que se conecta el terminal (PSTN, GPRS, UMTS, etc.) permitiendo la

comunicación multimedia.

High Speed Packet Access

HSPA engloba las modificaciones realizadas tanto en los canales de bajada (*High Speed Downlink Packet Access*) y de subida (*High Speed Uplink Packet Access*) de datos. Las mejoras en el uso del espectro se logran modificando la modulación (16-QAM), acortando el tamaño de los *frames* de datos, e incluyendo nuevas funcionalidades en el *RNC* y el *Nodo B*, como la retransmisión de paquetes, manejada directamente en el *Nodo B*, y la transmisión de bits de corrección (*HARQ*) que permiten evitar la retransmisión de paquetes con errores menores.

2.4.2. CDMA 2000

Este estándar también utiliza codificación CDMA, y corresponde a la evolución de las redes CDMA. En Chile no existen operadores utilizando esta tecnología.

2.4.3. Long Term Evolution

El desarrollo futuro de las redes móviles apunta a las redes de cuarta generación (*4G*). Las redes *GSM/UMTS* tienen la evolución natural en el estándar denominado *Long Term Evolution (LTE)*. Este apunta a otorgar velocidades de hasta 100 Mbps en el *downlink*, y de hasta 50 Mbps en el *uplink*. Para esto, se utiliza *Frecuency-division Duplexing*, en el que se separan las portadoras de las señales transmisoras y receptoras, y *Time-division Duplexing*, en el que se hace diferente uso de los slots de frecuencia que se utilizan tanto en el *downlink* como en el *uplink*. Junto con eso, se propone una arquitectura completamente basada en IP para la red, reemplazando tanto al core *GPRS* como al *NSS* de la red de telefonía móvil.

2.5. Signaling System #7

El *Sistema de Señalización N° 7* es un conjunto de protocolos utilizado principalmente para labores de control dentro de la red telefónica. Junto con permitir la conexión y desconexión de llamadas, *SS7* permite otros servicios de telefonía como[8]:

- Numeración sin cargo (800).
- Portabilidad numérica.
- Identificación de llamada.

- Movilidad en redes celulares. Roaming.
- Servicio de Mensajería Corta (SMS).

La infraestructura que otorga los servicios de *SS7*, consiste de nodos, llamados *Signaling Points (SP)*, que se comunican entre sí mediante enlaces dedicados a la comunicación inter-nodal. Hay tres tipos de *SP*: Los nodos de enrutamiento, llamados *Signal Transfer Point (STP)*, que se dedican a la transferencia de mensajes *SS7* entre otros nodos. Los nodos de conmutación (*Service Switching Point (SSP)*), que funcionan como terminales. Procesan el tráfico de voz o datos, junto con las labores de señalización. Estos nodos sólo “finalizan” mensajes, no siendo capaces de retransmitirlos. Por último, están los nodos de control (*Service Control Point (SCP)*), los que actúan como interfaz entre las bases de datos operacionales y la red *SS7*. Mediante ellos se puede acceder a la información que permite realizar la conversión del número discado a un móvil en la red, junto con información de aprovisionamiento de servicios, saldo, etc., de la red telefónica.

2.5.1. Mobile Application Part (MAP)

El protocolo *MAP* es parte de la familia de protocolos *SS7*, pero orientado a servir las particularidades de las redes móviles. Estas necesitan de un volumen de señalización mucho mayor que las redes de línea fija, ya que se debe manejar la variación de ubicación de los terminales al conectar una llamada, y realizar los *handoff* cuando el terminal se mueve de ubicación mientras se realiza la llamada sin intervención alguna del usuario final. Es *MAP* el protocolo bajo el que se realiza la comunicación intra e inter *NSS* en la red móvil.

2.6. Tráfico en una Red Telefónica

El diseño de las redes telefónicas necesita conocer el uso esperado de esta, para poder así dimensionar el equipamiento necesario para prestar un servicio adecuado sin desperdiciar recursos. Esta planificación se realiza utilizando principalmente Teoría de Colas. En particular, dado que nos interesa el tráfico en un circuito telefónico, se utiliza la fórmula de Erlang B.

2.6.1. Modelo de sistema telefónico

Como ya se dijo, el sistema telefónico se modela como una cola, con algunos parámetros característicos del sistema. En este caso, la cola corresponde a una *M/M/S/N* en notación de Kendall. Esto indica:

- M: La entrada a la cola corresponde a un proceso de *Poisson*.
- M: El tiempo que se toma un proceso en ser atendido es exponencial.
- S: El número de “*servidores*” atendiendo las solicitudes que ingresan a la cola.
- N: El número de máximo de solicitudes en el sistema, incluyendo aquellas que quedan en espera. Corresponde a $S + b$, donde b es el tamaño del buffer de espera.

2.6.2. Procesos de *Poisson*

Un proceso de *Poisson* es un proceso cuyos eventos ocurren independientes entre sí, y tal que los eventos ocurridos entre los tiempos a y b , denotados por $N(b) - N(a)$ cumplen una distribución de *Poisson*:

Sea un proceso N que cumple:

- $N(0) = 0$
- Los incrementos de $N(t)$ son Independientes entre sí, y estacionarios (dependen sólo del largo del Intervalo de tiempo)
- El número de eventos en un intervalo de tiempo Δt está dada por una distribución de *Poisson* de tasa $\lambda \Delta t$. λ es un parámetro del proceso.

Cumpliendo esto, la probabilidad $p(k)$ de que se produzcan k eventos en un intervalo está dado por:

$$p(k) = \frac{(\lambda T)^k e^{-\lambda T}}{k!}, k = 0, 1, 2, \dots \quad (2.1)$$

El valor esperado de esta distribución está dado por:

$$E(T) = \sum_{i \in \mathbb{N}} kp(k) = \lambda T \quad (2.2)$$

2.6.3. Distribución exponencial

La distribución exponencial describe la duración de los intervalos entre “llegadas” de un proceso de *Poisson*. La función de densidad de probabilidad de la distribución exponencial está dada por:

$$f(t; \lambda) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda t}, & t \geq 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases} \quad (2.3)$$

El valor esperado es entonces:

$$E(t) = \int_{\mathbb{R}} x f(t; \lambda) dt = \frac{1}{\lambda}$$

2.6.4. Erlang B

Si el sistema telefónico está modelado por una cola M/M/S/N, en la que el tamaño del buffer de espera es cero ($\lambda_k = 0 \forall k > N$). Además, si la tasa de “desocupación” está dada por μk , con k el número de llamadas actuales siendo atendidas en el sistema, se tiene:

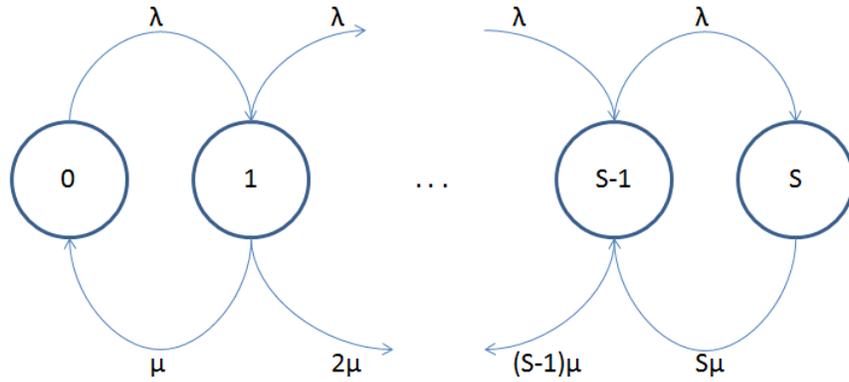


Figura 2.6: Diagrama de transición de estados para la cola M/M/S/N

Las expresiones para las probabilidades de cada estado de la cadena de Markov ilustrada en 2.6, dado $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$ son:

$$\begin{aligned}
 P_1 &= \rho P_0 \\
 P_2 &= \frac{\rho}{2} P_1 = \frac{\rho^2}{2} P_0 \\
 P_3 &= \frac{\rho}{3} P_2 = \frac{\rho^3}{3!} P_0 \\
 &\vdots \\
 P_S &= \frac{\rho}{S} P_{S-1} = \frac{\rho^S}{S!} P_0
 \end{aligned}$$

Sumando las probabilidades:

$$\sum_{n=0}^S P_n = 1 = P_0 + \sum_{n=1}^S \frac{\rho^n}{n!} P_0$$

$$P_0 = \left(\sum_{n=0}^S \frac{\rho^n}{n!} \right)^{-1} \quad (2.4)$$

Dadas las características del sistema, cuando llega una llamada con $n > S$, esta no podrá ser atendida, y deberá ser rechazada. La probabilidad de que esto ocurra, nos da la

probabilidad de bloqueo para el sistema, que se obtiene de la ecuación 2.4:

$$P_b(S, \rho) = \frac{\rho^S}{S! \sum_{n=0}^S \left(\frac{\rho^n}{n!}\right)} \quad (2.5)$$

2.7. Servicios de Telecomunicación de Emergencia

En situaciones de crisis, como las presentados en caso de terremotos, los servicios de telecomunicaciones toman un rol preponderante, debido a la necesidad del público general de conocer el estatus de sus seres queridos. Así, junto con los posibles daños que pueda haber sufrido la red debido al evento que causa la crisis, esta se ve saturada por usuarios intentando comunicarse. Junto a estos usuarios, existe un grupo menor de personas que necesitan llevar a cabo labores de comunicación y coordinación de los esfuerzos necesarios para poder enfrentar la emergencia. Para ellos, el poder comunicarse de manera confiable entre sí, y con algún organismo central de coordinación (por ejemplo, la ONEMI), y contar con el servicio es de importancia *vital*, ya que sus esfuerzos están orientados a salvar vidas y restablecer el orden.

2.7.1. Principios de una red de emergencia

Para llevar a cabo esta labor, los usuarios involucrados en la resolución de situaciones de emergencia, dependen cada día más de las redes de telecomunicaciones de uso general (PSTN, y recientemente red celular). Sin embargo en Chile las redes de telecomunicaciones de uso público no cuentan con la preparación necesaria para poder enfrentar estas situaciones, y sólo recientemente se está tomando en cuenta esto por parte del gobierno [9].

Los aspectos fundamentales que se deben considerar en una red de telecomunicaciones para permitirle otorgar el *Servicio de Telecomunicaciones de Emergencia (ETS)* son [3]¹:

1. Un usuario de la *ETS* debe poder utilizar su terminal usual de telecomunicaciones para iniciar una llamada o sesión de *ETS* durante una situación de crisis o emergencia.
2. Una red de origen nacional puede utilizar varios métodos para identificar una solicitud de usuario de *ETS* para iniciar una comunicación *ETS*.
3. Las *ETS* están diseñadas para suplir las necesidades de los usuarios de *ETS* autorizados. Como son autenticados y autorizados estos usuarios es cuestión nacional.

¹El documento nombra además las características necesarias para que las implementaciones de los Sistemas de Telecomunicaciones de Emergencia puedan interoperar entre países, pero eso cae fuera del ámbito de esta memoria.

4. Una llamada telefónica u otra sesión de comunicación considerada *ETS* debe ser proveída de un trato prioritario durante toda su duración (“*end to end*”). Este trato prioritario debe consistir de mecanismos de priorización y otras características aplicables a los diferentes aspectos de la comunicación:

Tratamiento prioritario: Los mecanismos de priorización pueden incluir el establecimiento prioritario de llamadas o sesiones, el acceso a recursos adicionales, y eximir a las llamadas de controles restrictivos que pudiesen existir para la administración de tráfico. El cancelar una llamada o sesión ya en curso queda como decisión de las autoridades de cada país.

Interconexión de Redes y Protocolos: Se debe asegurar la transmisión de la señalización de los indicadores de *ETS* entre los diferentes “bordes” de las redes, y debiese asegurarse el trato prioritario a las *ETS*.

5. Un usuario *ETS* debe ser capaz de comunicarse con cualquier otro usuario disponible.
6. Queda a criterio de los distintos gobiernos la aplicación de diferentes niveles de prioridad, y de ser así, cuantos utilizar y con que criterio asignarlos.
7. Si una red, o algún elemento de una red, no es capaz de distinguir una solicitud etiquetada como *ETS* de una solicitud normal, el enrutamiento de la solicitud *ETS* debe continuar normalmente, y cualquier marca asociada con la solicitud *ETS* debe ser retransmitida de ser posible.

2.7.2. *High Probability of Completion*

Considerando los requerimientos que debe tener en cuenta una Red que preste Servicios de Emergencia, la ANSI definió las características técnicas que debe cumplir este sistema para la PSTN, definiendo las llamadas como de “*Alta probabilidad de Completitud*” (*HPC*) [10, 11]

- La llamada debe ser marcada como *HPC* si el número receptor de la llamada corresponde a uno de los 5 patrones predefinidos.
- La llamada debe ser marcada como *HPC* si la categoría (*CPC*^{II}) del mensaje inicial (*IAM*^{III} está marcado como una llamada de emergencia (NS/EP)^{IV}.
- Las llamadas salientes marcadas como *HPC* deben fijar la prioridad del mensaje inicial (*IAM*) a “1”. En cualquier otro caso, la prioridad debe ser fijada en “0”.

^{II}Calling Party Category

^{III}Initial Address Message

^{IV}National Security/Emergency Preparedness

- Las llamadas salientes marcadas como *HPC* deben fijar la categoría (*CPC*) del mensaje inicial (*IAM*) saliente como de emergencia (*NS/EP*).
- Las llamadas marcadas como *HPC* deben estar exentas de la opción “*cancel-to-control*” utilizada en el Control Automático de Congestión (*ACC*).
- Las llamadas *HPC* deben estar exentas del control de sobrecarga de la central (*SPC* overload control), excepto cuando la directiva solicite detener *todas* las llamadas.
- Las llamadas marcadas como *HPC* que finalicen en un trunk ocupado deben ser puestas en una cola FIFO por un tiempo predefinido, para utilizar el próximo canal disponible.
- Las llamadas marcadas como *HPC* que han sido encoladas por más del tiempo pre-determinado, deben ser puestas en el próximo grupo de trunking disponible.
- Las llamadas marcadas como *HPC* no deben ser sujetas a los siguientes controles para manejo de tráfico (*NTM*):
 - Control Manual de Código.
 - Control Manual para Cancelar.
 - Cancelación para el Control Automático de Congestión (*ACC*).
 - Cancelación por Reservación de Trunk (*TR*).
 - Control Selectivo de Carga Entrante (*SILK*).
- Las llamadas marcadas como *HPC* deben ser sujetas a los siguientes Controles para Manejo de Tráfico:
 - Control de Omisión Manual.
 - Omisión del Control Automático de Congestión.
 - Omisión del Control por Reservación de Trunk.
 - Control de Reenrutamiento.
 - Control de Solicitud de Cancelación.
- Las mediciones de los niveles de actividad de llamadas *HPC* deben ser realizados tanto a nivel departamental como a nivel de *Trunks* de la red.

Estas características permiten otorgarle a las llamadas que sean marcadas como *HPC* una mayor probabilidad de ser conectadas.[12]

2.7.3. *Government Emergency Telecommunications Service (GETS)*

El Gobierno de los Estados Unidos de América, utilizando los servicios que definidos por la *High Probability of Completion*, otorga un servicio llamado “*Government Emergency Telecommunications Service (GETS)*”[13], mediante el cual se le otorga a personal de organizaciones gubernamentales de cualquier nivel, y también al personal de las organizaciones no gubernamentales (ONG) que lo soliciten, acceso preferencial a la red de telefonía (*PSTN*). Para otorgar este servicio, el gobierno, a través del Departamento de Seguridad Nacional (*Department of Homeland Security*) impone la implementación de los protocolos de *HPC* a los proveedores de servicios telefónicos locales y de larga distancia. El acceso a los servicios se hace llamando a un número de acceso preestablecido, y el usuario se identifica mediante un número de identificación personal (*PIN*). Una vez identificado el usuario, se genera la llamada que recibe tratamiento especial.

2.7.4. *Servicios de Emergencia en Redes Móviles*

Debido a la ubicuidad de los servicios de telefonía móvil, estos se han convertido en el punto de acceso principal a las redes de telecomunicaciones para todo tipo de usuarios, por lo que también se hace necesario contar con sistemas y procedimientos que permitan asegurar el acceso a estas por parte de los usuarios de la *ETS*.

Wireless Priority Service (WPS)

El gobierno Norteamericano implementa para este efecto un sistema de priorización denominado “*National Wireless Priorization Service*”. Bajo este esquema, los usuarios del sistema deben prefijar el número de destino con un código de servicio para poder acceder obtener prioridad en la llamada. La identificación del usuario se hace mediante el mismo aparato.[13]. La administración de estos cae en el *DHS*, al igual que para *GETS*

Mobile Telecommunication Privileged Access Scheme (MTPAS)

El gobierno británico también implementa un procedimiento que permite acceder con mayor prioridad a la red móvil en caso de emergencias. En este caso, el esquema de acceso privilegiado se habilita por celda de la red móvil, y los equipos que tengan habilitada la utilización de este (con una SIM que tenga el servicio habilitado) lo usan automáticamente[14]. A los móviles que no cuentan con la autorización se les deniega parcialmente^v el acceso a la red. La solicitud de habilitación del esquema se hace desde el escalafón más alto de la línea de comando utilizada para el control de incidentes, quien instruye a los diferentes operadores móviles para activar el acceso privilegiado en la zona donde ha ocurrido el incidente.

^vLas llamadas a números de emergencia siguen siendo cursadas.

Capítulo 3

Metodología

3.1. Introducción

El problema de priorizar acceso a ciertos usuarios en la red de telefonía móvil es tanto un problema de priorización del tráfico mismo como un problema de acceso a un recurso restringido (la interfaz de aire que da acceso a la red móvil). Por esto, es necesario detallar ciertos supuestos que permiten abordar el problema.

3.2. Tráfico en una Celda

Los usuarios que necesitan hacer uso de las redes de telecomunicación en caso de emergencia (usuarios *NS/EP* en la terminología *GETS*) constituyen un porcentaje minoritario de los usuarios totales de las redes de telecomunicaciones en general[12]. La telefonía móvil además presenta la dificultad adicional del acceso al medio. Debido a que las celdas no están dimensionadas para poder servir a todos los usuarios al mismo tiempo, en los eventos en los que exista un aumento de tráfico, no solo se producirá congestión en la red core (líneas de *Trunking*, etc.), sino que también habrá usuarios con dificultades de acceso a los slots de servicio de la antena. En este caso el usuario puede ver que el “nivel de señal” es adecuado para realizar una llamada, pero que la red está ocupada cuando intenta realizarlo. Para este caso, la solución que toma el *MTPAS* británico es dejar la decisión de realizar la llamada a la *SIM*[15]. Esto supone que las *SIM* tienen la implementación que *MTPAS* requiere para determinar que se encuentra activado el esquema de acceso privilegiado, y que son “confiables” (i.e. que no están modificadas para no respetar las prioridades fijadas por el *MTPAS*). La solución de *WPS* no contempla la priorización del acceso al medio, por lo que puede dejar sin servicio a usuarios prioritarios si es que las celdas no tienen capacidad en los canales de acceso para tomar nuevas conexiones a ellas. Como este caso constituye un caso relevante a la hora de priorizar el acceso, y permite simplificar el problema de acceso a la red, se tomará el caso de que existe una celda de acceso a la red móvil, y es en esta

celda donde se controlará el acceso.

Debido a que no se tiene acceso a una celda de red móvil, se simulará el acceso a ella mediante *software* disponible libremente. Para poder simular el acceso a una *NSS* se utilizará *OpenBTS*, el que utiliza para las labores de ruteo a *Asterisk* como *backend*.

3.3. OpenBTS

OpenBTS[16] es un software de código abierto que permite presentarle la interfaz *Um* a un terminal GSM, sin hacerle ningún tipo de modificaciones a este. Para *rutear* las llamadas que se generen en los terminales utiliza la plataforma *Asterisk* como *PBX*. *OpenBTS* no corresponde a una implementación completa de una red GSM, sino que es la implementación de *hardware* y *software* de una *BSS*. Esta permite desplegar una red celular simple, en la que una antena se conecta directamente a una *PBX*. Con una sola antena ya es posible cursar llamadas GSM entre móviles conectados a estas, y también cursar llamadas al exterior mediante los enlaces de *trunking* con los que cuente la *PBX*. Esta característica permite modelar un *NSS* de una red móvil simple (de una antena) con pocos implementos. Para esto *OpenBTS* utiliza un *framework* de acceso a *hardware* de radio frecuencia (*RF*) que le permite independizarse del *hardware* que provee la interfaz *Um*

3.3.1. GNU Radio

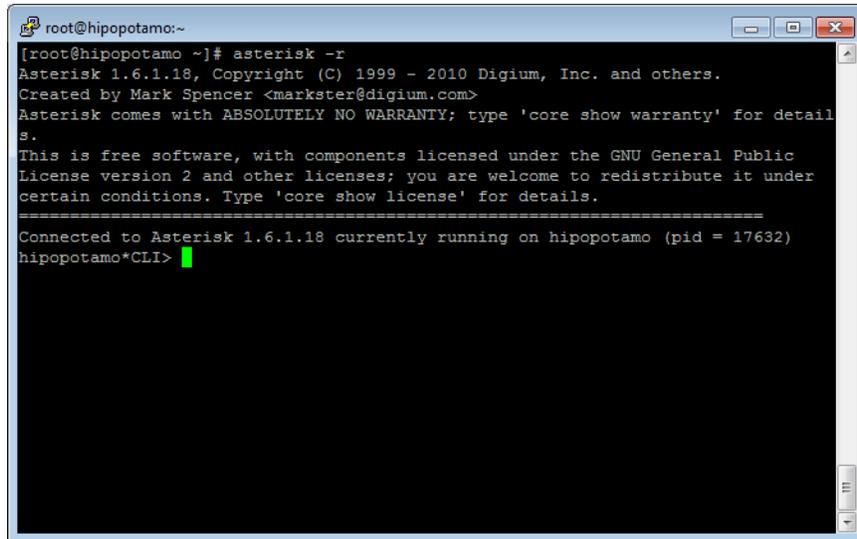
GNU Radio es el framework en el que *OpenBTS* se apoya para obtener acceso a la interfaz *Um*. *GNU Radio* provee la interfaz con el *hardware*, y permite definir mediante *software* el tipo de modulación de la señal, independizando a la plataforma del acceso al medio.

3.3.2. Hardware

Para la comunicación de *OpenBTS* con los terminales, es necesario además el acceso al medio. La forma más directa de acceder al medio es mediante la *Universal Software Radio Peripheral (USRP)*, *hardware* que provee la interfaz para acceder a las señales *RF*. *USRP* utiliza una colección de *daughterboards* que proveen la interfaz necesaria para modular la señal de salida a la frecuencia necesaria, o para poder obtener la señal recibida sin la portadora. Existen varios modelos que permiten hacer interfaz con distintas frecuencias, incluidas las de GSM 900/1800.

3.3.3. Asterisk

Asterisk[17] es una implementación en *software* de una central telefónica (*PBX*) que permite realizar llamadas, ya sea mediante Voz sobre IP (*VoIP*), o directamente a la *PSTN* utilizando los enlaces de *trunking* de la *PBX*. *Asterisk* provee de servicios como Correo



```
root@hipopotamo:~  
[root@hipopotamo ~]# asterisk -r  
Asterisk 1.6.1.18, Copyright (C) 1999 - 2010 Digium, Inc. and others.  
Created by Mark Spencer <markster@digium.com>  
Asterisk comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY; type 'core show warranty' for details.  
S.  
This is free software, with components licensed under the GNU General Public  
License version 2 and other licenses; you are welcome to redistribute it under  
certain conditions. Type 'core show license' for details.  
=====  
Connected to Asterisk 1.6.1.18 currently running on hipopotamo (pid = 17632)  
hipopotamo*CLI>
```

Figura 3.1: Consola de *Asterisk*

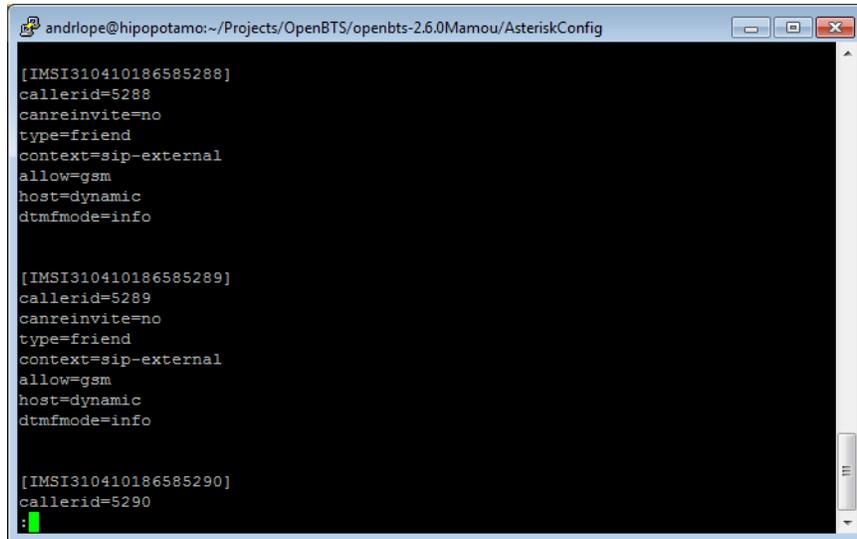
de Voz, Conferencias, respuestas interactivas de voz (*IVR*) y otros servicios asociados a una *PBX*. *OpenBTS* utiliza *Asterisk* para rutear las llamadas, ya sea entre los terminales conectados a la misma *BTS*, o mediante el mismo *Asterisk* a otras rutas. *OpenBTS* permite a conectarse a los terminales *GSM* a una *PBX Asterisk* como un terminal más.

El *Dialplan*

La configuración de que hacer con las llamadas en *Asterisk* se realiza mediante un “Plan de Llamadas” (*dialplan*). Es en este *dialplan* donde se realiza el aprovisionamiento de los móviles, la autorización de llamadas, y el ruteo entre la *PBX* y cualquier otra conexión que pudiese tenerse.

3.4. Priorización de Usuarios

Para las pruebas se propone un esquema similar al utilizado por el *MTPAS* británico, en que la decisión de realizar o no la llamada es tomada a nivel del usuario, sin que este deba hacer modificación alguna de su patrón de llamadas (el caso del esquema utilizado por *WPS*). Pero a diferencia de *MTPAS*, se deja la decisión de si cursar o no la llamada a la red misma, y no a cada terminal. Para esto, el acceso sería controlado a nivel del *NSS* de la red. Al igual que en ambos esquemas, una autoridad central debiese autorizar la utilización del sistema por personal que realmente necesitase de acceso prioritario a la red (idealmente sólo personal relacionado con labores *NS/EP*). En el sistema norteamericano, esta responsabilidad recae en el *DHS*, mientras que en el esquema británico es cada localidad



```
androlpe@hipopotamo:~/Projects/OpenBTS/openbts-2.6.0Mamou/AsteriskConfig
[IMSI310410186585288]
callerid=5288
canreinvite=no
type=friend
context=sip-external
allow=gsm
host=dynamic
dtmfmode=info

[IMSI310410186585289]
callerid=5289
canreinvite=no
type=friend
context=sip-external
allow=gsm
host=dynamic
dtmfmode=info

[IMSI310410186585290]
callerid=5290
```

Figura 3.2: Ejemplo de *Dialplan* de *Asterisk*

quien debe administrar los usuarios. Esto es así ya que el *MTPAS* requiere más recursos (los usuarios utilizan una *SIM* especial que les permite realizar llamadas cuando la celda a la que se conectan está bajo el esquema (*MTPAS*)), y debido a que la habilitación de los esquemas se realiza granularmente para las localidades que lo requieran. La decisión de si realizar o no la llamada en este caso se realizará mediante el *dialplan* de *Asterisk*, lo que permite no sólo dar prioridad a las llamadas, sino que también adoptar esquemas que permitan seguir otorgando el servicio a los usuarios que no tengan prioridad para la utilización de la red telefónica, permitiendo dar la opción de cursar llamadas pero de terminarlas en un tiempo corto, para permitir la comunicación de los usuarios.

3.4.1. Implementación

Para poder implementar la priorización de usuarios se utiliza la configuración de *Asterisk* para diferenciar a los usuarios que tienen o no prioridad en la instalación de *OpenBTS*. Notar que para los usuarios de terminales *GSM*, el estar conectados a *OpenBTS* es transparente, y que para la configuración de *Asterisk*, los terminales *GSM* de *OpenBTS* son terminales *SIP*. Para realizar la diferenciación, la identificación se realiza mediante el *IMSI* de la *SIM* conectada al terminal, que es pasada desde *OpenBTS* al *Asterisk* como identificador del terminal.

El modelo que se propone supone una modificación del *dialplan* para la situación de emergencia. En este caso, el *dialplan* se altera para permitir el acceso a los usuarios prioritarios, y para restringir el acceso a los usuarios con prioridad baja. La modificación del *dialplan* se puede realizar de modo tal que no se cursen las llamadas que realizan desde

*IMSI*s no prioritarias, o permitirles cursar llamadas, pero asignarles un *timeout* agresivo para liberar rápidamente los canales, pero permitiendo que exista comunicación del resto de los usuarios.

```
[IMSI0000000000000000]
canreinvite=no
type=friend
context=sip-external
allow=gsm
host=dynamic
dtmfmode=info
```

Figura 3.3: Ejemplo de definición de terminal en el *dialplan* de *Asterisk*

Para definir la situación de emergencia, se utilizará una macro en el *dialplan* que verifica el estatus, y decide si cursar o no la llamada dependiendo de la identidad del terminal originante de esta.

Debido a la dificultad utilizar el hardware *USRIP* (por costo de este y acceso a las frecuencias *GSM*), no se simulará utilizando terminales *GSM* directamente.

Capítulo 4

Resultados

En este capítulo se presentan y discuten los resultados de las simulaciones obtenidas en la ejecución de este estudio. Se consideró como celda modelo una celda con ocho canales disponibles. Para la condición “Normal” se consideró la distribución de las llamadas corresponde a un proceso de *Poisson*. Los parámetros de esta depende de la situación que se quiera simular. Para el escenario de “emergencia”, en el que se intenta realizar muchas llamadas de forma casi simultanea, también se utiliza un proceso de *Poisson*, pero considerando $\lambda \rightarrow 0$

4.1. Simulaciones

4.1.1. Tráfico normal para una celda

El caso base corresponde al tráfico “Normal” para una celda bajo condiciones de operación normales. Se considera el tráfico dado por una distribución de *Poisson* con $\lambda = 5$. Las llamadas tienen una duración media de 30 segundos ($\mu = \frac{1}{30}$).

Simulación	Porcentaje Llamadas Bloqueadas (%)	Promedio Llamadas en Celda	Erlang B
1	5,0	4,0	1,22
2	0,0	5,0	1,22
3	0,0	4,0	1,22
Promedio	1,67	4,33	1,22

Tabla 4.1: Simulaciones para Tráfico normal

En este caso no se hace diferencia entre terminales con o sin prioridad. El porcentaje de bloqueo de llamadas considera tanto a las llamadas originadas desde terminales con y sin priorización. Como es de esperarse, existe bloqueo de llamadas, pero dado el dimensionamiento de la celda, este no supera el cinco porciento. Aunque este valor es alto, los valores

reales para una celda son alrededor del uno por ciento[18].

4.1.2. Sin priorización

En el caso de existir una situación de emergencia, sin priorización, se tiene que tanto las llamadas de usuarios “normales” como las de los usuarios catalogados como *NS/EP* compiten por el acceso a la red móvil. El número de llamadas es muy superior al normal, lo que se traducirá en un mayor número de llamadas bloqueadas. Para este caso, las llamadas se generan mediante un proceso de *Poisson*, pero con $\lambda \rightarrow 0$. La duración promedio de las llamadas se mantiene con respecto al caso anterior. [h]

Simulación	Porcentaje Llamadas Bloqueadas	Promedio Llamadas en Celda	Erlang B
1	60,0	8,0	1,22
2	61,0	8,0	1,22
3	78,0	8,0	1,22
Promedio	66,33	8,0	1,22

Tabla 4.2: Simulación para gran aumento de tráfico, sin priorización

En este caso, el número de llamadas bloqueadas es mayor al cincuenta por ciento. Esta es la situación típica de saturación de una red que no está diseñada para acceso concurrente de todos sus usuarios, como lo son la gran mayoría de las redes móviles.

4.1.3. Comportamiento para bloqueo total de terminales no priorizadas

Para el caso en el que las llamadas no priorizadas se bloquean absolutamente se tiene

Simulación	Porcentaje Llamadas Bloqueadas	Promedio Llamadas en Celda	Erlang B
1	99,0	1,0	86,9
2	99,0	1,0	86,9
3	99,0	1,0	86,9
Promedio	99,0	1,0	86,9

Tabla 4.3: Simulación para aumento de tráfico, con bloqueo de terminales no priorizados

En este caso, el bloqueo de los terminales no prioritarios cumple el objetivo de facilitar el acceso a los usuarios *NS/EP*, a costo de un desperdicio de recursos disponibles. Cabe recordar que en una situación de emergencia los usuarios “normales”, desean comunicarse no por una necesidad espuria, si no que a causa de la misma emergencia. Aunque es razonable

postular que las necesidades de los encargados de coordinar la respuesta a la emergencia son mayores a estos, el bloquear completamente el acceso está más allá de las medidas estrictamente necesarias para la situación.

4.1.4. Comportamiento para caso terminales no priorizados pueden realizar llamadas cortas

En el caso de que se permita realizar llamadas a los terminales no priorizados, pero estas se limitan en su duración. La generación de las llamadas se rige por un proceso de *Poisson* con $\lambda \rightarrow 0$, con una duración media de treinta segundos, pero en este caso se permite cursar llamadas a todos los usuarios si la red tiene recursos disponibles, pero a aquellos que son identificados como *no prioritarios*, se les limita la duración de la llamada.

Porcentaje Llamadas con Prioridad	Total Llamadas Cursadas	Llamadas Bloqueadas	Porcentaje Llamadas prioritarias Cursadas
1	200	11,0	100,0
2	200	14,5	91,7
5	200	27,0	90,0
10	200	44,0	86,9
15	200	58,0	74,2
20	200	48,0	76,7

Tabla 4.4: Simulación para aumento de tráfico, Se permite realizar llamadas cortas a terminales no priorizados (porcentaje llamadas con prioridad: 1 %; duración llamadas no prioritarias)

El largo de las llamadas no priorizadas se dejó fijo en un 16,7 % de la llamada promedio ($\frac{1}{\mu}$).

La distribución que se obtiene se muestra en la figura 4.1

Como se puede ver en esta, si el porcentaje de llamadas priorizadas se mantiene bajo (entre un uno o dos por ciento), se puede mantener el servicio bajando significativamente el número total de llamadas desconectadas.

4.1.5. Reserva de Capacidad para terminales con prioridad

En este caso, se reserva parte de la capacidad total de la *BTS* para atender solamente a solicitudes provenientes de terminales con prioridad.

En la figura 4.2 se puede apreciar el efecto de reservar un porcentaje de los canales disponibles para las llamadas prioritarias. Se puede ver que si la reserva es muy alta, se bloquea un porcentaje importante de llamadas. Además, en la tabla 4.5 se puede apreciar

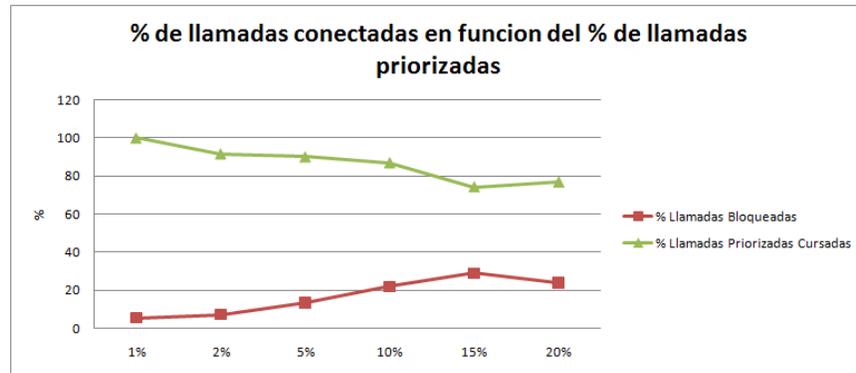


Figura 4.1: Distribución de las llamadas Cuando se limita la duración de las llamadas no priorizadas.

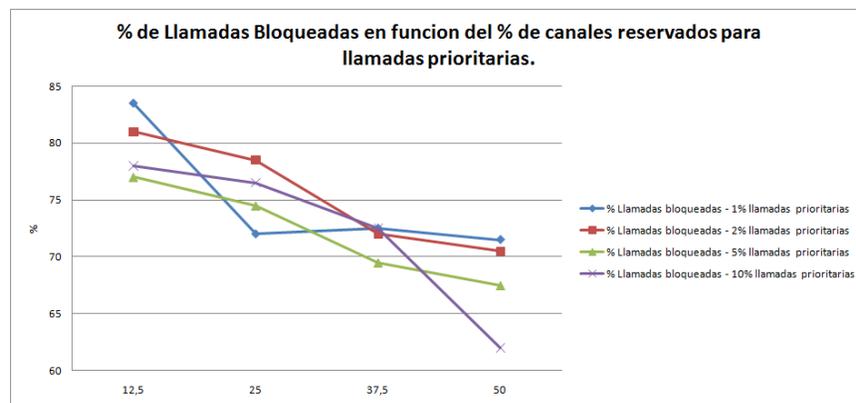


Figura 4.2: Distribución de las llamadas cuando se limita el número de canales para las llamadas no priorizadas. (Eje no cruza el cero)

que si se logra cursar todas las llamadas prioritarias, a excepción de cuando el volumen de estas es muy alto, ya que comienzan a competir entre sí por recursos.

Porcentaje Llamadas con prioridad	Total Llamadas Cursadas	Porcentaje canales reservados para llamadas prioritarias	Porcentaje Llamadas Bloqueadas	Porcentaje Llamadas Prioritarias Cursadas
1	200	50,0	83,5	100,0
1	200	37,5	72,0	100,0
1	200	25,0	72,5	100,0
1	200	12,5	71,5	100,0
2	200	50,0	81,0	100,0
2	200	37,5	78,5	100,0
2	200	25,0	72,0	100,0
2	200	12,5	70,5	100,0
5	200	50,0	77,0	100,0
5	200	37,5	74,5	100,0
5	200	25,0	69,5	100,0
5	200	12,5	67,5	85,7
10	200	50,0	78,0	86,2
10	200	37,5	76,5	82,8
10	200	25,0	72,5	72,4
10	200	12,5	62,0	72,4

Tabla 4.5: Reserva de capacidad para terminales con prioridad

Capítulo 5

Conclusiones

La necesidad de ser capaces de responder adecuadamente a situaciones de emergencia por parte de las agencias de gobierno y de otras instituciones con esta labor es preponderante, más aún ya que en situaciones normales la velocidad de respuesta es alta. Esta velocidad se debe al amplio uso de herramientas de comunicación que permiten agilizar los diferentes procesos.

En el trabajo se puede apreciar que existen estrategias para poder implementar acceso prioritario a su red, siguiendo dos estrategias diferentes como es el caso *WTS* y *MTPAS*. Aunque el caso de *WTS* es más simple de implementar en la red móvil, no resuelve los problemas de acceso a la red en sí.

De los resultados se ve claramente que es preferible contar con alguna estrategia para manejar el tráfico en la red cuando existe algún tipo de emergencia. Las simulaciones que implementan limitantes en el tiempo de las llamadas en curso muestran una mejoría sustantiva en la tasa de llamadas cursadas. Dado que la naturaleza de la mayoría de las llamadas cursadas bajo esta situación por usuarios normales de la red es de carácter informativo, es decir, busca recopilar información sobre el estado de los seres queridos del usuario, es relevante que esta tasa de conexión se mantenga alta, no tanto así que la duración sea extendida. Desde el punto de vista de los usuarios es preferible tener un mínimo de información a no tener nada.

Para las simulaciones realizadas, se puede apreciar que la estrategia con los resultados más interesantes es la de limitar el uso de la red por parte de los usuarios no privilegiados, pero no eliminando por completo el acceso. Esto les permite utilizar el servicio, y a su vez permite otorgar el acceso que tanto necesitan los usuarios *NS/EP*.

El limitar el uso de recursos en forma muy agresiva es perjudicial para los usuarios en general, ya que se quedan sin servicio, y en el caso de la limitación de acceso total, también para la red, ya que no se está haciendo uso de ella, lo que se traduce en capacidad instalada desperdiciada.

5.1. Trabajo Futuro

Las situaciones descritas anteriormente aún distan de configurar a cabalidad la situación de una red móvil en casos de emergencia. Estas sólo corresponden a una primera aproximación al problema. Tomar en cuenta la interacción de varias celdas, es un primer paso para poder modelar el comportamiento de la red.

Por otro parte, en este trabajo se toca de forma tangencial el potencial de poder armar una red *GSM* de bajo costo. Aunque en nuestro país la cobertura celular es adecuada, el poder extender esta aún más a localidades aisladas de este, proveyendo a estas con comunicación de relativo bajo costo dentro de la misma comunidad, es un tema que merece de una mirada más profunda.

Bibliografía

- [1] “*La comunicación Humana*”. <http://www.sidar.org/acti/jorna/4jorna/ivponen/imagenac/ponencia.htm>.
- [2] SubTel Chile. “*Infomación Estadística de Abonados Móviles*”. http://www.subtel.cl/prontus_subtel/site/artic/20080509/asocfile/20080509130640/1_abonados_moviles_mar10_180510v2.xls, Mar 2010.
- [3] ITU-T. “*Emergency Telecommunications Service (ETS) and interconnection framework for national implementations of ETS - E.107*”. Technical report, International Telecommunications Union, Feb 2007.
- [4] GSM Association. “*GSM World Statistics*”. http://www.gsmworld.com/newsroom/market-data/market_data_summary.htm, 2010.
- [5] “*Base station subsystem*”. http://en.wikipedia.org/wiki/File:Gsm_structures.svg.
- [6] Jaime Espinoza. “*Dimensionamiento de la capacidad y caracterización de la calidad de una red GPRS*”. Master’s thesis, Universidad de Chile, 2007.
- [7] International Telecommunication Union. “*What really is a Third Generation (3G) Mobile Technology*”. http://www.itu.int/ITU-D/imt-2000/DocumentsIMT2000/What_really_3G.pdf.
- [8] Lee Dryburgh and Jeff Hewett. *Signaling System No. 7 (SS7/C7): Protocol, Architecture, and Services*. Cisco Press, August 2004.
- [9] Camara de Diputados de Chile. “*Aprueban Proyecto que Establece la Continuidad de las Telecomunicaciones en Situaciones de Emergencia*”. http://www.camara.cl/prensa/noticias_detalle.aspx?prmid=40395.
- [10] ANSI. “*Signaling System No. 7 (SS7): High Probability of Completion (HPC) Network Capability*”. ANSI T1.631, 1993.
- [11] André LeBon. “*Canadian High Probability of Completion - Feasibility Study*”. [http://www.ic.gc.ca/eic/site/et-tdu.nsf/vwapj/hpc_study.pdf/\\$FILE/hpc_study.pdf](http://www.ic.gc.ca/eic/site/et-tdu.nsf/vwapj/hpc_study.pdf/$FILE/hpc_study.pdf), 2003.

-
- [12] Patrick V. McGregor, Jansen Szeto, and Frank Surazi. “*Performance Modeling of High Probability Call-Completion Features*”. In *Computer Communications and Networks, International Conference on*, pages 81–90, 1998.
- [13] United States National Communications System. “*Government Emergency Telecommunications Service*”. <http://gets.ncs.gov>.
- [14] Cabinet of the United Kingdom. “*Emergency Preparedness*”. <http://interim.cabinetoffice.gov.uk/ukresilience/preparedness.aspx>.
- [15] Tom Swarbrigg. “*MTPAS Update*”. http://umbr4.cabinetoffice.gov.uk/media/270020/mtpas_update.ppt.
- [16] OpenBTS. “*Open BTS*”. <http://openbts.sourceforge.net/>.
- [17] Digium. “*Asterisk*”. <http://www.asterisk.org/>.
- [18] Monzur Kabir. “*Cell Planning*”. http://www6.conestogac.on.ca/~mkabir/TCOM1010_ConEd_Cellular/Day-08_Cell-Planning.pdf, August 2009.